



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

(21) **PI0214668-1 A2**

(22) Data de Depósito: 03/12/2002
(43) Data da Publicação: 05/07/2011
(RPI 2113)



(51) *Int.Cl.:*
F01N 3/08 2006.01
F01N 3/20 2006.01
F01N 3/28 2006.01

(54) Título: **SISTEMA E MÉTODOS PARA UM CONTROLE DE EMISSÃO MELHORADO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

(30) Prioridade Unionista: 03/12/2001 US 60/337,023

(73) Titular(es): Catalytica Energy Systems, Inc.

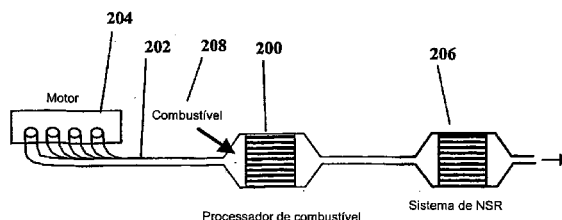
(72) Inventor(es): Joel Cizeron, Ralph Dalla Betta

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US0238813 de 03/12/2002

(87) Publicação Internacional: WO 03/048536 de 12/06/2003

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODOS PARA UM CONTROLE DE EMISSÃO MELHORADO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA. A presente invenção provê sistemas e métodos para melhoria da performance e controle de emissão de motores de combustão interna equipados com sistemas de controle de emissão de redução de armazenamento de áxidos de nitrogênio ("NSR") (206). O sistema compreende um catalisador de NSR (206), um processador de combustível (200) localizado a montante do catalisador de NSR, e pelo menos uma janela de injeção de combustível (208). O processador de combustível (200) converte um combustível em uma mistura de gás de redução compreendendo CO e H₂. A mistura de gás de redução, então, é alimentada para o catalisador de NSR (206), onde ele regenera o adsorvente de NSR, reduz o NO_x para nitrogênio e, opcionalmente, de forma periódica, dessulfata o catalisador de NSR. O processador de combustível (200) compreende um ou mais catalisadores, os quais facilitam as reações tais como combustão, oxidação parcial e/ou reformação, e ajudam a consumir o oxigênio em excesso presente no fluxo de escapamento do motor. Os métodos da presente invenção provêem uma regeneração de adsorvente de catalisador de NSR. As estratégias de controle são providas para o controle do sistema e dos métodos da invenção.





PI0214668-1

PI0214668

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "SISTEMA E MÉTODOS PARA UM CONTROLE DE EMISSÃO MELHORADO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA".

Referência Cruzada a Pedidos Relacionados

- 5 Este pedido reivindica prioridade para o Pedido de Patente U.S. Nº de Série 60/337.023, depositado em 3 de dezembro de 2001 e intitulado "Devices and Methods for Improved Emission Control of Internal Combustion Engines", o qual, desse modo, é incorporado como referência em sua totalidade.

10 Campo da Invenção

- Esta invenção refere-se, geralmente, a motores de combustão interna ("IC") e, mais particularmente, a dispositivos, sistemas e métodos para melhoria da performance e controle de emissão de motores IC que produzem emissões de óxidos de nitrogênio ("NO_x"). Ela ainda refere-se, geralmente, a sistemas de controle de emissão, sistemas de reação catalítica e processamento de combustível.

Antecedentes da Invenção

- Os esforços para se melhorar a qualidade do ar levaram a controles e regulamentos estritos de emissão emitidos pelo governo. Ao longo dos últimos 30 anos, as emissões admissíveis de motores de gasolina de ignição por centelha têm sido substancialmente reduzidas. Em tensão com os esforços para redução das emissões está um desejo geral por uma eficiência aumentada de combustível. Isto é um problema particularmente com motores diesel, os quais, embora sejam muito eficientes, freqüentemente produzem emissões muito altas de NO_x e matéria em partículas ("PM"). De fato, de modo a se estar em conformidade com os regulamentos de motor de ignição por centelha a gasolina, as emissões de um motor a diesel moderno devem ser reduzidas por um fator em torno de 10 a 50, dependendo do tipo específico de motor.

- 30 Motores de queima pobre incluem motores de ignição por centelha ("SI") e de ignição por compressão ("CI"). Em comparação com os motores SI convencionais, os motores SI de queima pobre oferecem uma

economia de combustível de 20 a 25% maior, enquanto os motores CI oferecem uma economia de combustível de 50 a 100% maior. Os motores CI são amplamente usados por todos os Estados Unidos em células de carga pesada e espera-se que seu uso em veículos de carga leve cresça. Os motores CI também são amplamente usados pela maior parte de todo o mundo em veículos de passageiros, caminhões de carga leve e pesada e geradores de energia elétrica.

Atualmente, o controle de emissão automotiva é baseado grandemente em uma tecnologia de catalisador de três vias, a qual reduz as emissões de monóxido de carbono ("CO"), hidrocarbonetos não queimados ("UHCs") e NO_x . Esta tecnologia pode ser altamente efetiva para motores a gasolina comuns operando em relações de ar / combustível estequiométricas ou quase estequiométricas. Entretanto, a tecnologia de catalisador de três vias, geralmente, não é adequada para motores de queima pobre, os quais geram uma mistura de escapamento geral muito pobre contendo um grande excesso de oxigênio. Isso é porque o oxigênio em excesso no escapamento impede a redução de NO_x , uma grande limitação dos motores de queima pobre e da tecnologia de controle de emissão à base de TWC. Por exemplo, no caso de motores a diesel de queima pobre, o sistema de controle de emissão deve remover NO_x e PM de um fluxo de escapamento contendo um oxigênio em excesso de 6 a 15%.

Muitas tecnologias, portanto, foram exploradas para se resolver o problema de remoção de NO_x de um escapamento de motor de queima pobre. Uma tecnologia como essa utiliza sistemas de redução de armazenamento de NO_x ("NSR" ou tipo de NSR). Esta tecnologia foi descrita por toda a literatura científica e, geralmente, é bem conhecida na técnica. Por exemplo, uma descrição desta tecnologia pode ser encontrada em S. Matsumoto, CATTECH, Vol. 4, Nº 2, pp. 102-109, 2000 e nas referências citadas ali, todas as quais, desse modo, sendo incorporadas como referência em sua totalidade.

Como descrito aqui, um catalisador de NSR típico tem um sistema de adsorvente – catalisador, provendo as funções duplas de armazena-

5 mento de NO_x reversível ou aprisionamento e redução de NO_x . Um compo-
 nente do catalisador de NSR reage com NO_x no fluxo de gás, para capturá-
 lo, sob condições de oxidação ou condições em que o fluxo de escapamento
 contém O_2 em excesso. Este componente é selecionado de modo que,
 10 quando o fluxo de escoamento for feito reduzir, isto é, conter espécies de
 redução de excesso, o NO_x seja liberado. O catalisador de NSR também
 contém um catalisador de redução de NO_x que reage NO_x com um agente
 de redução, sob condições de redução, para a formação de N_2 não poluente.
 Quando o fluxo de escapamento é feito reduzir, o NO_x é liberado e este NO_x
 10 reage com espécies de redução no catalisador de redução de NO_x , para
 formar N_2 . Um exemplo de um sistema de adsorvente – catalisador é o sis-
 tema $\text{Pt} / \text{Rh} / \text{Ba} / \text{TiO}_2 / \text{ZrO}_2 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, o qual tem sido usado comercial-
 mente em veículos no Japão.

15 As vantagens principais do catalisador de NSR são sua compa-
 tibilidade e efetividade com motores de IC de queima pobre de combustível
 eficiente; sua aceitação comercial; seu uso desnecessário de amônia ou
 uréia como agentes de redução; e sua capacidade de obtenção de altas
 conversões de NO_x , quando operado em condições ideais. Por exemplo,
 conversões de NO_x de 90 a 100% foram obtidas em testes de motores diesel
 20 sob condições ideais, usando-se combustível diesel como um agente de re-
 dução.

Entretanto, a tecnologia de NSR tem algumas sérias desvanta-
 gens e limitações também. Durante uma regeneração do catalisador de
 NSR, o ambiente do catalisador de NSR deve ser tornado rico para conver-
 25 são do NO_x aprisionado em N_2 e para a regeneração do catalisador. Se o
 ambiente de redução no escapamento fosse para ser obtido pela modifica-
 ção da operação do motor de pobre para rica, então, o ciclo do motor estaria
 operando em uma região em que ele não foi projetado para operar. Por
 exemplo, um motor a diesel, o qual, usualmente, opera sem um estrangula-
 30 mento na admissão de ar, requeria um estrangulamento para direcionar a
 relação ar / combustível para o regime rico. Além disso, isto teria de ser feito
 rapidamente e bastante freqüentemente, a partir de cerca de a cada 2 a 20

minutos.

Um combustível pode ser injetado no fluxo de escapamento e queimado no catalisador de NSR em um catalisador de oxidação a montante, de modo a se consumir o oxigênio e a produzir o ambiente de redução. A

5 altas temperaturas de escapamento, isto mostrou dar ciclos de regeneração e uma conversão de NO_x razoáveis. A uma baixa carga e a temperaturas de escapamento baixas, contudo, este procedimento não funciona bem, uma vez que o catalisador não é suficientemente reativo com combustível diesel. Além disso, as altas temperaturas produzidas poderiam direcionar o catali-

10 sador de NSR para uma temperatura indesejavelmente alta.

Uma outra desvantagem da tecnologia de NSR é que os adsorventes de NSR, tipicamente, são muito sensíveis a enxofre. O material adsorvente de NO_x pode reagir com óxidos de enxofre contidos no combustível para a formação de sulfatos, como descrito, por exemplo, em S. Matsumoto,

15 CATTECH, Vol. 4, Nº 2, pp. 102-109, 2000; K. Yamazaki et al., Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 30, Nº 3 e 4, pp. 459-468, 2001 e nas referências citadas ali, todas as quais sendo, desse modo, incorporadas como referência em sua totalidade. Estes sulfatos não são prontamente decompostos e lentamente convertem o adsorvente de NO_x em um sulfato inativo, redu-

20 zindo sua eficiência de aprisionamento. Mesmo com um combustível de baixo enxofre (por exemplo, na faixa de 15 ppm), o catalisador de NSR dura apenas cerca de 805 a 1609 km terrestres, antes de sua eficiência de aprisionamento de NO_x tornar-se significativamente reduzida. Para a produção de um catalisador de NSR que durasse de 241402 a 643738 km como requeri-

25 do pelos regulamentos de emissões atuais e por vir, a unidade de NSR teria de ser projetada grande demais para ser convenientemente utilizada na indústria. Embora tenha sido descoberto que a unidade de catalisador de NSR pode ser dessulfatada por um tratamento em uma atmosfera de redução a temperaturas de 500 a 650°C, é muito difícil operar um motor de maneira a

30 se produzir este ambiente na unidade de aprisionamento de NSR em si.

O uso de um combustível diesel como um redutor por injeção direta no escapamento não é muito efetivo a temperaturas de fluxo de esca-

pamento de 150 a 250°C, o que cobre uma porção significativa do ciclo de operação de um motor diesel, incluindo inativo e com carga baixa. Embora altas conversões de NO_x sejam possíveis usando-se um redutor de diesel a altas temperaturas de entrada (por exemplo, variando de 250 a 300°C ou
5 acima), estas temperaturas, freqüentemente, não são obteníveis por um espectro suficientemente amplo de condições de operação, para tornar esta abordagem útil. Outros agentes de redução, tais como hidrogênio, monóxido de carbono, álcoois e alguns hidrocarbonetos de peso molecular baixo (por exemplo, propileno), são mais reativos a baixas temperaturas e podem pro-
10 ver melhores capacidades de redução em uma faixa mais ampla de condições de operação. Entretanto, o uso destes materiais requereria que o veículo tivesse uma fonte de combustível adicional, impondo uma infraestrutura significativa e implicações de projeto, bem como custos aumentados. Estas desvantagens e limitações grandemente impediram o uso comercial difundido e a aceitação da tecnologia de NSR.

O pedido de patente PCT publicado WO 01/34959 A1 de H. S. Hwang *et al.*, o qual é incorporado, desse modo, como referência em sua totalidade, mostra uma abordagem para se melhorar a regeneração de um catalisador de NSR. Este pedido descreve uma unidade de processador de
20 combustível que recebe combustível e ar e os processa por um catalisador para a produção de uma mistura de combustível parcialmente reagido e, possivelmente, algum H₂ e CO em um sistema externo ao sistema de escapamento. A mistura de combustível parcialmente reagida, então, é injetada no fluxo de escapamento, quando surgir uma necessidade de uma regeneração de catalisador de NSR.

Esta abordagem tem várias desvantagens, contudo. Em primeiro lugar, o processador é limitado a produzir os agentes de redução, ele não auxilia na redução do nível de oxigênio no escapamento. Além disso, este dispositivo não pode prover uma temperatura de escapamento alta o bas-
30 tante para facilitar a regeneração de catalisador de NSR ótima ou uma des-sulfuração. Ainda, se o dispositivo for para ser usado apenas de forma intermitente, o combustível e o ar devem ser operados de forma intermitente. Isto

pode ser muito difícil, uma vez que o processador de combustível deve ser mantido em temperaturas elevadas para funcionar apropriadamente. Durante uma operação inativa ou de carga baixa, o catalisador de NSR pode ser regenerado apenas uma vez a cada 10 a 20 minutos para uma economia
5 ótima de combustível. Além disso, uma vez que o processador de combustível deve ser mantido a temperaturas elevadas por períodos muito longos, mesmo quando não necessário, o gasto de energia é significativamente aumentado e a economia de combustível é afetada de modo adverso. Por último, devido ao fato de combustível parcialmente processado, H_2 e CO podem ser gerados continuamente, eles devem ser armazenados até ser necessário para o ciclo de regeneração. Isto complica o projeto do sistema geral. Assim, permanece uma necessidade de métodos e dispositivos que possam eliminar as desvantagens e as limitações dos sistemas de NSR atualmente disponíveis e, ao mesmo tempo, que provejam uma solução prática
10 para os problemas de emissões e eficiência de combustível atuais.

Breve Resumo da Invenção

A presente invenção preenche esta necessidade pela provisão de sistemas e processos que possibilitam a tecnologia de NSR. Desta forma, um uso comercial em larga escala de motores a diesel e de outros de quei-
20 ma pobre com tecnologias de NSR é facilitado. Isto, por sua vez, ajuda a conservar petróleo e a reduzir as emissões de gás de efeito estufa, enquanto garante uma conformidade com regulamentos ambientais estritos.

Assim sendo, é um objetivo da presente invenção prover melhoramentos na performance e nas emissões de motores de IC de queima pobre equipados com sistemas de controle de emissão de NSR ou tipo de
25 NSR. É um outro objetivo prover um dispositivo capaz de converter um combustível, tal como diesel ou gasolina, em uma mistura de gás de redução contendo CO e H_2 a uma temperatura compatível para uso com sistemas de NSR. É ainda um outro objetivo prover uma mistura de gás de redução capaz de regenerar um adsorvente de NO_x , reduzir NO_x para nitrogênio e, periodicamente, dessulfatar um catalisador de sistema de controle de emissão
30 tipo de NSR. É ainda um objetivo adicional prover um agente de redução de

NO_x e um agente de dessulfatação de adsorvente – catalisador que seja mais eficiente do que um combustível diesel. É ainda um objetivo adicional permitir que motores de IC sejam operados em um modo de queima pobre contínua, ao invés de em um modo intermitente de queima rica / pobre. Estes e outros objetivos e vantagens tornar-se-ão evidentes a partir da descrição estabelecida a partir deste ponto e nos desenhos anexados a esta.

