



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

(21) PI 1104392-0 A2



\* B R P I 1 1 0 4 3 9 2 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 28/10/2011

(43) Data da Publicação: 14/01/2014

(RPI 2245)

(51) Int.Cl.:

B01J 7/00

C10J 3/20

C10J 3/46

C10J 3/48

C10J 3/54

C10J 3/56

C10J 3/62

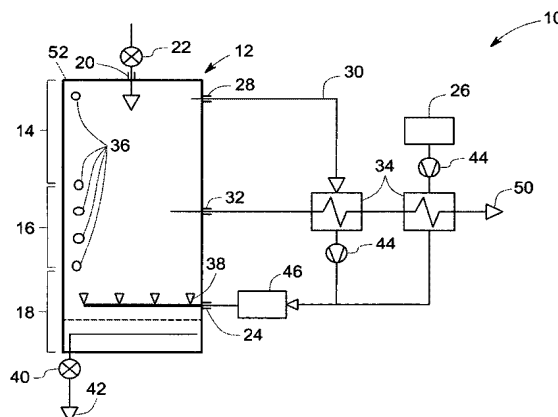
**(54) Título:** SISTEMA DE GASEIFICADOR, MÉTODO PARA A CONVERSÃO DE UM FLUXO CARBONÁCEO EM UM GÁS DE PRODUTO EM UM SISTEMA DE GASEIFICADOR E SISTEMA DE GASEIFICADOR QUE É CONFIGURADO PARA GASEIFICAR UM ESTOQUE DE ALIMENTAÇÃO CARBONÁCEO

**(30) Prioridade Unionista:** 29/10/2010 US 12/916,219

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

**(72) Inventor(es):** AARON JOHN AVAGLIANO, SURINDER PRABHJOT SINGH, VITALI V LISSIANSKI, WOLFGANG MADL

**(57) Resumo:** SISTEMA DE GASEIFICADOR, MÉTODO PARA A CONVERSÃO DE UM FLUXO CARBONÁCEO EM UM GÁS DE PRODUTO EM UM SISTEMA DE GASEIFICADOR E SISTEMA DE GASEIFICADOR QUE É CONFIGURADO PARA GASEIFICAR UM ESTOQUE DE ALIMENTAÇÃO CARBONÁCEO. Trata-se de um sistema de gaseificador que inclui um reator; uma entrada de estoque de alimentação; uma entrada de oxidante; uma saída de gás de produto bruto e um conduto de reciclagem. O reator inclui usualmente uma seção superior, uma seção central e uma seção inferior. A entrada de estoque de alimentação é disposta na seção superior do reator para receber um estoque de alimentação carbonácea. A entrada de oxidante é disposta na seção inferior do reator para receber um oxidante. A saída de gás de produto bruto é disposta na seção superior do reator. O conduto de reciclagem é configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto à seção inferior do reator, e para reciclar um gás de produto bruto a partir da seção superior do reator para a seção inferior do reator. Também é fornecido um método para a conversão de um fluxo carbonáceo em um gás de produto em um sistema de gaseificador.



**“SISTEMA DE GASEIFICADOR, MÉTODO PARA A CONVERSÃO DE UM FLUXO CARBONÁCEO EM UM GÁS DE PRODUTO EM UM SISTEMA DE GASEIFICADOR E SISTEMA DE GASEIFICADOR QUE É CONFIGURADO PARA GASEIFICAR UM ESTOQUE DE ALIMENTAÇÃO CARBONÁCEO”**

5

**ANTECEDENTES**

A invenção refere-se a um sistema de gaseificador e um método de tratamento de um material carbonáceo.

A utilização de biomassa para a produção de energia, junto com outros combustíveis renováveis, é considerada como uma das abordagens para atenuar a concentração de CO<sub>2</sub> crescente na atmosfera. As plantas consomem dióxido de carbono do ambiente durante seu crescimento. Se a biomassa for utilizada na gaseificação, a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado no ambiente devido à gaseificação corresponde à quantidade de CO<sub>2</sub> consumida durante o crescimento das plantas. Deste modo, a gaseificação ou combustão da biomassa de planta não adiciona CO<sub>2</sub> extra ao ambiente. Portanto, o uso de biomassa é considerado “neutro de carbono”.

Muitos tipos de matérias-primas e estoques de alimentação têm sido usados em operações de gaseificação. Os exemplos incluem materiais à base de hidrocarboneto, tais como óleo, carvão, produtos residuais de refinaria e lama de esgoto. No processo de gaseificação, os materiais carbonáceos, tais como carvão, petróleo ou biomassa, são convertidos em gases, tais como monóxido de carbono e hidrogênio, por meio da reação da matéria-prima em altas temperaturas, com uma quantidade controlada de oxigênio. Quando gaseificado, a estoque de alimentação contendo carbono, ou “alimentação”, formaria uma mistura de gás resultante mencionada como gás de síntese ou “singás”, o qual consiste em um combustível muito útil.

Geralmente, o processo de gaseificação consiste na alimentação de materiais contendo carbono em uma câmara aquecida, junto com uma

quantidade controlada e limitada de oxigênio e vapor. Uma das principais desvantagens na gaseificação de biomassa consiste no fato de que o singás que é formado pode ter uma alta concentração de alcatrão, a qual tende a condensar sob resfriamento e obstruir o sistema de gaseificador. Além disso, a  
5 integração de gaseificação de biomassa com turbinas ou motores de combustão interna, por exemplo, para a produção de eletricidade, exige singás com baixo teor de alcatrão. Portanto, uma limpeza extensiva do singás é exigida antes que seja utilizado para a produção de energia.

