



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

(11) BR 112012025706-4 B1



(22) Data do Depósito: 11/04/2011

(45) Data de Concessão: 30/04/2019

(54) Título: GASEIFICADOR E MÉTODOS DE GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS CARBONÁCEOS

(51) Int.Cl.: C10J 3/16; C10J 3/10; C12P 7/02; C10J 3/20; C10J 3/72.

(30) Prioridade Unionista: 13/04/2010 US 12/798,852.

(73) Titular(es): INEOS BIO SA.

(72) Inventor(es): BHAGYA CHANDRA SUTRADHAR; CHING-WHAN KO.

(86) Pedido PCT: PCT US2011000655 de 11/04/2011

(87) Publicação PCT: WO 2011/129878 de 20/10/2011

(85) Data do Início da Fase Nacional: 08/10/2012

(57) Resumo: GASEIFICADOR E MÉTODOS DE GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS CARBONÁCEOS. A presente revelação é dirigida em geral a processo de gaseificação de materiais carbonáceos para a produção de gás de síntese ou singas. A presente divulgação proporciona métodos aperfeiçoados de gaseificação que compreendem a adição de um gás contendo oxigênio molecular e, opcionalmente, a adição de água ao referido gaseificador. Esta revelação é também direcionada a processo de produção de um ou mais álcoois a partir de dito gás de síntese, através de fermentação ou digestão, na presença de pelo menos um microorganismo.

**“GASEIFICADOR E MÉTODOS DE GASEIFICAÇÃO
DE MATERIAIS CARBONÁCEOS”**

RELATÓRIO DESCRITIVO

CAMPO DA INVENÇÃO

[0001] A presente revelação é geralmente direcionada para o processo de gaseificação de materiais carbonáceos para produzir gás de síntese ou singás. Essa revelação é também direcionada para o processo de produção de um ou mais álcoois a partir de dito gás de síntese, por meio de fermentação ou digestão na presença de pelo menos um micro-organismo.

ANTECEDENTES

[0002] A presente revelação contempla a produção de gás de síntese compreendendo monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), e hidrogênio (H₂) por meio de gaseificação de materiais carbonáceos. O gás de síntese pode ser utilizado para produzir uma ou mais substâncias químicas através de rotas biológicas ou químicas. O gás de síntese pode também ser utilizado para produzir energia para gerar eletricidade.

[0003] Deste modo, o gás de síntese pode ser acionado pela fermentação ou digestão por certos micro-organismos para produzir álcoois (metanol, etanol, propanol, butanol, etc.), ácido acético, acetatos, hidrogênio, etc. Várias cepas de acetógenos têm sido descritas para uso na produção de combustíveis líquidos de gás de síntese: *Butyribacterium methylotrophicum*, *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium carboxidivorans*, *Clostridium ljungdahlii*, *Clostridium ragsdalei*.

[0004] A Patente US 5.173.429 de Gaddy *et al.* revela o *Clostridium ljungdahlii* ATCC N° 49587, um micro-organismo anaeróbico que produz

etanol e acetato a partir da síntese de gás. A Patente US 5.807.722 para Gaddy *et al.* revela um método e aparelho para conversão de gases residuais em produtos úteis, tais como ácidos orgânicos e álcoois utilizando bactéria anaeróbica, tal como *Clostridium ljungdahlii* ATCC N° 55380. A Patente US 6.136.577 de Gaddy *et al.* revela um método e aparelho para a conversão de gases residuais em produtos úteis, tais como ácidos orgânicos e álcoois (particularmente etanol) utilizando bactéria anaeróbica, tal como *Clostridium ljungdahlii* ATCC N° 55988 e 55989. A Patente US 6.136.577 de Gaddy *et al.* revela um método e aparelho para a conversão de gases residuais em produtos úteis, tais como ácidos orgânicos e álcoois (particularmente ácido acético) utilizando cepas anaeróbicas de *Clostridium ljungdahlii*. A Patente US 6.753.170 de Gaddy *et al.* revela um processo de fermentação microbiana anaeróbica para a produção de ácido acético. A Patente US 7.285.402 de Gaddy *et al.* revela um processo de fermentação microbiana anaeróbica para a produção de álcool.

