



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0906443-5 B1



(22) Data do Depósito: 12/01/2009

(45) Data de Concessão: 13/10/2020

(54) Título: CONTROLE DE FEEDBACK EM REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA

(51) Int.Cl.: F01N 3/00; F01N 3/28.

(30) Prioridade Unionista: 23/01/2008 US 12/018,583.

(73) Titular(es): CUMMINS FILTRATION IP, INC..

(72) Inventor(es): BAOHUA QI; MICKEY R. MCDANIEL; HAKEEM OGUNLEYE; CLYDE XI; HONGBIN MA.

(86) Pedido PCT: PCT US2009030738 de 12/01/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/094255 de 30/07/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 23/07/2010

(57) Resumo: CONTROLE DE FEEDBACK EM REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA. Um aparelho para introdução de um redutor em um sistema e exaustão é descrito. O aparelho inclui um controlador que gera um comando de dosagem resultante usado como uma instrução para liberar uma quantidade de redutor no sistema de exaustão. O controlador inclui um módulo de controle de feedback que gera um fator de ponderação. O fator de ponderação é configurado para ser aplicado a um comando de dosagem limite inferior e configurado para ser aplicado a um comando de dosagem limite superior, onde os comandos de dosagem limite inferior e superior convertidos pelo fato de ponderação são usados pelo controlador para gerar o comando de dosagem resultante.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para: "**CONTROLE DE FEEDBACK EM REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA**".

Informação de Prioridade

O presente pedido foi depositado como um Pedido de Patente Internacional PCT em nome de Cummins Filtration IP, Inc. e reivindica o benefício de prioridade do Pedido de Patente norte-americano Número US 12/108,583, depositado em 23 de janeiro de 2008 e intitulado "CONTROLE DE FEEDBACK EM REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA", o qual é aqui incorporado como referência em sua totalidade.

Campo da Invenção

É revelado um controle que pode otimizar o desempenho e economia de dosagem de um redutor usado com dispositivos de redução catalítica seletiva (SCR), tal como em correntes de exaustão de combustão. Particularmente, um controle de feedback é configurado para gerar um comando para uma taxa de dosagem de redutor que cumpre pelo menos as metas de deNO_x para um sistema enquanto que, ao mesmo tempo, também é limitado dentro de uma taxa de dosagem superior permitida determinada pelo escorregamento máximo permitido de NH₃.

Antecedentes da Invenção

Dispositivos de redução catalítica seletiva (SCR) são amplamente conhecidos e usados e são particularmente usados em correntes de exaustão de combustão de motores a diesel,

como um exemplo.

Para cumprir os requisitos da Agência de Proteção Ambiental (EPA), dispositivos de SCR são usados para introduzir um redutor o qual reduz o NO_x gerado em sistemas de exaustão de motor. Junto com dispositivos de SCR, capacidades de controle de feedback e sensores têm sido empregadas para detectar a presença de NO_x e introduzir um redutor, baseado no NO_x detectado pelo controle. O redutor introduzido reage com o NO_x para facilitar sua redução. Módulos de controle de feedback podem aprimorar grandemente a redução de NO_x ou o desempenho de "de NO_x ".

Contudo, em virtude da sensibilidade cruzada de sensores empregados em módulos de controle de feedback conhecidos, NH_3 (por exemplo, amônia) que está presente no sistema também é lida como NO_x pelo sensor (conhecido como um "escorregamento de NH_3 "). O escorregamento de NH_3 são as emissões indesejadas causadas pela capacidade limitada do catalisador. Quando o sistema de controle gera uma determinada quantidade de escorregamento de NH_3 , o sensor de NO_x reporta o escorregamento de NH_3 como NO_x em virtude de sua sensibilidade dupla por NH_3 . Uma vez que sensores eletroquímicos são tipicamente usados em tais dispositivos de SCR de forma a manter os custos baixos, ao invés de sensores ópticos os quais são significativamente mais caros

(por exemplo, sensores de Espectroscopia por Infravermelho com Transformação de Fourier (Fourier Transform Infrared Spectroscopy - FTIR)), se sabe que tal como sensibilidade cruzada do sensor ocorre. A informação captada incorreta
5 dispara um feedback falso positivo, causando a introdução de redutor no sistema em maiores dosagens, o que pode levar a um sistema instável e desperdício de redutor.

Assim, aprimoramentos ainda podem ser feitos em dispositivos de SCR, particularmente aqueles usando um
10 controle de feedback e aprimoramentos ainda podem ser feitos para limitar a dosagem global de redutor.

Sumário

A divulgação técnica a seguir descreve um controle de dosagem aprimorado que pode ajudar a otimizar a redução de
15 NO_x em material de exaustão de motor, ao mesmo tempo em que limita a introdução de um redutor em um sistema de exaustão e ao mesmo tempo em que vai de encontro aos requisitos de dosagem, por exemplo, os requisitos de dose da EPA. Em geral, o controle de dosagem é configurado para gerar um
20 comando de dosagem resultante através de um fator de ponderação, onde o fator de ponderação é aplicado aos comandos de dosagem limite superior ("limite") e inferior (feed-forward) para gerar o comando de dosagem resultante.

Em uma modalidade, um aparelho para introdução de um

reductor em um sistema de exaustão inclui pelo menos um sensor configurado para detectar o NO_x produzido durante combustão do motor e inclui um controlador operativamente conectado ao sensor. O controlador é configurado para receber um sinal de NO_x detectado pelo sensor. O controlador é configurado para processar o sinal do sensor e gerar um comando de dosagem resultante tendo uma instrução para introduzir um reductor no sistema de exaustão. O comando de dosagem resultante é gerado com um fator de ponderação e a partir de um comando de dosagem limite inferior (comando de dosagem de feed-forward), o qual é determinado pelos requisitos ou metas de emissão e a partir de um comando de dosagem limite superior (comando de dosagem "limite"), a qual é limitada pelos escorregamentos máximos permitidos de NH_3 . O fator de ponderação é configurado para ser aplicado aos comandos de dosagem limite superior e inferior, de modo que o fator de ponderação processa os comandos de dosagem limite superior e inferior em valores finais do comando de dosagem resultante.

Em uma modalidade, o controlador inclui um módulo de controle de feedback configurado para receber o sinal do sensor e gerar o fator de ponderação. Em ainda outra modalidade, o módulo de controle de feedback é configurado

para ajustar apenas o fator de ponderação e aplicá-lo aos comandos de dosagem limite superior e inferior para processamento.

Em uma modalidade, o controlador é configurado para atualizar periodicamente o comando de dosagem resultante, onde o sensor é configurado para detectar periodicamente o NO_x produzido e o controlador gera periodicamente um comando de dosagem resultante atualizado.

Como um exemplo apenas, o controle de dosagem descrito é útil com dispositivos de redução catalítica seletiva para sistemas de exaustão de motor a combustão. Por exemplo, pelo menos um sensor está operativamente conectado a uma saída de um dispositivo de redução catalítica seletiva. Um dosador está operativamente conectado ao controlador e conectado ao dispositivo de redução catalítica seletiva, onde o dosador é configurado para receber o comando de dosagem resultante do controlador e configurado para introduzir o redutor no sistema de exaustão na saída do dispositivo de redução catalítica seletiva. A quantidade de redutor introduzida é baseada no comando de dosagem resultante recebido do controlador.

Em outra modalidade, um método de controle da introdução de um redutor em um sistema de exaustão inclui cálculo de um comando de dosagem limite inferior e cálculo

de um comando de dosagem limite superior. Um nível de emissão é calculado baseado em um sinal de NO_x detectado e é comparado com uma meta de emissão, onde um erro de emissão é, desse modo, gerado. Através de um controlador de feedback, um fator de ponderação é gerado baseado no erro de emissão. Um comando de dosagem resultante é calculado usando os comandos de dosagem limite inferior (feed-forward) e superior ("limite") junto com o fator de ponderação.

10 Outras características de novidade e diversas vantagens da divulgação são destacadas na descrição detalhada a seguir. Para uma melhor compreensão de tais características e suas vantagens, referência será feita também aos desenhos, os quais formam uma outra parte da
15 mesma e à matéria descritiva associada, na qual são ilustradas e descritas várias modalidades dos conceitos da invenção.

Breve Descrição das Figuras

A FIG. 1 é uma vista esquemática de uma modalidade de um aparelho de controle de dosagem que está sendo usado com um exemplo esquemático de um sistema para uma corrente de exaustão de combustão, incluindo um dispositivo dosador/acionador de dosador de SCR.

A FIG. 2 é uma vista esquemática para uma modalidade

de um módulo de controle de feedback no aparelho de controle de dosagem mostrado na FIG. 1.

A FIG. 3 é uma vista esquemática de uma modalidade de um componente de compensação de valor de sensor de NO_x do
5 módulo de controle de feedback da FIG. 2.

A FIG. 4 é um gráfico mostrando uma relação entre a proporção de NH_3 para NO_x (ANR) em reação e a eficiência de conversão de NO_x .

A FIG. 5 é uma vista esquemática de uma modalidade de
10 um procedimento para determinação de um comando de dosagem limite para uso na geração de um comando de dosagem resultante.

A FIG. 6 é uma vista esquemática de uma modalidade de um procedimento para cálculo da eficiência de catalisador
15 na determinação de um comando de dosagem limite superior para uso na geração de um comando de dosagem resultante.

A FIG. 7 é um gráfico mostrando uma relação entre a proporção de NH_3 para NO_x em reação e cada um da eficiência de NO_x e eficiência de NH_3 .

20 As FIGs. 8A e 8B são um conjunto de gráficos mostrando uma linearização por partes em um cálculo de eficiência de NH_3 .

A FIG. 9 é uma vista esquemática de uma modalidade de um procedimento para cálculo do comando de dosagem limite

superior.

A FIG. 10 ilustra uma representação esquemática de um sistema de exaustão com redução catalítica seletiva, conforme conhecido no campo.

5 Descrição Detalhada

Em geral, um controle de dosagem conforme descrito aqui inclui uma configuração para gerar um comando de dosagem resultante através de um fator de ponderação, onde o fator de ponderação é aplicado aos comandos de dosagem limite superior e inferior para gerar valores finais do comando de dosagem resultante. O controle pode conferir uma redução otimizada de NO_x no material de exaustão do motor, sem introdução excessiva de um redutor em um sistema de exaustão e, ao mesmo tempo, ainda ir de encontro às doses necessárias de redutor, tal como determinado pelos requisitos da EPA.

Um esquema de controle único é apresentado, onde a geração do comando de dosagem inclui a geração de um comando de feed-forward (isto é, limite mínimo) e a geração de um comando limite (isto é, limite máximo), onde ambos os comandos são processados usando o fator de ponderação. Por exemplo, na geração do comando de feed-forward, a quantidade necessária de dosagem para ir de encontro aos requisitos ou metas de emissão é gerada (isto é, requisitos

da EPA) enquanto que, na geração do comando limitado, a taxa de dosagem superior permitida é fornecida, a qual é limitada pelo escorregamento máximo permitido de NH_3 . O fator de ponderação é gerado para ajuste do comando de dosagem resultante, para estar dentro dos valores de taxa de dosagem gerados na geração do comando de feed-forward e na geração do comando limite. Desse modo, uma compensação é feita entre o melhor desempenho (geração do comando limite) e a melhor economia de dosagem de uréia (geração do comando de feed-forward) usando o fator de ponderação.

Como um exemplo, um valor de escorregamento de NO_x adquirido a partir de um sensor de NO_x a jusante de um dispositivo de SCR é selecionado e um valor de escorregamento de NO_x instável é avaliado para geração do fator de ponderação. Tal controle ajuda a evitar instabilidades do sistema, uma vez que um fator de ponderação, ao invés dos ganhos do sistema de controle, é modificado e uma faixa de ajuste do comando de dosagem resultante é limitada dentro dos comandos de dosagem gerados na geração do comando de feedback e na geração do comando "limite" enquanto se usa o fator de ponderação. Usando tal design de controle, o comando de dosagem necessário é fornecido (isto é, normas da EPA), ao mesmo tempo em que o desempenho de deNO_x e economia de dosagem

são otimizados. Será apreciado que o controle descrito aqui pode ser facilmente calibrado para funcionar com múltiplas configurações de SCR e motores.