As tentativas anteriores para diminuir o alcatrão no singás são  
10 primeiramente divididas em duas categorias principais i) remoção do alcatrão dentro do recipiente gaseificador; e (ii) remoção do alcatrão em um reator fora do recipiente gaseificador. No entanto, os dois métodos são muitas vezes acompanhados por desvantagens, tais como baixa seletividade para os produtos desejados e ineficácia de custo. Um meio alternativo de redução de  
15 alcatrão tem sido empregar colunas de lavagem à base de água que exigem a adição de um sistema de purificação de água. Isto pode aumentar o custo e a complexidade do processo. Em outros casos, os gaseificadores de corrente descendente têm sido empregados para se obter singás com baixo teor de alcatrão. No entanto, o uso destes tipos de gaseificadores pode ser  
20 acompanhado por problemas de aumento de escala e questões de confiabilidade durante um período de tempo, por exemplo, devido à canalização do singás a partir do leito de combustão.

Portanto, existe uma necessidade contínua por um método para o tratamento de material carbonáceo que pode otimizar as condições de  
25 aquecimento, enquanto que produz um rendimento relativamente alto do gás de produto, com baixo teor de alcatrão. Adicionalmente, há uma necessidade por um processo para utilizar de maneira mais eficaz a atividade catalítica do carvão para decompor o alcatrão, conduzindo, assim, ao singás com baixo teor

de alcatrão. Como mínimo, para que seja comercialmente viável, tal tecnologia seria desejavelmente utilizada em um custo relativamente baixo e também utilizaria um material carbonáceo para obter singás em rendimentos relativamente altos.

5

#### **BREVE DESCRIÇÃO**

Um aspecto da presente invenção fornece um sistema de gaseificador que é configurado para gaseificar um estoque de alimentação carbonáceo, o dito sistema que compreende um reator que inclui ao menos uma entrada de estoque de alimentação e ao menos uma saída de gás de produto bruto, e que compreende, adicionalmente, um conduto de reciclagem que é configurado para reciclar o gás de produto bruto que sai a partir de uma seção do reator, para entrar em outra seção do reator. Em algumas modalidades, o sistema de gaseificador compreende um reator; uma entrada de estoque de alimentação; uma entrada de oxidante; uma saída de gás de produto bruto; e um conduto de reciclagem. O reator inclui uma seção superior, uma seção central e uma seção inferior. A entrada de estoque de alimentação é disposta na seção superior do reator, para receber um estoque de alimentação carbonáceo. A entrada de oxidante é disposta na seção inferior do reator, para receber um oxidante. A saída de gás de produto bruto é disposta na seção superior do reator. O conduto de reciclagem é configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto à seção inferior do reator e reciclar um gás de produto bruto a partir da seção superior do reator para a seção inferior do reator.

Outro aspecto da presente invenção fornece um método para a conversão de um fluxo carbonáceo em um gás de produto em um sistema de gaseificador. O método inclui fornecer um estoque de alimentação carbonáceo através de uma entrada disposta em uma seção superior de um reator; fornecer um oxidante através de uma entrada de oxidante disposta em uma

seção inferior do reator; reagir o fluxo de estoque de alimentação carbonácea e o oxidante para formar uma mistura que compreende gás de produto bruto, gás de produto e particulados sólidos; transferir o gás de produto bruto através de uma saída de gás de produto bruto disposta na seção superior do reator para o  
5 conduto de reciclagem; reciclar ao menos uma parte do gás de produto bruto ao reator através do conduto de reciclagem; e transferir o gás de produto através de ao menos uma saída de gás de produto localizada em uma seção central do reator.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

10 Estas e outras características, aspectos e vantagens da presente invenção serão melhor compreendidas quando a seguinte descrição detalhada for lida, com referência aos desenhos em anexo, nos quais os caracteres semelhantes representam partes semelhantes por todos os desenhos, em que:

A Figura 1 é uma representação esquemática do sistema de  
15 gaseificador de acordo com uma modalidade da invenção.

A Figura 2 é uma representação esquemática do sistema de gaseificador de acordo com outra modalidade da invenção.

#### **DESCRIÇÃO DETALHADA**

Embora somente determinadas características da invenção tenha  
20 sido ilustradas e descritas no presente documento, muitas modificações e alterações irão ocorrer para os elementos versados na técnica. Portanto, deve-se compreender que as reivindicações em anexo se destinam a abranger todas tais modificações e alterações na medida em que se incluem no espírito verdadeiro da invenção. No relatório descritivo e reivindicações, será feita  
25 referência a uma série de termos que têm os seguintes significados.

As formas singulares "um" e "o" incluem os referentes de plural, exceto onde o contexto dita claramente o contrário. A linguagem de aproximação, para uso no presente documento por todo o relatório descritivo e

reivindicações, pode ser aplicada para modificar qualquer representação quantitativa que poderia variar de maneira permissível, sem resultar em uma alteração na função básica a qual está relacionada. Conseqüentemente, um valor modificado por um termo, tal como, “cerca de”, não deve ser limitado ao  
5 valor preciso especificado. Em alguns casos, a linguagem de aproximação pode corresponder à precisão de um instrumento para a medição do valor. Semelhantemente, “livre” pode ser usado em combinação com um termo e pode incluir um número insubstancial, ou quantidades mínimas, enquanto que ainda é considerado livre do termo modificado.

10                Para uso na presente invenção, os termos “pode” e “pode ser” indicam uma possibilidade de uma ocorrência dentro de um conjunto de circunstâncias; uma posse de uma propriedade especificada, característica ou função; e/ou pode qualificar outro verbo mediante a expressão de um ou mais dentre uma habilidade, capacidade ou possibilidade associada com o verbo  
15 qualificado. Conseqüentemente, o uso de “pode” e “pode ser” indica que um termo modificado é aparentemente apropriado, capaz ou adequado para uma capacidade, função ou uso indicado, sem levar em conta que, em algumas circunstâncias, o termo modificado pode às vezes não ser apropriado, capaz ou adequado. Por exemplo, em algumas circunstâncias, um evento ou capacidade  
20 pode ser esperado, enquanto que em outras circunstâncias, o evento ou a capacidade pode não ocorrer – esta distinção é capturada pelos termos “pode” e “pode ser”.