Em um aspecto, a presente invenção cumpre estes objetivos pela provisão de um sistema para redução de NO_x em um fluxo de escape contendo oxigênio em excesso, que compreende um catalisador de NSR, um processador de combustível e pelo menos uma janela injetora de combustível. O processador de combustível está localizado em uma posição a montante do catalisador de NSR e compreende uma entrada, uma saída e pelo menos um catalisador. O combustível é injetado na janela de injeção de combustível e reage com o catalisador de processador de combustível para rapidamente aumentar a temperatura de pelo menos uma porção do catalisador de processador de combustível e pelo menos uma porção dele é convertida para H₂ e CO.

Em algumas variações, o sistema ainda compreende uma massa térmica que tem uma capacidade térmica maior do que aquela do processador de combustível. A massa térmica, por exemplo, pode ser um filtro de PM, uma estrutura monolítica, ou pode ser uma porção do catalisador de NSR ou do processador de combustível. O sistema, opcionalmente, pode compreender um pré-aquecedor de combustível, um vaporizador de combustível, um misturador e um sistema de controle.

Em um outro aspecto, a presente invenção cumpre estes objetivos pela provisão de um método para a regeneração de um adsorvente de catalisador de NSR, que compreende as etapas de provisão de um fluxo de escape a partir de um motor, injeção de combustível em uma posição a montante de um processador de combustível, opcionalmente mistura do fluxo de escape com o combustível, reação da mistura de combustível e de fluxo de escape no processador de combustível para a geração de uma mistura de gás de redução que compreende CO e H₂ e introdução

da mistura de gás de redução em uma armadilha de NO_x , por meio do que o adsorvente é regenerado pela introdução da mistura de gás de redução.

Em uma variação, o combustível é vaporizado antes da injeção. Em uma outra variação, o combustível é injetado em uma relação de equivalência maior do que 1. Em uma outra variação, o combustível pode ser gasolina ou combustível diesel. Ainda em uma outra variação, pelo menos uma porção do catalisador é aquecida até pelo menos 500°C .

Em um outro aspecto, a presente invenção cumpre estes objetivos pela provisão de uma unidade de processador de combustível para uso com um sistema de NSR, que compreende uma entrada, uma saída, pelo menos um catalisador e pelo menos uma janela de injeção de combustível. A janela de injeção de combustível está localizada em uma posição a montante do catalisador e facilita a injeção de combustível no catalisador. Pelo menos uma porção do combustível reage no catalisador para rapidamente elevar a temperatura de pelo menos uma porção do catalisador, e pelo menos uma porção do combustível é convertida em H_2 e CO . Em algumas variações, a unidade de processador de combustível ainda compreende um misturador ou catalisadores adicionais.

Ainda em um outro aspecto, a presente invenção provê estratégias de controle para uso com os sistemas e os métodos da presente invenção.

Breve Descrição dos Desenhos

Os aspectos precedentes e outros da presente invenção serão mais bem apreciados com referência à descrição detalhada em conjunto com os desenhos em anexo, onde:

a figura 1 descreve a adsorção e a redução de NO_x em um sistema de NSR ilustrativo.

A figura 2 ilustra uma variação do sistema da presente invenção, onde um processador de combustível está localizado a jusante de um sistema de NSR.

A figura 3 ilustra uma variação do processador de combustível da presente invenção, onde o processador de combustível compreende um

catalisador único.

A figura 4 provê um gráfico baseado no tempo que ilustra um método de operação do processador de combustível de acordo com a presente invenção.

5 A figura 5 ilustra uma variação da presente invenção, onde o processador de combustível compreende dois catalisadores em série.

A figura 6 ilustra uma variação da presente invenção, onde o processador de combustível compreende dois catalisadores em paralelo.

10 A figura 7 provê um conjunto ilustrativo de curvas de resposta térmica para os processadores de combustível tendo diferentes massas térmicas.

A figura 8 provê resultados de teste indicando um rápido aquecimento e a geração de H_2 usando-se a presente invenção.

15 A figura 9 provê resultados de teste indicando um rápido aquecimento e a geração de H_2 usando-se a presente invenção com uma programação alternativa de combustível e motor.

A figura 10 provê resultados de teste usando-se um possível esquema de dessulfatação usando-se o processador de combustível da presente invenção.

20 A figura 11 provê resultados de teste indicando um rápido aquecimento e a geração de H_2 e CO usando-se a presente invenção com um sistema contendo uma massa térmica a jusante do processador de combustível.

Descrição Detalhada da Invenção

25 Em um aspecto, a presente invenção provê um sistema para a melhoria da performance e o controle de emissão de motores de IC e, em particular, motores de queima pobre equipados com um catalisador de NSR. Quando uma referência for feita a um "catalisador de NSR", deve ser compreendido que todos os sistemas tendo um sistema de adsorvente – catali-
30 sador de NO_x são realizados segundo isto. Fazendo-se uma referência, agora, aos desenhos, onde números iguais indicam elementos iguais por todas as vistas, é ilustrada, na figura 1, a operação de um catalisador de NSR típi-

co.

Como mostrado aqui, conforme um gás de escapamento flui através do catalisador durante um ciclo de adsorção 100, NO_x é adsorvido na presença de oxigênio em excesso por um adsorvente. O catalisador de NSR pode ser projetado de modo que a adsorção seja muito eficiente, com uma adsorção quase completa de NO_x a partir do fluxo de escapamento, como mostrado pela curva 102. O catalisador de NSR, tipicamente, compreende um recipiente situado na unidade de escapamento para se permitir que o gás de escapamento flua através dele. Os catalisadores típicos são estruturas monolíticas tipo de favo de mel tendo os componentes adsorventes e catalisadores revestidos sobre suas superfícies ou paredes.

Conforme o adsorvente no catalisador de NSR torna-se saturado com NO_x , a adsorção torna-se menos completa e o nível de NO_x que sai da armadilha de NO_x começa a aumentar, como mostrado pela curva 104. Neste ponto, a composição do fluxo de escapamento é mudada de um estado de oxidação para um de redução, e o ciclo de redução 106 começa. Um agente de redução, então, é introduzido e o nível de oxigênio é reduzido para zero, como mostrado pela curva 108.

Em um ambiente de redução, o NO_x é desorvido do adsorvente e é reduzido para nitrogênio pelos componentes catalíticos da armadilha de NO_x . Esta reação, geralmente, ocorre com uma velocidade suficiente de modo que um ciclo de redução 106 seja relativamente curto, enquanto, ao mesmo tempo, permite que um tempo suficiente decorra, de modo que uma fração significativa da capacidade de adsorção de NO_x seja regenerada. A composição de escapamento, então, reverte de volta para sua condição de oxidação normal, e todo o ciclo é repetido. Tipicamente, um ciclo de adsorção 100 dura qualquer coisa entre 1 e 5 minutos a uma carga alta e, possivelmente, 20 minutos a uma carga baixa ou inativa. O ciclo de regeneração – redução 106, tipicamente, dura de 1 a 10 segundos e, possivelmente mais, dependendo do tempo requerido para a regeneração do catalisador de NSR.

A composição de gás de redução para regeneração – redução é obtida pela injeção de combustível extra nos cilindros do motor tarde na

combustão (isto é, durante o fim do curso de potência ou durante o curso de escapamento), ou diretamente no tubo de escapamento a montante do sistema de NSR. A performance geral de conversão ou remoção de NO_x desta tecnologia é afetada pela performance de regeneração – redução do sistema de adsorvente – catalisador. Assim, se o ciclo de regeneração for ineficiente, o ciclo de adsorção subsequente é ineficiente e os níveis de NO_x saindo do escapamento, tipicamente, são muito altos.

Voltando-nos, agora, para a figura 2, é mostrado um esquema geral do sistema da presente invenção. Como ilustrado ali, um processador de combustível 200 pode estar localizado em uma posição ao longo de um tubo de escapamento 202 a uma distância entre um motor 204 e um sistema de NSR 206. Desta forma, o fluxo de escapamento fluirá, primeiramente, através do processador de combustível 200 e, então, através do sistema de NSR 206. O processador de combustível 200 pode estar localizado em conjunto com o sistema de NSR 206 em uma estrutura de alojamento única, ou não. Em uma variação, como será descrito em maiores detalhes abaixo, o processador de combustível 200 é operado de forma intermitente para periodicamente regenerar o adsorvente de NSR do sistema de NSR 206. Quando da regeneração do adsorvente de NSR, o combustível 208 pode ser injetado no processador de combustível 200, injetado em uma posição a montante do processador de combustível 200, ou pode ser injetado diretamente na unidade de processador de combustível 200 e em uma posição a montante da mesma.

Em uma variação, o processador de combustível 200 compreende pelo menos um catalisador, como mostrado na figura 3. Como mostrado de forma ilustrativa ali, o processador de combustível 200 compreende uma entrada 300, uma saída 302, e pelo menos um catalisador 308. Pelo menos uma janela de injeção de combustível 304 e um misturador opcional 306 estão localizados em uma posição a montante do processador de combustível. Além disso, o processador de combustível 200 ainda pode compreender um pré-aquecedor, um vaporizador de combustível, uma janela de injeção secundária para a introdução de ar ou de um combustível adicional (não

mostrado) e um sistema de controle (não mostrado).

Como mostrado de forma ilustrativa na figura 3, o processador de combustível 200 compreende uma entrada 300 para o recebimento de uma mistura de gás de escapamento 310. A janela de injeção de combustível 304 está localizada em uma posição a montante do processador de combustível 200, para o recebimento de combustível ali. Após o combustível ser injetado na janela 304, ele entra no processador de combustível 200 e se combina com a mistura de gás de escapamento 310. O combustível a ser injetado na janela 304 pode tomar a forma de um vapor, um líquido ou uma combinação dos dois. Se o combustível injetado for um líquido, então, parte ou todo ele pode ser vaporizado, quando contatado pela mistura de gás de escapamento aquecida. A mistura pode acelerar mais esta vaporização. Assim, a mistura de gás de escapamento 310 e o combustível injetado podem passar através de um misturador opcional 306. O misturador 306 pode ser qualquer misturador adequado que promova a mistura de gases e auxilie na vaporização de gotículas de líquido.

A mistura pode ser suficientemente uniforme de modo que a relação de equivalência resultante (Φ) esteja em qualquer limite desejado, onde a relação de equivalência é a concentração de combustível dividida pela concentração de combustível teórica necessária para se reagir completamente todo o oxigênio presente na mistura de gás para a formação de CO_2 e H_2O . Por exemplo, se o processador de combustível for para ser usado para a redução da concentração de oxigênio no escapamento para zero, antes de entrar na armadilha de NO_x , então, o nível de mistura determinará a relação de equivalência de mistura requerida. Se o misturado produzir uma mistura na entrada de catalisador de $\pm 10\%$ de uniformidade, então, o combustível pode ser adicionado para dar uma relação de equivalência de 1,1, de modo que a relação de equivalência mais baixa no catalisador seja 1,0. De modo similar, para a porção do processador de combustível operando rica para produzir H_2 e CO , a uniformidade de mistura, provavelmente, será determinada pela relação de equivalência requerida e pela temperatura requerida para a obtenção da performance de reforma necessária. Em

geral, a uniformidade de mistura de $\pm 20\%$ é desejável, enquanto $\pm 10\%$ é mais desejável e $\pm 6\%$ é o mais desejável.

Em uma variação, um misturador estático (isto é, que não tem partes móveis) em linha, que mistura os componentes em um fluxo relativamente homogêneo, é usado. Nesta variação, o misturador atua pela mudança do escoamento dos componentes de fluxo de gás, desse modo causando uma mistura do fluxo de entrada. Vários tipos de misturadores estáticos estão comercialmente disponíveis e podem ser usados. Por exemplo, um tipo de misturador estático tem um arranjo de canais que se interceptam, que dividem o fluxo em porções, cujas porções, então, são reorganizadas e re-combinadas. Outros tipos de misturadores incluem um misturador espiralado e misturadores espiralados girando ao contrário, os quais imprimem um movimento de rodadoiro à mistura de gás. O misturador espiralado pode ter uma porção girando em uma direção e uma outra porção girando na direção oposta. Seções de tubo também podem ser usadas como misturadores. Por exemplo, seções retas de tubo com uma relação de comprimento / diâmetro interno (L/D_i) maior do que 5 ou seções curvas de tubo podem ser usadas.

Alternativamente, o misturador pode ter partes móveis, tais como ventiladores, turbinas ou dispositivos de entrada de energia acústica, os quais induzem turbulência ou mistura nos fluxos de gás. Tais misturadores são menos desejáveis, contudo, uma vez que as partes móveis podem se desgastar e requererem serviços e, também, podem requerer uma energia de entrada maior. Uma avaliação de qualquer melhoramento na eficiência de mistura deve ser feita, antes de se determinar se uma mistura não estática é suficientemente vantajosa para se tolerar a complexidade de projeto adicional e o consumo de energia.

Além disso, é possível que depósitos de verniz e carbonáceos se formem nas partes do misturador em contato com a aspersão de combustível, especialmente se o combustível tiver um alto peso molecular e for propenso a pirólise. O verniz é um revestimento tipo de hidrocarboneto formado pela pirólise parcial do combustível diesel. Partes do misturador podem ser revestidas com um catalisador capaz de oxidar estes depósitos de

verniz ou carbonáceos. Desta forma, o catalisador impede ou remove os depósitos, muito como um forno de limpeza contínua ou autolimpante.

Em uma variação, janelas de injeção de combustível podem ser usadas como misturadores. Em uma variação, as janelas de injeção de combustível estão localizadas a jusante do processador de combustível no tubo de escapamento e um comprimento de tubo de escapamento é usado para a mistura da mistura de gás uniformemente. A seção de comprimento de tubo necessária para a realização desta função, geralmente, é pensada como sendo de dez vezes a extensão do diâmetro do tubo. As janelas de injeção também podem estar localizadas a montante de uma curva no tubo de escapamento para se misturarem mais o combustível e o ar. Em alguns casos, pode ser desejável misturar o combustível e o ar rapidamente ou em uma distância curta, antes de sua introdução no catalisador. Isso é porque combustíveis pesados (por exemplo, combustíveis diesel) são propensos à pirólise ou a uma decomposição e produzem verniz e outros depósitos, os quais, por sua vez, podem levar à degradação do sistema. Em uma outra variação, as janelas de injeção de combustível do motor são usadas como misturadores.