As FIGs. 1-9 ilustram, de modo geral, uma modalidade não limitativa de um aparelho para geração de um comando de dosagem para introdução de um redutor, por exemplo, em um sistema de exaustão de motor a combustão. Como uma aplicação particular, o aparelho descrito aqui é útil para introdução de um redutor para reduzir o material de exaustão de NO_x gerado por um sistema de exaustão empregando um dispositivo catalítico seletivo. Conforme mostrado, a FIG. 1 é uma vista esquemática de uma modalidade do aparelho como um controle de dosagem. Em uma modalidade, o controle de dosagem é mostrado incorporado com um dispositivo de redução catalítica seletiva (Accionador de Dosador/Dosador/Unidade de SCR) 103. O aparelho inclui um sensor S (101) que detecta o NO_x em uma saída de um dispositivo de SCR e que sinaliza a detecção de NO_x a um controlador de dosagem 100. O controlador processa os valores de feedback do sensor S (101) e calcula um fator de ponderação (Calc. de Cmd. de Dosagem de Feedback) a ser usado para a geração do comando de dosagem resultante em um módulo de geração de comando de dosagem 104 (Geração de Cmd. de Dosagem).

Em uma modalidade, o sensor S (101) e a geração do fator de ponderação são configurados em um módulo de controle de feedback 102 (Calc. de Cmd. de Dosagem de Feedback), onde um sinal do nível de NO_x do dispositivo catalisador seletivo é usado para gerar o fator de ponderação para ajuste do comando de dosagem resultante. Um módulo de geração de comando de dosagem 104 (Geração de Comando de Dosagem) usa o fator de ponderação para processar um comando de dosagem limite superior em um módulo 105 (Calc. de Cmd. de Dosagem "Limite") e um comando de dosagem limite inferior fornecido por um módulo 107 (Calc. de Cmd. de Feed-forward). Em uma modalidade, o comando de dosagem limite superior é gerado usando as informações que incluem os escorregamentos máximos permitidos de NH_3 (Escorregamento Máx. Permitido de NH_3) e a concentração de NO_x no dispositivo de redução catalítica seletiva (Concentração de NO_x na Entrada do SCR). Em uma modalidade, o comando de dosagem limite inferior é gerado usando informações que incluem a concentração superior permitida de NO_x em uma saída de um dispositivo de redução catalítica seletiva (Conc. Máx. Permitida de NO_x na Saída do SCR) e a concentração de NO_x em uma entrada do dispositivo de redução catalítica seletiva (Concentração de NO_x na Entrada do SCR).

Conforme ainda mostrado na FIG. 1, o controle de dosagem também pode usar informações adicionais para a geração do comando de dosagem resultante. Por exemplo, tais informações podem incluir, mas não estão limitadas a, um cálculo da eficiência de conversão de NO_x pelo catalisador (eficiência de deNO_x) (módulo 106, Cálculo de Ef.), o qual pode ser aplicado como uma informação na geração de cada um dos comandos de dosagem limite superior e limite inferior. Em uma modalidade, o cálculo da eficiência de deNO_x é dependente de vários parâmetros que incluem, por exemplo, (1) a temperatura (T do Catalisador) do dispositivo de redução catalítica seletiva, (2) taxa de fluxo de exaustão/velocidade espacial (Fluxo de Esc.) e (3) a proporção de divisão de NO_2 para NO na entrada do SCR (Divisão de NO_2/NO na Entrada do SCR). Adicionalmente, (4) a concentração ou nível de dosagem de NH_3 e (5) nível de NO_x ou concentração de NO_x global na entrada do dispositivo de redução catalítica seletiva (SCR), também podem ser incluídos no cálculo da eficiência. A temperatura do catalisador afeta os tipos de reação de SCR e a taxa de reação, enquanto que o fluxo de exaustão altera a taxa de reação de SCR alterando o tempo de residência do ar de exaustão no catalisador. Em uma determinada temperatura do catalisador e fluxo de exaustão, especialmente em baixa

temperatura, o dispositivo de SCR está em sua maior eficiência quando a proporção de NO_2/NO é de 1:1 (SCR rápida). Quando NO é dominante, o dispositivo de SCR opera, tipicamente, em sua eficiência padrão (SCR padrão).

5 Contudo, se há mais NO_2 do que NO , então, o dispositivo de SCR pode se tornar menos eficiente. Tais fatores são conhecidos por afetar os cálculos de eficiência de deNO_x e deNH_3 .

Usando o fator de ponderação, o comando de dosagem
10 resultante é calculado baseado nos comandos de dosagem limite superior e limite inferior (descritos em detalhes abaixo). O comando de dosagem resultante é, então, usado como uma instrução ao dispositivo de SCR, de modo que um dosador e acionador de dosador podem introduzir um redutor
15 no sistema de exaustão. Em uma modalidade, o redutor a ser introduzido é uréia; será apreciado por aqueles versados no campo, contudo, que outros redutores conhecidos podem ser empregados, se desejado ou necessário.

Como outro exemplo de uma informação adicional (FIG.
20 1), o controle pode incluir um valor de módulo de compensação de armazenamento de NH_3 (armazenamento de NH_3) 108. O valor de compensação de armazenamento de NH_3 pode incluir informações tais como a temperatura do dispositivo de SCR (T do Catalisador), fluxo de exaustão (Fluxo de

Esc.) e a proporção de NO_2/NO ou a divisão de NO_x na entrada do dispositivo de SCR.

A FIG. 2 é uma vista esquemática de uma modalidade do módulo de controle de feedback 102 no controle de dosagem representado na FIG. 1. De modo geral, o módulo de controle de feedback não controla diretamente o comando de dosagem resultante. Antes, o módulo de controle de feedback modifica o fator de ponderação, de modo que o fator de ponderação pode ser usado para processar os comandos de dosagem limite superior e inferior na geração do comando de dosagem resultante.

O módulo de controle de feedback inclui um bloco 201 que confere compensação para o valor do sensor de NO_x (Compensação de Valor do Sensor de NO_x). Em uma modalidade, a compensação é dirigida aos efeitos da sensibilidade cruzada e pressão. Como um exemplo, a fórmula a seguir (Equação 1) representa a sensibilidade cruzada para a concentração de NH_3 e NO_2 :

$$\text{NO}_x^P_{Act} = \text{NO}_x^P_{Sen} - \kappa_{\text{NH}_3}\text{NH}_3 + \kappa_{\text{NO}_2}\text{NO}_2$$

20 onde:

$\text{NO}_x^P_{Act}$ representa o valor real de NO_x em partes por milhão (ppm) na pressão P ;

$\text{NO}_x^P_{Sen}$ representa o valor do sensor de NO_x em ppm na pressão P ;

κNH_3 representa o coeficiente de compensação de NH_3 ;

NH_3 representa o valor de NH_3 em ppm;

κNO_2 representa o coeficiente de compensação de NO_2 ; e

NO_2 representa o valor de NO_2 em ppm.

5 Em determinadas modalidades, $\kappa NH_3 = 0,9$ como um exemplo e $\kappa NO_2 = 0,9$ como um exemplo. Na realização de compensação de valor do sensor de NO_x , o módulo de controle de feedback pode também ser configurado para conferir compensação de pressão. Os valores de coeficiente de
10 compensação de sensibilidade cruzada e a fórmula de compensação de pressão são determinados pelas características do sensor de NO_x .

A FIG. 3 mostra uma configuração esquemática para correção do valor capturado por um sensor de NO_x tubo de
15 exaustão (isto é, saída do dispositivo de SCR). A correção do valor de captação inclui uma compensação de sensibilidade cruzada (bloco 303), a qual é calculada baseada no escorregamento de NH_3 e escorregamento de NO_2 estimados nos blocos 301 e 302, respectivamente e
20 compensação de pressão no bloco 304 usando a informação de pressão ambiente (P).

O escorregamento de NH_3 é estimado usando o comando de dosagem de uréia (Cmd. de NH_3) e a eficiência de $deNH_3$ (Ef.

de deNH_3), a qual é calculada na geração do comando de dosagem "limite" superior. Para estimar o escorregamento de NO_2 , as reações de SCR são simplificadas usando as seguintes suposições:

5 Suposição 1. Apenas duas reações: reação de SCR rápida e reação de SCR padrão são consideradas;

 Suposição 2. Apenas NO e NO_2 existem no NO_x de exaustão para a SCR; e

 Suposição 3. Reação de SCR rápida tem prioridade
10 absoluta nas duas reações de SCR (isto é, SCR padrão acontece apenas quando não há SCR rápida).

 Baseado nessas suposições, o escorregamento de NO_2 é calculado usando as equações:

Quando $C_{\text{NH}_3} \text{ef}_{\text{deNH}_3} \leq \min(C_{\text{NO}}, C_{\text{NO}_2}) \text{ef}_{\text{rápida_SCR}}^\beta$,

15 $C^{\text{escorregamento}}_{\text{NO}_2} = \min(C_{\text{NO}}, C_{\text{NO}_2}) - C_{\text{NH}_3} \text{ef}_{\text{deNH}_3} \int \beta;$

Quando $C_{\text{NH}_3} \text{ef}_{\text{deNH}_3} > C_{\text{NO}_2} \text{ef}_{\text{rápida_SCR}}^\beta$ e $C_{\text{NO}_2} \leq C_{\text{NO}}$;

$C^{\text{escorregamento}}_{\text{NO}_2} = C_{\text{NO}_2} (\int - \text{ef}_{\text{rápida_SCR}});$

Quando $C_{\text{NH}_3} \text{ef}_{\text{deNH}_3} > C_{\text{NO}} \text{ef}_{\text{rápida_SCR}}^\beta$ e $C_{\text{NO}_2} > C_{\text{NO}}$;

$C^{\text{escorregamento}}_{\text{NO}_2} = (C_{\text{NO}_2} - C_{\text{NO}} \text{ef}_{\text{rápida_SCR}}) (\int - \text{ef}_{\text{deNO}_2}),$ onde

20 $\text{Ef}_{\text{deNO}_2} = (C_{\text{NH}_3} \text{ef}_{\text{deNH}_3} \int \beta - C_{\text{NO}} \text{ef}_{\text{rápida_SCR}}) / (C_{\text{NO}_2} - C_{\text{NO}}).$

Nas equações, C_{NO_2} é a concentração de NO_2 na entrada da SCR; C_{NO} é a concentração de NO na entrada da SCR; C_{NH_3} é a concentração de NH_3 na entrada da SCR (Cmd. de Dosagem);

e $C_{NO_2}^{escorregamento}$ é o escorregamento de NO_2 no tubo de exaustão; $ef_{rápida_SCR}$ é a eficiência de conversão de NO_x para a reação de SCR rápida; ef_{deNH_3} é eficiência de conversão de NH_3 ; ef_{deNO_2} é a eficiência de conversão e β é a proporção de reação de NH_3 para NO_x .

Voltando à FIG. 2, uma vez que a compensação de valor do sensor de NO_x foi realizada, o módulo de controle de feedback é configurado para proporcionar triagem do valor de captação de NO_x em um bloco 202 (Triagem de Valor de Captação de NO_x). Em algumas modalidades, determinados valores de captação de NO_x são usados no módulo de controle de feedback. Por exemplo, valores de captação de NO_x em um estado uniforme podem ser usados no módulo de controle de feedback, valores de captação de NO_x dentro de uma faixa confiável podem ser usados no módulo de controle de feedback, valores de captação de NO_x com uma compensação válida podem ser usados no módulo de controle de feedback e valores médios de captação de NO_x podem ser usados no módulo de controle de feedback.