              “Opcional” ou “opcionalmente” significa que o evento ou circunstância descrita subseqüentemente pode ou não ocorrer e que a  
25 descrição inclui os casos onde o evento ocorre e os casos onde não ocorre.

              Conforme observado anteriormente, em uma modalidade, a presente invenção fornece um gaseificador que compreende um reator; uma entrada de estoque de alimentação; uma entrada de oxidante; uma saída de

gás de produto bruto; e um conduto de reciclagem. (Para uso na presente invenção, o “gás de produto bruto” consiste na fonte do fluxo de reciclagem, conforme comparado com o gás de produto “final”). O reator inclui uma seção superior, uma seção central e uma seção inferior. A entrada de estoque de  
5 alimentação é disposta na seção superior do reator, para receber um estoque de alimentação carbonáceo. A entrada de oxidante é disposta na seção inferior do reator, para receber um oxidante. A saída de gás de produto bruto é disposta na seção superior do reator. O conduto de reciclagem é configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto à seção inferior do reator e para  
10 reciclar um gás de produto bruto a partir da seção superior do reator para a seção inferior do reator. Em algumas modalidades o gás de produto, por exemplo, singás, tem um teor de alcatrão de menos que cerca de 1%, em peso, com base no peso do produto de gaseificação e é direcionado para fora do reator a partir da seção central. O produto de singás pode ser usado para  
15 uma variedade de propósitos, por exemplo, como um combustível, ou como um intermediário para a produção de uma série de outros combustíveis, através do processo Fischer-Tropsch.

Com referência aos desenhos, os números de referência idênticos denotam os mesmos elementos por todas as diversas vistas. Uma  
20 representação esquemática do sistema de gaseificador, de acordo com uma modalidade da invenção, é descrita na A Figura 1. Com referência à Figura1, o gaseificador 10 inclui um reator 12. Tipicamente, o reator 12 consiste em um vaso de reação adequado para a gaseificação do estoque de alimentação. A escolha de reatores, com base nos fatores, tais como, configurações e  
25 velocidades de gás, pode consistir tipicamente em reatores de leito fixo, leito fluidizado ou de fluxo arrastado, ou alguma variação destes. Um reator exemplificador com algumas destas características é descrito no pedido de patente U.S. pendente nº. serial 12/209011, depositado em 11 de setembro de

2008, o qual está aqui incorporado a título de referência. Os tipos e extensão de reações em um reator dependem do projeto e condições de operação no reator. Em uma modalidade, o reator 12 consiste em um reator de leito fixo. O reator 12 compreende usualmente três seções (às vezes também mencionadas  
5 como “zonas”): uma seção superior 14, uma seção central 16 e uma seção inferior 18. O termo “zona” ou “seção”, para uso na presente invenção, se refere a uma região do reator 12. Os termos podem ser usados de maneira intercambiável nesta descrição. As zonas não são fisicamente separadas por qualquer meio mecânico, tal como uma placa defletora de separação, exceto  
10 onde especificamente observado.

O local das zonas ou seções no reator 12 depende, em parte, do movimento relativo do estoque de alimentação e do oxidante. Estas seções são diferenciadas pela variedade de reações ou processos que ocorrem e dos regimes de temperatura nestes locais. Deste modo, uma zona ou seção  
15 corresponde usualmente a uma região de processamento dentro do reator 12. A zona pode incluir, adicionalmente, subzonas ou regiões que incluem, por exemplo, operações e processos de unidade típicos envolvidos na gaseificação, tais como reações de oxidação, desvolatilização e secagem. Estas subzonas podem ser sobrepostas umas com as outras. As zonas ou  
20 seções, por outro lado, pode ser claramente distintas. Em algumas modalidades, existe uma sobreposição parcial das seções sucessivas. Tipicamente, a seção inferior 18 do reator 12 constitui ao menos cerca de 10 por cento (10%) em altura a partir do fundo do reator 12. Em uma modalidade, a seção inferior 18 consiste na zona de oxidação/combustão do reator 12. Em  
25 uma modalidade, a seção central 16 tem ao menos cerca de 40 por cento (40%) de altura a partir da seção inferior 18 do reator 12, enquanto que a seção superior 14 (às vezes também mencionada como a zona de desvolatilização ou secagem) forma ao menos cerca de 50 por cento (50%) do reator 12, conforme

medido a partir do topo 52 do reator 12. O reator 12 inclui uma entrada de estoque de alimentação 20, a qual é disposta na seção superior 14 do reator. A entrada de estoque de alimentação 20 introduz tipicamente o estoque de alimentação no reator 12 e pode ser posicionado em uma variedade de locais, em ou próximo ao topo 52 do reator.

Em uma modalidade, o estoque de alimentação que é direcionado para a entrada 20 consiste em um estoque de alimentação carbonáceo, tal como carvão, ou um material que compreende carvão. O carvão consiste em um combustível fóssil comum. Existem diversos tipos de carvões e a maioria da classificação comum tem por base o valor calorífico e a composição do carvão. O padrão ASTM (American Society for Testing and Materials) D388 classifica os carvões por graduação. Isto tem por base as propriedades, tais como teor de carbono fixo, teor de matéria volátil, valor calorífico e caráter de aglomeração. Em termos gerais, os carvões podem ser categorizados como “carvão de alta graduação” e “carvão de baixa graduação”. O primeiro termo denota valor de aquecimento alto e teor de cinzas menor, enquanto que o segundo termo denota valor de aquecimento menor e teor de cinzas maior. Os carvões de baixa graduação incluem carvões de lignito e sub-betuminosos. Estes carvões têm teor de energia menor e níveis de umidade maiores. Os carvões de alta graduação, que incluem carvões betuminosos e antracito, contêm mais carbono do que os carvões de graduação menor, e têm de maneira correspondente um teor de energia muito maior. Alguns carvões com propriedades intermediárias podem ser chamados de “carvão de graduação média”.