O combustível e a mistura de escapamento, então, fluem para o catalisador 308 para reação. Uma porção do combustível reage com oxigênio, enquanto o combustível remanescente reage com água para a formação de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2) por processos bem conhecidos na técnica. O H_2 e o CO , então, fluem para fora do catalisador 308 e para fora do processador de combustível através da saída 302. O H_2 e o CO , então, podem fluir para jusante para o sistema de NSR 206, como mostrado na figura 2. Uma vez que a mistura de gás compreende uma mistura de gás de redução de H_2 e CO , contendo pouco ou nenhum oxigênio, a unidade de NSR será regenerada de forma rápida e eficiente. À conclusão deste ciclo de regeneração, o escoamento de combustível para o processador de combustível é terminado e o sistema retorna para o modo de adsorção.

O catalisador 308 pode compreender uma unidade de catalisador única ou pode compreender vários catalisadores em série. Por exemplo,

um primeiro catalisador pode ser projetado, primariamente, como um catalisador de combustão com uma composição de catalisador selecionada para reagir com parte do combustível e oxigênio para formar dióxido de carbono e água e gerar calor. O combustível em excesso e/ou o combustível injetado entre as unidades de catalisador, então, poderiam passar para uma segunda unidade de catalisador, onde o combustível em excesso poderia reagir com água e dióxido de carbono para a formação de CO e H₂. Este segundo catalisador pode ser projetado, primariamente, como um catalisador de reformação, por exemplo. Alternativamente, um catalisador único pode ser projetado tendo uma seção de entrada para oxidação e uma seção de saída para reformação. Desta forma, um catalisador único é provido, que efetivamente funciona como duas unidades separadas de catalisador.

O catalisador 308 pode compreender um ou mais metais ou óxidos como o catalisador ativo combinados com um suporte refratário de área superficial alta, muitos dos quais sendo bem conhecidos na técnica para oxidação de hidrocarbonetos. O catalisador pode ser aplicado como uma camada de óxido no substrato, um revestimento poroso tipicamente compreendendo uma mistura de suporte de área superficial alta e elementos de catalisador ativos. Alternativamente, o revestimento pode compreender um suporte com uma estrutura porosa, que tem uma segunda porção de óxido ou uma mistura de óxidos ativos para a oxidação de hidrocarbonetos ou carbono. O revestimento pode ser aplicado usando-se qualquer um de vários processos. Por exemplo, ele pode ser aplicado usando-se uma aspersão de chama de plasma, deposição de vapor de produto químico, eletrodeposição, deposição sem elétrons, aplicação de sol aspersível (compreendendo uma suspensão das partículas de catalisador em um líquido) ou pode ser aplicado por mergulho das partes em uma suspensão. Um exemplo de uma composição de catalisador que pode ser usada na presente invenção é descrito na Patente U.S. Nº 5.232.357 de Dalla Betta *et al.*, a qual é incorporada desse modo como referência em sua totalidade.

O combustível usado no processador de combustível pode ser qualquer combustível compatível com a unidade. Por exemplo, ele pode ser

do mesmo tipo de combustível que o usado no motor. Quando o combustível é um líquido, tal como um combustível diesel ou gasolina, a mistura de gás de escapamento pode não estar aquecida o suficiente para a vaporização completa do combustível. Nessas circunstâncias, a temperatura da mistura

5 pode ser aumentada o suficiente para fazer com que alguma parte do combustível reaja com o oxigênio no fluxo de escapamento que passa através do catalisador, desse modo fazendo com que a temperatura do catalisador aumente. Conforme o catalisador de processador de combustível 308 aumenta de temperatura, o combustível líquido remanescente pode ser vaporizado no

10 catalisador.

Alternativamente, o combustível pode ser pré-aquecido de modo que ele seja mais prontamente vaporizado mediante uma injeção. Um aquecedor de combustível opcional pode ser posicionado em qualquer local conveniente, dentro da unidade de processador de combustível em si ou em

15 qualquer posição desejável a montante dali. O combustível pode ser injetado de forma contínua ou intermitente, pela duração do ciclo de regeneração. No caso de uma injeção de combustível contínua, a taxa e a duração do escoamento de combustível controlam a quantidade de combustível. No caso de uma injeção de combustível intermitente, a frequência de pulso e o volume

20 de pulso controlam a quantidade de combustível. A quantidade de combustível injetada, tipicamente, é suficiente para reagir com todo o oxigênio em excesso presente no fluxo de escapamento e para a geração da quantidade requerida de mistura de gás de redução (CO e H_2) na temperatura de operação do sistema de NSR. Esta quantidade de combustível corresponde a uma

25 relação de equivalência (Φ) maior do que 1.

O combustível, geralmente, não é injetado durante a fase de adsorção de NO_x , a qual, tipicamente, dura de 1 a 5 minutos em cargas altas e mais em uma carga baixa ou inativa. Então, o combustível é injetado de novo por de cerca de 1 a 10 segundos, durante a fase de regeneração –

30 redução de NO_x , e o ciclo é repetido desde que o motor esteja operando e esteja produzindo NO_x . A quantidade e o sincronismo de injeção de combustível podem ser opcionalmente controlados por um sistema de controle de

processador de combustível, o qual pode ser ligado a ou ser parte do sistema de gerenciamento do motor ou da unidade de controle do motor.

O agente de redução de H_2 e CO pode ser formado por uma variedade de reações. Em uma variação, uma porção do combustível é queimada para elevação da temperatura do catalisador para aproximadamente de 500 a 700°C e o combustível remanescente reage com H_2O e CO_2 no fluxo de escapamento ou formado pela combustão de combustível para a produção do H_2 e do CO desejados. Alternativamente, o combustível, O_2 , H_2O e CO_2 podem reagir simultaneamente no catalisador para a produção do H_2 e do CO desejados.

O processador de combustível pode ser operado em qualquer um de vários modos. Um modo de operação é mostrado, por exemplo, na figura 4. Como mostrado ali, o ciclo de regeneração 400 consiste em uma fase de aquecimento A e uma fase de redução B. A concentração de oxigênio 402 do motor, o escoamento de combustível para o processador de combustível 404, o CO e o H_2 produzidos pelo processador de combustível 406 e a temperatura do catalisador de processador de combustível 408 são indicados. No começo da fase de aquecimento A, um combustível é injetado no processador de combustível a uma taxa indicada por 410. Isto aquece o catalisador de processador de combustível até a temperatura desejada, como mostrado na curva 408.

Quando a temperatura do catalisador de processador de combustível tiver atingido o nível desejado, o escoamento de combustível é aumentado 412 e o nível de oxigênio 402 é diminuído pelo estrangulamento parcial do fluxo de ar para o motor. A combinação de diminuição de concentração de oxigênio e aumento da concentração de combustível faz com que a mistura geral no catalisador de processador de combustível se torne rica, isto é, tendo uma relação de equivalência maior do que 1, e CO e H_2 são produzidos, como mostrado na curva 406. Quando a armadilha de NO_x no sistema de NSR está completamente regenerada, a entrada de combustível para o processador é terminada, e o estrangulamento do motor reaberto. Uma vantagem deste ciclo é que o consumo de combustível é minimizado.

Além disso, uma vez que o motor é estrangulado apenas durante o período em que o CO e o H₂ são gerados, quaisquer efeitos negativos sobre a performance do motor e a dirigibilidade são minimizados.

Procedimentos de operação alternativos também são possíveis.

- 5 Por exemplo, o escoamento de combustível no processador de combustível pode ser imediatamente elevado para aquele nível requerido para redução da geração de agente. Então, quando o processador de combustível tiver atingido uma temperatura adequada, o motor pode ser estrangulado para a produção de uma mistura de redução total de CO e H₂. Isto pode facilitar um
- 10 aquecimento mais rápido do combustível do catalisador de processador de combustível, uma vez que a quantidade de combustão de combustível é mais alta. Entretanto, cuidados em particular devem ser tomados de modo a se evitar um superaquecimento do catalisador, desse modo desativando-o.

- Durante o ciclo de regeneração, o fluxo de gás de saída do processador de combustível é sem oxigênio, incluindo um oxigênio que poderia se desviar do catalisador 308. Isso é porque este oxigênio irá se misturar com a mistura de gás de redução e reagirá no catalisador de NSR, desse modo reduzindo a efetividade do processo de regeneração. Além disso, o procedimento de operação do motor pode tomar várias formas. Ao invés de
- 15 se estrangular o motor para redução da concentração de oxigênio de escapamento, o escoamento do sistema de recirculação de gás de escapamento ("EGR") pode ser aumentado, desse modo fazendo-se com que o nível de oxigênio de escapamento diminua. Alternativamente, a quantidade de combustível injetada no motor pelos injetores de combustível do motor pode ser
- 20 aumentada. Além disso, uma combinação desses métodos ou de outros métodos pode ser usada para a diminuição do nível de oxigênio de escapamento.

- Em uma variante, o processador de combustível compreende catalisadores em série. Nesta variação, um catalisador de oxidação está po-
- 30 sicionado a montante de um catalisador de reformação, como mostrado na figura 5. Como mostrado ali, a unidade de processador de combustível 200 compreende um catalisador de oxidação 500 a montante de um catalisador

de reformação 502. O escoamento de gás de escapamento entra no reformador de combustível através da entrada 504 e passa através do misturador 506, do catalisador de oxidação 500, do segundo misturador 508, do catalisador de reformação 502 e, então, através da saída 510.

5 Nesta variação, o combustível pode ser injetado através do injetor de combustível 512 e ser reagido no catalisador de oxidação 500, para aquecimento do catalisador de reformação 502. Em qualquer momento desejável, o combustível também pode ser injetado através do injetor de combustível 514 para se aumentar mais a relação combustível / ar para o catalisador de reformação 502, de modo que uma reformação possa ocorrer, para
10 a produção de CO e H₂. Uma vantagem desta variação é que as funções dos catalisadores de oxidação e reformação são separadas. Desta forma, cada catalisador pode realizar sua função de modo muito eficiente.

Por exemplo, durante uma operação, o catalisador de oxidação
15 poderia ser configurado para operar sob condições constantes de oxigênio em excesso (relação de equivalência de menos de 1,0), desse modo facilitando uma alta atividade e uma baixa deposição de carbono ou hidrocarbonetos. Adicionalmente, uma vez que o catalisador de reformação 502 pode receber separadamente combustível através de um ou mais injetores em
20 uma posição próxima do injetor de combustível 514, o combustível pode ser adicionado uma vez que a temperatura do catalisador de reformação tenha atingido seu nível ótimo. Além disso, ter um catalisador de oxidação separado permite seu posicionamento próximo do motor, desse modo facilitando sua operação a temperaturas de gás de escapamento mais altas. Isto, por
25 sua vez, ajuda a prover uma melhor operação nas condições inativa e de ambiente baixo.

Os dois catalisadores em série, nesta variação, podem ter qualquer uma de várias configurações. Por exemplo, os catalisadores podem estar localizados a uma distância separado um do outro e ter injetores e
30 misturadores a montante separados. Alternativamente, os dois catalisadores podem estar localizados em uma unidade única. Ter os catalisadores localizados em uma unidade única tem a vantagem de tornar cada sistema mais

facilmente reproduzível, desse modo provendo uma vantagem de fabricação.

Em uma outra variação, os catalisadores estão em paralelo, como mostrado na figura 6. O gás de escapamento entra através da janela 600. O combustível pode ser injetado através de injetores de combustível 602, onde ele, então, é misturado com o gás de escapamento pelo misturador 604. A mistura de combustível e de escapamento, então, passa através da passagem 612 e, então, através do catalisador 614 até a temperatura desejada. Quando a temperatura do catalisador 614 está na faixa desejada e uma mistura de redução é requerida, o combustível é injetado através de injetores 602 a uma relação de equivalência próxima de 1,0. Isto consome o oxigênio no escoamento de escapamento principal. Opcionalmente, um combustível adicional pode ser adicionado através do injetor 610, para se tornar a relação de equivalência da mistura no catalisador 614 acima de 1,0 e produzir CO e H₂. Deve ser notado que a relação de equivalência da mistura no catalisador 614 aumentará quando um combustível for injetado através dos injetores 602. Isto é porque o combustível é misturado com a porção do fluxo de escapamento que está escoando para o catalisador 614, tornando a composição de combustível no catalisador 614 a soma da relação de equivalência dos injetores 602 e 610.

O projeto do sistema geral pode ser modificado de várias formas. Por exemplo, o sistema pode ser modificado de modo que um combustível dos injetores 602 não seja misturado com o escoamento de escapamento que vai para o catalisador 614. Alternativamente, os catalisadores podem estar localizados em posições separadas umas das outras. Por exemplo, eles podem estar localizados em unidades separadas e ter injetores de combustível e misturadores separados.

Uma vantagem da configuração em paralelo ilustrada na figura 6 é que o catalisador de reformação pode ser pré-aquecido até uma temperatura alta pela aplicação de combustível apenas à seção próxima. Se o tamanho do catalisador 614 for pequeno em relação ao 606, então, a quantidade de combustível usada para aquecimento do catalisador de reformação 614 até a temperatura de reformação desejada seria minimizada. Também, o

catalisador 614 pode ser projetado com uma massa térmica muito pequena, de modo que um aquecimento ocorra rapidamente, minimizando-se mais o gasto de combustível.

Por outro lado, pode ser desejável que o catalisador de sistema de NSR a jusante não seja aquecido até uma temperatura alta demais, uma vez que isto pode danificá-lo ou direcioná-lo para fora de sua faixa de operação desejada para adsorção. Isto pode ser realizado pelo aumento da massa térmica do catalisador 606, de modo que quando um combustível for adicionado aos injetores 602 para a remoção do oxigênio do fluxo de escapamento principal, o catalisador e o fluxo de gás de saída de 606 subam lentamente. Alternativamente, uma massa térmica pode ser colocada a jusante da unidade de processador de combustível para absorção de calor do fluxo de saída de processador de combustível e redução da temperatura de fluxo de gás antes de entrar no sistema de NSR.

Os catalisadores da presente invenção podem ser compostos por qualquer material adequado. Por exemplo, eles podem ser compostos por pelotas ou contas em um recipiente, ou podem ser unidades monolíticas tipo de favo de mel. Uma unidade monolítica tipo de favo de mel pode ser desejável, porque uma vibração do veículo pode causar abrasão e perda de material de pelota ou conta. Adicionalmente, as unidades monolíticas, tipicamente, têm uma perda de pressão mais baixa para o fluxo de escapamento fluindo. Qualquer monólito pode ser usado. Por exemplo, o monólito pode ser cerâmico ou pode ser metal e pode ter uma variedade de tamanhos e formatos de célula. A determinação do tamanho e do formato de célula é dependente da área superficial desejada e da perda de pressão, bem como dos coeficientes de calor e transferência de massa relevantes.

Por exemplo, pode ser desejável que o catalisador de processador de combustível tenha uma baixa capacidade térmica, de modo que ele possa se aquecer rapidamente. De modo similar, pode ser desejável que o catalisador de processador de combustível tenha uma baixa perda de pressão, de modo que a perda de pressão geral de todo o sistema não represente um impedimento para a operação ou uma redução na eficiência do

motor.