Triagem precisa do valor de captação de NO_x é dependente de várias condições. Tais condições as quais podem afetar a precisão de triagem do valor de captação de NO_x incluem, por exemplo, taxa de alteração de valor de NO_x e a temperatura do leito de SCR. Quando a temperatura de

leito de SCR é muito baixa ou muito alta, tal como em virtude de erro e imprecisões na estimativa do escorregamento de NH_3 e escorregamento de NO_2 , compensação de valor de NO_x pode não ser precisa, desse modo, afetando a precisão de valor de captação de NO_x . Ainda, onde há uma grande diferença entre a temperatura de entrada de SCR e a temperatura de saída de SCR (isto é, uma grande diferença entre a temperatura do gás de exaustão e a temperatura do leito), imprecisão pode ser induzida na estimativa de capacidade do catalisador, a qual pode afetar a precisão do valor de captação de NO_x .

Outras condições as quais podem afetar a precisão dos valores de captação de NO_x incluem a taxa de fluxo de exaustão. Onde o fluxo de exaustão é muito baixo, a distribuição de uréia pode ser não uniforme, portanto, afetando a precisão de captação de NO_x . Onde o fluxo de exaustão é muito alto, em virtude de maior imprecisão no sensor de fluxo de exaustão, estimativas de escorregamento de NH_3 e escorregamento de NO_2 poderiam ser afetadas, resultando em deterioração da precisão de captação de NO_x .

Ainda outras condições as quais podem ter um efeito sobre a precisão do valor de captação de NO_x incluem concentração de NO_x , onde um valor de captação de NO_x pode ser preciso apenas dentro de uma determinada faixa de

concentração de NO_x . Da mesma forma, captação precisa do valor de NO_x pode depender de outras condições de operação, tal como pressão ambiente e a presença de escorregamentos de NH_3 e escorregamentos de NO_2 .

5 Uma vez que triagem do valor de captação de NO_x tenha sido realizada, o módulo de controle de feedback é configurado para proporcionar avaliação do nível de NO_x . Em algumas modalidades, avaliação do nível de NO_x inclui avaliação do nível de NO_x no tubo de exaustão (Bloco 203,
10 Avaliação de Nível de NO_x no Tubo de exaustão). Uma finalidade do controle do dispositivo de SCR é limitar o nível de NO_x no tubo de exaustão dentro de uma faixa, ao mesmo tempo em que se considera a economia de dosagem, desempenho e sensibilidade do sensor a imprecisões. O
15 módulo de controle de feedback é configurado para realizar avaliação do nível de NO_x calculando o nível médio de NO_x no tubo de exaustão durante um período calibrável de tempo. Como um exemplo, os limites de nível de NO_x no tubo de exaustão podem incluir uma faixa, tal como de 1,6 g/kwh a
20 1,9 g/kwh (por exemplo, para a norma Européia). Será apreciado que o módulo de controle de feedback atualiza periodicamente o valor do nível de NO_x com uma taxa calibrada.

Uma vez que avaliação do nível de NO_x tenha sido

realizada, o módulo de controle de feedback é configurado para realizar uma geração de erro em um bloco 204 (Geração de Erro). Na realização de geração de erro, o módulo de controle de feedback pode ser configurado em uma faixa alvo de NO_x no tubo de exaustão como um comando para o sistema de controle. Em uma modalidade, a faixa alvo de NO_x inclui um valor máximo (Limite_Máx._ NO_x no Tubo de exaustão) e um valor mínimo (Limite_Min._ NO_x no Tubo de exaustão).

Em uma modalidade, o módulo de controle de feedback compara a avaliação acima do nível de NO_x ou emissão de NO_x com os valores alvo da faixa de NO_x e gera um erro. Se a emissão de NO_x é maior do que o valor máximo (isto é, Limite_Máx._ NO_x no Tubo de exaustão), então, o erro gerado é Limite_Máx._ NO_x no Tubo de exaustão - Emissão_ NO_x . De outro modo, se a emissão de NO_x é menor do que o Limite_Min._ NO_x , então, o erro gerado é Limite_Min._ NO_x - Emissão_ NO_x . Contudo, se a emissão de NO_x está dentro do Limite_Máx._ NO_x e Limite_Min._ NO_x , então, o erro é 0 (isto é, o valor alvo está dentro da faixa).

Em uma modalidade, o módulo de controle de feedback inclui um controlador de derivada integral proporcional (Proportional Integral Derivative - PID) em um bloco controlador (Controlador de FSBK (P)) 205. Será apreciado que o módulo de controle de feedback não está

necessariamente limitado a um controlador de derivada integral proporcional e pode ser qualquer mecanismo de loop de feedback de controle adequado usado em sistemas de controle industriais. Em geral, o módulo de controle de feedback é configurado para corrigir um erro entre uma variável de processo medida e um ponto de ajuste desejado calculando e, então, produzindo uma ação de correção que pode ajustar o processo conseqüentemente.

O controlador de PID é usado para calcular um sinal de controle, o qual é o valor do fator de ponderação, a partir dos valores de erro. O PID converte os valores de erro para valores de controle (valores de fator de ponderação). A título de exemplo apenas, se uma alteração do fator de ponderação de 0,2 (sem dimensão) é desejada, quando um erro de 0,5 g/kwh está presente, um ganho de 0,4 seria necessário para fazer o cálculo. Em outros exemplos, se há o desejo de acumular o erro para ajuste, um integrador pode ser usado.

O valor resultante gerado no bloco controlador 205 é, então, ainda processado em um bloco 206 (Geração de fator de ponderação). No bloco 206, o sistema determina se o valor gerado no controle de feedback pode ser usado como o fator de ponderação. No caso, por exemplo, de erros do sensor ou nenhuma atualização durante um longo tempo,

quando os valores de feedback não são confiáveis, o sistema usa valores gerados usando outros meios, por exemplo, usando tabelas de consulta, ao invés de aqueles gerados pelo controlador de feedback. O fator de ponderação é gerado usando o módulo de controle de feedback descrito acima e o controle de dosagem aplica o fator de ponderação aos comandos de dosagem limite inferior (feed-forward) e superior ("limite") na geração do comando de dosagem resultante.

Conforme acima, controle de dosagem é configurado para atualizar periodicamente o comando de dosagem resultante através do módulo de controle de feedback. Em outra modalidade, o controle de dosagem pode ser configurado para incluir pelo menos uma tabela de consulta como uma informação para geração do fator de ponderação se necessário, tal como quando o sensor falha ou quando o comando de dosagem resultante não é atualizado durante um período de tempo pelo módulo de controle de feedback. Algumas tabelas de consulta exemplificativas podem incluir, mas não estão limitadas a, uma informação de velocidade do motor e uma informação do nível total de combustível.

Dentre seus benefícios, o módulo de controle de feedback é um controle "seguro", uma vez que o comando de dosagem resultante pode ser ajustado apenas dentro de uma

faixa, conforme permitido pelos requisitos de emissão. O controle de feedback pode ser usado para ajustar adequadamente o comando de dosagem resultante quanto a imprecisões nas estimativas de NO_x na entrada da SCR e variações em parâmetros do sistema em virtude de alterações ambientais e envelhecimento do catalisador. Diferente dos designs de controle de feedback anteriores, o controle de feedback aqui não controla a dosagem de redutor usando diretamente o NO_x captado, antes, o NO_x captado é processado para estimar o nível de emissão. Os valores processados são usados para gerar um fator de ponderação, o qual pode ser posteriormente atualizado ou modificado para ajuste periódico do comando de dosagem resultante. Isto é, o módulo de controle de feedback do controle de dosagem pode modificar a dosagem indiretamente conforme necessário, onde a informação para geração do comando usa a informação obtida do produto da exaustão.

Voltando à geração dos comandos de dosagem de limite superior e inferior, as FIGs. 4-9 mostram configurações exemplificativas que o controle de dosagem pode empregar para geração dos comandos de dosagem limite inferior (feed-forward) e superior ("limite"). Em uma modalidade, o comando de dosagem limite inferior é um cálculo baseado, por exemplo, nos requisitos ou metas de emissão conhecidos

para o sistema de exaustão e o comando de dosagem limite superior é um cálculo baseado nos escorregamentos máximos permitidos de amônia.

A FIG. 4 mostra uma relação entre uma proporção de NH_3 para NO_x em reação e a eficiência de conversão de NO_x . A FIG. 5 mostra uma vista esquemática de uma modalidade de um procedimento para geração do comando de dosagem limite inferior. Em uma modalidade, o controle de dosagem calcula o comando de dosagem limite inferior, o qual é referido como o comando de dosagem necessário ou comando de dosagem de feed-forward (comando de dosagem FF na FIG. 5). Em geral, o comando de dosagem de feedback é calculado como a referência na qual o sistema é capaz de ir de encontro à dose inferior requerida de redutor (isto é, requisitos da EPA). Por exemplo, o comando de dosagem de feedback é baseado na temperatura, fluxo de exaustão, outras condições de operação do motor conforme conhecido no campo, tal como velocidade do motor.

A FIG. 4 mostra um gráfico de uma relação entre uma proporção de NH_3 para NO_x em reação e a eficiência de conversão de NO_x . Em uma modalidade, para cálculo do comando de dosagem de feedback, o controle de dosagem é configurado para considerar as seguintes equações:

(Equação 2)

$$\eta = (C_{NH_3}/C_{NO_x}) \alpha/\beta$$

onde:

β representa a proporção de NH_3 para NO_x em reação (β muda com a proporção de NO_2/NO);

5 C_{NO_x} representa a concentração de NO_x na entrada do dispositivo de SCR;

C_{NH_3} representa a concentração de NH_3 na entrada do dispositivo de SCR (o comando de dosagem limite inferior é calculado usando C_{NH_3});

10 α representa a eficiência de $deNO_x$ quando ANR é igual a β (ANR: Proporção de Amônia para NO_x); e

η representa a eficiência de $deNO_x$.

Quando $NH_3/NO_x \leq \beta$, a Equação 3 a seguir também pode ser considerada pelo controle de dosagem.

15 (Equação 3)

$$C_{NO_x} \eta = C_{NO_x} - C_{NO_x}^{escorregamento}$$

onde:

$C_{NO_x} \eta$ representa o NO_x reagido no catalisador;

C_{NO_x} representa NO_x na entrada do dispositivo de SCR; e

20 $C_{NO_x}^{escorregamento}$ representa o escorregamento de NO_x (emissão) na saída do dispositivo de SCR.

Contudo, onde $NH_3/NO_x > \beta$, então, o catalisador não é capaz, uma vez que o comando de feed-forward é igual ao

comando limite, o qual é ainda descrito abaixo com relação à FIG. 5.

De acordo com as equações (2) e (3), a concentração de NH_3 , C_{NH_3} , é:

5 (Equação 4)

$$C_{\text{NH}_3} = \beta (C_{\text{NO}_x} - C_{\text{NO}_x}^{\text{escorregamento}}) / \alpha$$

Voltando à FIG. 5, um procedimento para o controle de dosagem para gerar o comando de dosagem limite inferior (feed-forward) é ilustrado. Uma determinação se o
 10 $(\text{NO}_x_{\text{entrada}} - \text{NH}_3_{\text{alvo}}) / \text{NO}_x_{\text{entrada}} > \text{Max_deNO}_x\text{ef}$ (a) é feita. (" $\text{NO}_x_{\text{entrada}}$ " é a taxa de fluxo na entrada da SCR, enquanto que " $\text{NO}_x_{\text{alvo}}$ " é a taxa de fluxo alvo de NO_x determinada pelos requisitos de emissão). Se sim (Y), então, o catalisador não é capaz ($\text{NH}_3 / \text{NO}_x > \beta$) e o comando
 15 de feed-forward é igual ao comando de limite. Se não (N), então, Equação 4 é usada para calcular o limite mínimo ou comando de dosagem de feed-forward.