Em outra modalidade, o estoque de alimentação compreende biomassa. Para uso na presente invenção, o termo “biomassa” abrange uma ampla gama de materiais que servem si próprios como combustíveis ou matérias-primas, e são caracterizados pelo fato de que são derivados de

organismos recentemente vivos (vegetais e animais). Esta definição exclui claramente os combustíveis fósseis tradicionais, uma vez que, embora também sejam derivados de vida vegetal (carvão) ou animal (óleo e gás), se leva milhões de anos para convertê-los para sua forma atual. Deste modo, o termo

5 biomassa inclui estoque de alimentação derivado a partir de materiais à base de árvore, tais como madeira, aparas de madeira, serragem, casca, sementes, palha, grama, e similares; restos agrícolas e florestais, resíduos agrícolas; e cultivos para produção de energia. Os resíduos agrícolas e cultivos para produção de energia podem incluir, adicionalmente, espécie herbácea de

10 rotação curta, cascas, tais como cascas de arroz, cascas de café, etc., milho, restos culturais do milho, sementes oleaginosas, resíduos de extração de semente oleaginosa, fibras celulósicas como coco, juta, e similares. As sementes oleaginosas podem consistir em sementes típicas contendo óleo como soja, camolina, canola, colza, milho, semente de algodão, girassol,

15 açafrão, oliva, amendoim, e similares.

Os resíduos agrícolas também incluem os materiais obtidos a partir de indústrias de agro-processamento, tais como resíduo desoleificado. Os exemplos específicos incluem um bolo de soja desoleificado, semente de algodão desoleificada, bolo de amendoim desoleificado, e similares, e gomas a

20 partir da indústria de processamento de óleo, tal como a goma separada a partir do processo de preparação de óleo vegetal. Estes exemplos incluem lecitina no caso da soja; bagaço (a partir da indústria de processamento de açúcar), lixo do descaroçador de algodão, e similares. A biomassa também inclui outros resíduos a partir de tais indústrias, tais como casca de coco, casca

25 de amêndoa, casca de noz, casca de girassol, e similares. Em adição a estes resíduos a partir de agroindústrias, a biomassa também pode incluir os resíduos a partir de animais e humanos. Em algumas outras modalidades, o termo biomassa inclui subprodutos rurais animais, tais como dejetos de

chiqueiro ou detritos de galinha. O termo “biomassa” também pode incluir algas, microalgas, e similares. Em uma modalidade, o estoque de alimentação pode compreender uma mistura de carvão e biomassa. Em uma modalidade, a razão do carvão:biomassa no estoque de alimentação pode se situar em uma  
5 faixa a partir de cerca de 0 a 1.

Em uma modalidade, o gaseificador 10 inclui, adicionalmente, ao menos uma válvula 22, a qual é usada para regular o fluxo do estoque de alimentação no reator 12, através da entrada de estoque de alimentação 20. Em uma modalidade, o gaseificador 10 pode compreender um distribuidor de  
10 alimentação (não mostrado) que contém o estoque de alimentação carbonáceo a ser tratado, e uma rosca de alimentação (não mostrada) que empurra o estoque de alimentação carbonáceo no reator 12. Em uma modalidade, o estoque de alimentação carbonáceo pode ser moído em partículas menores em um moedor ou picador, antes de ser alimentado na rosca de alimentação.  
15 Além disso, o estoque de alimentação carbonáceo pode ser aquecido em um pré-aquecedor, antes de entrar no reator 12.

O reator 12 inclui uma entrada de oxidante 24, usualmente disposta na seção inferior 18 do reator. A entrada de oxidante 24 é configurada para receber um oxidante 26. Para uso na presente invenção, o termo  
20 “disposto em” se refere a se estender na entrada ou saída diretamente através da parede do reator 12, ou através de qualquer tipo de protuberância, alojamento ou válvula que é disposta sobre as superfícies internas ou externas do reator 12.

Em uma modalidade, o oxidante 26 consiste em ao menos um  
25 selecionado a partir de ar, oxigênio; ar enriquecido com oxigênio, ar esgotado de oxigênio; dióxido de carbono, vapor, misturas sintéticas de oxigênio e um ou mais gases, e similares. Em outra modalidade, o oxidante 26 é selecionado a partir de ar, oxigênio, ar enriquecido com oxigênio, ar esgotado de oxigênio, ou

uma mistura de ar e vapor. Em mais outra modalidade, o oxidante 26 consiste no próprio oxigênio. Em uma modalidade, o estoque de alimentação e o oxidante se movem em uma direção contracorrente dentro do reator 12. Tipicamente, à medida que o estoque de alimentação carbonáceo desce a partir da seção superior 14 para a seção inferior 18 do reator 12, encontra o oxidante 26 que se move a partir da seção inferior 18 para a seção superior 14 do reator 12. Conforme mostrado na modalidade ilustrada, o oxidante 26 passa através de um expensor 44 e um trocador de calor 34 antes de entrar na seção inferior 18 do reator 12. O estoque de alimentação carbonáceo desce através da subzona de secagem, subzona de pirólise e a subzona de gaseificação/oxidação, cada zona aumenta progressivamente em temperatura. À medida que o estoque de alimentação entra no reator 12 através da entrada de estoque de alimentação 20, é submetido tipicamente à secagem e desvolatilização/pirólise. Sob a desvolatilização, o estoque de alimentação carbonáceo se decompõe em uma mistura que compreende carvão, hidrocarbonetos leves (por exemplo, metano, propano, alcenos, propenos, e similares), CO, CO<sub>2</sub>, e hidrocarbonetos mais pesados, os quais incluem alcatrão e óleo. (A mistura também pode incluir diversos outros componentes, como aldeídos, cetonas, ésteres, fenóis, e similares).