[0005] O Pedido de Patente US 20070275447 revela uma espécie bacteriana de clostrídia (*Clostridium carboxidivorans*, ATCC BAA-624, “P7”), que é capaz de sintetizar, a partir de gases residuais, produtos que são úteis como biocombustíveis. O Pedido de Patente US 20080057554 revela uma espécie bacteriana clostrídia (*Clostridium ragsdalei*, ATCC BAA-622, “P11”), que é capaz de sintetizar, a partir de gases residuais, produtos que são úteis como biocombustíveis.

[0006] WO 2007/117157 revela métodos de processos de fermentação anaeróbicos que produzem acetato como um subproduto, além de um produto desejado, e que podem utilizar hidrogênio e/ou dióxido de carbono na fermentação. Nessa revelação, a fermentação é realizada por uma ou mais cepas de bactérias selecionadas de *Clostridium*, *Moorella* e *Carboxydotherrmus*. WO 2009/064200 revela uma classe de bactérias que tem eficiência melhorada na produção de etanol por fermentação anaeróbica de substratos contendo monóxido de carbono. Como revelado, a bactéria exemplificada, *Clostridium*

autoethanogenum, é capaz de produzir etanol e acetato.

[0007] O gás de síntese pode ser convertido em várias substâncias químicas e combustíveis utilizando rotas catalíticas químicas, tais como processos utilizando catalisadores contendo cobre (Cu) e zinco (Zn) para produzir metanol ou álcoois mistos, processos utilizando catalisadores contendo cobalto (Co) e ródio (Rh) para produzir etanol e síntese do tipo Fischer-Tropsch para produzir olefinas, etc. WO 2009/03581 revela métodos de conversão de gás de síntese em etanol e/ou outros álcoois maiores utilizando reatores compreendendo catalisadores capazes de converter gás de síntese em álcoois ditos catalisadores compreendendo pelo menos um elemento do Grupo IB, pelo menos um elemento do Grupo IIB, e pelo menos um elemento de Grupo IIIA.

[0008] WO 2010/002618 revela um método para produção de álcoois a partir de um gás compreendendo hidrogênio e monóxido de carbono: passar o gás através de um reator contendo um catalisador transportado compreendendo um molibdênio elementar, cobalto e um metal alcalino ou alcalino terroso e ou hidretos do mesmo.

[0009] A produção de substâncias químicas ou de energia em geral depende da qualidade do gás de síntese produzido, por exemplo, quantidade ou concentração de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂) em gás de síntese, bem como a proporção de monóxido de carbono para hidrogênio (CO/H₂).

[00010] Um processo largamente usado de gaseificação de materiais carbonáceos para produzir gás de síntese rico em monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂) utiliza uma atmosfera deficiente em oxigênio ou privadas de oxigênio no gaseificador, que previne a conversão completa de carbono e material carbonáceo. Entretanto, em condições privadas de oxigênio, parte do teor de carbono dos materiais carbonáceos frequentemente continua como partículas de carbono não reagido ou como fuligem no gás de síntese produto. Outra parte do teor de carbono dos materiais carbonáceos continua como carbono não reagido em cinza.

[00011] A conversão incompleta de matéria-prima carbonácea em monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂) significa menos monóxido de carbono (CO) disponível e hidrogênio (H₂) para a produção de energia ou de substâncias químicas (por exemplo, álcoois). A quantidade aumentada de partículas de carbono não convertido ou não reagido ou de fuligem no gás de síntese bruto aumenta a dificuldade e o custo da limpeza do gás de síntese. A quantidade aumentada de carbono não reagido em cinza aumenta a dificuldade de processamento e o custo de descarte de cinza.

[00012] Seria desejável ter um método de operação do gaseificador que maximizasse a produção de energia ou de substâncias químicas a partir do gás de síntese produzido do gaseificador, enquanto mantendo a quantidade de partículas de carbono não convertido ou não reagido no gás de síntese bruto sob valores baixos desejáveis.

[00013] Seria desejável ter um método de operação do gaseificador que maximizasse a produção de energia ou de substâncias químicas a partir do gás de síntese produzido do gaseificador, enquanto mantendo a quantidade de partículas de carbono não convertido ou não reagido no gás de síntese bruto e quantidade carbono não reagido nas cinzas sob valores baixos desejáveis.

[00014] Seria desejável ter um método de operação do gaseificador que maximizasse a produção de energia ou de substâncias químicas a partir do gás de síntese produzido do gaseificador, enquanto mantendo a quantidade de fuligem no gás de síntese bruto sob valores baixos desejáveis.