A FIG. 6 mostra um exemplo de tal procedimento para um cálculo de eficiência de catalisador para uso no cálculo do
 20 comando de dosagem limite superior. Na FIG. 6, T_a é definida como um limite de temperatura inferior para dosagem (T_{min}). O limite T_a é uma função da velocidade espacial (S_v), a qual é calculada baseada na taxa de fluxo

de exaustão e tamanho de catalisador (S_v = Taxa de Fluxo Volumétrica de Exaustão/Volume de Catalisador) e proporção de NO_2 para NO : $T_a = f_a (S_v, \text{NO}_2/\text{NO})$. A eficiência de conversão de NO_x na ANR de β e a temperatura de T_a é E_a e

5 E_a é também uma função da velocidade espacial e proporção de NO_2 para NO : $E_a = g_a (S_v, \text{NO}_2/\text{NO})$. A temperatura de extinção na FIG. 6 é T_b . T_b é uma função da velocidade espacial e proporção de NO_2 para NO : $T_b = f_b (S_v, \text{NO}_2/\text{NO})$. A eficiência de conversão de NO_x na ANR de β e a temperatura

10 de T_a é E_b e similar como E_a , $E_b = g_b (S_v, \text{NO}_2/\text{NO})$. Uma determinação é feita se $T \geq T_a$, onde T é a temperatura do catalisador. Se não (N), então, o cálculo da eficiência do catalisador termina. Se sim (Y), então, uma determinação é feita se $T \geq T_b$. Se não (N), então, uma equação linear $E_f =$

15 $(T-T_a)(E_b-E_a)/(T_b-T_a)$ é usada para realizar o cálculo de eficiência.

Quando a temperatura do catalisador é muito alta, em virtude da oxidação de NH_3 novamente em NO_x , a eficiência de conversão de deNO_x diminuirá. T_1 é definida como a

20 temperatura na qual a eficiência de deNO_x começa a diminuir e T_2 representa o limite máximo de temperatura para dosagem e conforme aquele para T_a e T_b , $T_1 = f_1 (S_v, \text{NO}_2/\text{NO})$, $T_2 = f_2 (S_v, \text{NO}_2/\text{NO})$. A eficiência de deNO_x na ANR de β e a

temperatura T1 é E1, $E1 = g_1 (Sv, NO_2/NO)$. A eficiência de deNO_x na ANR de β e a temperatura T2 é E2, $E2 = g_2 (Sv, NO_2/NO)$. Como ainda mostrado na FIG. 6, se a temperatura T está entre T1 e Tb, então, uma equação $Ef. = 1 - \exp(-K \cdot T^{1-5}/Sv)$ é usado para realizar o cálculo da eficiência, onde K é um coeficiente determinado por Sv e NO₂/NO: $K = h_k (Sv, NO_2/NO)$. Uma equação, $Ef. = (T-T1)(E2-E1)/(T2-T1)$, é usado para cálculo da eficiência para uma temperatura do catalisador maior do que T1 e menor do que T2. Se a temperatura do catalisador é maior do que T2, a dosagem é desabilitada.

Será apreciado que o cálculo da eficiência pode ser uma informação de um ou ambos os comandos de dosagem limite inferior (feed-forward) e superior ("limite"). O cálculo da eficiência como uma informação para o comando de dosagem de feed-forward não é mostrado, contudo, aqueles versados no campo serão capazes de determinar um cálculo de eficiência como uma informação para calcular o comando de dosagem de feed-forward usando métodos conhecidos. Baseado na eficiência de deNO_x na ANR de β , a eficiência de deNO_x e a eficiência de deNH₃ pode ser obtida. A FIG. 4 mostra a relação entre a ANR e a eficiência de deNO_x, enquanto que a FIG. 7 é um gráfico mostrando uma relação entre a proporção

de NH_3 para NO_x em reação e eficiência de deNO_x (I) e eficiência de deNH_3 (II). Como um cálculo exemplificativo, a Equação 5 abaixo pode ser empregada para determinação de eficiência de deNH_3 é:

5 (Equação 5)

$$\text{eficiência_deNH}_3 = \text{eficiência_deNO}_x (\eta) * \beta / \text{ANR}$$

Voltando especificamente ao comando de dosagem limite superior ("limite"), o design de controle de dosagem calcula o comando de dosagem de limite superior, o qual
10 também é denominado o comando de dosagem "limite". Em geral, o comando de dosagem "limite" é calculado como a referência na qual uma dosagem superior de redutor é permitida pelo sistema.

Conforme mostrado nas equações para cálculo das
15 eficiências de deNO_x e deNH_3 , um valor de ANR é necessário para o cálculo. Contudo, na geração do comando de dosagem "limite", a concentração de NH_3 na ANR (nível de dosagem) é um termo que é determinado usando a eficiência de deNO_x ou deNH_3 . Conseqüentemente, há um "loop" no processo de
20 cálculo, resultando em uma equação que precisa ser resolvida para obtenção do comando de dosagem "limite".

Para evitar resolver equações não lineares no controle de SCR, um método de linearização por partes pode ser usado. As FIGs. 8A e 8B mostram um conjunto de gráficos

mostrando a linearização por partes de cálculo da eficiência de deNH₃, respectivamente, usando ANR e NAR. Na FIG. 8A, β , β_1 e β_2 são pontos de ruptura; e_a , e_{a1} e e_{a2} são, respectivamente, a eficiência de deNH₃ em β , β_1 e β_2 . Na FIG. 8B, NAR é a proporção de NO_x para amônia: $NAR = 1/ANR$; γ , γ_1 e γ_2 são pontos de ruptura correspondendo a β , β_1 e β_2 : ($\gamma = 1/\beta$, $\gamma_1 = 1/\beta_1$, $\gamma_2 = 1/\beta_2$). Uso de NAR para linearização evita resolver equações de segunda ordem no cálculo do comando de dosagem "limite" e pode proporcionar um cálculo de eficiência de catalisador mais preciso.

Fazendo referência à FIG. 9, o design de controle de dosagem pode empregar as equações a seguir na geração do comando de dosagem "limite" e incorporação da eficiência de deNH₃ como a base para determinação da eficiência de catalisador.

Por exemplo, quando $NAR \leq \gamma$ (isto é, $ANR \geq \beta$), a eficiência de deNO_x é aproximadamente constante em α . O comando de dosagem "limite" pode ser calculado usando a Equação 6:

$$C_{NH3} = C_{NH3}^{\text{escorregamento}} + \alpha\beta C_{NH3},$$

onde $C_{NH3}^{\text{escorregamento}}$ é o escorregamento de NH₃ na saída da SCR.

Quando $NAR > \gamma$ e, mais especificamente, quando $\gamma < NAR$

$\leq \gamma_1$, a eficiência de deNH_3 é θ na Equação 7 a seguir:

(Equação 7)

$$\theta = \kappa_1(\text{NAR}) + b_1$$

onde, na Equação 7, o coeficiente κ_1 e o parâmetro b_1 são calculados, respectivamente, usando a Equação 8 e a Equação 9:

(Equação 8)

$$\kappa_1 = (e_a - e_{a1}) / (\gamma - \gamma_1)$$

(Equação 9)

10

$$b_1 = e_{a1} = \kappa_1 \gamma_1;$$

e quando $\gamma_1 < \text{NAR} \leq \gamma_2$, a eficiência de deNH_3 é θ na Equação 10 a seguir:

(Equação 10)

$$\theta = \kappa_2(\text{NAR}) + b_2$$

15

onde, na Equação 10, o coeficiente κ_2 e o parâmetro b_2 são calculados, respectivamente, usando a Equação 11 e Equação 12:

(Equação 11)

$$\kappa_2 = (e_{a1} - e_{a2}) / (\gamma_1 - \gamma_2)$$

20

(Equação 12)

$$b_2 = e_{a2} - \kappa_2 \gamma_2;$$

quando $\text{NAR} > \gamma_2$, a eficiência de deNH_3 é θ na Equação

13 a seguir:

(Equação 13)

$$\theta = e_{a2}.$$

O comando de limite de dosagem pode ser calculado
5 usando a Equação 14 a seguir:

(Equação 14)

$$C_{NH3} = C_{NH3}^{escorregamento} + \theta C_{NH3}$$

Acima, κ_1 , κ_2 , b_1 e b_2 são resultados calculados usando
as equações 7-12. Por exemplo, κ_1 e κ_2 funcionalmente são
10 declínios nas equações de adaptação linear para a
eficiência de deNH₃ e b_1 e b_2 funcionalmente são valores de
compensação: eficiência de deNH₃ = $\kappa^*(NO_x/NH_3) + b$.

Ainda com referência à FIG. 9, uma vista esquemática
de um exemplo de um procedimento para cálculo do comando de
15 dosagem "limite" é mostrado. Conforme discutido, o controle
de dosagem gera o comando de dosagem "limite" (veja FIG. 3)
através de uma série de cálculos e determinações de valor.
Em uma modalidade, e_a , e_{a1} e e_{a2} são calculados. Então, os
comandos de dosagem são calculados como C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} ,
20 onde:

C_{i1} é o nível de dosagem de NH₃, C_{NH3} , calculado de
acordo com a Equação 6

C_{i2} é o nível de dosagem de NH₃, C_{NH3} , calculado de

acordo com as Equações 7, 8, 9 e 14;

C_{i3} é o nível de dosagem de NH_3 , C_{NH_3} , calculado de acordo com as Equações 10, 11, 12 e 14;

C_{i4} é o nível de dosagem de NH_3 , C_{NH_3} , calculado de acordo com as Equações 13 e 14.

Após os comandos de dosagem serem calculados, as etapas de determinação a seguir são realizadas para escolher um valor válido a partir de C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} . Uma determinação é feita se C_{NOx}/C_{i1} (NAR) é menor do que ou igual a gama (γ). Se sim (Y), então, C_{i1} é válido e o valor de C_{i1} é usado para geração do comando de dosagem "limite" C_i . Se não (N), então, uma determinação é feita se C_{NOx}/C_{i2} é maior do que gama (γ), mas menor do que ou igual a gama 1 (γ_1). Se, nessa determinação, o resultado é sim (Y), então, o valor de C_{i2} é usado para cálculo do comando de dosagem "limite" superior, C_i . Se, nessa determinação, o resultado é não (N), então, uma determinação é feita se C_{NOx}/C_{i3} é maior do que gama 1 (γ_1), mas menor do que ou igual a gama 2 (γ_2). Se, nessa determinação, o resultado é sim (Y), então, o valor de C_{i4} é selecionado. Se o resultado é não (N), então, o valor resultante C_i para geração do comando de dosagem "limite" é o mínimo de C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} .

Conforme descrito, o comando de dosagem limite

superior é gerado usando cálculos lineares em pelo menos uma das regiões ANR. Ainda, após os cálculos lineares, um processo de exame dos resultados, o qual examina se as suposições para os cálculos lineares são válidas, é usado para seleção do resultado de cálculo linear válido como o comando de dosagem limite máximo.

Será apreciado que, quando $NAR > \gamma$ ou $ANR \leq \beta$ (faixa de dosagem normal), a eficiência de $deNH_3$ não é sensível à alteração de ANR ou NAR (FIG. 7 e FIG. 8). Como um resultado, o comando de dosagem "limite" não é sensível a imprecisões no valor de captação de NO_x na entrada da SCR. Assim, há uma compensação entre a economia de dosagem (comando de dosagem "limite" é maior do que o comando de dosagem de feed-forward) e a robustez do sistema a imprecisões na estimativa de NO_x na entrada de SCR (controle "limite" é menos sensível à imprecisões na estimativa de NO_x na entrada de SCR).

Fazendo referência novamente ao fator de ponderação, uma vez que os comandos de dosagem limite inferior e superior tenham sido gerados, o fator de ponderação é aplicado ao comando de dosagem limite inferior (feed-forward) e comando de dosagem limite superior ("limite") na geração do comando de dosagem resultante. Em uma modalidade, o fator de ponderação pode ser aplicado ao

comando de dosagem limite superior em um produto do comando de dosagem limite superior (cmd. limite) e o fator de ponderação (fator), o valor do qual está dentro de 0 a 1, de acordo com a fórmula:

$$5 \quad \text{cmd. limite} * \text{fator}$$

Para o comando de dosagem limite inferior, o fator de ponderação pode ser aplicado ao comando de dosagem limite inferior em um produto do comando de dosagem limite inferior (cmd. feed-forward) e a diferença de 1 e o fator de ponderação (1-fator) de acordo com a fórmula:

$$\text{cmd. feed-forward} * (1-\text{fator})$$

O comando de dosagem resultante é a soma desses dois valores:

$$15 \quad \text{Comando de dosagem resultante} = \text{cmd. feed-forward} * (1-\text{fator}) + \text{cmd. limite} * \text{fator}$$

Uma vez que o comando de dosagem de feed-forward é sempre igual ou menor do que o comando "limite", a equação acima apresenta o comando de dosagem resultante dentro da faixa determinada pelos comandos mínimo (feed-forward) e máximo ("limite"). Assim, o comando de dosagem resultante (ou instrução de dosagem real) ao dosador é um valor de taxa de dosagem específica dentro dos limites máximo e mínimo e extraído da faixa determinada pelos comandos máximo e mínimo os quais aparecem dentro do controlador.