Quando uma estrutura monolítica é usada para o substrato de catalisador, suas superfícies ou paredes externas podem ser revestidas com uma camada de catalisador. Este revestimento de camada de óxido no substrato pode compreender um óxido inerte poroso, tal como alumina ou zircônia e ter uma área superficial altamente exposta. Este suporte de óxido pode conter componentes adicionais ativos para a oxidação ou a reformação, dependendo da função desejada. A preparação e a composição de vários catalisadores monolíticos para uso com a presente invenção são descritas nas Patentes U.S. Nº 5.183.491, 5.259.754 e 5.512.250 de Dalla Betta *et al.*, cada uma das quais sendo, desse modo, incorporada como referência em sua totalidade.

O catalisador de oxidação pode compreender qualquer catalisador capaz de oxidação de hidrocarbonetos. Por exemplo, o catalisador de oxidação pode compreender elementos selecionados a partir de quaisquer Grupos VI, VII, VIII e IB da tabela periódica dos elementos. Os elementos catalíticos mais ativos podem ser selecionados a partir do grupo de Pd, Pt, Ir, Rh, Cu, Co, Fe, Ni, Ir, Cr, e Mo. Em alguns casos, pode ser mais desejável usar Pd, Pt, Rh, Co, Fe, ou Ni, os quais podem ser usados separadamente ou em combinação e ainda podem existir como o elemento ou o óxido em uso real.

Uma propriedade do catalisador de oxidação que pode ser desejável é que ele tem boa atividade catalítica a temperaturas muito baixas. Desta forma, uma oxidação pode ser iniciada a temperaturas de escape baixas, sem modificação do projeto do sistema. Esta propriedade, freqüentemente, é referida como temperatura de lightoff, ou a temperatura na qual o combustível e o oxigênio no escapamento começam a reagir. Isto requer, tipicamente, que a temperatura esteja abaixo de 250°C e, mais tipicamente, abaixo de 150°C.

O catalisador de oxidação pode ser depositado em suportes compreendendo óxido de alumínio, óxido de silício, óxido de zircônio, ou misturas e combinações dos mesmos, ou misturas e combinações dos

mesmos com componentes ou elementos adicionais. Os exemplos são misturas de óxido de cério e zircônio ou soluções sólidas, alumina e sílica, alumina estabilizada com Ca, Ba, Si ou La, bem como outros suportes bem conhecidos na técnica. Uma vez que um combustível diesel com alto peso molecular tem uma propensão a pirolisar a altas temperaturas, o catalisador também pode conter componentes catalíticos ativos para craqueamento de vapor do combustível de hidrocarboneto. Os possíveis aditivos podem incluir óxidos básicos, tais como óxido de cálcio, óxido de bário outros óxidos alcalinos ou alcalinos terrosos e óxidos de terras raras. O catalisador pode ser feito pela impregnação de Pd, Pt, ou qualquer outro catalisador ativo em um suporte poroso, tal como alumina ou zircônia. O carregamento de metal poderia ser na faixa de 0,1 a 20% em peso e, mais desejavelmente, na faixa de 10% em peso. Os vários catalisadores ilustrativos que podem ser usados com a presente invenção incluem aqueles descritos na Patente U.S. Nº 5.232.357 de Betta *et al.*, a qual, desse modo, é incorporada como referência em sua totalidade.

O catalisador de reformação, de modo similar, pode usar um suporte de área superficial alto com componentes ativos adicionados. Por exemplo, o catalisador de reformação pode compreender componentes Ni, Rh, Pd, Pt. O catalisador pode ser selecionado de modo que seja capaz de permanecer estável sob condições normais de oxidação pobre e, então, responder rapidamente à adição de combustível, de modo que H_2 e CO sejam reformados, desse modo. Neste aspecto, pode ser desejável usar Pt, Pd e Rh suportados em um suporte de óxido poroso.

Por exemplo, um catalisador de reformação típico pode compreender 1% em peso de Rh suportado em um substrato de óxido de zircônio poroso. Isto pode ser realizado pela dissolução de tricloreto de ródio em água e, então, impregnando-se um substrato de óxido de zircônio sólido tendo uma área superficial alta (por exemplo, variando de 15 a 150 m^2/g). A concentração de ródio, tipicamente, pode estar na faixa de 0,1 a 20% em peso do sólido catalisador de revestimento de camada de óxido de substrato total. Mais tipicamente, a concentração de ródio pode estar na faixa de 0,1 a

10% em peso do sólido catalisador de revestimento de camada de óxido de substrato total. O revestimento de camada de óxido de substrato pode ser revestido sobre os canais interiores de uma estrutura monolítica de favo de mel a uma espessura de carregamento de 1 a 50 mg/cm² ou, mais tipicamente, na faixa de 5 a 15 mg/cm². Catalisadores de Pd ou Pt podem ser preparados de maneira similar.

Os catalisadores de oxidação e reformação podem ser combinados na mesma unidade monolítica pela combinação no revestimento de camada de óxido de substrato de ambos os componentes de oxidação e reformação. Por exemplo, o Pd de catalisador de oxidação ativo e o Rh de catalisador de reformação ativo podem ser combinados em um suporte de zircônia para a formação de um catalisador que tem uma atividade de oxidação para reação do combustível com oxigênio e a atividade de reformação necessária para se reformar o combustível remanescente para CO e H₂. Alternativamente, o componente de Rh pode ser revestido sobre o substrato monolítico e calcinado ou fixado. Separadamente, pode ser revestido sobre um suporte de área superficial alto e calcinado ou fixado. Estes caso também podem ser misturados em conjunto para a formação de um catalisador de Pd / Rh e este catalisador misto, então, revestido sobre o substrato monolítico.

Em uma variação, uma massa térmica é usada para ajudar a controlar a operação do sistema e, em particular, para ajudar a moderar a temperatura entre o processador de combustível e o catalisador de armadilha de NO_x. Isto pode ser importante porque, enquanto a faixa de temperatura de operação ótima para o processador de combustível pode ser bastante alta, a faixa de temperatura de operação ótima para o sistema de NSR poderia não ser. Isso pode ser porque o catalisador de armadilha de NO_x pode ser desativado a altas temperaturas. Qualquer número de configurações de massa térmica é possível para uso com a presente invenção e qualquer número de massas térmicas pode ser empregado.

Em uma variação, a massa térmica do catalisador de processador de combustível em si é seletivamente controlada. Por exemplo, pode ser

desejável que o catalisador se aqueça tão rapidamente quanto possível para consumo de tão pouco combustível quanto possível. Isto envolve, tipicamente, controlar a massa térmica do catalisador de processador de combustível, de modo que ela seja relativamente pequena. Em uma outra variação, a massa térmica pode ser colocada a jusante do processador de combustível para a absorção do calor que ele libera, de modo a ajudar a prevenir um superaquecimento do sistema de NSR. Esta massa térmica pode ser um filtro de PM ou uma armadilha de fuligem colocado entre o processador de combustível e o sistema de NSR ou pode ser um componente separado de massa térmica. Quando um filtro de PM ou fuligem é colocado entre o processador de combustível e o sistema de NSR como a massa térmica, o sistema de NSR pode ser mantido a uma temperatura constante. Uma vantagem deste projeto é que o calor gerado pelo processador de combustível pode ser usado para o aquecimento e a regeneração da armadilha de particulado ao ajudar a queimar a fuligem carbonácea.

A massa térmica pode ser feita de qualquer material adequado. Por exemplo, ela pode ser cerâmica ou pode ser de metal. Ela pode ter uma capacidade térmica alta e uma baixa perda de pressão, para se garantir que a perda de pressão através de todo o sistema não prejudique a operação do sistema. A faixa ótima de massa térmica é uma função pelo menos da vazão de gás e da elevação de temperatura desejada e, assim, pode ser seletivamente controlada. Em uma outra variação, o sistema de NSR em si pode ser projetado com uma massa térmica alta.

A figura 7 provê resultados de uma simulação em computador de um aquecimento de catalisador durante a combustão de uma mistura de combustível e ar. As hipóteses a seguir foram feitas: a liberação de energia requerida foi para uma combustão completa de combustível diesel; a energia da combustão foi usada para se aquecer a mistura de gás fluindo através do catalisador e para aquecer o catalisador em si; ha uma boa transferência de calor entre o gás e o catalisador; e a vazão de gás foi típica de uma unidade de catalisador dimensionada para um veículo. Como mostrado na figura 7, a unidade de catalisador se aquece uma vez que o combustível seja ativado.

de combustível para produzir um fluxo de gás de saída tendo uma temperatura na faixa de 500 a 800°C. Isto, por sua vez, aquece o sistema de NSR a jusante até uma temperatura na faixa de 500 a 700°C.

Quando o sistema de NSR está na temperatura desejada, o escoamento de combustível para o processador de combustível e o estrangulamento do motor pode ser ajustado para a produção de H_2 e CO e redução da concentração de oxigênio que sai do processador de combustível para zero. Esta mistura de gás de redução, então, regenerará a armadilha de NO_x pela decomposição de sulfatos e outras espécies que tenham causado sua desativação. Esta mistura de gás de redução quente pode ser mantida até a regeneração estar concluída. Em uma variação, a faixa de temperatura de regeneração para o sistema de NSR, tipicamente, é de cerca de 100 a 800°C e, mais tipicamente, de cerca de 500 a 700°C. Além disso, o agente de redução de H_2 e CO pode ser alimentado para o catalisador de NSR para regeneração como um pulso de redução longo contínuo ou como muitos pulsos curtos.

Em uma variação, um processador de controle ou um sistema de controle pode ser usado para o controle de vários aspectos da presente invenção. Qualquer número de estratégias de controle pode ser empregado. Por exemplo, um sistema de controle pode ser usado para mapeamento da saída de NO_x versus uma dada condição de operação do motor, tal como carga ou velocidade. Desta forma, o NO_x coletado pela armadilha de NSR pode ser estimado e conforme a armadilha atingir a capacidade, o ciclo de regeneração de NO_x pode ser iniciado. Alternativamente, um sensor de NO_x pode ser colocado a jusante da armadilha de NSR. Desta forma, uma vez que o sensor perceba que a armadilha de NSR atingiu sua capacidade (por exemplo, pela medição de níveis de NO_x aparecendo), o ciclo de regeneração pode ser iniciado.

De modo similar, um sistema de controle pode ser usado para a monitoração e o controle de todas ou de qualquer uma das temperaturas do sistema. As temperaturas ilustrativas que podem ser controladas incluem as temperaturas de mistura de gás de entrada e saída, a temperatura de entra-

da de combustível e a temperatura de catalisador. Por exemplo, a temperatura do catalisador de reformação pode ser monitorada e controlada através de um termopar ou de um outro dispositivo de detecção de temperatura colocado próximo da saída do catalisador.

- 5 De uma maneira similar, a temperatura na saída do processador de combustível pode ser medida e monitorada usando-se um termopar. A temperatura pode ser controlada pelo ajuste do escoamento de combustível para o processador de combustível, enquanto se deixa o nível de oxigênio no escapamento constante. Alternativamente, a temperatura pode ser con-
- 10 trolada ao se manter o escoamento de combustível para o processador de combustível constante, enquanto se ajusta o nível de oxigênio, por exemplo, pelo estrangulamento do motor. Ainda uma outra alternativa é ajustar ambos o escoamento de combustível para o processador de combustível e o nível de O_2 . Isto permitiria que o sistema controlasse a temperatura de saída do
- 15 processador de combustível e a relação de equivalência. Desta forma, o nível de H_2 e CO pode ser efetivamente controlado.

- A temperatura do processador de combustível pode ser monitorada pela medição da temperatura do gás na saída ou pela medição da temperatura real do catalisador em si. Para minimização do uso de combustível
- 20 pela unidade de processador de combustível, um sensor de combustíveis ou um sensor de H_2 ou CO pode ser colocado a jusante da unidade de armadilha de NSR para detecção da ruptura de agente de redução de H_2 e CO. Isto, por sua vez, sinaliza para o sistema de controle parar o ciclo de regeneração.

- 25 Se a unidade de processador de combustível for usada para a dessulfatação da unidade de armadilha de NSR, então, pode ser desejável medir a temperatura na saída da unidade de processador de combustível para limitação da temperatura de operação para se garantir a durabilidade. Além disso, a temperatura na saída da unidade de armadilha de NSR pode
- 30 ser medida para se garantir a durabilidade. Além disso, a temperatura na saída da unidade de armadilha de NSR pode ser medida para se garantir que a unidade de NSR esteja na temperatura desejada para regeneração.

Além disso, a temperatura da unidade de processador de combustível pode ser modulada para a obtenção da temperatura desejada da unidade de NSR para uma dessulfatação apropriada.

Um sistema de controle também pode ser usado para o controle da relação de equivalência. Por exemplo, quando H_2 e CO devem ser gerados pelo reformador de processador de combustível, a relação de equivalência na entrada para o catalisador de reformação pode ser controlada pela mudança do escoamento de combustível ou pelo estrangulamento do fluxo de ar para o motor. Mais especificamente, em um fluxo de ar do motor de operação normal, o combustível pode ser adicionado ao catalisador de reformação até a temperatura estar na faixa requerida para a reformação do combustível para H_2 e CO. Neste ponto, o fluxo de ar do motor pode ser estrangulado para a redução do fluxo de ar e da concentração de O_2 no escapamento. Isto, por sua vez, aumentará a relação de equivalência no catalisador e o direcionará para a região rica, para a regeneração de H_2 e CO. Também é possível ajustar o escoamento de combustível para o reformador para o ajuste da relação de equivalência ou para o ajuste de ambos o estrangulamento do motor e o escoamento de combustível para a obtenção da relação de equivalência desejada de reformador.

A relação de equivalência no reformador e no catalisador de oxidação pode ser calculada a partir de vários parâmetros do motor, incluindo rpm do motor e regulação de estrangulamento (o que, por sua vez, provê o fluxo de ar do motor), escoamento de combustível do motor e escoamento(s) de combustível de processador de combustível. Alternativamente, o nível de O_2 de escapamento pode ser medido usando-se um sensor de O_2 no escapamento a montante do processador de combustível e combinado com o escoamento de combustível de processador de combustível para o cálculo de relações de equivalência.

Uma estratégia de controle que pode ser especificamente empregada compreende as etapas a seguir: (1) adição de combustível sob condições de operação normal (por exemplo, aproximadamente 8 a 15% de O_2) para aquecimento do catalisador de processador de combustível para a

temperatura de operação; (2) ajuste do motor de modo que a concentração de oxigênio no escapamento esteja entre 4 e 6%; (3) ajuste do combustível para a obtenção da relação de equivalência desejada (por exemplo, pela recirculação de gás de escapamento ou pelo estrangulamento do ar de admissão para o motor); (4) aumento da vazão de combustível de modo que uma relação de equivalência maior do que 1 seja obtida (por exemplo, na faixa de 2 a 5) ou se a vazão de combustível já estiver suficientemente alta, diminuindo o O_2 de escapamento; (5) manutenção das condições até a armadilha de NSR ser regenerada; (6) desligar o combustível e reassumir a operação normal do motor.