Neste estágio, os materiais sólidos na mistura de produto de desvolatilização, tais como carvão e cinzas, descem geralmente na zona inferior (18) do reator, enquanto que os produtos gasosos se movem geralmente para cima através do reator, na seção superior 14. Os produtos de carvão e cinzas que se movem para baixo no reator podem reagir com o fluxo de gás originado na seção inferior 18 (a zona de combustão). Este fluxo de gás inclui usualmente oxigênio, dióxido de carbono e vapor, assim como o gás de produto reciclado que se originou na zona de secagem/desvolatilização. A reação do fluxo de gás com os produtos de carvão e cinzas resulta na

formação de um gás de produto final, que tem um nível reduzido do alcatrão e carvão. Qualquer produto de combustão restante pode ser usado para diversos propósitos, por exemplo, com um fertilizante – especialmente quando o estoque de alimentação é composto de quantidades significantes de biomassa.

5                   Subseqüentemente, o estoque de alimentação carbonáceo desvolatizado entra na zona de gaseificação, onde o estoque de alimentação reage com o oxidante 26, para produzir uma mistura que compreende gás de produto bruto, gás de produto (também conhecido como “gás de síntese” ou “singás”), e particulados sólidos (que incluem alcatrão e carvão). (Gás de  
10 síntese ou singás consiste em uma mistura de gases, contendo monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H<sub>2</sub>)). Em uma modalidade, a gaseificação ocorre na seção central 16 do reator 12, em que o estoque de alimentação carbonáceo é tratado com o oxidante 26.

A gaseificação envolve uma série de reações, que incluem as  
15 diversas reações de oxidação,



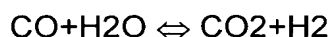
a reação de Boudouard,



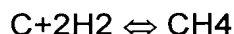
a reação de gaseificação de gás ou vapor de água,



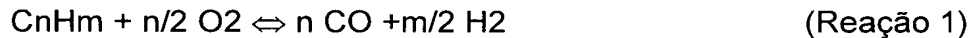
a reação de deslocamento de gás de água,



25                   e a reação de metanação



Para os carvões de alta graduação que têm um baixo teor de oxigênio inerente, o processo de gaseificação pode ser representado como



Tipicamente, para os carvões de alta graduação, os valores para “n” e “m” na Reação 1 são conforme exposto a seguir: n=1 (ou aproximadamente 1), e 0,5<m<1. A injeção de vapor é muitas vezes usada para controlar a temperatura da gaseificação dos combustíveis de alta graduação, e para aumentar o teor de hidrogênio do gás de produto, por exemplo, através de uma reação de deslocamento de gás de água.

Um composto de biomassa típico (ou mistura de compostos) pode ser representado como  $C_xH_yO_z$ , onde x é aproximadamente 1, y é aproximadamente 2 e z é aproximadamente 1. O processo de gaseificação de tais compostos pode ser genericamente representado como



Pode ser observado que o teor de oxigênio da biomassa pode ser vantajosamente usado para minimizar a quantidade do oxidante externamente adicionado (por exemplo, comparando a Reação 1 e a Reação 2). No entanto, a fim de que a gaseificação de biomassa prossiga conseqüentemente para a Reação 2, precisa ser fornecido calor adicional. Deve-se observar que alguma parte das reações de gaseificação também pode ocorrer na seção inferior 18 do reator.

As temperaturas (durante a operação) na seção central 16 são usualmente (embora nem sempre) de ao menos cerca de 600°C. Em outra modalidade, a temperatura da seção central 16, em que o estoque de alimentação carbonácea é tratado com o oxidante 26, se situa em uma faixa a partir de cerca de 600°C a cerca de 1100°C. Em uma modalidade, o reator 12 pode incluir, adicionalmente, um ou mais dispositivos de aquecimento integrados (não mostrados), tais como tochas de arco de plasma, a fim de manter uma temperatura desejada. Em uma modalidade, a reação do estoque de alimentação carbonácea e do oxidante é realizada em uma pressão de

menos que cerca de 5 atmosferas. Em outra modalidade, a reação do estoque de alimentação carbonácea e do oxidante é realizada em uma pressão em uma faixa a partir de cerca de 1 a cerca de 5 atmosferas. Em outra modalidade, a reação do estoque de alimentação carbonácea e do oxidante é realizada em  
5 pressão ambiente. A escolha de uma faixa de pressão irá depender de diversos fatores, tais como projeto do reator (por exemplo, o local do fluxo de gás de produto em relação às dimensões do reator); assim como o tipo específico de estoque de alimentação que é gaseificado. Em algumas modalidades preferidas, a faixa de pressão se situa em ou próxima à pressão ambiente, por  
10 exemplo, cerca de 1 atmosfera. No entanto, os níveis maiores de pressão são às vezes desejados, devido ao fato de que podem promover a introdução eficiente do fluxo de reciclagem no gaseificador, enquanto que também mantém a direção desejada do fluxo dentro do gaseificador.

O calor disperso a partir da seção central 16 é usualmente  
15 transferido pela radiação e convecção forçada para cima na seção superior 14, a qual compreende as subzonas de secagem e desvolatilização, fornecendo, assim o calor exigido para os diversos processos. O gás de produto bruto, alcatrão e voláteis se dispersam substancialmente na seção superior 14 do reator 12, enquanto que os particulados sólidos 42 (às vezes mencionados  
20 como “alcatrão” ou “cinzas”), formados como um subproduto do tratamento do estoque de alimentação, se acumulam na seção inferior 18 do reator. Em determinadas modalidades, o reator 12 inclui uma grade disposta na seção inferior 18, a qual pode agir como um filtro ou peneira para remover os particulados sólidos. Em uma modalidade, o reator 12 inclui, adicionalmente,  
25 uma saída 40 para os particulados sólidos 42. A saída 40 para os particulados sólidos 42 pode ser disposta na seção inferior 18 do reator 12, mas seu local preciso não é crítico.