Voltando à FIG. 10, uma representação esquemática de um dispositivo de redução catalítica seletiva geral, conforme conhecido no campo é mostrada, mas incorporada com um controle de dosagem de acordo com os conceitos descritos da invenção. Em uma modalidade de tal dispositivo, o ar de exaustão gerado em um motor (não mostrado na figura) flui através de um catalisador de SCR para redução da emissão de NO_x . Um sensor de NO_x 20 (ou estimativa de NO_x , sensor virtual a.k.a.) está a montante do catalisador de SCR para detecção do nível de NO_x na entrada da SCR ($\text{NO}_x_{\text{entrada}}$) e um sensor de temperatura 25 é usado para medir a temperatura do ar de exaustão na entrada da SCR (T_{entrada}). A jusante do catalisador de SCR 30, um sensor de NO_x 45 é instalado para captação de escorregamento de NO_x no tubo de exaustão que é usado no controle de feedback. Outro sensor de temperatura 40 a jusante do catalisador de SCR 30 é usado junto com o sensor de temperatura de entrada de SCR 25 para melhor estimativa de temperatura do catalisador de SCR. Todos os sensores (sensores de temperatura 25 e 40 e sensores de NO_x 20 e 45) são conectados a um Módulo de Controle de Motor (Engine Control Module - ECM), o qual tem o controlador de dosagem dentro. Baseado na informação captada, o ECM gera um comando de dosagem resultante e envia a instrução para um

sistema de injeção 15 que injeta um redutor (isto é, uréia) a partir de um tanque 10 no catalisador de SCR 30.

Conforme descrito, o controle de dosagem é usado para introdução de um redutor para reduzir o material de exaustão, tal como aquele gerado por um sistema de exaustão empregando um dispositivo de catalisador seletivo. Em uma modalidade do controle de dosagem, um sensor de NO_x é disposto a jusante de um dispositivo de SCR (tal como o sensor de NO_x 45). O sensor é operativamente conectado a um controlador. Será apreciado que o controlador pode operar em uma unidade de processamento central (tal como o ECM 35) configurada para realizar as funções de controle descritas e pode ser configurada para ser ativada manual ou automaticamente, conforme aqueles versados no campo poderão entender. Conforme descrito, o controlador recebe o sinal dos sensores e gera um fator de ponderação conseqüentemente a ser usado no processamento dos comandos de dosagem limite inferior (feed-forward) e superior ("limite"). Como um exemplo, o sensor de NO_x na saída da SCR e geração do fator de ponderação são configurados em um módulo de controle de feedback do controle de dosagem, onde um sinal do nível de NO_x do dispositivo catalisador seletivo é usado para produzir o fator de ponderação a ser usado para ajuste do comando de dosagem resultante. O comando de dosagem

resultante é, então, usado como uma instrução ao dispositivo de SCR, onde o controlador distribui a instrução para um sistema de injeção, tal como um dosador e um acionador de dosador, de modo que o dosador e acionador de dosador podem introduzir um redutor no sistema de exaustão.

Em uma modalidade, o redutor a ser introduzido é uréia. Será apreciado, contudo, que outros redutores podem ser empregados se desejado ou necessário. Será ainda apreciado que o controle de dosagem descrito pode ser facilmente calibrado para funcionar com múltiplas configurações de SCR e motores.

Conforme acima, escorregamentos de NH_3 são emissões indesejadas. Isso é porque muito escorregamento de NH_3 cria um cheiro indesejável (por exemplo, a mais de 25 ppm), como um subproduto de reações de SCR. Ainda, super-dosagem de redutor causa ineficiência de dosagem e possível feedback falso positivo em virtude de sensibilidade cruzada dos sensores de NO_x . Como um resultado, um comando de dosagem superior poderia se tornar saturado (muito redutor é liberado). Contudo, o controle de dosagem, conforme descrito aqui, é configurado de modo que o comando de dosagem limite superior do comando de dosagem resultante é dependente de um escorregamento máximo permitido de amônia

(NH₃) (isto é, o comando de limite), de modo a evitar tais conseqüências indesejadas. Por exemplo, o escorregamento de NH₃ pode ser mantido em torno de 25 ppm ou menos.

Dentre seus benefícios, o módulo de controle de feedback é um controle "seguro", uma vez que o comando de dosagem resultante pode ser ajustado apenas dentro de uma faixa conforme permitido pelos requisitos de emissão e ainda limitado pelo fator de ponderação. O controle de feedback pode ser usado para ajustar adequadamente o comando de dosagem resultante quanto à imprecisões nas estimativas de NO_x na entrada da SCR e quanto à variações nos parâmetros de sistema em virtude de alterações ambientais e envelhecimento de catalisador. Diferente dos designs de controle de feedback anteriores, o controle de feedback aqui não controla a dosagem de redutor através de uso direto do NO_x captado, antes, o NO_x captado é processado para estimar o nível de emissão. Os valores processados são usados para gerar um fator de ponderação, o qual pode ser posteriormente atualizado ou modificado para ajuste periódico do comando de dosagem resultante. Isto é, o módulo de controle de feedback do controle de dosagem pode modificar a dosagem indiretamente conforme necessário, onde a informação para geração do comando usa a informação obtida a partir do sinal de exaustão. O controle de

feedback aqui usa ainda um método linear sem requerer um processo iterativo para resolver equações, conforme mostrado, por exemplo, no cálculo dos comandos de dosagem superior ("limite").

5 Os conceitos da invenção revelados aqui podem ser concretizados em outras formas sem se desviar do espírito ou novas características da mesma. As modalidades divulgadas no presente pedido devem ser considerados, em todos os aspectos, como ilustrativas e não limitativas. O
10 escopo da invenção é indicado pelas reivindicações em anexo ao invés de pela descrição precedente e todas as alterações as quais entram no significado e faixa de equivalência das reivindicações se destinam a ser abrangidas aqui.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para a geração de um comando de dosagem para introdução de um redutor em um sistema de exaustão compreendendo:

pelo menos um sensor configurado para detectar NO_x produzido durante a combustão do motor;

caracterizado pelo fato do aparelho adicionalmente compreender:

um controlador operativamente conectado com pelo menos um sensor, o controlador configurado para receber um sinal de pelo menos um sensor com base no NO_x detectado por pelo menos um sensor, o controlador configurado para processar o sinal de pelo menos um sensor e gerar um comando de dosagem resultante tendo uma instrução para introduzir um redutor no sistema de exaustão, o comando de dosagem resultante incluindo um comando de dosagem limite inferior, um comando de dosagem limite superior e um fator de ponderação, o fator de ponderação configurado para ser aplicado aos comandos de dosagem limite inferior e superior em um cálculo para fornecer o comando de dosagem resultante, tal que o comando de dosagem resultante é um valor dentro dos valores finais para os comandos de dosagem limite inferior e superior.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos um sensor é operativamente conectado a uma saída do sistema de exaustão.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o controlador compreende um

módulo de controle de feedback configurado para receber o sinal de pelo menos um sensor e gerar o fator de ponderação.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo** fato de que o módulo de controle de feedback é configurado para ajustar apenas o fator de ponderação e aplicar o fator de ponderação aos comandos de dosagem limite inferior e superior.

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo** fato de que o módulo de controle de feedback é um controlador proporcional-integral-diferencial.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o controlador é configurado para atualizar periodicamente o comando de dosagem resultante.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o controlador ainda compreende pelo menos uma tabela de consulta como uma informação para a geração do fator de ponderação quando o pelo menos um sensor falha ou quando o comando de dosagem resultante não é atualizado durante um período de tempo.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo** fato de que a tabela de consulta compreende uma informação de velocidade do motor e uma informação de nível de combustível total.

9. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o fator de ponderação, um valor o qual varia entre 0 e 1, aplicado a um comando de

dosagem limite superior compreende um produto do comando de dosagem limite superior, cmd. limite, e o fator de ponderação, fator, de acordo com a fórmula: $\text{cmd. limite} * \text{fator}$, e o fator de ponderação aplicado ao comando de dosagem limite inferior compreende um produto do comando de dosagem limite inferior, cmd. feed-forward, e a diferença de 1 e o fator de ponderação, $1 - \text{fator}$, de acordo com a fórmula: $\text{cmd. feed-forward} * (1 - \text{fator})$.

10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o comando de dosagem limite inferior compreende um cálculo baseado em uma emissão alvo para o sistema de exaustão, e o comando de dosagem limite superior compreende um cálculo baseado no escorregamento máximo permitidos de amônia.

11. Aparelho, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo** fato de que o escorregamento máximo permitido de amônia é de 25 ppm ou menos.

12. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o comando de dosagem limite superior é gerado baseado em cálculos lineares da razão de pelo menos uma amônia para NO_x .

13. Aparelho, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo** fato de que o comando de dosagem limite superior é gerado baseado em um processo de exame de resultado configurado para examinar se os cálculos lineares são válidos e configurado para selecionar um resultado de cálculo linear válido como o comando de dosagem limite superior.

14. Método de geração de um comando de dosagem para

introduzir um redutor em um sistema de exaustão **caracterizado pelo** fato de compreender:

detectar o NO_x produzido durante a combustão do motor com um sensor;

receber um sinal do NO_x detectado pelo sensor com um controlador;

processar o sinal com o controlador para gerar um comando de dosagem, o qual compreende:

cálculo de um comando de dosagem limite inferior com o controlador, o comando de dosagem limite inferior compreendendo um cálculo baseado em uma emissão máxima permitida de NO_x para o sistema de exaustão;

cálculo de um comando de dosagem limite superior com o controlador, o comando de dosagem limite superior compreendendo um cálculo baseado em um escorregamento máximo permitido de amônia;

geração de um fator de ponderação com o controlador, o fator de ponderação compreendendo um cálculo baseado em um sinal de NO_x detectado;

processamento dos comandos de dosagem limite inferior e superior com o controlador usando o fator de ponderação; e

geração de um comando de dosagem resultante com o controlador baseado em um cálculo dos comandos de dosagem limite inferior e superior processados, o comando de dosagem resultante sendo um valor dentro dos valores finais dos comandos de dosagem limite superior e inferior.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelo** fato de que a geração do fator de

ponderação compreende o recebimento de um sinal do sensor usando um módulo de controle de feedback, o cálculo do fator de ponderação usando o sinal do sensor e a distribuição do fator de ponderação para o controlador para processar os comandos de dosagem limite inferior e superior usando o fator de ponderação.

16. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelo** fato de que a geração do comando de dosagem resultante compreende atualização periódica do comando de dosagem resultante.

17. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelo** fato de que a geração do comando de dosagem resultante compreende o uso de pelo menos uma tabela de consulta como uma informação para geração do fator de ponderação quando o sensor falha ou quando o comando de dosagem resultante não é atualizado durante um período de tempo.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo** fato de que a tabela de consulta compreende uma informação de velocidade do motor e uma informação de nível de combustível total.

19. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelo** fato de que o comando de dosagem limite inferior compreende um cálculo baseado na emissão alvo para o sistema de exaustão e o comando de dosagem limite superior compreende um cálculo baseado em escorregamento máximo permitido de amônia.

20. Método, de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado pelo** fato de que o escorregamento máximo

permitido de amônia é de 25 ppm ou menos.

21. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelo** fato de que o cálculo do comando de dosagem limite superior ainda compreende realizar cálculos lineares da razão de pelo menos uma amônia para NO_x.

22. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo** fato de que ainda compreende o exame da validade de suposições para os cálculos lineares e a seleção de um resultado de cálculo linear válido como o comando de dosagem limite superior.