Uma outra estratégia de controle ilustrativa que pode ser especificamente empregada compreende as etapas a seguir: (1) iniciar o escoamento de combustível para o processador de combustível e, ao mesmo tempo, diminuir o O_2 de escapamento do motor; (2) ajustar a vazão de combustível após o processador de combustível ter atingido uma temperatura desejada, de modo que uma relação de equivalência desejada seja obtida; (3) manutenção do escoamento de combustível até a armadilha de NSR ser regenerada; (4) desligar o combustível e reassumir a operação normal do motor.

Em combinação com uma das duas estratégias específicas estabelecidas acima, a temperatura de escapamento do processador de combustível poderia ser ajustada pela mudança das condições de operação do motor. Por exemplo, se a temperatura de escapamento na entrada do processador de combustível for baixa demais para a obtenção da reação entre o combustível e o O_2 de escapamento, então, a operação do motor pode ser mudada para se aumentar a temperatura de escapamento. As possíveis mudanças no motor incluem diminuição do ar de admissão do motor, aumento da quantidade de EGR, ou desvio de um turbocompressor. De modo similar, uma medição de temperatura pode ser usada para o controle da temperatura do gás de escapamento. Por exemplo, a temperatura na entrada ou na saída do processador de combustível pode ser medida e usada como um indicador da temperatura do gás de escapamento. Desta forma, a

temperatura de escapamento pode ser controlada.

Uma estratégia de controle baseada em modelo para uso com a presente invenção também pode ser usada, como se segue. Para a maximização da economia de combustível do sistema de catalisador de NSR, o ciclo de regeneração pode ser realizado apenas quando o adsorvente de NO_x de NSR tiver atingido um alto nível de satélite. Isso ajudaria a minimizar a frequência de regeneração e o custo de combustível associado à regeneração. A partir de testes em sonda do catalisador e de testes controlados do motor, o carregamento máximo do adsorvente de NO_x de NSR, por exemplo, em moles de NO_x (ML_{NOx}), pode ser determinado. Durante um uso real do catalisador de NSR, o fluxo total de NO_x para o catalisador de NSR pode ser estimado a partir de uma medição da concentração de NO_x na entrada de catalisador usando um sensor NO_x posicionado no fluxo de escapamento. Esta concentração de NO_x de escapamento (C_{NOx}) pode ser combinada com a vazão de escapamento (F_{exh}) em uma função matemática, para o cálculo da quantidade total de NO_x fluindo através do catalisador de NSR (L_{NOx}) pela integração ao longo do tempo (t), Equação 1.

$$L_{NOx} = f(C_{NOx}, F_{exh}, t) = \sum_t f(C_{NOx}, F_{exh}) \quad \text{Eq. 1}$$

Conforme o valor de L_{NOx} atinge uma fração pré-regulada do valor de ML_{NOx}, o ciclo de regeneração pode ser iniciado. Por exemplo, um teste prévio pode ser usado para o estabelecimento de que um controle de NO_x desejável pode ser obtido pelo catalisador de NSR, se o nível de saturação de NO_x estiver abaixo de 80%. Neste caso, quando L_{NOx} é 80% de ML_{NOx}, o ciclo de regeneração é iniciado. Deve ser notado que a relação de L_{NOx} para ML_{NOx}, quando a regeneração é iniciada, poderia ser uma função da temperatura de escapamento média durante o período de adsorção de NO_x, da taxa de geração de NO_x, da carga média no motor ou de outros parâmetros que podem afetar a capacidade do adsorvente de NO_x de catalisador de NSR. Além disso, uma vez que o adsorvente de NSR pode se degradar com o tempo, o ML_{NOx} pode ser uma função do tempo de operação total do catalisador, tal como horas do motor, km do veículo ou mesmo um NO_x total integrado produzido pelo motor. Também como descrito abaixo, a con-

centração de NO_x de escapamento e a vazão de escapamento e outros parâmetros poderiam ser estimados a partir dos parâmetros de operação do motor.

O escoamento de combustível para o processador de combustível pode ser controlado para dar uma taxa de liberação de calor desejada ou uma relação de equivalência desejada. No primeiro caso, a vazão de combustível (F_{fuel}) pode ser uma função da temperatura de escapamento na entrada de processador de combustível ($T_{\text{FP,in}}$), da vazão de escapamento total (F_{exh}) e de vários parâmetros fixos, tais como a massa de catalisador de processador de combustível, a taxa desejada de aquecimento e o calor de combustão do combustível e outras constantes do sistema (SC), que podem variar potência tipo de motor, tamanho de catalisador, etc. Esta relação funcional é mostrada na Equação 2.

$$F_{\text{fuel}} = f(T_{\text{FP,in}}, F_{\text{exh}}, \text{SC}) \quad \text{Eq. 2}$$

Se o escoamento de combustível para o processador de combustível for controlado até uma relação de equivalência desejada, então, o escoamento de combustível também será uma função da concentração de O_2 no fluxo de escapamento (E_{O_2}) e da relação de equivalência desejada para operação para o processador de combustível (R_{eq}), como mostrado na Equação 3.

$$F_{\text{fuel}} = f(T_{\text{FP,in}}, F_{\text{exh}}, \text{SC}, E_{\text{O}_2}, R_{\text{eq}}) \quad \text{Eq. 3}$$

A concentração de O_2 no fluxo de escapamento pode ser medida usando-se um sensor posicionado no sistema de escapamento.

Alternativamente, os parâmetros nas Eq. 1 a 3 podem ser calculados ou estimados a partir de parâmetros de operação do motor. Por exemplo, a vazão de escapamento pode ser uma função da vazão de espaço de ar de entrada no motor, a qual pode ser medida como parte do sistema de controle do motor. Alternativamente, a vazão de escapamento pode ser calculada a partir de certos parâmetros do motor, tais como rpm do motor e pressão de intensificação de turbocompressor. Assim, um fluxo de escapamento pode ser expresso como uma função da rpm do motor (E_{rpm}) e da pressão de intensificação de turbocompressor (E_{boost}), como mostrado na

Equação 4. Outros parâmetros do motor também podem ser incluídos, se necessário, para a obtenção de uma estimativa mais acurada da vazão de escapamento.

$$F_{\text{exh}} = (E_{\text{rpm}}, E_{\text{boost}}) \quad \text{Eq. 4}$$

De modo similar, pode ser desejável calcular o nível de oxigênio de escapamento ou o nível de NO_x de escapamento ao invés de se usarem sensores no fluxo de escapamento, uma vez que tais sensores são dispendiosos e podem não ter boa durabilidade. A concentração de O_2 ou de NO_x no escapamento pode ser estimada a partir de um ou mais parâmetros de operação do motor, tais como vazão de combustível do motor (E_{fuel}), rpm do motor (E_{rpm}), torque de saída do motor (E_{torque}), pressão de intensificação de turbocompressor (E_{boost}), fluxo de EGR do motor (E_{EGR}), bem como outros possíveis parâmetros do motor. A concentração de O_2 no escapamento pode ser determinada como mostrado na Equação 5 e, de modo similar, determinada para a concentração de NO_x de escapamento como mostrado na Equação 6.

$$E_{\text{O}_2} = f(E_{\text{fuel}}, E_{\text{rpm}}, E_{\text{torque}}, E_{\text{boost}}, E_{\text{EGR}}, \text{etc.}) \quad \text{Eq. 5}$$

$$E_{\text{NO}_x} = f(E_{\text{fuel}}, E_{\text{rpm}}, E_{\text{torque}}, E_{\text{boost}}, E_{\text{EGR}}, \text{etc.}) \quad \text{Eq. 6}$$

Pela substituição das Eq. 5 e 6 na Eq. 3, a taxa de combustível de processador de combustível pode ser calculada ou estimada a partir dos parâmetros do motor.

As estratégias de controle descritas acima podem ser na forma de expressões matemática sistema de número abreviado unidade de controle do sistema do motor ou de emissões, ou essas expressões podem ser reduzidas para uma ou mais tabelas multidimensionais, as assim denominadas tabelas de consulta, armazenadas na unidade de controle do motor. Outras variáveis de sistema, tais como relação de equivalência de processador de combustível, extensão de tempo em que o processador de combustível é operado no modo rico, temperatura de operação do processador de combustível e outros aspectos do processador de combustível, podem ser determinadas de uma maneira similar. Na utilização das estratégias de controle descritas aqui acima, qualquer número de sensores, microprocessado-

res, reguladores de vazão de combustível e reguladores de estrangulamento pode ser usado, todos os quais sendo bem conhecidos na técnica. A presente invenção pode ser adicionalmente compreendida com referência aos exemplos não limitativos a seguir.

5 Exemplo 1. Um catalisador monolítico foi preparado como descrito na Patente U.S. Nº 5.259.754 de Dalla Betta *et al.*. Tricloreto de ródio foi dissolvido em água desionizada a uma concentração de cerca de 0,18 g Rh/cm³ e, então, pó de óxido de zircônio com uma área superficial de cerca de 75 m²/g foi adicionado com agitação. Enquanto se agita a mistura, uma
10 solução de hidróxido de amônio a 20% em água, então, foi adicionada a um pH de 8. A mistura, então, foi evaporada até a secura e o pó resultante calcinado em ar a 700°C, por 10 horas. A concentração final de ródio foi de 5,5% de Rh em peso no catalisador final. O catalisador de Rh / ZrO₂ foi posto em suspensão em água e 10% em peso de uma solução de acetato
15 de zircônio a 20% para a formação de uma suspensão de cerca de 30% de sólidos.

 Uma tira de River Lite 20-5Sr da Kawasaki Steel Company com uma espessura de 0,050 por 75 mm de largura e um comprimento de 3 m foi corrugada para a formação de canais em formato de V através da largura de
20 75 mm, com os canais em V em um padrão de espinha de arenque. Os canais foram de aproximadamente 0,8 mm de altura. Esta folha foi tratada em ar a 900°C, por 10 horas, para a formação de uma camada de óxido de alumínio na superfície. A suspensão de Rh / ZrO₂, então, foi aspergida sobre ambos os lados da folha até um carregamento de aproximadamente 6
25 mg/cm². O catalisador revestido, então, foi calcinado em ar a 700°C por 10 horas adicionais. A seção de folha, então, foi dobrada em duas e enrolada para a formação de um rolo em espiral não alojado com canais longitudinais abertos. O catalisador final tinha um diâmetro de 50 mm e continua cerca de 17 g de revestimento de camada de óxido no substrato de catalisador.

30 Exemplo 2. O catalisador do Exemplo 1 foi colocado em um reator de fluxo compreendendo um suprimento de gás e medidores de fluxo em massa para ar, nitrogênio e hélio como um equipamento de trato quanti-

tativo de espectrômetro, um aquecedor elétrico, um aspersor de assistência de ar para água, um segundo aspersor de assistência de ar para combustível diesel e um misturador estático a montante do catalisador. O catalisador estava contido em uma seção isolada de 50 mm de diâmetro com sensores de temperatura de termopar a montante e a jusante do catalisador. Um sensor de amostragem para um espectrômetro de massa estava localizado a cerca de 50 cm a jusante da saída do catalisador. O fluxo de ar, nitrogênio e água foi ajustado para a formação de um misturador fluido a 800 SLPM (litros padronizados por minuto) com uma composição de 5% de H_2O , 8% de O_2 , 0,3% de He e o saldo de N_2 . Esta mistura foi aquecida, então, para 370°C, usando-se o aquecedor elétrico. Os resultados dos testes conduzidos são providos na figura 8.

A figura 8A mostra o sinal de espectrômetro de massa para H_2 e CO_2 convertidos em unidades de concentração por percentual em volume. A figura 8B mostra a temperatura do gás na saída do catalisador, como medida por três termopares colocados exatamente a jusante do catalisador em locais diferentes através da face de saída. A figura 8C mostra a concentração de O_2 em percentual e o escoamento de combustível em g/min, como regulado pelo sistema de controle. No tempo igual a 298 segundos, o combustível foi ativado a uma vazão de 10 g/min. Este combustível foi queimado no catalisador e a temperatura do catalisador subiu rapidamente, como mostrado pela temperatura dos três termopares na figura 8B. Aquela combustão está ocorrendo, como foi confirmado pelo aparecimento imediato de CO_2 , como medido pelo espectrômetro de massa, como mostrado na figura 8B. No tempo igual a 309 segundos, o fluxo de ar foi diminuído, de modo que a concentração de oxigênio na entrada para o catalisador caísse de 8% para 4% e o fluxo de combustível foi aumentado de 10 g/min para 30 g/min, como mostrado na figura 8C. Imediatamente, H_2 aparece como medido pelo espectrômetro de massa e indicado na figura 8A. Em um tempo igual a 325 segundos, o escoamento de combustível foi terminado e o nível de oxigênio retornado para 8%. O nível de CO_2 e H_2 rapidamente diminuiu.

Estes dados mostram que um catalisador monolítico pode ser

projetado para rapidamente se produzirem H_2 e CO a partir de um combustível diesel, que o aquecimento da unidade de catalisador pode ocorrer em menos de 10 s e que um agente de redução desejável, tal como H_2 e CO pode ser produzido muito rapidamente, em de 3 a 4 segundos. Todo o processo cíclico foi completado em cerca de 25 segundos.

Exemplo 3. A figura 9 mostra um outro exemplo de geração de pulso de hidrogênio. O catalisador usado neste exemplo foi preparado de uma maneira similar àquela do Exemplo 1, exceto pelo fato de que a folha de metal foi corrugada para ter uma altura de canal de 1,2 mm. O fluxo de ar, nitrogênio e água foi ajustado para a formação de uma mistura fluindo a 200 SLPM (litros padronizados por minuto) com uma composição de 8% de H_2O , 5% de O_2 , 0,3% de He e o saldo de N_2 . Esta mistura foi aquecida, então, para $300^\circ C$, usando-se o aquecedor elétrico. O Gráfico A mostra o sinal do espectrômetro de massa para H_2 e CO_2 convertidos em unidades de concentração de percentual em volume. O Gráfico B mostra a temperatura do gás na saída do catalisador 906 e dentro do catalisador a 2,54 cm da saída 904, como medido por dois termopares. O Gráfico C mostra o escoamento de combustível em g/min, como regulado pelo sistema de controle. Em um tempo igual a 2630 segundos, o combustível foi ativado a uma vazão de 1,8 gm/min. Este combustível foi queimado no catalisador e o termopar próximo da entrada do catalisador subiu rapidamente. A 2635 segundos, o escoamento de combustível foi aumentado para 6,5 g/min, para a provisão de uma taxa mais rápida de elevação de temperatura, como mostrado pela temperatura dos termopares no Gráfico B. Aquela combustão estar ocorrendo foi confirmado pelo aparecimento imediato de CO_2 , como medido pelo espectrômetro de massa, como mostrado por 900 no gráfico A. Em um tempo igual a 2642 segundos, o escoamento de combustível foi aumentado mais para 10 g/min, para gerar um escapamento rico em combustível, como mostrado por 908 no gráfico C. Imediatamente, H_2 aparece como medido pelo espectrômetro de massa e indicado por 902 no gráfico A. Em um tempo igual a 2650 segundos, o escoamento de combustível foi terminado. O nível de CO_2 e H_2 rapidamente diminuiu.

