

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

(21) **PI0711583-0 A2**



(22) Data de Depósito: 16/05/2007
(43) Data da Publicação: 16/11/2011
(RPI 2132)

(51) *Int.Cl.:*

F28F 9/00
F01N 3/01
F01N 3/02
F01N 3/08
F28D 7/10
F28F 9/013
F28F 9/02

(54) **Título:** TROCADOR DE CALOR E MÉTODO PARA REDUZIR EMISSÕES DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO NA CORRENTE DA EXAUSTÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

(30) **Prioridade Unionista:** 16/05/2006 US 11/383.552

(73) **Titular(es):** Dana Canada Corporation

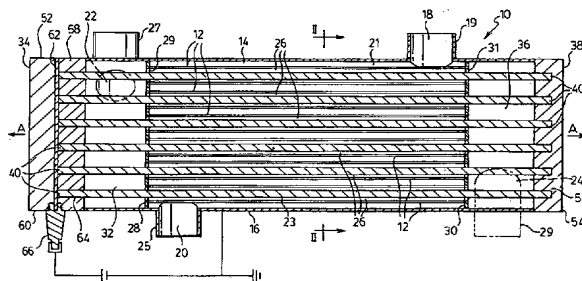
(72) **Inventor(es):** James Scott Cotton

(74) **Procurador(es):** Bhering Advogados

(86) **Pedido Internacional:** PCT CA2007000869 de 16/05/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/131362de 22/11/2007

(57) **Resumo:** TROCADOR DE CALOR E MÉTODO PARA REDUZIR EMISSÕES DE ÓXIDOS DE NITROGENIO NA CORRENTE DA EXAUSTAO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA. Um refrigerador combinado de casas de exaustão e um dispositivo de plasma não-termal têm primeiros e segundos corredores de fluidos que estão em comunicação de troca de calor um com o outro. Um ou vários eletrodos são localizados no segundo corredor de fluido. Os eletrodos são conectados a uma fonte da tensão. Quando uma tensão de suficiente valor é aplicada aos eletrodos, um plasma não-termal é gerado no segundo corredor de fluido. O dispositivo pode ser construído sob a forma de um trocador de calor tipo casca e tubo ou um trocador de calor tipo pilha de tubo, onde os eletrodos estendem-se pelos tubos de troca de calor. Gases da exaustão quente preferencialmente fluem pelos tubos em contato de troca de calor com um líquido refrigerante, com isso refrigerando os gases de exaustão. Os eletrodos geram plasma não-termal dentro dos tubos, convertendo pelo menos uma parcela do NO na exaustão em NO₂, o qual reage com a fuligem nos gases de exaustão para gerar CO₂ e N₂, limpando os gases de exaustão.



**TROCADOR DE CALOR E MÉTODO PARA REDUZIR EMISSÕES DE
ÓXIDOS DE NITROGÊNIO NA CORRENTE DA EXAUSTÃO DE UM MOTOR DE
COMBUSTÃO INTERNA**

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a um trocador de calor que incorpora um dispositivo gerador de plasma, não-termal. A invenção também se refere a um método para o tratamento de gases de exaustão dos motores de combustão interna, por exemplo, usando um trocador de calor incorpora um dispositivo

10 gerador de plasma para refrigerar e/ou reduzir as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) e de fuligem em tais gases de exaustão.

FUNDAMENTO DA INVENÇÃO

Os gases de exaustão de motores de combustão interna

15 podem conter um número de subprodutos da combustão, incluindo NOx, matéria particulada tal como fuligem carbonada, e combustível de hidrocarboneto não queimado. Em particular, os gases de exaustão dos motores a diesel contêm quantidades significativas de NOx e fuligem, e o índice de NOx é também

20 elevado nos gases de exaustão dos chamados motores de "combustão pobre" no qual o combustível é queimado com oxigênio excedente para aumentar a eficiência do motor. As correntes dos gases de exaustão dos motores de combustão pobre podem também conter quantidades significativas de

25 oxigênio

Os efeitos prejudiciais da liberação de NOx, fuligem e compostos orgânicos voláteis na atmosfera são bem documentados. O NOx participa na geração da poluição atmosférica fotoquímica, de chuva ácida e de ozônio.

30 Partículas de fuligem no ar contribuem para a visibilidade baixa e para o surgimento de doenças respiratórias.

Tanto nos motores compressão (diesel) quanto nos de ignição por faísca, os sistemas de tratamento de gases de exaustão foram usados para diminuir emissões de NOx. Tais

35 sistemas de tratamento, que podem recircular uma parcela dos gases de exaustão para o motor, podem reduzir emissões de NOx

dos motores diesel em 40 a 50%, e maiores reduções são possíveis refrigerando o gás de exaustão utilizando um refrigerador de gases de exaustão tal como um trocador de calor compacto do tipo casca e tubo . Há, entretanto, os
5 limites na quantidade de gases de exaustão que pode ser reintroduzida no motor já que a saída de energia e economia de combustível são impactadas adversamente, e descobriu-se que a reintrodução de gases de exaustão no motor pode
10 significativamente aumentar o índice da fuligem no gás de exaustão.

A presença de grandes quantidades de fuligem nos gases de exaustão pode sujar as superfícies internas do refrigerador do gás de exaustão. Acredita-se que a sujeira
15 diminui o desempenho do refrigerador criando uma barreira térmica da baixa condutibilidade nas superfícies de troca de calor, causando a aspereza da superfície nas superfícies de troca de calor a qual aumenta a queda de pressão, e obstrui as passagens pelas quais os gases de exaustão passam especialmente nos tubos de pequeno diâmetro.

20 Sabe-se que usar armadilhas e/ou filtros para partículas reduz o índice da fuligem de uma corrente de gás de exaustão. Algumas destas armadilhas e filtros podem incluir um reator do plasma que gera NO_2 para reagir com a fuligem e para convertê-lo em CO e/ou ao CO_2 gasoso. Sabe-se também que a
25 sujeira dos refrigeradores de gases de exaustão pode ser reduzida ou impedida colocando uma armadilha ou filtro de partícula a montante do refrigerador. Entretanto, estes sistemas sofrem da desvantagem de que um componente adicional é necessário na corrente do gás de exaustão com a finalidade
30 de reduzir o índice da fuligem. Isto acarreta o custo e complexidade do sistema de exaustão.

Permanece uma necessidade para os sistemas de exaustão de gás nos quais a sujeira de um refrigerador dos gases de exaustão é impedida parcialmente ou completamente de uma
35 maneira que seja mais simples e mais barato do que nos sistemas conhecidos

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

De acordo com um aspecto da invenção é fornecido um trocador de calor compreendendo: um primeiro corredor de fluido que se estende de uma primeira porta de entrada a uma primeira porta de saída; um segundo corredor de fluido que se estende de uma segunda porta de entrada a uma segunda porta de saída, onde os primeiros e segundos corredores de fluidos são selados um do outro; pelo menos uma superfície de troca de calor através da qual os primeiros e segundos corredores de fluidos estão em comunicação de troca de calor um com o outro; e pelo menos um eletrodo posicionado no segundo corredor de fluido; onde pelo menos um eletrodo é conectado a uma fonte da tensão que, durante o uso do trocador de calor, aplica tensão a pelo menos um eletrodo; e onde a tensão é de valor suficiente para fazer com que pelo menos um eletrodo gere um plasma não-termal no segundo corredor de fluido.

De acordo com outro aspecto, é fornecido um método para redução das emissões de óxidos de nitrogênio na corrente de exaustão de um motor de combustão interna. O método compreende: (a) fornecimento de um trocador de calor de acordo com a invenção na corrente de exaustão do motor de combustão interna; (b) passagem dos gases de exaustão quentes pela corrente de gases de exaustão e pelo segundo corredor de fluido do trocador de calor, tal que os gases de exaustão quentes que passam pela corrente de gases de exaustão entrem no trocador de calor pela segunda porta de entrada, fluem pelo segundo corredor de fluido e saem do trocador de calor pela segunda porta de saída; onde os gases de exaustão quentes contêm quantidades de óxido nítrico e fuligem carbonácea; (c) passagem de um líquido refrigerante pelo primeiro corredor de fluido; e (d) energização da fonte de tensão para aplicar uma tensão a pelo menos um eletrodo; onde a tensão é de valor suficiente para fazer com que pelo menos um eletrodo gere um plasma não-termal no segundo corredor de fluido, onde o plasma não-termal faz com que pelo menos uma parcela do óxido nítrico nos gases de exaustão quentes seja

convertida para dióxido de nitrogênio, que reage com a fuligem para gerar o dióxido de carbono e nitrogênio.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As configurações preferidas da invenção são descritas
5 agora, como exemplo somente, em referência aos desenhos de acompanhamento em que:

Figura 1 é um diagrama esquemático, seção transversal longitudinal de um trocador de calor de acordo com uma primeira configuração preferida da invenção;

10 Figura 2 é uma seção transversal ao longo da linha II - II da Figura 1;

Figuras 3 e 4 são vistas laterais do trocador de calor da figura 1 no qual os segundos encaixes da entrada e da saída são angulares;

15 Figura 5 ilustra uma forma preferida do espaçador do eletrodo para uso no trocador de calor mostrado na figura 1;

Figura 6 é um diagrama esquemático, seção transversal longitudinal de um trocador de calor de acordo com uma segunda configuração preferida da invenção; e

20 Figura 7 é uma visão final do trocador de calor da figura 6 com a tampa da extremidade 138 removida, e mostrando um número de eletrodos e configurações do espaçador; e

Figura 8 é um diagrama esquemático, vista em perspectiva do trocador de calor da Figura 6.