23. Sistema de exaustão com redução catalítica seletiva **caracterizado pelo** fato de compreender:

um dispositivo de redução catalítica seletiva incluindo uma entrada e uma saída;

pelo menos um sensor operativamente conectado à saída do dispositivo de redução catalítica seletiva, pelo menos um sensor configurado para detectar o NO_x produzido durante a combustão do motor;

um controlador operativamente conectado com pelo menos um sensor, o controlador configurado para receber um sinal de NO_x detectado pelo sensor, o controlador configurado para processar um sinal de pelo menos um sensor com base no NO_x detectado por pelo menos um sensor, o controlador configurado para processar o sinal de pelo menos um sensor e gerar um comando de dosagem resultante tendo uma instrução para introduzir um redutor no sistema de exaustão, o comando de dosagem resultante incluindo um comando de dosagem limite inferior, um comando de dosagem limite superior e um fator de ponderação, o fator de

ponderação configurado para ser aplicado aos comandos de dosagem limite superior e inferior, o fator de ponderação configurado para converter os comandos de dosagem limite inferior e superior para valores finais do comando de dosagem resultante; e

um dosador operativamente conectado ao controlador e conectado ao dispositivo de redução catalítica seletiva, o dosador configurado para receber o comando de dosagem resultante e configurado para introduzir o redutor no sistema de exaustão na entrada do dispositivo de redução catalítica seletiva e baseado no comando de dosagem resultante.