Em algumas modalidades, o reator 12 inclui, adicionalmente, uma

pluralidade de injetores 38, posicionados em um local (ou múltiplos locais), de tal modo que direcionem o oxidante 26 no reator 12. Em outra modalidade, a pluralidade de injetores 38 direcionam o fluxo do gás de produto reciclado no reator 12. Em algumas modalidades, o reator 12 pode incluir, adicionalmente, 5 um injetor separado para a injeção de vapor. Uma vez que o vapor tem uma capacidade térmica relativamente alta, é útil como um moderador para reduzir a temperatura em torno do injetor. Além disso, a injeção de vapor conduz a temperaturas de gás menores por todo o volume do gaseificador, devido a uma reação de deslocamento de gás de água endotérmica.

10 O reator 12 inclui uma saída de gás de produto bruto 28, disposta na seção superior 14 do reator 12. Tipicamente, o “gás de produto bruto” se refere a uma mistura de gases de produto, junto com o alcatrão. Em uma modalidade, o gás de produto bruto compreende mais do que cerca de 20% de alcatrão. Em outra modalidade, o gás de produto bruto compreende alcatrão 15 em uma faixa a partir de cerca de 1 por cento a cerca de 20 por cento. O gás de produto bruto assim formado, como consequência da reação do estoque de alimentação com o oxidante, pode ser removido a partir do reator 12, através da saída de gás de produto bruto 28.

Em uma modalidade, o reator 12 inclui um conduto de reciclagem 20 30, configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto 28 à seção inferior 18 do reator 12. Em outra modalidade, conforme ilustrado na Figura 2, o conduto de reciclagem 30 é configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto 28 a uma entrada de gás de produto bruto 48. Em uma modalidade, a entrada de gás de produto bruto 48 é disposta na seção inferior 25 18 do reator 12. Em outra modalidade, a entrada de gás de produto bruto 48 é disposta no reator 12 em uma altura menor que cerca de 20 por cento a partir do fundo do reator 12.

Em uma modalidade, o gás de produto bruto e o oxidante 26

podem ser pré-misturados antes de entrar no reator 12. Em outra modalidade mostrada na Figura 2, o gás de produto bruto e o oxidante podem ser introduzidos no reator 12 separadamente, através da entrada de gás de produto bruto 48 e da entrada de oxidante 24, respectivamente. Em algumas modalidades, a mistura do gás de produto bruto e do oxidante 26 pode ser alimentada em uma unidade de oxidação parcial 46, antes de ser introduzida no reator 12. Em uma modalidade, a carvão formada como consequência da reação do estoque de alimentação carbonácea pode agir como um catalisador para decompor o alcatrão no gás de produto bruto introduzido no reator 12, na seção inferior 18.

Em uma modalidade, o reator 12 inclui ao menos uma saída de gás de produto 32, geralmente disposta na seção central 16 do reator. Tipicamente, o gás de produto é descarregado a partir do reator 12 através da saída de gás de produto 32. Em uma modalidade, o gás de produto é descarregado a partir do reator 12 através da ao menos uma saída de gás de produto 32, em uma temperatura em uma faixa a partir de cerca de 800°C a cerca de 1100°C. Em outra modalidade, o gás de produto é descarregado a partir do reator 12 através da ao menos uma saída de gás de produto 32, em uma temperatura de cerca de 850°C a cerca de 950°C. Em uma modalidade, a ao menos uma saída de gás de produto 32 fica localizada na seção central 16 do reator 12.

Com referência às Figuras 1 e 2, o gaseificador pode incluir opcionalmente ao menos uma unidade de troca de calor 34, localizada a jusante do reator 12. Em uma modalidade, o gás de produto bruto fica em contato térmico com o gás de produto que sai do reator 12 através da unidade de troca de calor 34. Em uma modalidade ilustrativa (Figura 1), o gás de produto 50, que sai do reator 12, fica em contato térmico com o oxidante 26, através da unidade de troca de calor 34. Para uso na presente invenção, o

termo “contato térmico” se refere à transferência de calor através de uma barreira transmissiva de calor, tal como a parede de uma unidade de troca de calor. O gás de produto que sai do reator 12 permite a recuperação do calor a partir da unidade de troca de calor 34, o qual pode ser usado para pré-aquecer o oxidante 26 e/ou o gás de produto bruto, aumentando, assim, a eficiência geral do sistema de gaseificador 10.

Em uma modalidade, o reator 12 pode incluir ao menos um sensor 36 (por exemplo, vide Figura 1), para medir diversos parâmetros do estoque de alimentação, e para monitorar as condições no reator 12. Em uma modalidade, o sensor 36 é selecionado a partir de sensores de pressão, sensores de temperatura, sensores de oxigênio e combinações dos mesmos. Onde uma composição está sendo medida, as medições podem ser feitas continuamente com o uso de sistemas de medição em linha. Alternativamente, as medições podem ser feitas por meio da amostragem em intervalos regulares e da execução de uma análise fora de linha das amostras. Em algumas outras modalidades, as medições indiretas, também mencionadas como uma abordagem de “leitura leve”, podem ser usadas. Em mais outra modalidade, o sensor 36 é configurado para medir a temperatura dentro do reator. Em outra modalidade, um controlador é configurado para tomar os parâmetros medidos como entradas e para controlar a injeção de ao menos um dentre o estoque de alimentação carbonáceo, o oxidante ou o gás de produto bruto, no reator 12. Em uma modalidade, o sensor 36 pode ficar localizado em qualquer lugar no reator 12. Tipicamente, os sensores 36 são posicionados em locais que permitem a medição da propriedade desejada. Os elementos versados na técnica estarão familiarizados com o local mais adequado para cada sensor.

Outro aspecto da invenção é direcionado a um método para a conversão de um fluxo carbonáceo em um gás de produto em um sistema de gaseificador. O método inclui fornecer um estoque de alimentação carbonáceo

através de uma entrada disposta em uma seção superior de um reator; fornecer um oxidante através de uma entrada de oxidante disposta em uma seção inferior do reator; reagir o fluxo de estoque de alimentação carbonácea e o oxidante para formar uma mistura que compreende gás de produto bruto, gás de produto e particulados sólidos; transferir o gás de produto bruto através de uma saída de gás de produto bruto disposta na seção superior do reator para o conduto de reciclagem; reciclar ao menos uma parte do gás de produto bruto ao reator através de um conduto de reciclagem; e transferir o gás de produto, através de ao menos uma saída de gás de produto localizada em uma seção geralmente central do reator.