25 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS CONFIGURAÇÕES PREFERIDAS

Figuras 1 e 4 ilustram esquematicamente um primeiro trocador de calor preferido 10 de acordo com a invenção. O trocador de calor 10 é do tipo "casca e tubo", compreendendo uma pluralidade de tubos 12 estendendo-se paralelos um em
30 relação ao outro e definindo um eixo longitudinal A. Os tubos 12 são dispostos sob a forma de um feixe de tubo 14. Para a simplicidade, somente seis tubos 12 do feixe de tubo 14 são mostrados na Figura 1. O feixe de tubo 14 é fechado nos seus lados por uma casca ou estrutura externa de extensão axial
35 16. O invólucro 16 do trocador de calor 10 tem um lado cilíndrico da parede lateral paralelo ao eixo longitudinal A.

Apreciar-se-á que o invólucro 16 não seja necessariamente cilíndrica, mas pode ser de qualquer forma desejada. Por exemplo, o invólucro 16 pode ter uma seção transversal a qual seja na forma de um polígono regular ou irregular.

5 A parede lateral do invólucro 16 é fornecida com uma primeira porta de entrada 18 e uma primeira porta de saída 20 que estão em comunicação uma com a outra através do primeiro corredor de fluido 21, que compreenda o interior do invólucro 16, entre as extremidades dos tubos 12. No uso, um primeiro
10 fluido da troca de calor passa através do interior do invólucro 16 entre a primeira porta de entrada 18 e a primeira porta de saída 20, em contato com as superfícies exteriores dos tubos 12. A primeira porta de saída 18 e a primeira porta de entrada 20 são fornecidas com os primeiros
15 encaixes de entrada e de saída 19 e 25, respectivamente através do qual o primeiro líquido entra e sai do primeiro corredor de fluido 21. No trocador de calor 10 mostrado nos desenhos, os encaixes de entrada 19 e de saída 25 são da forma dos tubos cilíndricos que se estendem para fora da
20 parede lateral do invólucro 16 em 90 graus. Entretanto, será apreciado que os encaixes 19, 25 possam ser de várias configurações e que possam ser angulados em menos ou mais de 90 graus em relação ao invólucro 16.

As primeiras portas de entrada e de saída 18, 20 são
25 espaçadas separadas do eixo A para promover um fluxo axial do primeiro líquido da troca de calor. Além disso, as primeiras portas da entrada e de saída 18, 20 podem ser espaçadas circunferencialmente para assegurar um fluxo cruzado através do feixe de tubo 14. No exemplo mostrado nos desenhos, as
30 primeiras portas de entrada e de saída 18, 20 e seus respectivos encaixes 19, 25 são espaçados circunferencialmente em aproximadamente 180 graus.

A parede lateral do invólucro 16 também tem uma segunda porta de entrada 22 e uma segunda porta de saída 24 que estão
35 em comunicação uma com a outra através de um segundo corredor de fluido 23 que inclui os interiores ociosos 26 dos tubos 12.

Em uso, um segundo líquido da troca de calor flui através dos interiores 26 dos tubos 12 entre a segunda porta de entrada 22 e a segunda porta de saída 24, o segundo líquido estando em comunicação da troca de calor com o primeiro líquido
5 através das paredes laterais dos tubos 12.

As segundas portas da entrada e de saída 22, 24 são fornecidas com os segundos encaixes de entrada e de saída 27, 29, respectivamente, através do qual o segundo líquido entra e sai do segundo corredor de fluido 21. As indicações acima a
10 respeito da forma e da posição das primeiras portas 18, 20 e encaixes de entrada e saída 19, 25 aplicam-se também às segundas portas 22, 24 e seus respectivos encaixes de entrada e saída 27, 29.

O trocador de calor também compreende meios de selagem
15 junto às extremidades dos tubos para impedir o fluxo do fluido entre os corredores de fluidos 21, 23. Na configuração mostrada na figura 1, os meios da selagem compreendem um par de folhas de tubo perfuradas 28, 30, também conhecidas como "cabeçotes", que estão no acoplamento selado com as
20 extremidades dos tubos 12. As folhas de tubo 28, 30 também têm as bordas exteriores periféricas que são seladas à parede lateral do invólucro 16. No trocador de calor 10 mostrado nos desenhos, as folhas de tubo 28, 30 são circulares. Entretanto, será compreendido que a forma das folhas de tubo
25 28, 30 é variável e é ditada pela forma do invólucro 16.

Será compreendido que o uso dos cabeçotes não é essencial à invenção. Outros tipos de meios da selagem podem ser usados. Por exemplo, é possível construir o trocador de calor 10 usando uma construção "sem cabeçote" na qual as
30 extremidades dos tubos 12 são expandidas e seladas uma à outra para eliminar a necessidade de folhas de tubo perfuradas. Um exemplo de tal construção sem cabeçote é descrito no pedido nº 10/778.571 U.S. comumente assinado, publicado como U.S. 2005/0067153 A1 em 31 de março de 2005,
35 que é incorporado aqui pela referência da sua totalidade.

As perfurações 29 e 31 nas folhas de tubo 28 e 30 são

preferivelmente de diâmetro suficiente de modo a não restringir o fluxo do segundo líquido da troca de calor através dos tubos 12. Na configuração mostrada nos desenhos, as perfurações 29 e 31 têm preferivelmente um diâmetro igual
5 ao diâmetro interno dos tubos 12. Entretanto, este não é necessariamente o caso. Por exemplo, as perfurações 29 e 31 podem preferivelmente ser de diâmetro suficiente para que as extremidades do tubo possam ser recebidas dentro das perfurações 29 e 31.

10 Será visto na Figura 1 que o segundo corredor de fluido 23 também compreende um tubo de distribuição de entrada 32 formado entre a folha de tubo 28 e uma primeira extremidade 34 do trocador de calor 10, e um tubo de distribuição de saída 36 formado entre a folha de tubo 30 e a segunda
15 extremidade 38 do trocador de calor 10. A provisão destes tubos de distribuição 32 e 36 garante uma distribuição mais substancial do segundo líquido da troca de calor entre os tubos 12 do feixe de tubo 14. Para aprimorar mais a distribuição de fluxo, pode-se preferir angular os segundos encaixes de entrada e de saída 27, 29 em relação ao invólucro
20 16. As Figuras 3 e 4 ilustram duas configurações angulares possíveis. Segundo as indicações destes desenhos, o segundo encaixe de entrada 27 pode ser angulado em direção (figura 4) ou afastado (figura 3) do sentido fluxo através do segundo corredor de fluido 23. Similarmente, o segundo encaixe de
25 saída 29 pode ser angulado em direção (figura 3) ou afastado (Figura 4) em relação ao sentido de fluxo. Será compreendido que configurações diferentes daquelas mostradas nas figuras 3 e 4 possam também ser usadas, ex: os segundo encaixes de
30 entrada e saída de fluidos 27, 29 podem ser independentemente dobrados no sentido de fluxo ou contra, com ângulos variáveis.

Dessa forma, o trocador de calor 10 compreende um primeiro corredor de fluido 21 que compreende o interior do
35 invólucro 16 e se estenda longitudinalmente entre as folhas de tubo 28, 30; e um segundo corredor de fluido 23 que

compreende os interiores 26 dos tubos 12 e os tubos de distribuição da entrada e da saída 32,36. Os corredores de fluidos 21, 23 estão em comunicação com a troca de calor um com o outro através de pelo menos uma superfície de troca de calor. No trocador de calor preferido 10 há uma pluralidade de superfícies de troca de calor, cada qual compreende a parede lateral de um tubo 12. Onde o trocador de calor 10 é um refrigerador de gás de exaustão, o primeiro líquido da troca de calor compreende um líquido refrigerante e o segundo líquido da troca de calor compreende os gases de exaustão quentes que são refrigerados pela troca de calor com o líquido refrigerante enquanto passam através dos tubos 12.