Exemplo 4. O catalisador do Exemplo 1 foi usado para demonstração de um possível ciclo de dessulfatação. O fluxo de ar, nitrogênio e água foi ajustado para a formação de uma mistura fluindo a 500 SLPM (litros padronizados por minuto) com uma composição de 8% de H_2O , 8% de CO_2 , 7% de O_2 , 0,3% de He e o saldo de N_2 . Esta mistura foi aquecida, então, para 250°C, usando-se o aquecedor elétrico. Como mostrado na figura 10, a aproximadamente 325 segundos, o combustível foi ativado para elevar a pressão do processador de combustível e produzir uma temperatura de gás de saída de 500 a 600°C. Esta temperatura de gás alta aquecerá o catalisador de armadilha de NSR a jusante para 500 ou 600°C, após um curto período de tempo. Quando o catalisador de NSR está na temperatura desejada para dessulfatação, então, o nível de O_2 de escapamento é diminuído e o escoamento de combustível para o processador de combustível é aumentado, 375 segundos na figura 10, para a obtenção de uma relação de equivalência maior do que 1 e para a produção de H_2 e CO para a dessulfatação do catalisador de NSR. Esta condição de redução pode ser mantida por um longo período ou a redução de pulsos contendo H_2 e CO pode ser pulsada, como mostrado neste exemplo. Entre pulsos, um nível mais baixo de combustível é alimentado para o processador de combustível, para manutenção da temperatura do processador de combustível e da temperatura do catalisador de NSR. Quando o catalisador de NSR está plenamente dessulfatado, então, o combustível para o catalisador de processador de combustível é desligado e a temperatura do gás de saída do processador de combustível cai rapidamente.

Exemplo 5. Este exemplo demonstra o efeito de uma massa térmica em série a jusante do processador de combustível. O mesmo catalisador que no Exemplo 3 foi usado. A resistência térmica monolítica foi montada a partir de uma folha de metal de 2,54 mm de espessura e 100 mm de largura e corrugada para a formação de uma estrutura monolítica com uma altura de canal de cerca de 1,5 mm e pesando cerca de 550 g. Esta resistência térmica foi colocada imediatamente a jusante do catalisador de processador de combustível do Exemplo 3, e um termopar monitorou as tempe-

raturas de gás a montante do catalisador de processador de combustível, entre o catalisador de processador de combustível e a massa térmica e a jusante da massa térmica. O fluxo de ar, nitrogênio e água foi ajustado para a formação de uma mistura fluindo a 600 SLPM (litros padronizados por minuto) com uma composição de 8% de H_2O , 8% de CO_2 , 7% de O_2 , 0,3% de He e o saldo de N_2 . Como mostrado na figura 11, o combustível foi introduzido a 20 g/min por 10 segundos, usando-se um injetor tipo de pulso operando a uma frequência de 50 Hz com um ciclo de carga de cerca de 50%. A curva 1100 representa a temperatura medida a jusante do reformador e a curva 1102 representa a temperatura do escapamento a jusante da resistência térmica. A 748 segundos, o combustível foi introduzido. A temperatura de gás fora do reformador começa a subir a 749 segundos e atinge um máximo de 576°C a 560 segundos (o escoamento de combustível foi parado em 758 segundos). Ao mesmo tempo, a temperatura da resistência térmica subiu muito mais lentamente, atingindo 445°C a 781 segundos, devido à sua capacidade térmica maior. Isto demonstra que embora o processador de combustível tenha sido aquecido para 576°C, onde ele geraria o H_2 e o CO de redução requeridos, a massa térmica moderou a temperatura de fluxo de gás, de modo que ela subiu de 310 para cerca de 445°C, um aumento de apenas 135°C. Esta elevação baixa de temperatura de gás e curta duração impediria qualquer elevação significativa de temperatura do catalisador de NSR a jusante.

Embora variações ilustrativas da presente invenção tenham sido descritas acima, será evidente para uma pessoa versada na técnica que várias mudanças e modificações podem ser feitas, sem se desviar da invenção. Pretende-se que as reivindicações a seguir cubram tais mudanças e modificações que caiam no verdadeiro escopo e espírito da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para a redução de NO_x em um fluxo de escapamento contendo O_2 em excesso, que compreende:
 - um catalisador de NSR;
 - 5 um processador de combustível localizado em uma posição a montante do catalisador de NSR, compreendendo uma entrada, uma saída e pelo menos um catalisador; e
 - pelo menos uma janela de injeção de combustível localizada a montante do catalisador de processador de combustível, onde o combustível é injetado na janela de injeção de combustível e reage com o catalisador de processador de combustível para rapidamente aumentar a
 - 10 temperatura de pelo menos uma porção do catalisador de processador de combustível e por meio do que pelo menos uma porção do combustível é convertida em H_2 e CO .
- 15 2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, que ainda compreende uma massa térmica que tem uma capacidade térmica maior do que aquela do processador de combustível.
3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, onde pelo menos uma porção da massa térmica é selecionada a partir do grupo que consiste
 - 20 em um filtro de PM, o processador de combustível, o catalisador de NSR, uma estrutura monolítica tendo uma capacidade térmica maior do que aquela do processador de combustível, e combinações dos mesmos.
4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, onde pelo menos uma porção da massa térmica é um filtro de PM e pelo menos uma porção
 - 25 da massa térmica é uma estrutura monolítica tendo uma capacidade térmica maior do que aquela do processador de combustível.
5. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, que ainda compreende um pré-aquecedor de combustível, onde o pré-aquecedor de combustível está localizado em uma posição a montante do processador de combustível e a jusante da janela de injeção de combustível.
 - 30
6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, que ainda compreende um vaporizador de combustível, onde o vaporizador de combustível

está localizado em uma posição a montante do processador de combustível e a jusante da janela de injeção de combustível.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, que ainda compreende um misturador, onde o misturador está localizado em uma posição a montante do processador de combustível e a jusante da janela de injeção de combustível.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, onde o misturador é um misturador estático.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, onde o misturador compreende um comprimento de tubo, onde o comprimento de tubo tem uma relação de L/D maior do que 5.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, onde pelo menos uma porção do misturador é revestida com um catalisador capaz de oxidar depósitos de verniz e carbonáceos.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, que ainda compreende um comprimento de tubo, onde o tubo está localizado em uma posição a montante do processador de combustível e a jusante da janela de injeção de combustível.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 11, onde pelo menos uma porção do misturador é revestida com um catalisador capaz de oxidar depósitos de verniz e carbonáceos.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, que ainda compreende um sinal de controle.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 13, onde o sinal de controle mede e regula a vazão de combustível.

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, onde pelo menos um catalisador do processador de combustível é um catalisador monolítico.

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, onde o catalisador monolítico é construído a partir de um material selecionado a partir do grupo que consiste em cerâmica e metal.

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, onde o catalisador monolítico tem uma espessura de parede na faixa de 10 a 500 microns.

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, onde o processador de combustível compreende pelo menos dois caso, onde pelo menos um catalisador é um catalisador de reformação e pelo menos um catalisador é um catalisador de oxidação.

5 19. Sistema, de acordo com a reivindicação 18, onde o catalisador de oxidação compreende elementos selecionados a partir do grupo que consiste em Grupos VII, VIII e IB da tabela periódica dos elementos e combinações dos mesmos.

20. Sistema, de acordo com a reivindicação 19, onde o catalisador de oxidação compreende elementos selecionados a partir do grupo de Pd, Pt, Ir, Rh, Cu, Co, Fe, Ni, Ir, Cr, Mo e combinações dos mesmos.

21. Sistema, de acordo com a reivindicação 19, onde o catalisador de reformação compreende elementos selecionados a partir do grupo que consiste em Ni, Rh, Pd, Pt, e combinações dos mesmos.

15 22. Sistema, de acordo com a reivindicação 18, onde pelo menos dois catalisadores estão em série.

23. Sistema, de acordo com a reivindicação 18, onde pelo menos dois catalisadores estão em paralelo.

24. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, onde o catalisador de NSR e o processador de combustível não estão localizados em uma estrutura de alojamento única.

25. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, onde o catalisador de NSR e o processador de combustível estão localizados em uma estrutura de alojamento única.

25 26. Método de regeneração de um adsorvente de catalisador de NSR, que compreende as etapas de:

provisão de um fluxo de escapamento de motor compreendendo oxigênio;

30 injeção de combustível em uma posição a montante de um processador de combustível, onde o processador de combustível compreende uma entrada, uma saída e pelo menos um catalisador;

opcionalmente, mistura do fluxo de escapamento com o combustível;

reação da mistura de combustível e fluxo de escapamento em pelo menos um catalisador de processador de combustível para a geração de uma mistura de gás de redução compreendendo CO e H₂;

5 introdução da mistura de gás de redução em um catalisador de NSR que tem um adsorvente, por meio do que o adsorvente é regenerado pela introdução da mistura de gás de redução.

27. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o fluxo de escapamento é selecionado a partir do grupo que consiste em escapamento de motor de ignição de compressão e escapamento de motor de ignição por
10 centelhamento de queima pobre.

28. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o combustível compreende hidrocarbonetos.

29. Método, de acordo com a reivindicação 28, onde o combustível é selecionado a partir do grupo que consiste em gasolina e combustível
15 diesel.

30. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o combustível é vaporizado antes de entrar para injeção na janela de injeção de combustível.

31. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o combustível é injetado na janela de injeção de combustível em uma relação de equivalência maior do que 1.
20

32. Método, de acordo com a reivindicação 31, Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o combustível é injetado na janela de injeção de combustível em uma relação de equivalência de cerca de 2 a cerca
25 de 5.

33. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde pelo menos uma porção do catalisador de processador de combustível é aquecida a pelo menos 500°C.

34. Método, de acordo com a reivindicação 33, onde o tempo
30 requerido para o aquecimento de pelo menos uma porção do catalisador até 500°C é de menos de 10 segundos.

35. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o catalisa-

dor de NSR é regenerado pela operação do processador de combustível a uma relação de equivalência de cerca de 1,2 a cerca de 7.

36. Método, de acordo com a reivindicação 35, onde o catalisador de NSR é regenerado pela operação do processador de combustível a uma relação de equivalência de cerca de 2 a cerca de 5.

37. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde a concentração de oxigênio no fluxo de escapamento é de menos de 6%.

38. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde a etapa de introdução da mistura de gás de redução no catalisador de NSR ainda facilita uma dessulfatação periódica do adsorvente de catalisador de NSR.

39. Método, de acordo com a reivindicação 26, que ainda compreende o uso de um sistema de controle.

40. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o processador de combustível compreende pelo menos dois catalisadores, pelo menos um catalisador sendo um catalisador de reformação e pelo menos um catalisador sendo um catalisador de oxidação.

41. Método, de acordo com a reivindicação 26, onde o combustível é injetado de forma intermitente.

42. Unidade de processador de combustível para uso com um fluxo de escapamento de motor, que compreende:

uma entrada para o recebimento de um fluxo de escapamento de motor que compreende oxigênio;

uma saída;

pelo menos um catalisador; e

pelo menos uma janela de injeção de combustível, onde a janela de injeção de combustível está localizada em uma posição a montante do catalisador e facilita a injeção de combustível no catalisador, de modo que pelo menos uma porção do combustível reaja no catalisador para rapidamente elevar a temperatura de pelo menos uma porção do catalisador, e pelo menos uma porção do combustível seja convertida em H_2 e CO.

43. Unidade de processador de combustível, de acordo com a

reivindicação 42, onde o fluxo de escapamento é selecionado a partir do grupo que consiste em escapamento de motor de ignição de compressão e escapamento de motor de ignição por centelhamento de queima pobre.

5 44. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 42, onde pelo menos uma porção do catalisador é aquecida para pelo menos 500°C.

45. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 44, onde o tempo requerido para se aquecer pelo menos uma porção do catalisador para 500°C é de menos de 10 segundos.

10 46. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 42, que ainda compreende um misturador, onde o misturador está localizado a jusante da janela de injeção de combustível e a montante do catalisador.

15 47. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 46, onde o misturador é selecionado a partir do grupo que consiste em um misturador estático e um comprimento de tubo.

48. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 42, que ainda compreende pelo menos pelo menos dois catalisadores, pelo menos um catalisador sendo um catalisador de reformação e 20 pelo menos um catalisador sendo um catalisador de oxidação.

49. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 48, onde o catalisador de oxidação compreende elementos selecionados a partir do grupo que consiste em Grupos VII, VIII e IB da tabela periódica dos elementos e combinações dos mesmos.

25 50. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 49, onde o catalisador de oxidação compreende elementos selecionados a partir do grupo de Pd, Pt, Ir, Rh, Cu, Co, Fe, Ni, Ir, Cr, Mo e combinações dos mesmos.

30 51. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 49, onde o catalisador de reformação compreende elementos selecionados a partir do grupo que consiste em Ni, Rh, Pd, Pt, e combinações dos mesmos.

52. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 48, onde pelo menos dois catalisadores estão em série.

53. Unidade de processador de combustível, de acordo com a reivindicação 48, onde pelo menos dois catalisadores estão em paralelo.

5 54. Método de controle do sistema de acordo com a reivindicação 1, que compreende as etapas de:

iniciação do escoamento de combustível para o processador de combustível;

ajuste da vazão de combustível;

10 manutenção da vazão de combustível até o catalisador de NSR ser regenerado; e

término do escoamento de combustível.

55. Método de controle do método de acordo com a reivindicação, que compreende as etapas de:

15 iniciação da injeção de combustível;

redução da concentração de oxigênio do fluxo de escapamento do motor;

ajuste da vazão de combustível;

20 manutenção da vazão de combustível até o adsorvente de catalisador de NSR ser regenerado; e

término do escoamento de combustível.

56. Método, de acordo com a reivindicação 55, onde a etapa de iniciação da injeção de combustível e a etapa de redução de concentração de oxigênio de fluxo de escapamento de motor ocorrem simultaneamente.

25 57. Método de controle do método da reivindicação 26, onde a injeção de combustível é controlada pelo controle de uma variável selecionada a partir do grupo que consiste em temperatura em um local desejado no fluxo de escapamento, concentração de oxigênio em um local desejado no fluxo de escapamento, concentração de NO_x em um local desejado no
30 fluxo de escapamento, vazão de escapamento total e um parâmetro de operação do motor.

58. Método, de acordo com a reivindicação 57, onde o parâme-

tro de operação do motor é ainda selecionado a partir do grupo que consiste em rpm, torque, intensificação de turbocarregador, regulação de válvula de EGR, e fluxo de ar do motor.

5 59. Método de controle do método da reivindicação 23 pela estimativa do nível de saturação de NO_x do catalisador de NSR.

60. Método, de acordo com a reivindicação 59, onde o nível de saturação é estimado usando-se um sensor de NO_x a jusante do catalisador de NSR.

10 61. Método, de acordo com a reivindicação 59, onde o nível de saturação é estimado usando-se parâmetros de operação do motor, que estimam a quantidade total de NO_x produzida pelo motor.

62. Método, de acordo com a reivindicação 59, onde o método da reivindicação 23 é iniciado quando o catalisador de NSR é estimado como estando em um nível predeterminado de saturação.