Esta descrição escrita utiliza ilustrações para apresentar algumas modalidades da invenção, que incluem o melhor modo, e também para possibilitar que qualquer elemento versado na técnica pratique a invenção, que inclui fazer e utilizar quaisquer dispositivos ou sistemas, e executar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações e pode incluir outros exemplos imaginados pelos elementos versados na técnica. Tais outros exemplos se destinam a serem incluídos no escopo das reivindicações se os mesmos tiverem elementos estruturais que não se diferem da linguagem literal das reivindicações ou se os mesmos incluem elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais da linguagem literal das reivindicações.

### **REIVINDICAÇÕES**

1. SISTEMA DE GASEIFICADOR, que compreende:

um reator que tem uma seção superior, uma seção central e uma seção inferior;

5 uma entrada de estoque de alimentação disposta na seção superior do reator, para receber um estoque de alimentação carbonácea;

uma entrada de oxidante disposta na seção inferior do reator, para receber um oxidante;

10 uma saída de gás de produto bruto disposta na seção superior do reator; e

um conduto de reciclagem configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto à seção inferior do reator, e para reciclar um gás de produto bruto a partir da seção superior do reator para a seção inferior do reator.

15 2. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a reivindicação 1, em que a ao menos uma saída de gás de produto é disposta na seção central do reator.

3. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a reivindicação 1, que compreende, adicionalmente, uma unidade de troca de calor localizada a jusante do reator.

4. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a reivindicação 1, em que o reator compreende, adicionalmente, sensores selecionados a partir de sensores de pressão, sensores de temperatura, sensores de oxigênio, e combinações dos mesmos.

25 5. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a reivindicação 1, em que ao menos um destes sensores é configurado para medir a temperatura dentro do reator.

6. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a

reivindicação 1, em que o reator compreende, adicionalmente, uma pluralidade de injetores posicionados em locais que os permite direcionar o oxidante e o gás de produto bruto no reator.

7. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a  
5 reivindicação 1, em que o reator compreende, adicionalmente, uma saída para remover particulados sólidos a partir do reator.

8. SISTEMA DE GASEIFICADOR, de acordo com a reivindicação 1, que compreende, adicionalmente, um reator de oxidação parcial acoplado ao conduto de reciclagem.

10 9. MÉTODO PARA A CONVERSÃO DE UM FLUXO CARBONÁCEO EM UM GÁS DE PRODUTO EM UM SISTEMA DE GASEIFICADOR, o método que compreende as etapas de:

fornecer um estoque de alimentação carbonáceo através de uma entrada disposta em uma seção superior de um reator;

15 fornecer um oxidante através de uma entrada de oxidante disposta em uma seção inferior do reator;

reagir o fluxo do estoque de alimentação carbonáceo e o oxidante, para formar uma mistura que compreende gás de produto bruto, gás de produto e particulados sólidos;

20 transferir o gás de produto bruto, através de ao menos uma saída de gás de produto bruto disposta dentro da seção superior do reator, para um conduto de reciclagem;

reciclar ao menos uma parte do gás de produto bruto para o reator, através do conduto de reciclagem; e

25 transferir o gás de produto fora do reator, para um local desejado, através de ao menos uma saída de gás de produto localizada em uma seção central do reator.

10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o

estoque de alimentação carbonácea compreende biomassa.

11. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o estoque de alimentação carbonácea compreende uma mistura de carvão e biomassa.

5 12. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que a reação do estoque de alimentação carbonácea e do oxidante é realizada em uma temperatura em uma faixa de cerca de 600°C a cerca de 1100°C.

13. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que a reação do estoque de alimentação carbonácea e do oxidante é realizada em  
10 uma pressão em uma faixa a partir de cerca de 1 a cerca de 5.

14. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o oxidante e o gás de produto bruto são pré-misturados antes de serem introduzidos na seção inferior do reator.

15 15. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o oxidante e o gás de produto bruto são introduzidos de maneira independente na seção inferior do reator.

16. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o gás de produto é descarregado a partir do reator em uma temperatura em uma faixa a partir de cerca de 800°C a cerca de 1000°C.

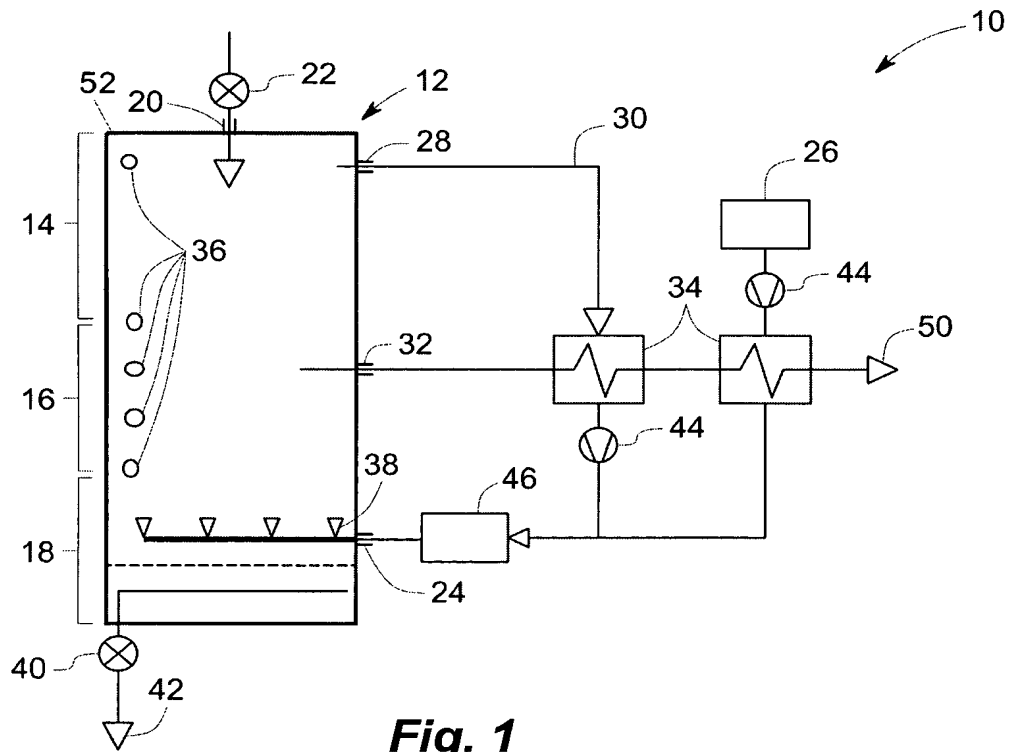
20 17. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o gás de produto bruto é colocado em contato térmico com o gás de produto que sai do reator, através de uma unidade de troca de calor localizada a jusante do reator.