O trocador de calor 10 ainda compreende pelo menos um eletrodo 40 que é posicionado no segundo corredor de fluido 23, ex: o corredor de gás de exaustão onde o trocador de calor compreende um refrigerador de gás de exaustão. Na construção casca e tubo do trocador de calor 10, uma pluralidade dos eletrodos 40 é fornecida preferivelmente, cada um se estendendo através do interior 26 de um dos tubos 12. Preferivelmente, todos os tubos 12 são fornecidos com um eletrodo 40. Desde que o eletrodo 40 pega uma parcela do volume interior do tubo 12 que este ocupa, pode-se preferir que os tubos 12 sejam de diâmetros maiores do que os tubos de um trocador de calor tipo casca e tubo convencional, ou que um número maior de tubos seja usado, para manter o fluxo suficiente do segundo líquido da troca de calor através dos tubos.

Os eletrodos 40 são suficientemente longos para se estenderem completamente através dos tubos 12, através das folhas de tubo 28, 30 e completamente através dos tubos de distribuição de entrada e saída 32, 36. Os eletrodos 40 são preferivelmente em forma das hastes de metal cilíndricas e são preferivelmente de rigidez suficiente para exigir a sustentação mínima entre suas extremidades. Em uma configuração da invenção, os eletrodos compreendem as hastes do aço inoxidável que têm um diâmetro de aproximadamente 1/8

polegadas.

Os eletrodos 40 estendem através dos tubos 12 e das folhas de tubo 28, 30 na relação espaçada a esses, e os eletrodos 40 podem ser suportados entre suas extremidades para manter um afastamento desejado das paredes laterais dos tubos 12. Com esta finalidade, espaçadores podem ser fornecidos dentro dos tubos 12 a fim manter o afastamento. A Figura 5 ilustra um exemplo de espaçador 42 que pode ser usado para manter o afastamento entre os eletrodos 40 e as paredes laterais dos tubos 12. O espaçador 42 é feito de um material isolamento eletricamente tal como cerâmica e inclui um concentrador central 44 que tem uma abertura 46 através da qual um eletrodo pode se estender. O espaçador 42 também compreende uma pluralidade de braços radiais 48 que se estendem externamente ao concentrador 44 por uma distância que seja suficiente de modo que os braços 48 façam o contato com as superfícies internas dos tubos 12. O segundo líquido da troca de calor corre através das aberturas 50 entre os braços 48.

Os eletrodos 40 são suportados em suas extremidades por um par de estruturas isolantes eletricamente. Estas estruturas podem preferivelmente ser sob a forma de tampões de extremidade 52, 54 que fecham os extremos opostos 34, 38 do trocador de calor 10. Os tampões de extremidade 52 e 54 são mostrados em figura 1 estando em acoplamento selado com o invólucro 16. Apreciar-se-á que os meios para acoplamento entre os tampões de extremidade 52, 54 e o invólucro 16 sejam variáveis. Por exemplo, pode haver alguma sobreposição entre os tampões de extremidade 52, 54 e invólucro 16, e/ou os tampões de extremidade 52, 54 podem estar parcialmente ou completamente dentro do invólucro 16. O tampão de extremidade 52 é fornecido com meios para fornecer uma tensão aos eletrodos 40, isto sendo discutido em maior detalhe abaixo.

O tampão de extremidade 54 de figura 1 está sob a forma de uma placa ou de um disco de material isolante eletricamente tal como cerâmico. O tampão de extremidade 54 é

moldado ou de outra maneira concebido para ter uma pluralidade de furos 56 nos quais as extremidades dos eletrodos 40 são recebidas. Os furos 56 se estendem somente até a metade do tampão de extremidade 54 para cercar completamente as extremidades dos eletrodos 40. No trocador de calor 10, o tampão de extremidade 54 compreende um disco cilíndrico que tem um diâmetro substancialmente igual àquele do invólucro 16.

O outro tampão de extremidade 52 mostrado na figura 1 é formado por duas camadas 58, 60 de material isolante eletricamente separadas por uma camada de condução 62. As camadas de isolamento 58, 60 também podem estar sob a forma de placas ou discos perfurados como descrito acima em referência ao tampão de extremidade 54. Uma das camadas 58, localizada dentro da extremidade 34 do trocador de calor 10, tem várias perfurações 64 que estendem completamente por esta. As extremidades dos eletrodos 40 se estendem completamente pelas perfurações 64 e estão em contato com a camada condutora 62, que pode preferivelmente compreender uma placa de metal ou um disco do mesmo diâmetro que as camadas 58, 60. Preferencialmente, a camada condutora 62 é formada por um metal que seja o mesmo ou compatível com o metal de que os eletrodos 40 são feitos. Por exemplo, onde os eletrodos 40 forem feitos de hastes do aço inoxidável, a camada condutora 62 deve ser feita de placa ou disco de aço inoxidável. Em algumas configurações da invenção, pode-se preferir ligar os eletrodos 40 à camada condutora 62 e/ou ligar as camadas de isolamento 58, 60 à camada de condução 62.

A segunda camada de isolamento 60 é localizada na extremidade 34 do trocador de calor 10 e cobre a camada condutora 62.

A camada condutora 62 do tampão de extremidade 52 está em comunicação elétrica com uma fonte da alta tensão 66, que pode preferivelmente compreender um plugue de centelha modificado. A fonte de tensão 66 é preferivelmente capaz de

gerar uma tensão pulsada de aproximadamente 1 a aproximadamente 30 kV e com uma baixa corrente. Os requisitos da tensão dependerão da geometria e do valor necessário para gerar uma descarga de plasma desejável. A frequência pode
5 também ser variada para melhorar o desempenho ou pode ser variada para corresponder a velocidade do motor e a taxa de fluxo de gás. O plugue de centelha modificado pode preferivelmente ser fornecido pela a unidade de armazenamento da energia elétrica do veículo e o pulso de tensão pode
10 preferivelmente ser controlado por um interruptor ativo rápido programado no módulo de controle eletrônico do veículo.

Quando usados como refrigerador do gás de exaustão, os primeiros encaixes de entradas e de saída 19, 25 do trocador
15 de calor 10 são conectados a um anel refrigerante, e um líquido refrigerante flui através do primeiro corredor de fluido 21 em contato com os tubos 12. O líquido refrigerante pode preferivelmente compreender um refrigerador do motor de glicol/água. Os segundos encaixes de entrada e de saída 27,
20 29 são conectados no sistema de exaustão de modo que um gás de exaustão quente flua através do segundo corredor de fluido 23, passando pelo interior 26 dos tubos 12. O gás de exaustão conterá alguma quantidade de óxido nítrico (NO) e de fuligem carbonácea. Enquanto os gases de exaustão quentes passam
25 através dos tubos 12 eles estão em contato de troca de calor com o líquido refrigerante através das paredes laterais dos tubos 12. O calor dos gases de exaustão é transferido através das paredes laterais dos tubos 12 e absorvido pelo líquido refrigerante como em um refrigerador convencional de gás de
30 exaustão.

Além disso, os pulsos de tensão são conduzidos aos eletrodos 40 pela camada de condução 62 do tampão de extremidade 52. Estes pulsos de tensão resultam em descarga elétrica dos eletrodos 40, tendo por resultado a geração de
35 uma descarga de plasma não-termal dentro dos tubos 12. A descarga do plasma converte pelo menos uma parcela do NO para

dióxido de nitrogênio (NO_2), que reage com a fuligem para gerar o dióxido de carbono (CO_2) e o nitrogênio (N_2). O gás de exaustão que sai do trocador de calor 10 é conseqüentemente mais limpo e contém quantidades mais baixas de NO_x e fuligem do que antes do tratamento no trocador de calor 10. Uma parcela do gás de exaustão limpo e refrigerado saindo do trocador de calor 10 pode ser direcionada para os tubos de distribuição de entrada do motor (não mostrado).

A descarga de plasma também é esperada para fornecer outros benefícios. Por exemplo, onde uma parcela do gás de exaustão for re-circulada pelo motor, os radicais livres formados pelo plasma podem ainda estar presentes quando o gás de exaustão entrar no tubo de distribuição de entrada, e seria esperada uma melhora no processo da combustão. Além disso, acredita-se que o campo elétrico estabelecido pode gerar forças adicionais na corrente do gás, estas forças são referidas como forças eletrohidrodinâmicas (eletroforética) ou referidas mais comumente como "coroa de vento". Estas forças podem melhorar a transferência de calor aumentando a turbulência dentro do segundo corredor de fluido 23 e conseqüentemente diminuindo a camada de limite térmico.

Um segundo trocador de calor 110 preferido é ilustrado esquematicamente nas Figuras 6 e 8. O trocador de calor 110 é do tipo "tubo empilhado", similar ao descrito na patente U.S. Nº 7.195.060 (Martin et al.), emitida em 27 de março de 2007 e intitulada "Trocador de Calor Tubo Empilhado", que é incorporado neste pela referência em sua totalidade.