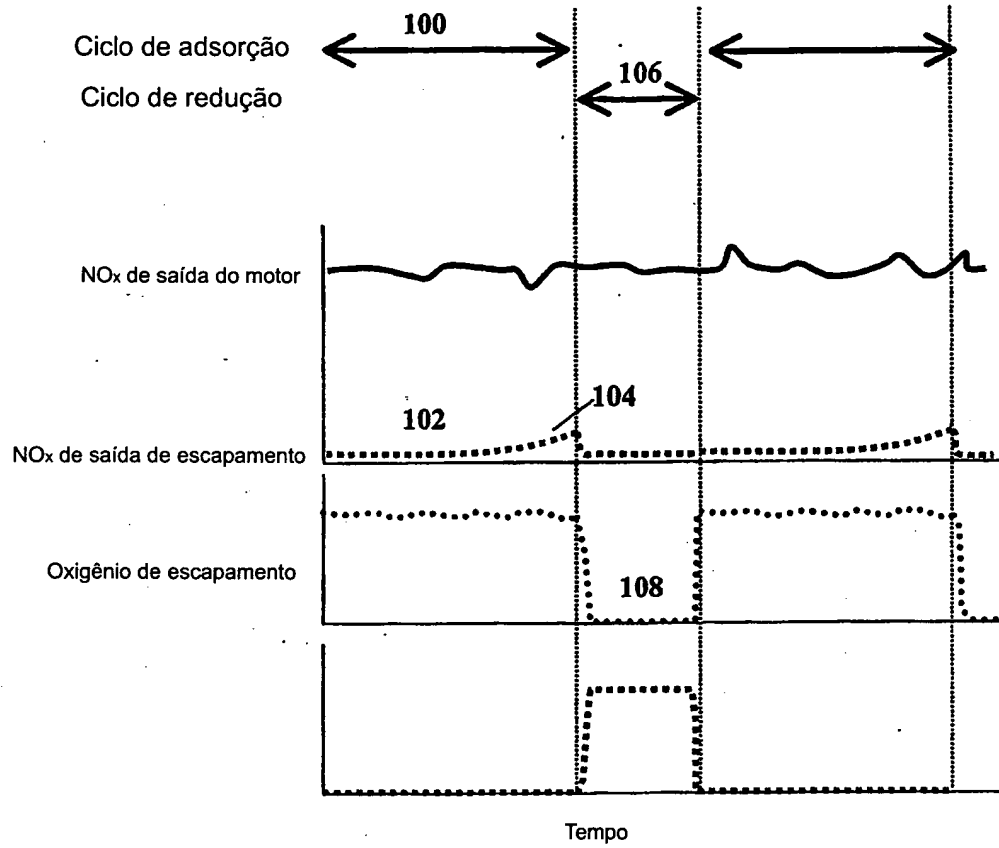


FIG. 1

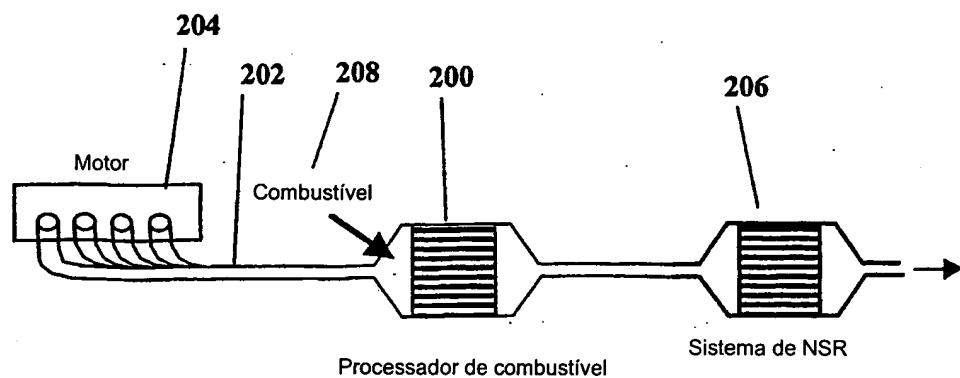


FIG. 2

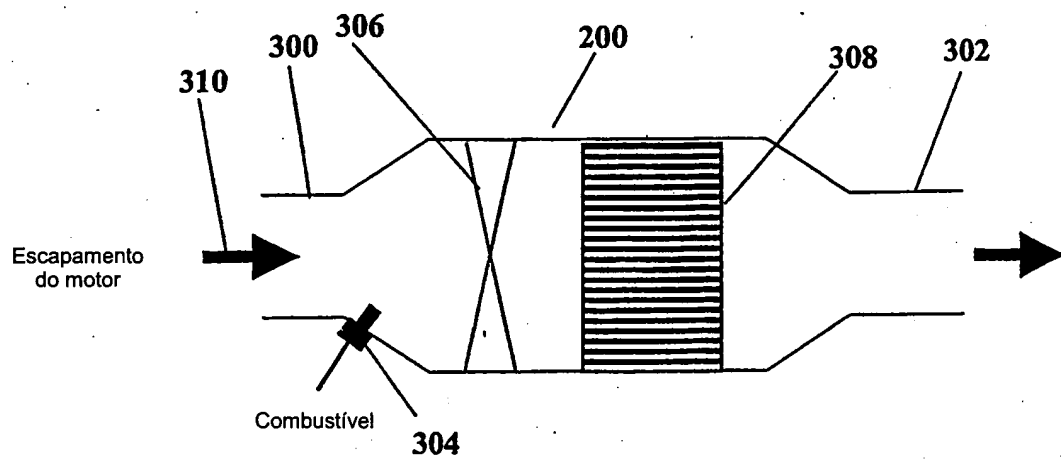


FIG. 3

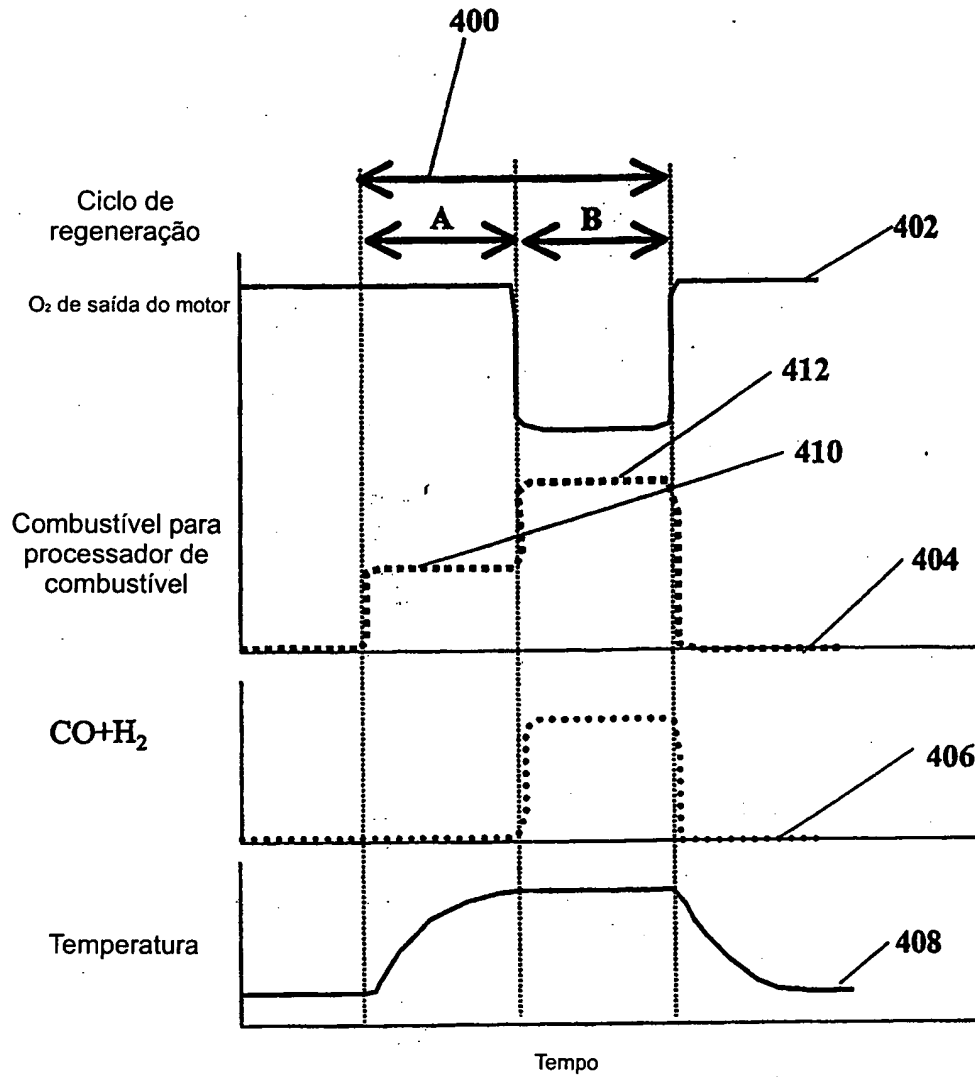


FIG. 4

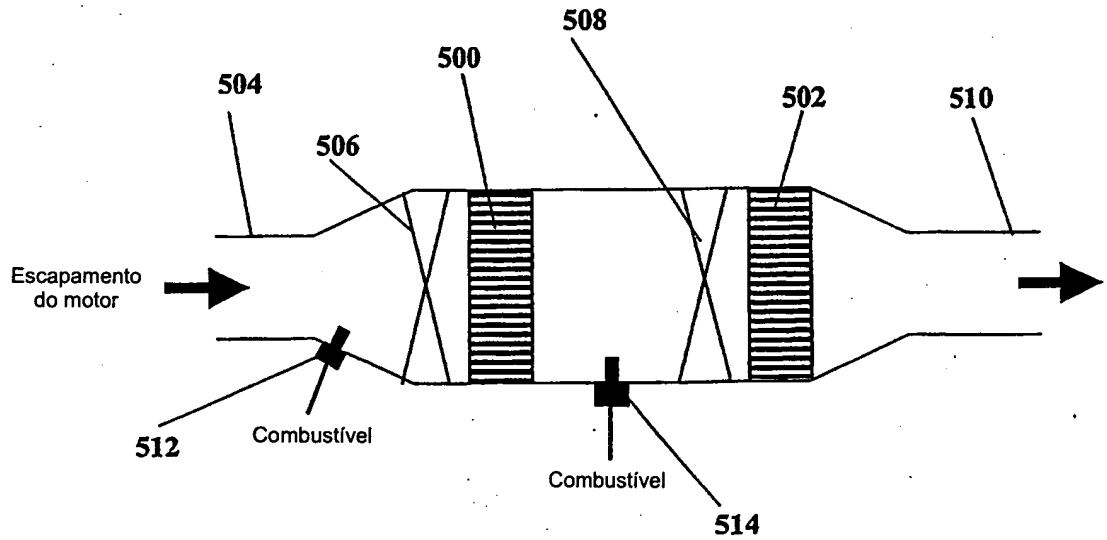


FIG. 5

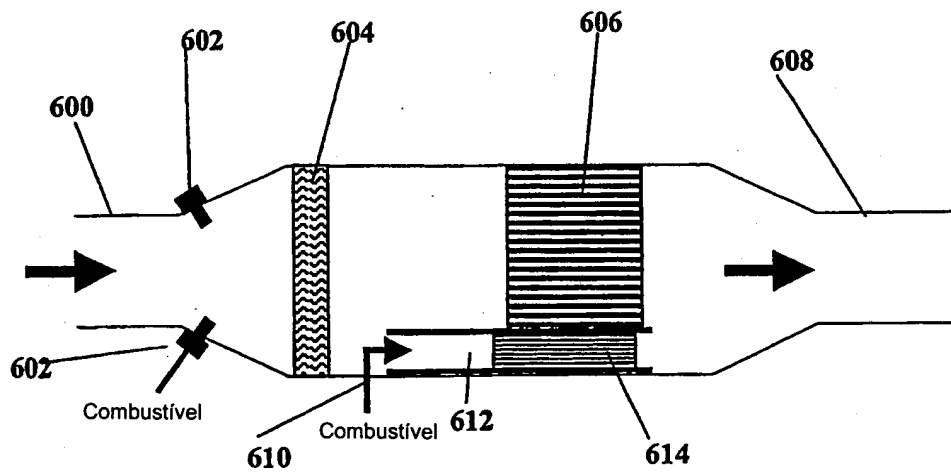


FIG. 6

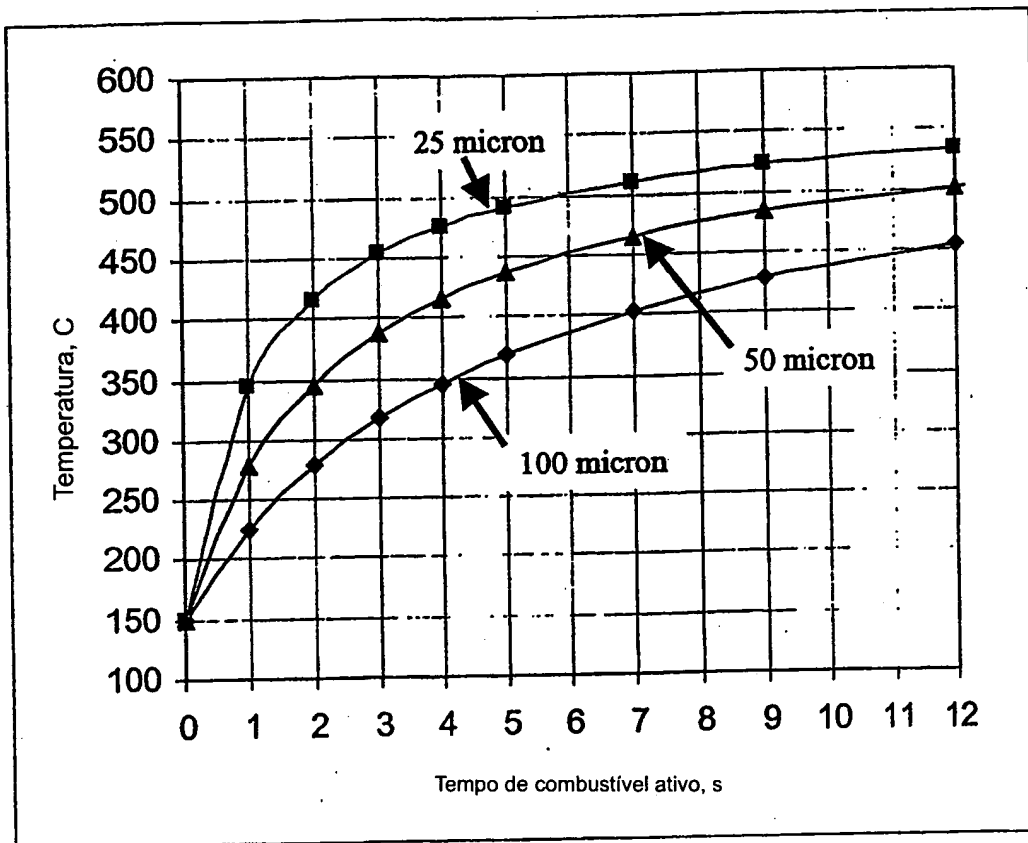


FIG. 7

6/9

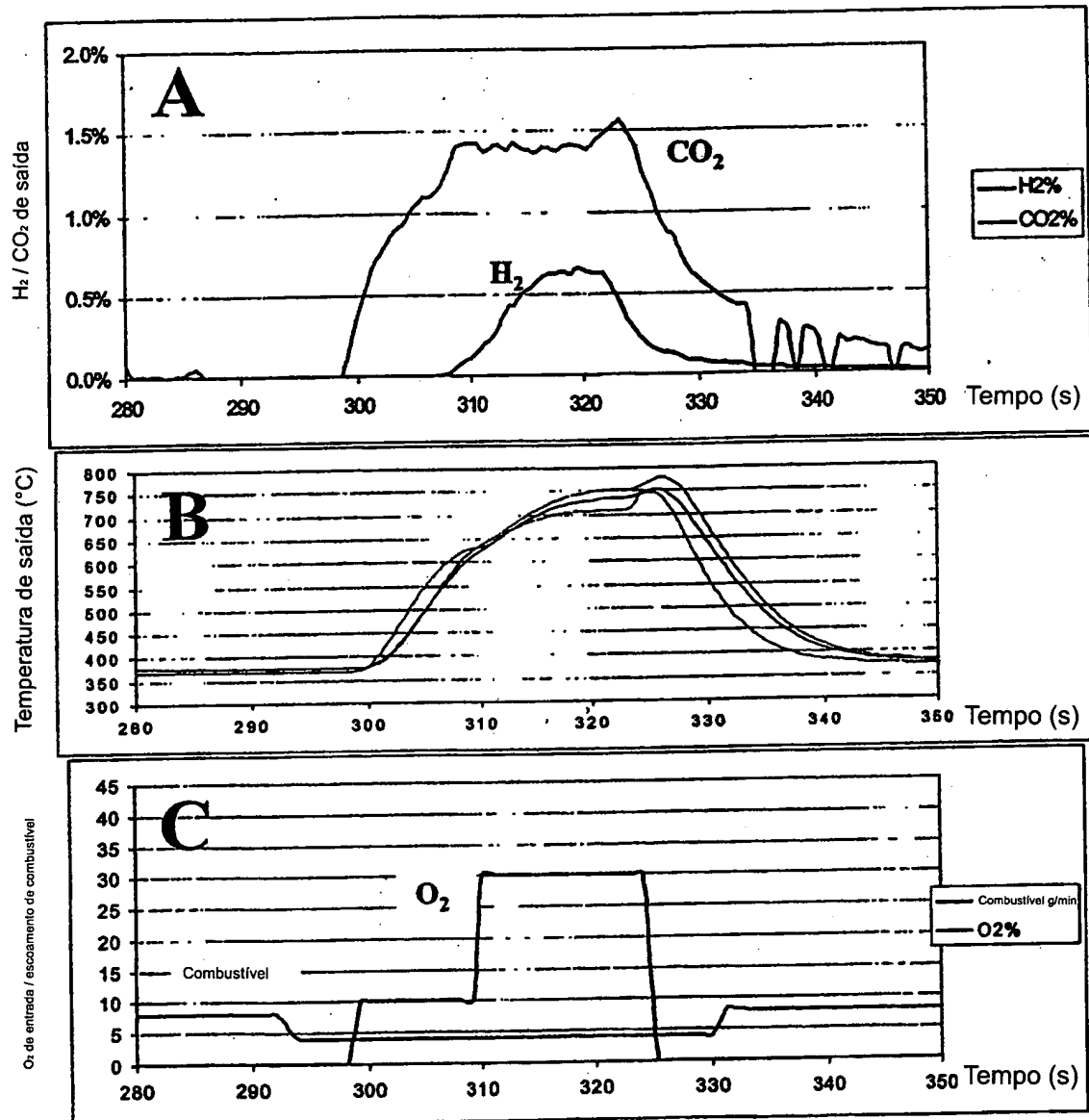


FIG. 8

7/9

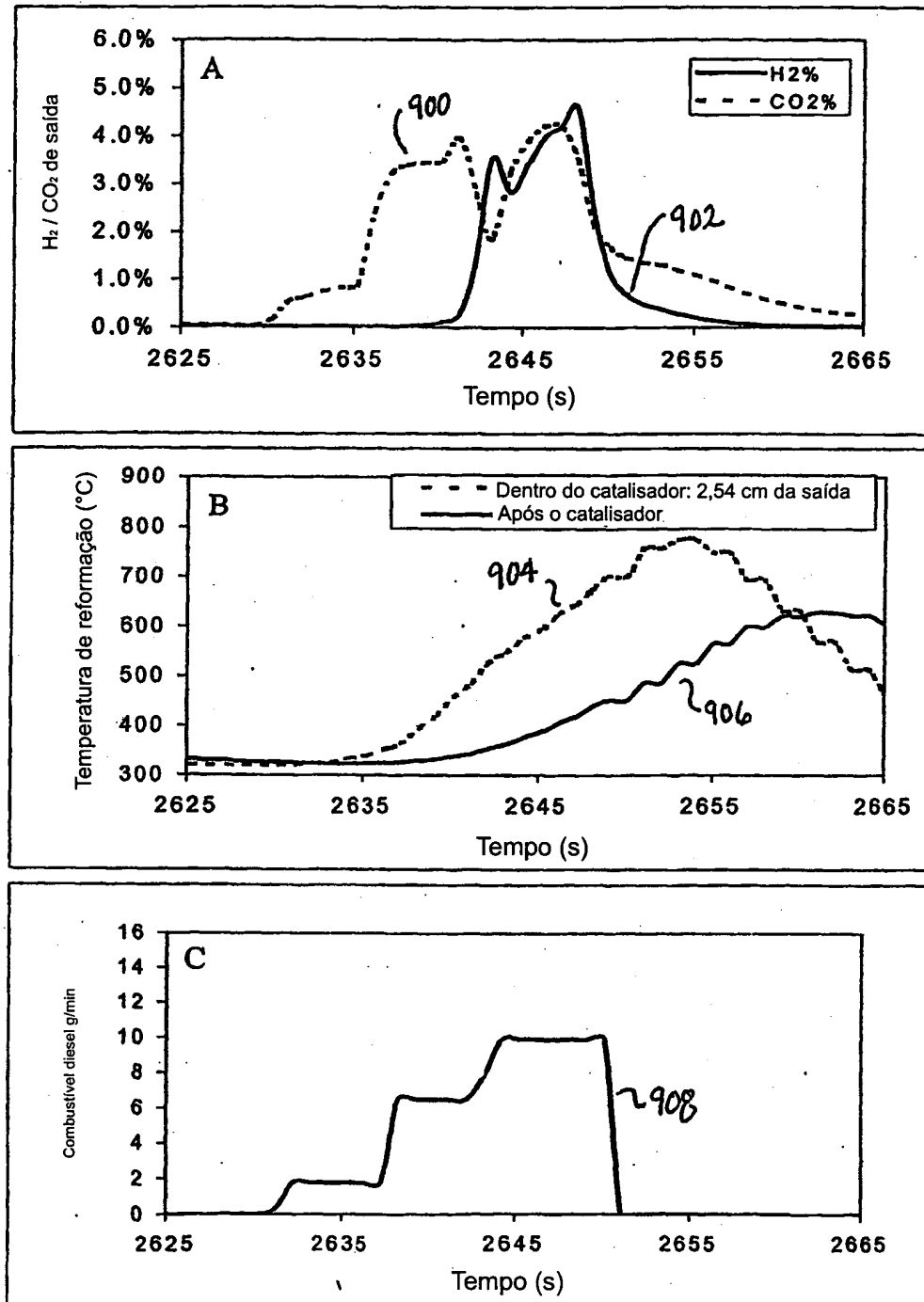


Fig 9

8/9

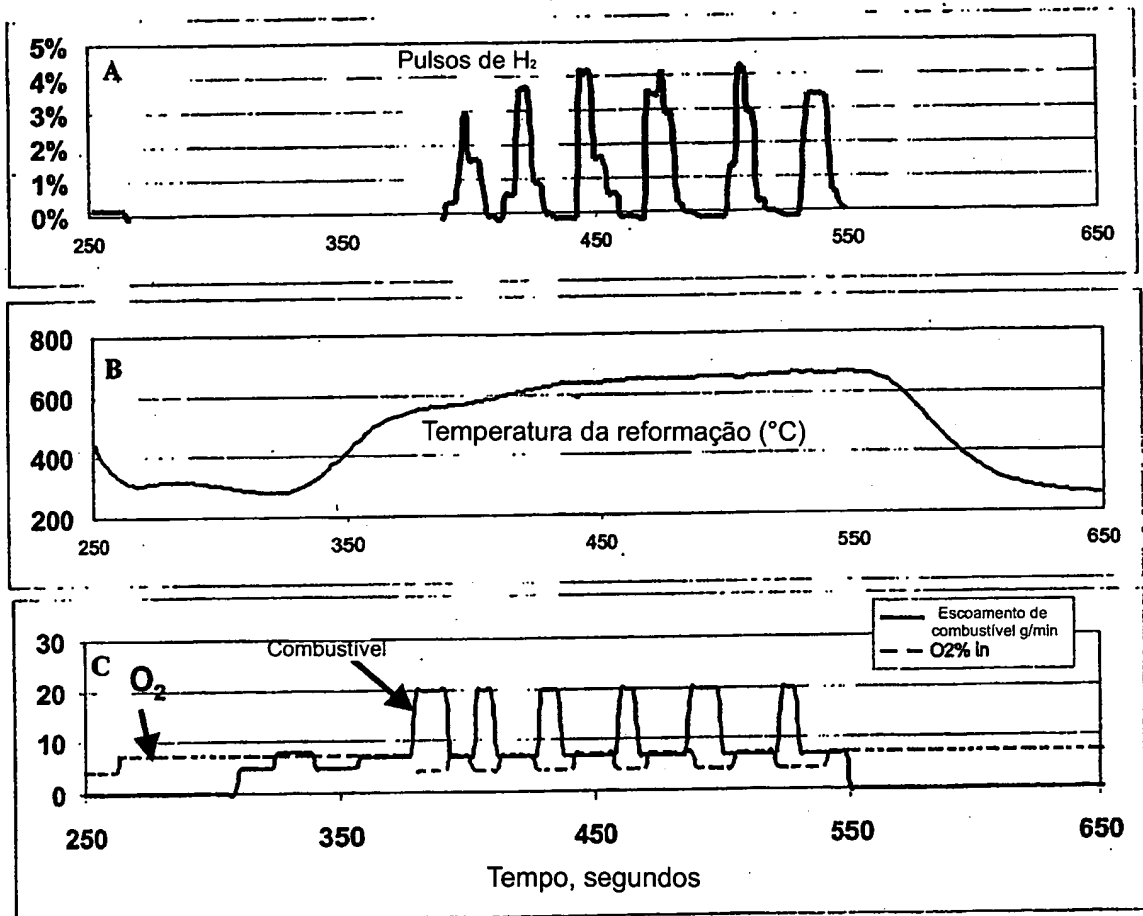
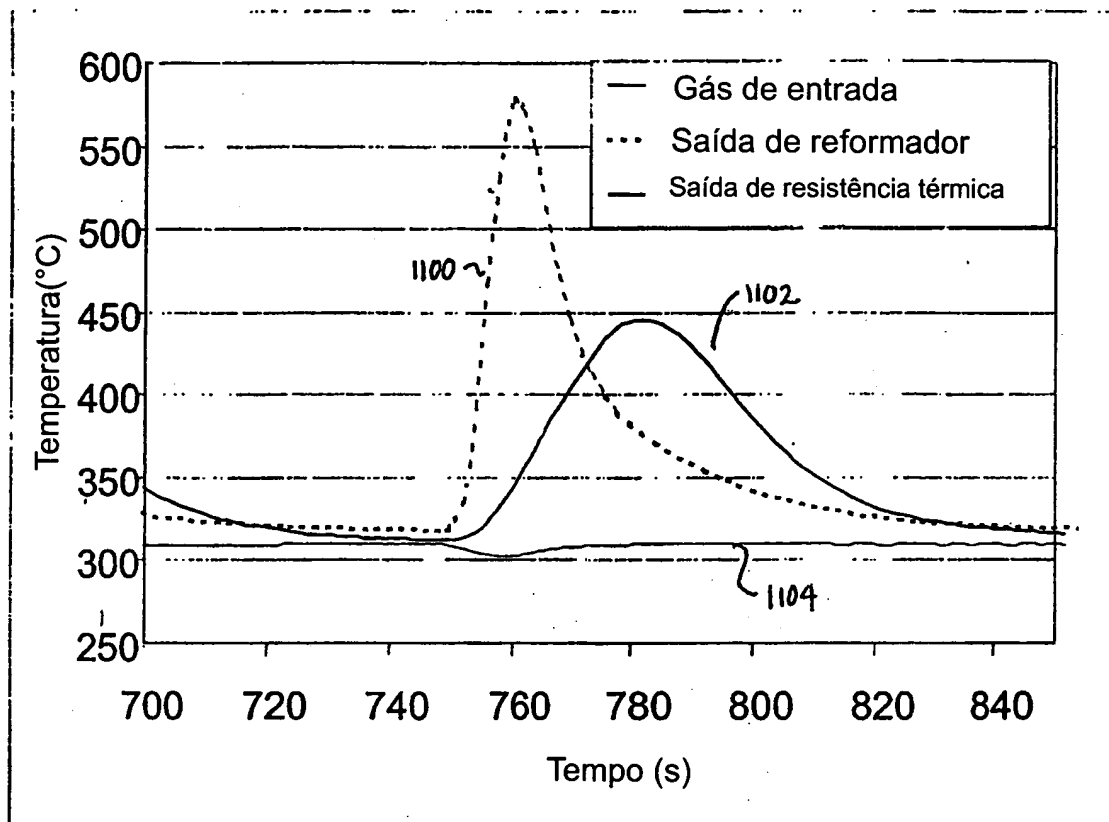


Fig 10


Fig 11

RESUMO

Patente de Invenção: "SISTEMA E MÉTODOS PARA UM CONTROLE DE EMISSÃO MELHORADO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA".

A presente invenção provê sistemas e métodos para melhoria da performance e controle de emissão de motores de combustão interna equipados com sistemas de controle de emissão de redução de armazenamento de óxidos de nitrogênio ("NSR") (206). O sistema compreende um catalisador de NSR (206), um processador de combustível (200) localizado a montante do catalisador de NSR, e pelo menos uma janela de injeção de combustível (208). O processador de combustível (200) converte um combustível em uma mistura de gás de redução compreendendo CO e H₂. A mistura de gás de redução, então, é alimentada para o catalisador de NSR (206), onde ele regenera o adsorvente de NSR, reduz o NO_x para nitrogênio e, opcionalmente, de forma periódica, dessulfata o catalisador de NSR. O processador de combustível (200) compreende um ou mais catalisadores, os quais facilitam as reações tais como combustão, oxidação parcial e/ou reformação, e ajudam a consumir o oxigênio em excesso presente no fluxo de escape do motor. Os métodos da presente invenção provêem uma regeneração de adsorvente de catalisador de NSR. As estratégias de controle são providas para o controle do sistema e dos métodos da invenção.