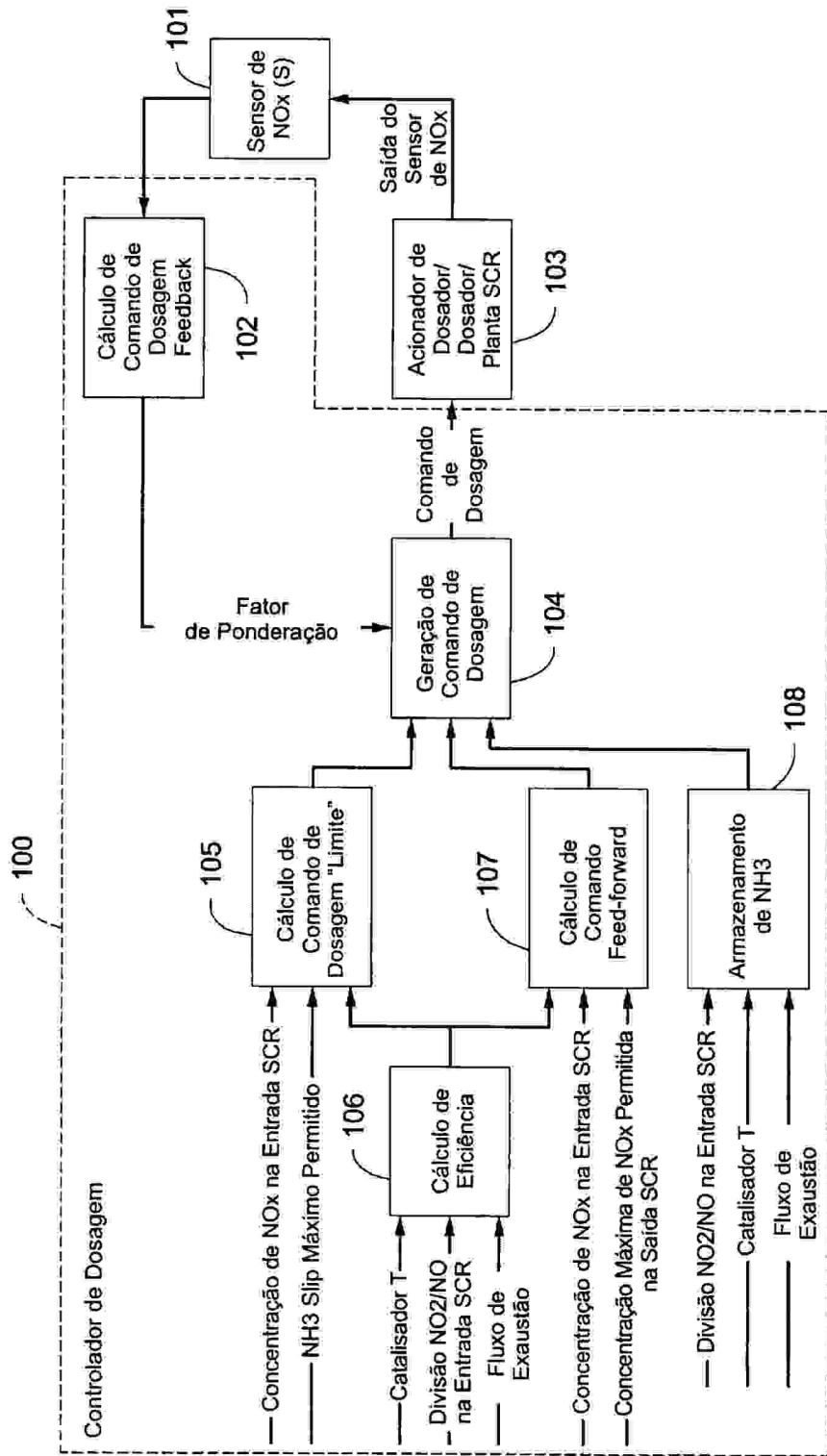


FIGURA 1

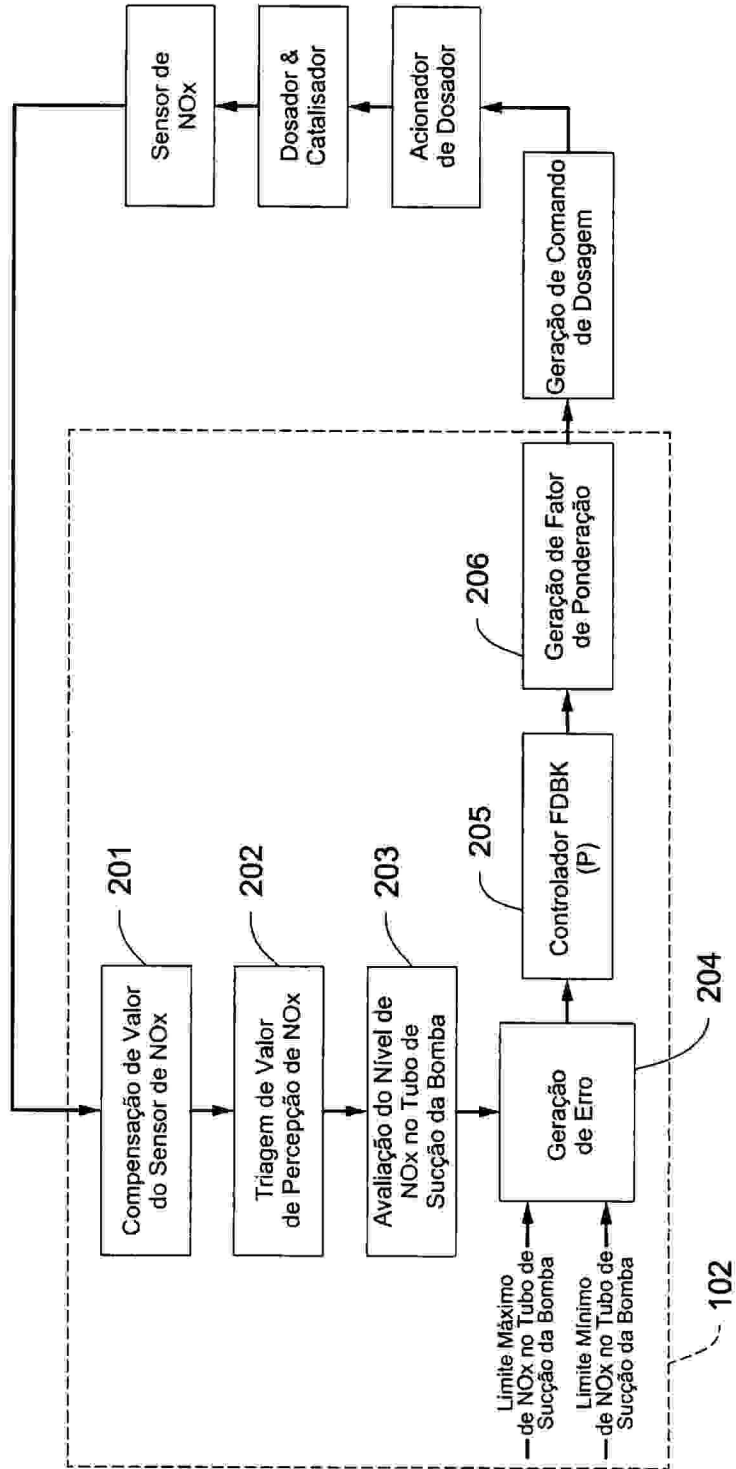


FIGURA 2

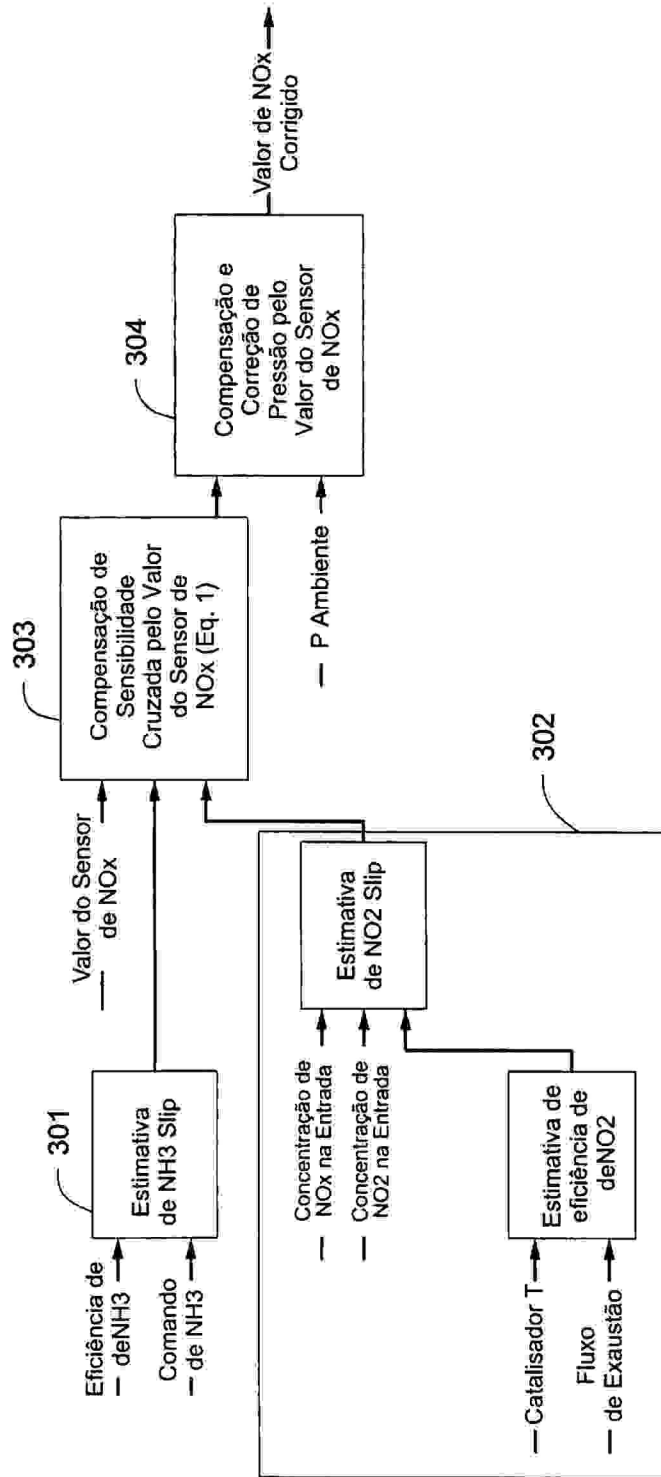


FIGURA 3

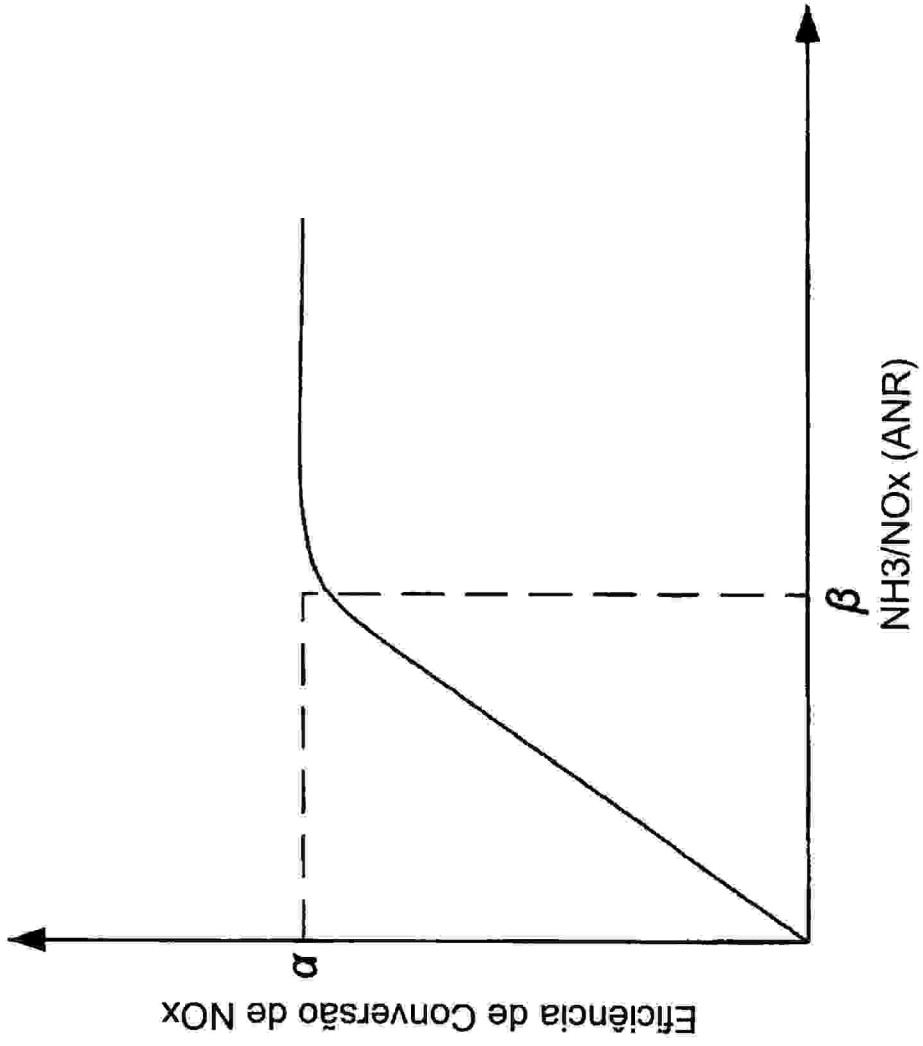


FIGURA 4

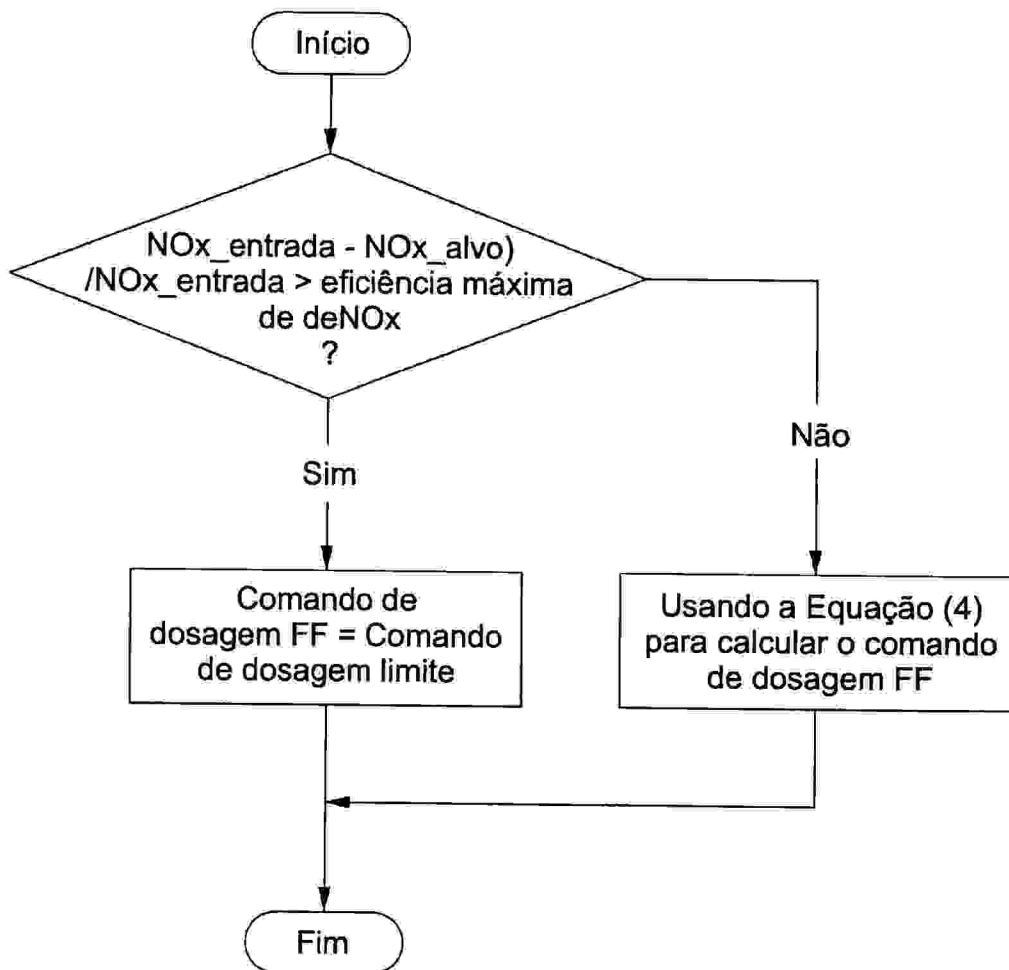


FIGURA 5

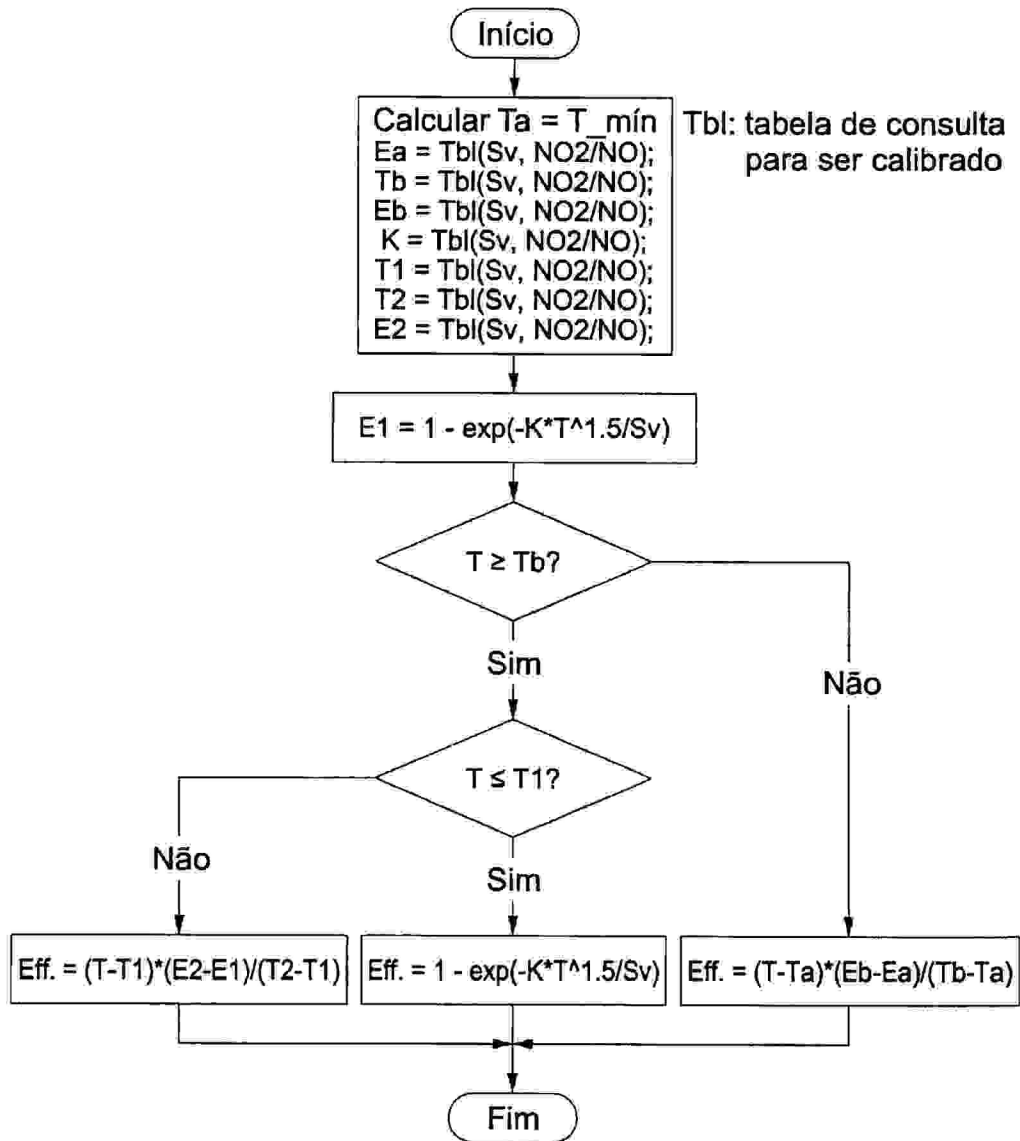