O trocador de calor 110 compreende uma pluralidade de tubos alongados, geralmente tubos lisos 112, cada um tendo uma dimensão de largura maior do que sua dimensão de altura. Os tubos 112 podem preferivelmente serem idênticos aos tubos 12 do trocador de calor 10 descrito na patente acima mencionada U.S. Nº 7.195.060, sendo construído em uma parte ou compreendendo pares da placa segundo as indicações da Figura 7. Os tubos 112 estendem-se paralelos um em relação ao outro para definir um eixo longitudinal A e são arranjados

sob a forma de uma pilha de tubo 114. Os tubos têm as porções de extremidade 115 que são expandidas no sentido vertical de modo que as parcelas de extremidade 115 tenham uma altura que seja maior do que uma altura das parcelas centrais dos tubos 112. Isto permite que as parcelas centrais dos tubos 112 estejam separadas enquanto as parcelas de extremidade 115 puderem ser seladas diretamente uma à outra sem a necessidade de um cabeçote ou folha de tubo perfurada. Embora o trocador de calor 110 seja mostrado tendo uma construção sem cabeçote, apreciar-se-á que os tubos 112 do trocador de calor 110 possam preferivelmente ser de altura constante e as extremidades do tubo 115 possam ser recebidas em cabeçotes com fendas que sela as extremidades do primeiro corredor de fluxo de fluido 130.

A pilha de tubo 114 é fechada nas laterais por uma casca exterior disposta axialmente ou por invólucro 116, que podem preferivelmente serem idênticos à estrutura 44 do trocador de calor 10 descrito na patente acima mencionada U.S. N° 7.195.060. O invólucro 116 do trocador de calor 110 tem um par de placas laterais 118, 120 e um par de placas nas extremidades 122, 124 que estendem ao longo do eixo A. O invólucro 116 mostrado nos desenhos tem forma de seção transversal retangular. Entretanto, apreciar-se-á que a estrutura possa ter qualquer forma apropriada, dependendo da forma da pilha de tubo 114 que o cerca. As extremidades dos invólucros 116 sobrepõem-se e são selados às parcelas de extremidade 115 dos tubos 112, embora qualquer dos arranjos alternativos divulgados na patente acima mencionada U.S. N° 7.195.060 poderiam ser usados preferencialmente, por exemplo, os arranjos mostrados nas figuras 4A, 4B e 4C da patente U.S. N° 7.195.060.

A parede lateral do invólucro 116 é fornecida com uma primeira porta de entrada 126 e uma primeira porta de saída 128 (somente a porta de entrada 126 está visível na Figura 6) que estão em fluxo de comunicação um com o outro através de um primeiro corredor de fluido 130. O primeiro corredor de

fluido 130 compreende os espaços entre os tubos adjacentes 112, e ambas as portas 126, 128 estão em fluxo de comunicação com o cada um dos espaços entre os tubos adjacentes 112 na pilha 114. Para fornecer um fluxo de comunicação entre as
5 portas 126, 128 e os espaços entre os tubos 112, as portas 126, 128 são situados nos tubos de distribuição elevados 132, 134 (ver Figura 7), cada qual compreende uma parcela elevada de uma das placas laterais 118, 120 que se estende substancialmente por toda a altura da placa lateral 118, 120.
10 Os tubos de distribuição elevados 132, 134 podem preferivelmente ter a mesma aparência dos tubos de distribuição 56, 60 descritos na patente U.S n°. 7.195.060.

Como com o trocador de calor 10 descrito acima, trocador de calor 110 é fornecido com um par de tampões de extremidade
15 136, 138 que fecham os extremos opostos do trocador de calor 110. Os tampões de extremidade 136, 138 têm preferivelmente um de seção transversal retangular e estão em acoplamento selado e sobreposto às parcelas de extremidade 115 dos tubos 112. Será compreendido que vários arranjos alternativos são
20 possíveis para selar as extremidades do trocador de calor 110, incluindo àquelas divulgadas na patente U.S. N° 7.195.060, e mencionadas acima. Por exemplo, os tampões de extremidade 136, 138 poderiam sobrepor às extremidades do invólucro 116 ou as extremidades do invólucro 116 poderiam
25 sobrepor os tampões de extremidade 136, 138.

Os tampões de extremidade 136, 138 são fornecidos com uma segunda porta de entrada 140 e uma segunda porta de saída 142, respectivamente. As segundas portas de entrada e saída 140, 142 estão em fluxo de comunicação uma com a outra através
30 de um segundo corredor de fluido 144 que inclui os interiores ocos dos tubos 112. No uso, um segundo líquido de troca de calor passa através dos interiores 126 dos tubos 112 entre a segunda porta de entrada 122 e a segunda porta de saída 124, o segundo líquido estando em comunicação de troca de calor
35 com o primeiro através das paredes laterais dos tubos 112. Segundo as indicações dos desenhos, um primeiro tubo de

distribuição espaçado 146 é fornecido dentro do primeiro tampão de extremidade 136 para fornecer um fluxo de comunicação entre todas as extremidades 115 do tubo e a segunda porta de entrada 140, e um segundo tubo de distribuição espaçado 148 é fornecido dentro do segundo tampão de extremidade 138 para fornecer um fluxo de comunicação entre todas as extremidades do tubo 115 e a segunda porta de saída 142.

Embora não seja mostrado nos desenhos, apreciar-se-á que as primeiras portas de entrada e saída 126, 128 possam ser fornecidas com encaixes da entrada e saída e as segundas portas de entrada e saída 140, 142 são fornecidas com os encaixes de entrada e saída 154, 156. Os formatos e configurações dos encaixes são naturalmente parcialmente dependentes dos requisitos de processo de integração e são conseqüentemente altamente variáveis. Por exemplo, os encaixes de entrada e saída 154, 156 das segundas portas de entrada e saída 140, 142 podem preferivelmente ser do mesmo formato e configuração dos das portas de entrada e saída 27, 29 do trocador de calor 10 descrito acima.

Assim, o trocador de calor 110 compreende um primeiro corredor de fluido 130 que é encontrado no interior do invólucro 116 e compreende os espaços entre os tubos adjacentes 112, e um segundo corredor de fluido 144 que compreende os interiores dos tubos 112 e os espaços 146 do tubo de distribuição de entrada e saída 146,148. Os corredores de fluidos 130,144 estão em comunicação de troca de calor um com o outro através de pelo menos uma superfície de troca de calor. No trocador de calor 110 preferido há uma pluralidade de superfícies de troca de calor, compreendendo as paredes superiores e inferiores dos tubos 112. Onde o trocador de calor 110 é um refrigerador do gás de exaustão, o primeiro líquido da troca de calor compreende um líquido refrigerante e o segundo líquido de troca de calor compreende gases de exaustão quentes, como na primeira configuração preferida.

O trocador de calor 110 ainda compreende pelo menos um eletrodo 158 que é situado no segundo corredor de fluido 144, que é o corredor do gás de exaustão no caso onde o trocador de calor 110 compreende um refrigerador do gás de exaustão.

5 Na construção empilhada do tubo do trocador de calor 110, uma pluralidade dos eletrodos 158 é fornecida preferivelmente, cada um dispondo-se através do interior oco de um dos tubos 112. Mais preferivelmente, o interior de cada tubo 112 é fornecido com pelo menos o um eletrodo 158 e, como mostrado
10 na Figura 7, cada tubo 112 pode ser fornecido com uma pluralidade dos eletrodos 158 arranjados espaçadamente, paralelos em relação um ao outro. Desde que uma parcela do volume interior de cada tubo 112 é tomada pelos eletrodos 158, pode-se preferir que os tubos 112 sejam um tanto maiores
15 na área de seção transversal do que os tubos de um trocador de calor empilhado convencional, ou que um número maior de tubos 112 seja usado, para manter o suficiente fluxo do segundo líquido de troca de calor através dos tubos 112.

Os eletrodos 158 são suficientemente longos para
20 estenderem-se completamente pelos tubos 112 e através das extremidades 115 do tubo. Os eletrodos 158 podem preferivelmente estenderem-se completamente pelos espaços 146 do tubo de distribuição da entrada e da saída 146, 148. Os eletrodos 158 podem preferivelmente ser no formato de hastes
25 de metal que são de rigidez suficiente para exigir a sustentação mínima entre suas extremidades. Em uma configuração da invenção, os eletrodos compreendem as hastes 158a de aço inoxidável que têm um diâmetro de aproximadamente 1/8 polegadas. A Figura 7 ilustra três formatos preferidos
30 dos eletrodos 158. A maioria dos tubos 112 mostrados na Figura 7 contém uma pluralidade de eletrodos 158a sob a forma de hastes cilíndricas, os eletrodos 158a que estão espaçados um do outro através da largura dos tubos 112. Um dos tubos 112 mostrados na Figura 7 contém uma pluralidade de eletrodos
35 158b que têm uma seção transversal aplainada, oval, e outro do tubo 112 contém um único eletrodo 158c plano, tipo folha o

qual pode ou não pode ser perfurado. Outras formas também são possíveis. Por exemplo, os eletrodos 158c podem estar na forma de malha de fio ou metal expandido. Apreciar-se-á que as várias configurações do eletrodo mostradas na Figura 7 são para finalidades ilustrativas somente. Pode-se preferir que cada configuração do trocador de calor de acordo com a invenção tenha somente um tipo de eletrodo.