[00015] Seria desejável ter um método de operação do gaseificador, que maximizasse a produção de energia ou de substâncias químicas a partir do gás de síntese produzido do gaseificador, enquanto mantém a quantidade de fuligem no gás de síntese bruto e a quantidade de carbono não reagido nas cinzas sob valores baixos desejáveis.

[00016] A presente revelação fornece vários *designs* de gaseificadores novos e desejáveis e métodos de operação de um

gaseificador que não são conhecidos na técnica. A presente revelação cumpre com as necessidades descritas acima.

SUMÁRIO

[00017] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir um gás produto compreendendo monóxido de carbono, hidrogênio, e alcatrão; dito método compreende: acrescentar um ou mais materiais carbonáceos, adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água no citado gaseificador; em que a quantidade de oxigênio total adicionado ao dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende mais do que 0,75. Em uma realização, a quantidade de oxigênio total adicionado ao dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende cerca de 0,75 a cerca de 3,0. Como uma realização, a presente revelação compreende ainda o tratamento de dito gás produto a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 3.500°F na presença de oxigênio molecular, para produzir um gás de síntese bruto compreendendo monóxido de carbono, hidrogênio, e gás de síntese-carbono. Em uma realização, o gás de síntese bruto também compreende dióxido de carbono.

[00018] Como realização, a presente revelação proporciona um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese utilizando o método de oxidação parcial; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação e uma segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em uma ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação de dito gaseificador; em que a quantidade de oxigênio total adicionado ao dito gaseificador

em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende mais que cerca de 1,25. Em uma realização, a quantidade de oxigênio total adicionado na dita primeira zona de reação de dito gaseificador em libras por libra total de carbono adicionado ao dito gaseificador compreende cerca de 1,25 a cerca de 3,5.

[00019] Como uma realização, a presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação e uma segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos em dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em uma ou em ambas ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação de dito gaseificador; em que a quantidade de oxigênio total adicionado a dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado a dito gaseificador compreende mais que cerca de 1,25. Em uma realização, a quantidade de oxigênio total adicionado em dita primeira zona de reação de dito gaseificador em libras por libra total de carbono adicionado ao dito gaseificador compreende cerca de 1,25 a cerca de 3,5.

[00020] A presente revelação fornece um método ainda compreendendo: sujeitar dito gás de síntese bruto a resfriamento e limpeza para produzir um gás de síntese limpo; colocando dito gás de síntese limpo em contato com o biocatalisador em um recipiente de fermentação para produzir uma mistura produto de álcool.

[00021] Em uma realização, a proporção de massa de carbono para massa de hidrogênio em um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende 1 para 20. Em uma realização, a proporção de massa de carbono para massa de oxigênio em um ou mais de ditos materiais carbonáceos compreende 1 para 200.

[00022] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir um gás de

síntese utilizando método de oxidação parcial; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação à segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos em dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em um ou em ambas de ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação de dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular em dita câmara conectando dita primeira zona de reação à dita segunda zona de reação de dito gaseificador.

[00023] A presente revelação fornece um gaseificador para produzir gás de síntese utilizando método de oxidação parcial; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação à segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos em dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em um ou em ambas de ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação de dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular em dita câmara conectando dita primeira zona de reação com dita segunda zona de reação do dito gaseificador.

[00024] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação à segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos em dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em um ou em ambas de ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação de dito gaseificador;

compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular em dita câmara conectando a dita primeira zona de reação com a dita segunda zona de reação de dito gaseificador.

[00025] A presente revelação fornece um gaseificador para produzir gás de síntese; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação à segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos em dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em um ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação de dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular em dita câmara conectando a dita primeira zona de reação com a dita segunda zona de reação de dito gaseificador.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[00026] A **Figura 1** (FIG. 1) compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do processo de gaseificação para esta presente revelação; a Figura 1 apresenta uma realização de um processo de gaseificação em dois estágios.

[00027] A **Figura 2** (FIG. 2) compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do processo de produção de etanol por meio de gaseificação de materiais carbonáceos.

[00028] A **Figura 3** (FIG. 3) compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito da entrada de oxigênio total no gaseificador sobre gás de síntese-carbono para várias quantidades de entrada de água no gaseificador.