25 18. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, que compreende, adicionalmente, a etapa de separar os particulados sólidos através de uma saída disposta na seção inferior do reator.

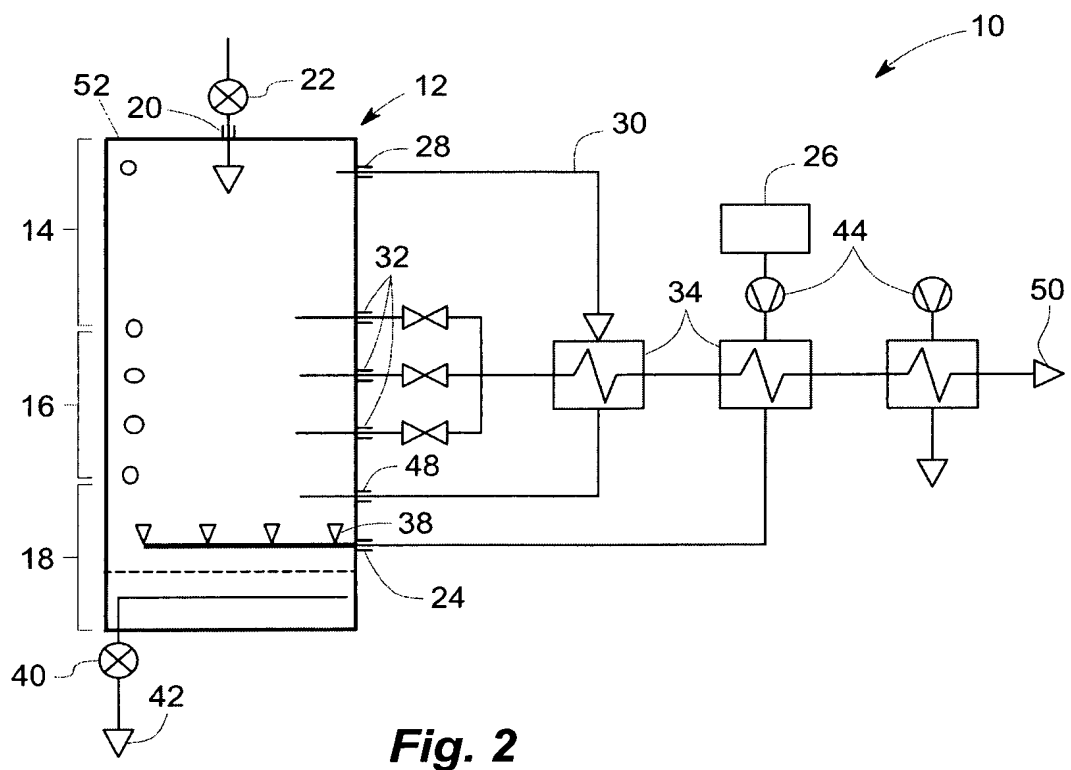
19. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, em que o oxidante é selecionado a partir de ar, oxigênio, uma mistura que compreende

ar e vapor, uma mistura que compreende ar e dióxido de carbono ou uma mistura que compreende ar, vapor e dióxido de carbono.

20. SISTEMA DE GASEIFICADOR QUE É CONFIGURADO PARA GASEIFICAR UM ESTOQUE DE ALIMENTAÇÃO CARBONÁCEO, em
- 5 que o dito sistema compreende um reator que inclui ao menos uma entrada de estoque de alimentação e ao menos uma saída de gás de produto bruto, e que compreende, adicionalmente, um conduto de reciclagem que é configurado para reciclar o gás de produto bruto que sai a partir de uma seção do reator, para entrar em outra seção do reator.



**Fig. 1**



**Fig. 2**

### RESUMO

**“SISTEMA DE GASEIFICADOR, MÉTODO PARA A CONVERSÃO DE UM FLUXO CARBONÁCEO EM UM GÁS DE PRODUTO EM UM SISTEMA DE GASEIFICADOR E SISTEMA DE GASEIFICADOR QUE É CONFIGURADO PARA GASEIFICAR UM ESTOQUE DE ALIMENTAÇÃO CARBONÁCEO”**

Trata-se de um sistema de gaseificador que inclui um reator; uma entrada de estoque de alimentação; uma entrada de oxidante; uma saída de gás de produto bruto e um conduto de reciclagem. O reator inclui usualmente uma seção superior, uma seção central e uma seção inferior. A entrada de estoque de alimentação é disposta na seção superior do reator para receber um estoque de alimentação carbonácea. A entrada de oxidante é disposta na seção inferior do reator para receber um oxidante. A saída de gás de produto bruto é disposta na seção superior do reator. O conduto de reciclagem é configurado para acoplar a saída de gás de produto bruto à seção inferior do reator, e para reciclar um gás de produto bruto a partir da seção superior do reator para a seção inferior do reator. Também é fornecido um método para a conversão de um fluxo carbonácea em um gás de produto em um sistema de gaseificador.