Os eletrodos 158 estendem-se através dos tubos 112 na espaçados em relação a esses e espaçados entre eles. Os eletrodos 158 podem ser suportados entre suas extremidades para manter um afastamento desejado das paredes laterais dos tubos 112. Com esta finalidade, os espaçadores podem ser fornecidos dentro dos tubos 112 a fim manter o afastamento. A Figura 7 mostra dois tipos diferentes de espaçadores os quais podem ser usados com os eletrodos em formato de haste tais como os eletrodos 158a e 158b da Figura 7. De acordo com uma configuração, um espaçador 166 é fornecido o qual é idêntico na construção ao espaçador 42 descrito acima salvo que tem quatro pés para a estabilidade adicionada dentro do tubo retangular 112. Em outra configuração, um espaçador 168 é fornecido sob a forma de um bloco com uma abertura central através da qual o eletrodo 158 estende-se. Apreciar-se-á que muitas formas alternativas dos espaçadores sejam possíveis dentro do escopo da invenção, dependendo dos formatos do eletrodo e do tubo.

Os eletrodos 158 são suportados em suas extremidades por um par de estruturas isoladas eletricamente. Estas estruturas podem preferivelmente ser do formato de tampões de extremidade 170, 172 que fecham os extremos opostos do trocador de calor 110. Os tampões de extremidade 170 e 172 são mostrados na Figura 6 como estando no acoplamento selado com o invólucro 116. Apreciar-se-á que os meios para o acoplamento entre os tampões de extremidade 170, 172 e o invólucro 116 sejam variáveis. Por exemplo, pode haver alguma sobreposição entre os tampões de extremidade 170, 172 e o invólucro 116, e/ou os tampões de extremidade 170, 172 podem

estar parcialmente ou completamente dentro do invólucro 116. O tampão de extremidade 172 é fornecido com meios para fornecer uma tensão aos eletrodos 158, como discutido abaixo. No trocador de calor 110, os tampões de extremidade 170, 172
5 têm um tamanho e forma retangulares que correspondem àquele do invólucro 116, embora sua forma possa ser variada.

O tampão de extremidade 170 da Figura 6 tem formato de uma placa de material isolante eletricamente tal como cerâmica. O tampão de extremidade 170 é moldado ou de outra
10 maneira concebido para ter uma pluralidade de furos 174 nos quais as extremidades dos eletrodos 158 são recebidas. Os furos 174 estendem-se somente até a metade do tampão de extremidade 170 para cercar completamente as extremidades dos eletrodos 158.

O outro tampão de extremidade 172 mostrado na Figura 6 é compreendido por duas camadas 176, 178 de material isolante eletricamente separado por uma camada de condução 180. Uma das camadas de isolamento 176 está sob a forma de uma placa perfurada, tendo uma pluralidade de perfurações 182 que se
20 estendem completamente por esta. As extremidades dos eletrodos 158 estendem-se completamente pelas perfurações 182 e estão em contato com a camada condutora 180, que pode preferivelmente compreender uma placa de metal. Os comentários sobre a escolha de materiais para os eletrodos 40 e a camada de condução 62 aplicam-se aqui também. Em algumas configurações da invenção, pode-se preferir ligar os eletrodos 158 à camada condutora 180 e/ou ligar as camadas de isolamento 176, 178 à camada de condução 180. A segunda camada de isolamento 178 é situada na extremidade do trocador
30 de calor 110 e cobre a camada condutora 180.

A camada condutora 180 do tampão de extremidade 172 está em comunicação elétrica com uma fonte da alta tensão 184, que pode preferivelmente ser a mesma que aquela descrita acima referente à primeira configuração preferida.

O uso do trocador de calor 110 como refrigerador do gás de exaustão é descrito acima em relação ao trocador de calor

10.

Embora a invenção tenha sido descrita em relação a determinadas configurações preferidas, não é limitada a isso. De certa forma, a invenção inclui no seu escopo todas as
5 configurações que podem cair dentro do escopo das seguintes reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Trocador de calor, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

primeiro corredor de fluido estendendo-se entre uma primeira porta de entrada e uma primeira porta de saída;
segundo corredor de fluido estendendo-se entre uma segunda porta de entrada e uma segunda porta de saída, onde os primeiro e segundo corredores de fluidos são selados um do outro;

pelo menos uma superfície da troca de calor através da qual os primeiro e segundo corredores de fluidos estão em comunicação de troca de calor um com o outro; e

pelo menos um eletrodo posicionado no segundo corredor de fluido;

onde pelo menos um eletrodo é conectado a uma fonte da tensão que, durante o uso do trocador de calor, aplica uma voltagem à pelo menos um eletrodo; e onde a tensão é de valor suficiente para fazer com que pelo menos um eletrodo gere um plasma não-termal no segundo corredor de fluido.

2. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos um eletrodo é espaçado de pelo menos uma superfície de troca de calor.

3. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de ainda compreender um invólucro que fecha o primeiro e segundo corredor de fluidos, o invólucro tendo parede lateral na qual as primeiras e segundas portas de entrada e saída são dados formadas.

4. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de incluir uma pluralidade de tubos espaçados, paralelos e alongados, cada qual tendo uma parede lateral e interior oco; onde o segundo corredor de fluido compreende os interiores ocos dos tubos alongados e onde o primeiro corredor de fluido compreende uma área em volta dos tubos; e onde pelo menos uma superfície de troca de calor compreende as paredes laterais dos tubos.

5. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação

4, **caracterizado** pelo fato de que os meios de selagem são fornecidos junto às extremidades dos tubos para impedir o fluxo de comunicação entre o primeiro e segundo corredor de fluido.

5 6. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
5, **caracterizado** pelo fato de que os meios da selagem compreendem um par de cabeçotes situados nos extremos opostos dos tubos; onde as extremidades dos tubos são seladas aos cabeçotes e os cabeçotes são fornecidos com uma pluralidade
10 de perfurações, cada qual se comunicando com o interior de um dos tubos.

7. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
6, **caracterizado** pelo fato de que o segundo corredor de fluido ainda compreende um tudo de distribuição de entrada
15 através do qual a segundo porta de entrada de fluido se comunica com os interiores dos tubos e um tubo de distribuição de saída através do qual a segundo porta de saída de fluido se comunica com os interiores dos tubos.

8. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
20 1, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos um eletrodo é suportado por uma ou várias estruturas de sustentação isolantes eletricamente.

9. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
8, **caracterizado** pelo fato de que o segundo corredor de fluido é alongado e tem os extremos opostos abertos; onde
25 cada um dos eletrodos estende-se completamente através do segundo corredor de fluido; e onde os extremos opostos dos eletrodos são localizados fora do segundo corredor de fluido e são suportados pelas estruturas de sustentação.

30 10. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
9, **caracterizado** pelo fato de que ainda compreender um invólucro que fecha o primeiro e segundo corredor de fluido, um invólucro tendo extremos opostos aos quais as estruturas da sustentação são unidas.

35 11. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
10, **caracterizado** pelo fato de que as estruturas de

sustentação compreendem os tampões de extremidade que selam as extremidades do invólucro.

12. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que ainda compreende uma placa eletricamente condutora que está em contato elétrico com uma das extremidades de cada um dos eletrodos e através da qual a tensão é aplicada aos eletrodos, onde a placa eletricamente condutora é unida a uma das estruturas de sustentação.

13. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que as estruturas de sustentação são situadas entre os extremos opostos dos eletrodos mantendo o afastamento entre os eletrodos e entre pelo menos uma superfície de troca de calor.

14. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a tensão é de aproximadamente 1 a 30 kV.

15. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a tensão é pulsada.

16. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o trocador de calor compreende uma trocador de calor tipo casca e tubo que compreende uma pluralidade de tubos paralelos, alongados, dispostos longitudinalmente que têm interiores ocos, os tubos arrançados em um feixe de tubo recebido dentro de uma estrutura disposta longitudinalmente;

onde o primeiro corredor de fluido compreende um interior do invólucro e o segundo corredor de fluido compreende os interiores ocos dos tubos;

onde dito pelo menos uma superfície de troca de calor compreende paredes laterais dos tubos;

onde cada um dos tubos tem um eletrodo que estende-se longitudinalmente através de seu interior oco espaçado em relação à parede lateral do tubo; e

onde os extremos opostos dos eletrodos são suportados pelas estruturas de sustentação situadas nos extremos opostos do invólucro; as estruturas de sustentação impedindo o

contato elétrico entre o eletrodo e o feixe de tubo e o invólucro; uma das estruturas de sustentação configurando uma estrutura eletricamente condutora através da qual a tensão é aplicada a uma extremidade de cada eletrodo.