FIGURA 6

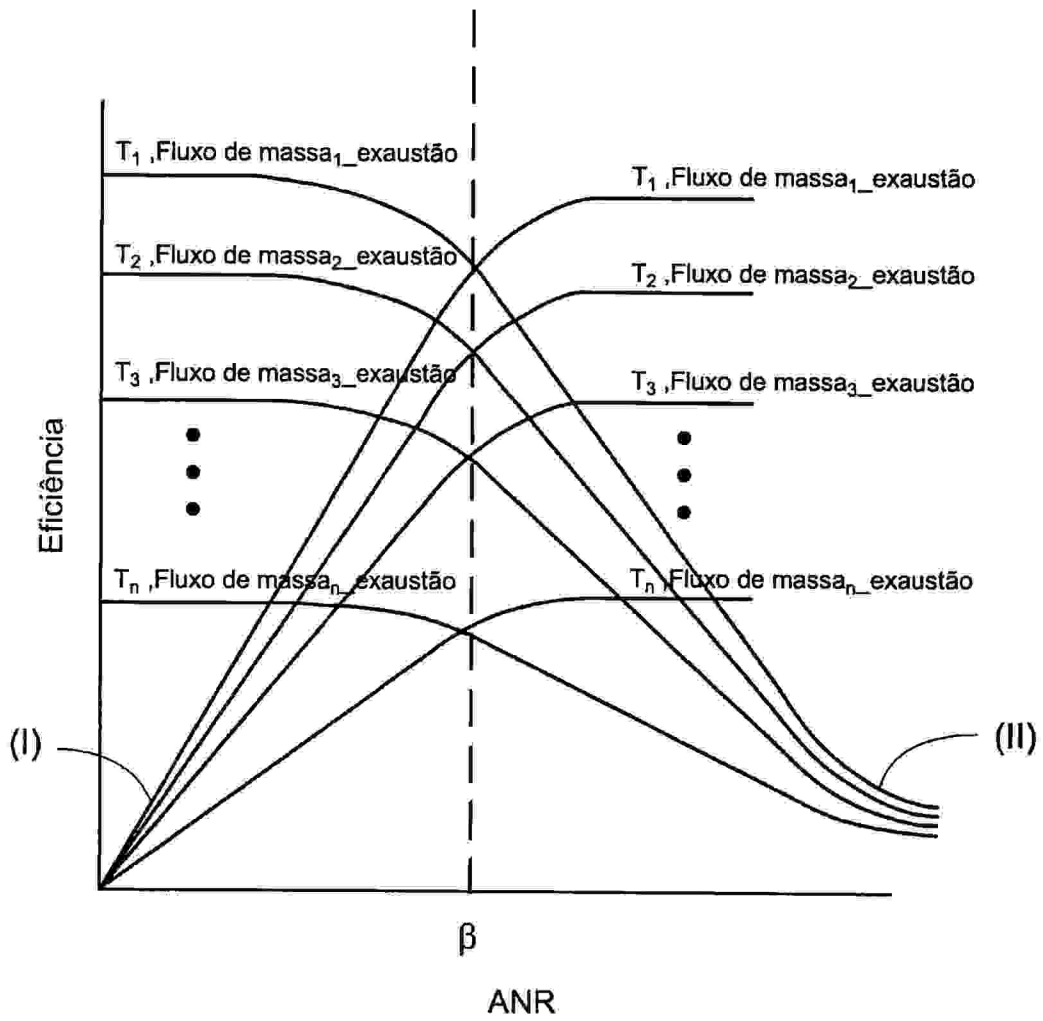


FIGURA 7

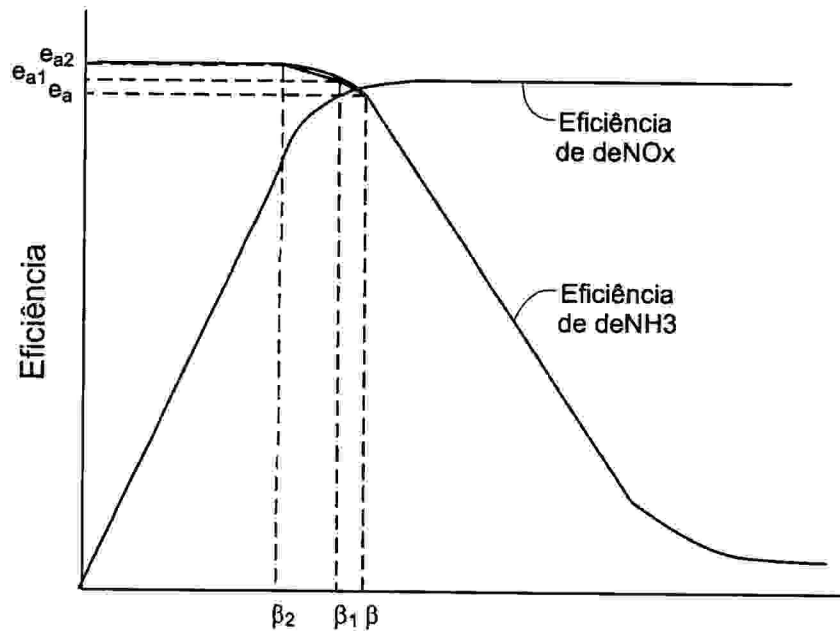


FIGURA 8A

ANR

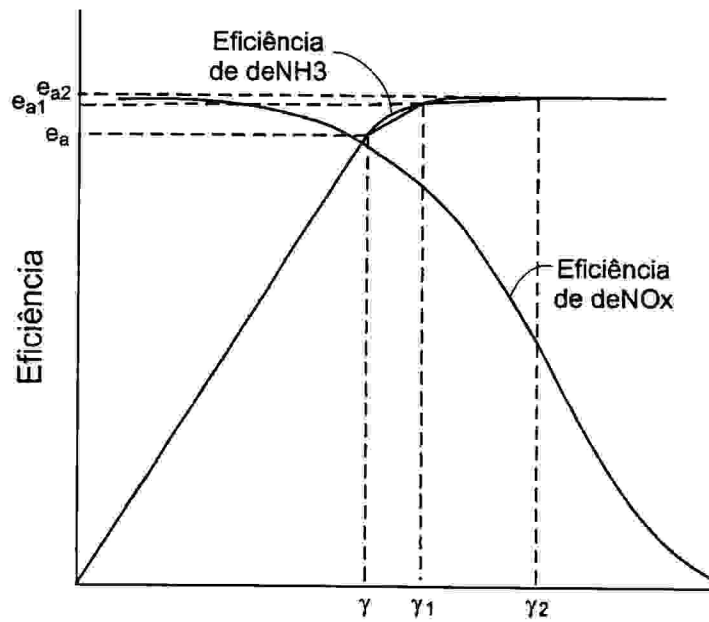


FIGURA 8B

ANR

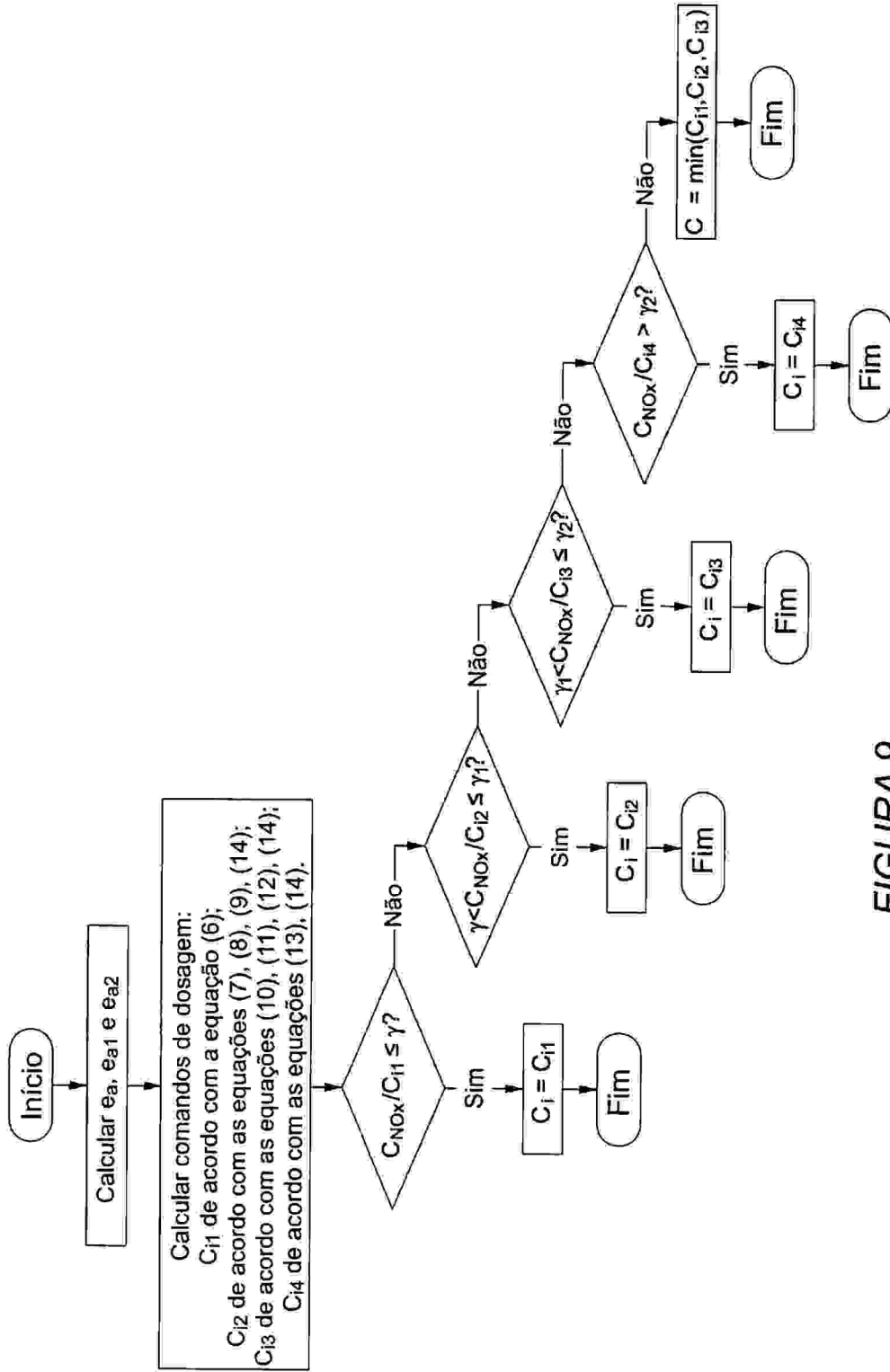


FIGURA 9

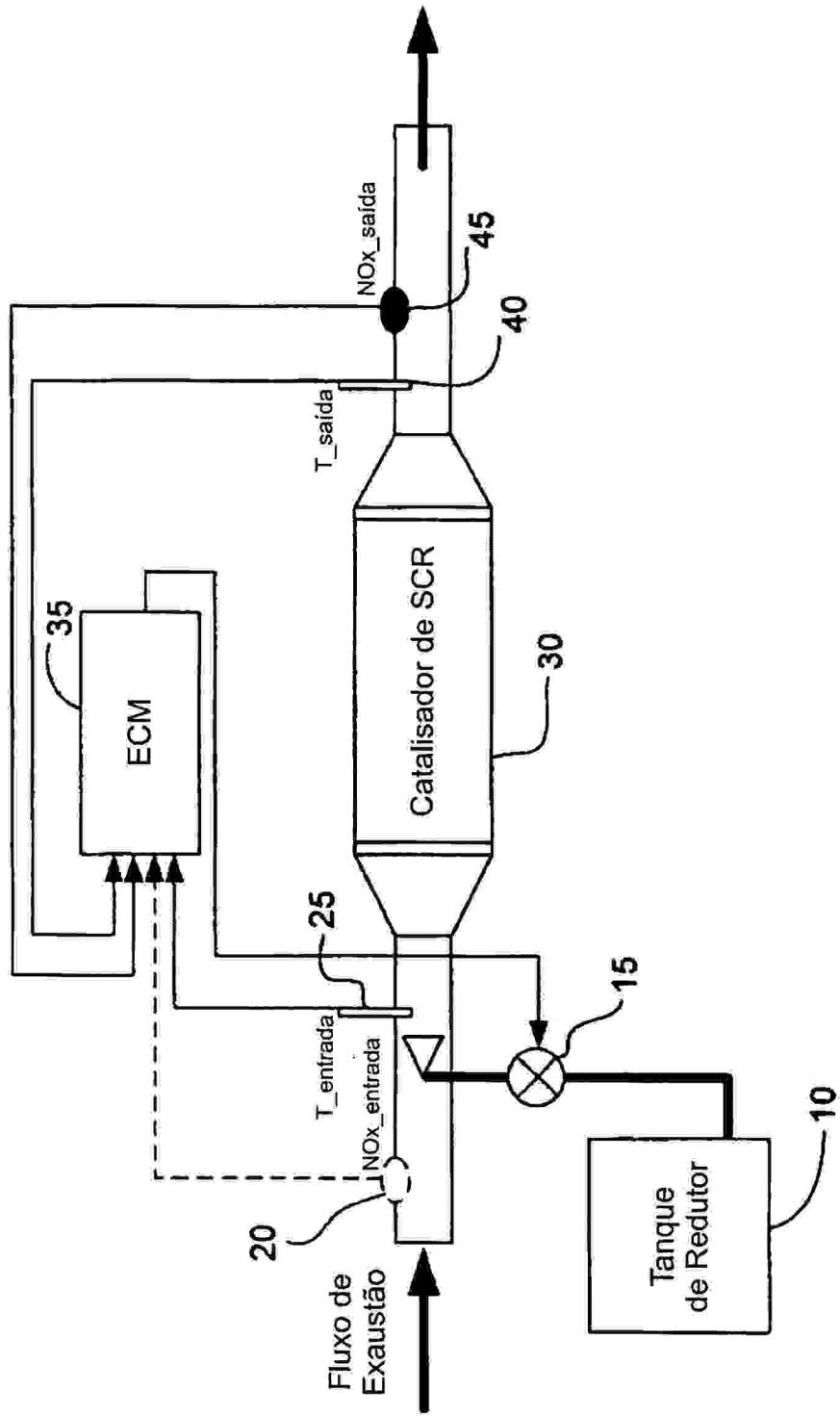


FIGURA 10