5 17. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o trocador de calor compreende um trocador de calor tipo pilha de tubo que compreende uma pluralidade de tubos paralelos, alongados, dispostos longitudinalmente que têm os interiores ocos, cada
10 um dos tubos tendo a largura substancialmente maior do que sua altura, os tubos arranjados em uma pilha de tubo recebida dentro de um invólucro disposto longitudinalmente;

 onde o primeiro corredor de fluido compreende uma pluralidade de espaços entre os tubos e o segundo corredor de
15 fluido compreende os interiores ocos dos tubos;

 onde pelo menos uma superfície de troca de calor compreende paredes laterais dos tubos;

 onde cada um dos tubos tem pelo menos um dos eletrodos dispostos longitudinalmente passando pelo seu interior oco,
20 onde pelo menos um eletrodo é arranjado espaçado em relação à parede lateral do tubo; e onde os extremos opostos de pelo menos um eletrodo são suportados pelas estruturas de sustentação situadas em extremos opostos do invólucro; as estruturas de sustentação impedindo o contato elétrico entre
25 pelo menos um eletrodo e a pilha de tubo e o invólucro; uma das estruturas de sustentação configurando uma estrutura eletricamente condutora através da qual a tensão é aplicada à uma extremidade de cada eletrodo.

 18. Trocador de calor, de acordo com a reivindicação
30 17, **caracterizado** pelo fato de que cada um dos tubos tem uma pluralidade de eletrodos dispostos longitudinalmente que se estendem pelo seu interior oco e que são espaçados paralelamente em relação ao outro através da largura do tubo.

 19. Método para reduzir emissões de óxidos de
35 nitrogênio na corrente da exaustão de um motor de combustão interna, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

(a) o fornecimento de um trocador de calor na corrente de exaustão do motor de combustão interna, onde o trocador de calor compreende:

5 (i) um primeiro corredor de fluido que estende-se entre uma primeira porta de entrada e uma primeira porta de saída;

(ii) um segundo corredor de fluido que estende-se entre uma segunda porta de entrada e uma segunda porta de saída, onde o primeiro e segundo corredor de fluidos são selados um do outro, onde o segundo corredor de fluido e a segunda porta de entrada e de saída estão em um fluxo de comunicação com a corrente do gás de exaustão;

10 (iii) pelo menos uma superfície de troca de calor através da qual os primeiros e segundos corredores de fluidos estão em comunicação de troca de calor um com o outro; e

15 (iv) pelo menos um eletrodo posicionado no segundo corredor de fluido; onde um eletrodo é conectado a uma fonte de tensão;

(b) passagem de gases de exaustão quentes através da corrente de gases de exaustão e através do segundo corredor de fluido do trocador de calor, tal que os gases de exaustão quentes que fluem através da corrente de gases de exaustão entrem no trocador de calor através da segunda porta de entrada, passem através do segundo corredor de fluido e saiam do trocador de calor através da segunda porta de saída; onde os gases de exaustão quentes contêm quantidades de óxido nítrico e fuligem carbonácea;

20 (c) passagem de um líquido refrigerante através do primeiro corredor de fluido; e

30 (d) energização da fonte de tensão para aplicar uma tensão à pelo menos um eletrodo; onde a tensão é de suficiente valor para fazer com que pelo menos um eletrodo gere um plasma não-termal no segundo corredor de fluido, onde o plasma não-termal faz com que pelo menos uma parcela do óxido nítrico nos gases de exaustão quentes seja convertida em dióxido de nitrogênio, que reage com a fuligem para gerar

o dióxido de carbono e o nitrogênio.

20. Método, de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado** pelo fato de que a tensão é pulsada.

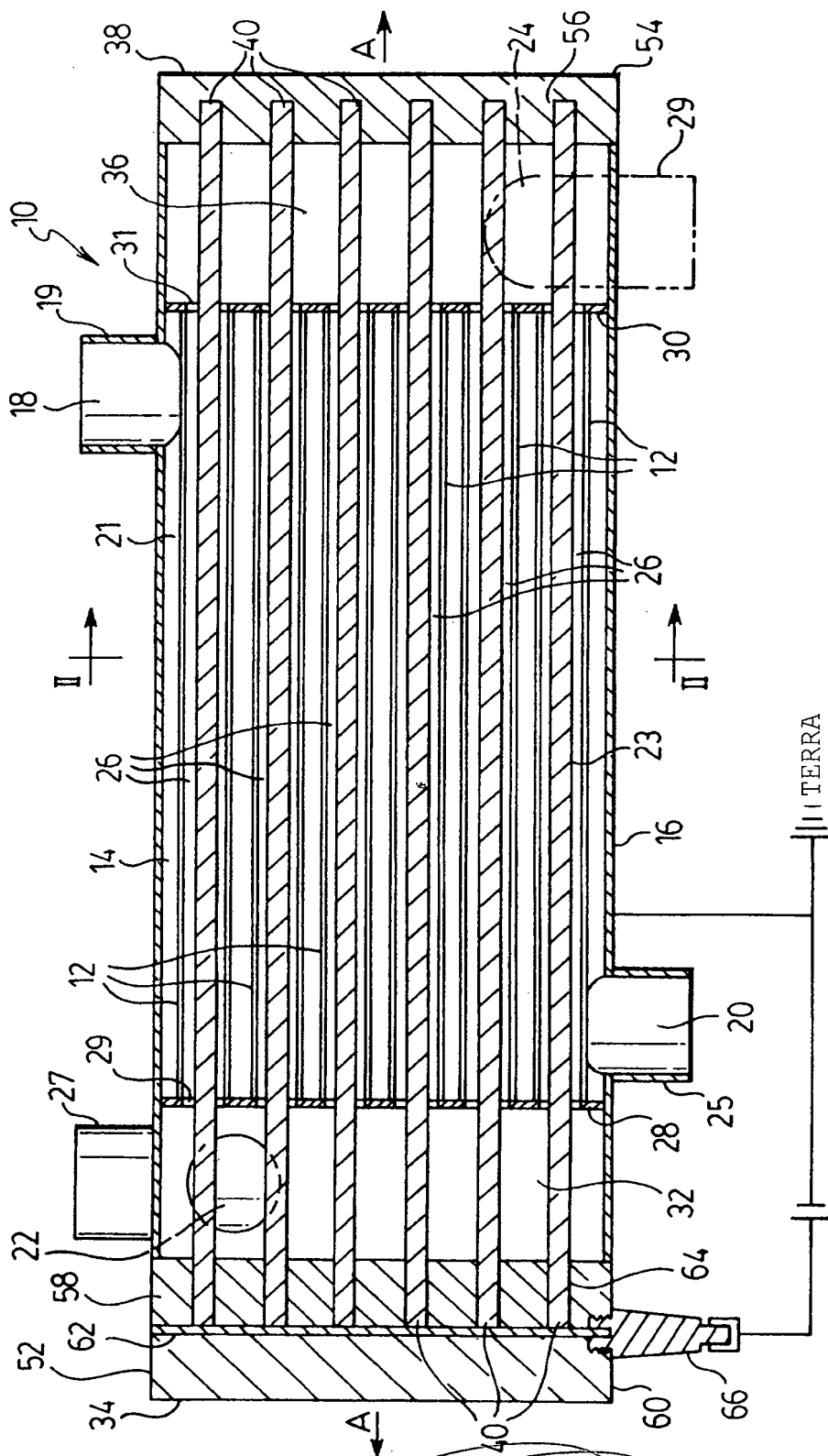


FIG. 01

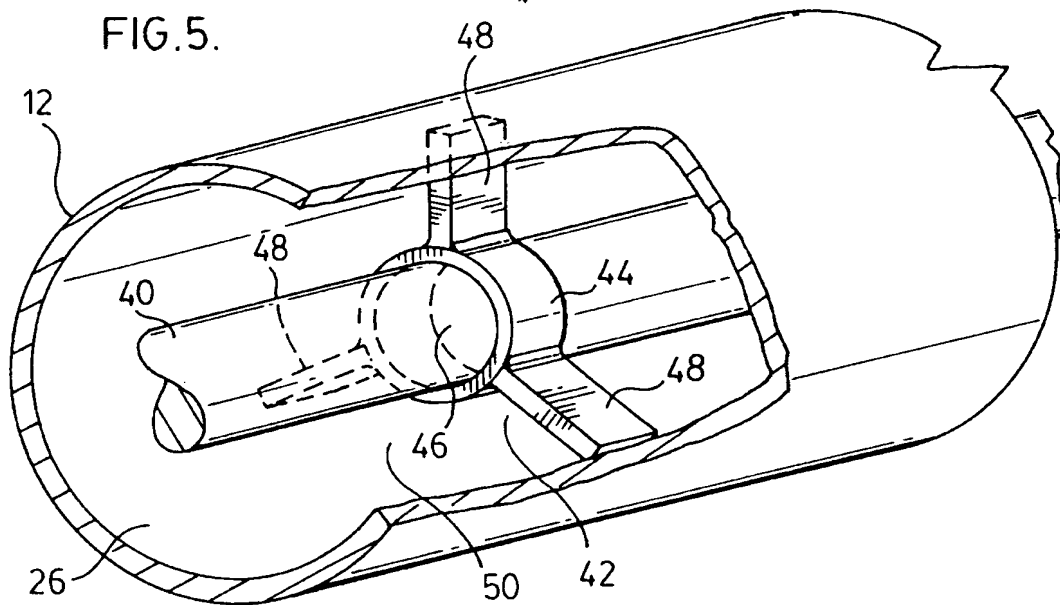
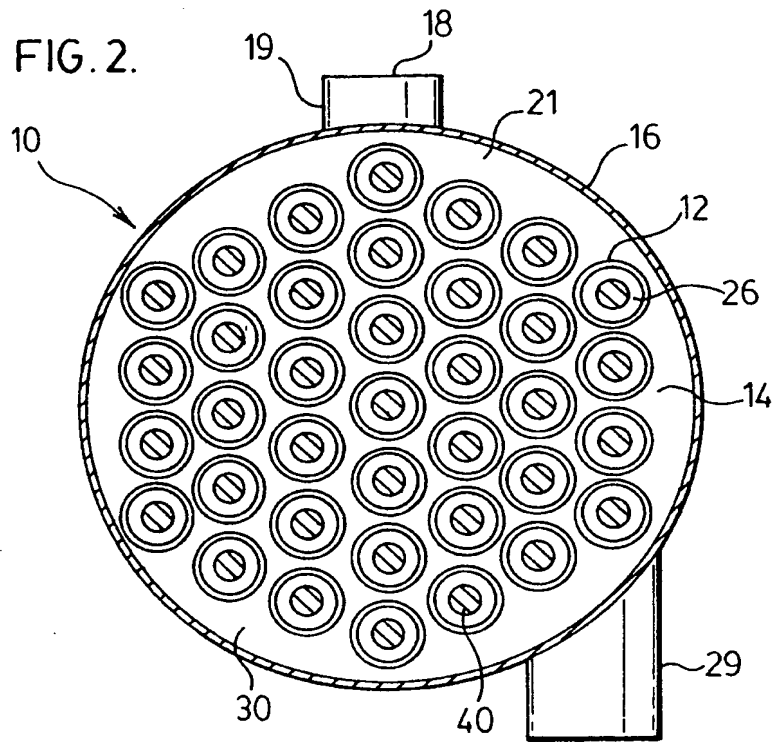


FIG. 3.

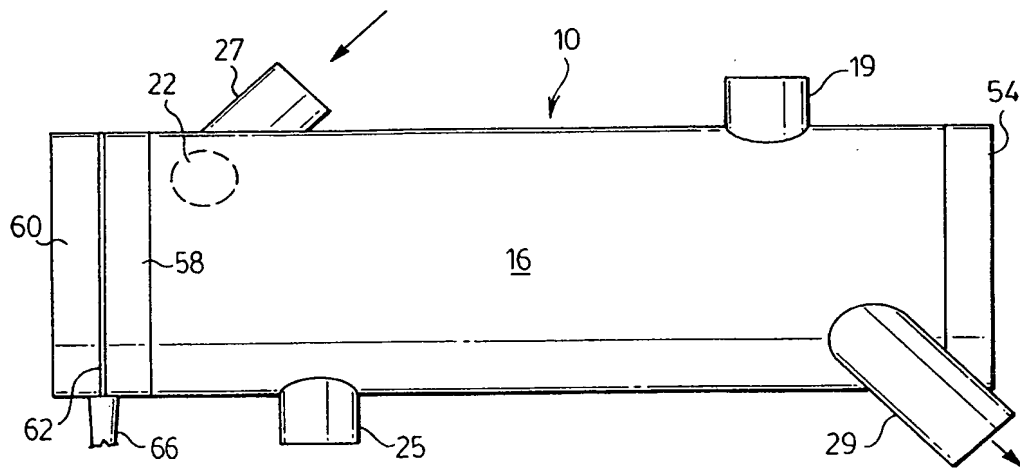
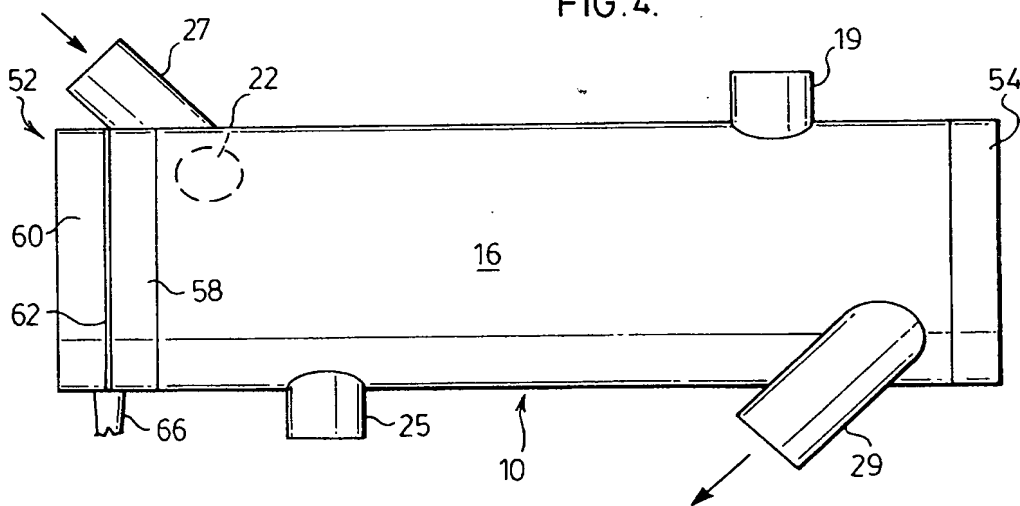
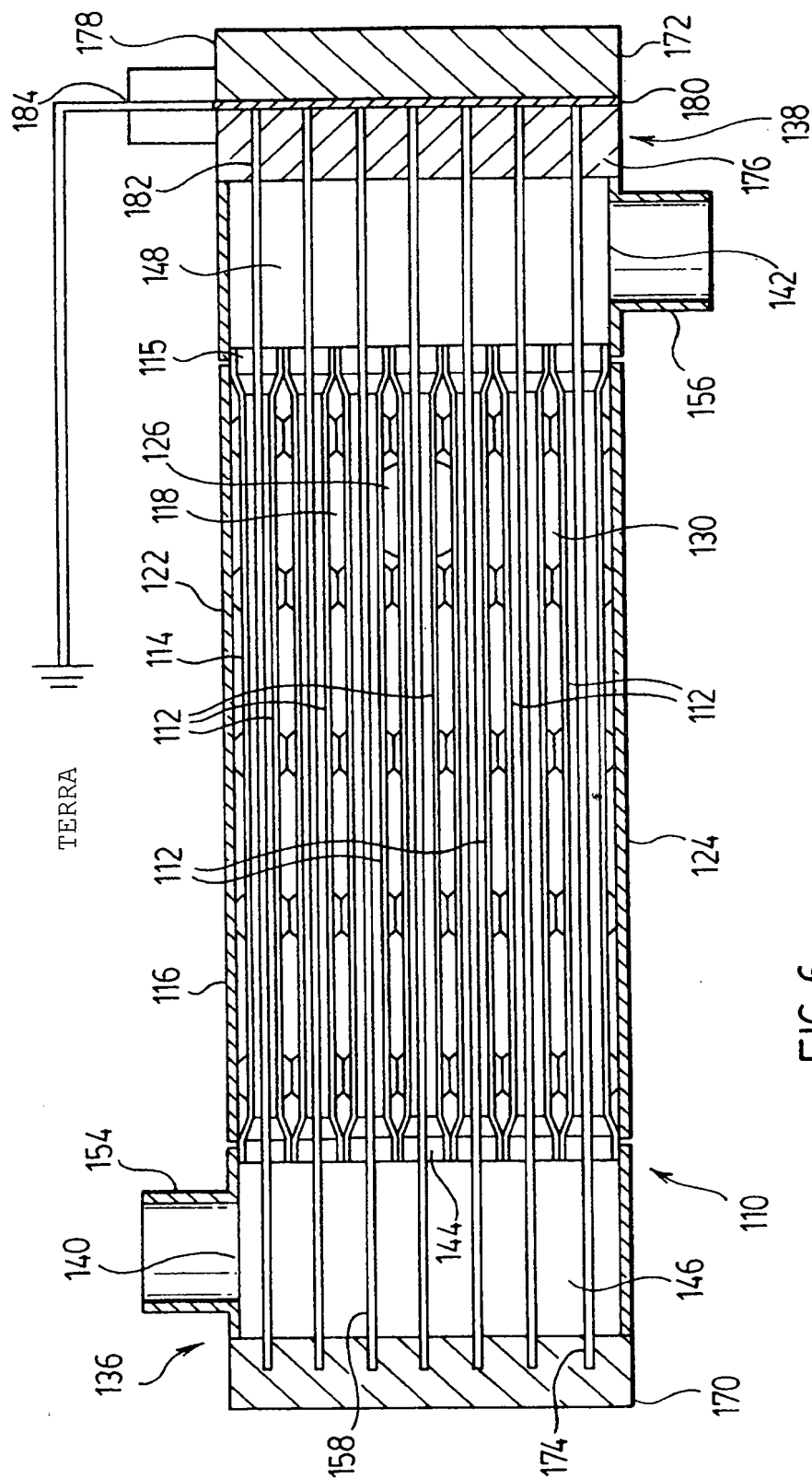


FIG. 4.





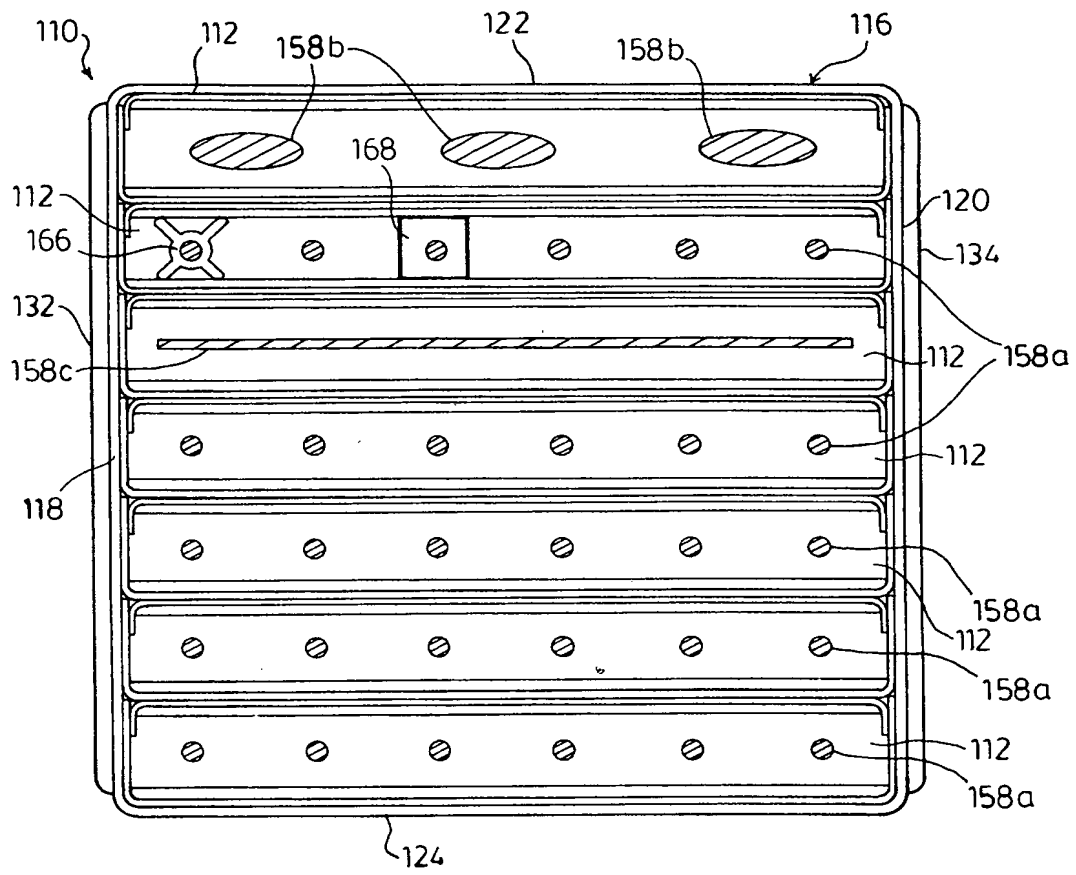
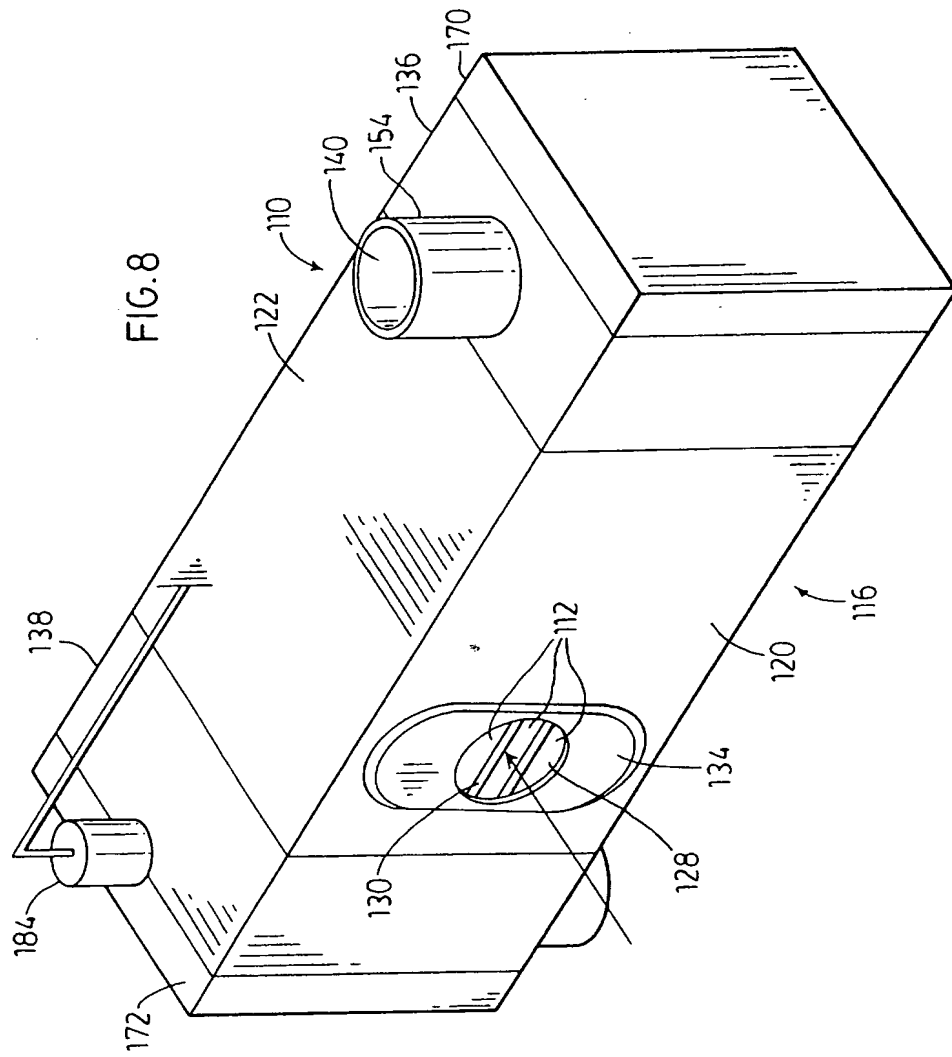


FIG. 07



TROCADOR DE CALOR E MÉTODO PARA REDUZIR EMISSÕES DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO NA CORRENTE DA EXAUSTÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Um refrigerador combinado de gases de exaustão e um
5 dispositivo de plasma não-termal têm primeiros e segundos
corredores de fluidos que estão em comunicação de troca de
calor um com o outro. Um ou vários eletrodos são localizados
no segundo corredor de fluido. Os eletrodos são conectados a
uma fonte da tensão. Quando uma tensão de suficiente valor é
10 aplicada aos eletrodos, um plasma não-termal é gerado no
segundo corredor de fluido. O dispositivo pode ser construído
sob a forma de um trocador de calor tipo casca e tubo ou um
trocador de calor tipo pilha de tubo, onde os eletrodos
estendem-se pelos tubos de troca de calor. Gases de exaustão
15 quente preferencialmente fluem pelos tubos em contato de
troca de calor com um líquido refrigerante, com isso
refrigerando os gases de exaustão. Os eletrodos geram plasma
não-termal dentro dos tubos, convertendo pelo menos uma
parcela do NO na exaustão em NO₂, o qual reage com a fuligem
20 nos gases de exaustão para gerar CO₂ e N₂, limpando os gases
de exaustão.