[00029] A **Figura 4** (FIG. 4) compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito da entrada de oxigênio total no gaseificador sobre quantidade de etanol produzido para várias quantidades de entrada de água no gaseificador.

[00030] A **Figura 5** (FIG. 5) compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito da entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador sobre gás de síntese-carbono para várias quantidades de entrada de água no gaseificador.

[00031] A **Figura 6** (FIG. 6) compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito da entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador sobre quantidade de etanol produzido para várias quantidades de entrada de água no gaseificador.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Definições

[00032] A menos que de outra forma definido, os seguintes termos como utilizados por toda essa especificação para a presente revelação são definidos como se segue e pode incluir tanto a forma singular quanto a plural de definições definidas abaixo:

[00033] O termo “cerca de”, modificando qualquer quantidade, se refere à variação naquela quantidade encontrada em condições do mundo real, por exemplo, a variação naquela quantidade encontrada em condições do mundo real de manutenção de uma cultura de micro-organismo, por exemplo, no laboratório, planta piloto, ou unidade de produção. Por exemplo, uma quantidade de um ingrediente ou a medida empregada em uma mistura ou quantidade, quando modificada por “cerca de” inclui a variação e grau de cuidado tipicamente empregados na medição em uma condição experimental na unidade de produção ou laboratório. Por exemplo, a quantidade de um componente de um produto, quando modificada por “cerca de” inclui a variação entre lotes em experimentos múltiplos na unidade ou laboratório e a variação inerente no método analítico. Modificado ou não por “cerca de”, as quantidades incluem equivalentes àquelas quantidades. Qualquer quantidade estabelecida neste documento e modificada por “cerca de” pode também ser empregada na presente revelação como a quantidade

não modificada por “cerca de”.

[00034] O termo “acetógeno” ou “acetogênico” se refere a uma bactéria que gera acetato como um produto de respiração anaeróbica. Esse processo é diferente da fermentação de acetato, embora ambas ocorram na ausência de oxigênio e produzam acetato. Esses organismos também são referidos como bactérias acetogênicas, uma vez que todos os acetógenos conhecidos são bactérias. Acetógenos são encontrados em uma variedade de habitats, geralmente aqueles que são anaeróbicos (falta oxigênio). Acetógenos podem utilizar uma variedade de compostos como fontes de energia e carbono; a melhor forma estudada de metabolismo acetogênico envolve o uso de dióxido de carbono como uma fonte de carbono e hidrogênio como uma fonte de energia.

[00035] O termo “cinza-carbono” ou “cinza-carbono” ou “cinza-carbono” significa teor de carbono não convertido em cinza removida do gaseificador.

[00036] O termo “temperatura de fusão de cinza” significa temperatura em que pelo menos uma porção de cinza ou matéria inorgânica contida em material carbonáceo derrete. Tipicamente, essa temperatura compreende cerca de 1.400°F.

[00037] O termo “biocatalisador” significa, para a presente revelação, catalisadores naturais, enzimas de proteínas, células vivas, micro-organismos e bactérias.

[00038] Os termos “biorreator”, “reator”, ou “biorreator de fermentação”, incluem um dispositivo de fermentação consistindo em um ou mais recipientes e/ou torres ou esquema de tubulação, que inclui o Reator Tanque Agitado Contínuo (CSTR), o Reator de Célula Imobilizada (ICR), o Reator Trickle-Bed (TBR), a Coluna de Bolhas, o Fermentador com elevação a Gás, o Misturador Estático ou outro dispositivo adequado para contato de gás-líquido. Preferencialmente para o método dessa revelação, biorreator de fermentação compreende um reator de crescimento, que alimenta o caldo de fermentação para um segundo biorreator de fermentação, em que a maior parte do

produto, etanol é produzida.

[00039] “Material carbonáceo” como utilizado neste documento refere-se a material rico em carbono, tal como carvão, e petroquímicos. Entretanto, nessa especificação, material carbonáceo incluem qualquer material de carbono, seja no estado sólido, líquido, gasoso ou plasma. Dentre os numerosos itens que podem ser considerados material carbonáceo, a presente revelação contempla: produto líquido carbonáceo, reciclagem de líquido industrial carbonáceo, resíduo sólido urbano carbonáceo (RSU ou rsu), resíduo urbano carbonáceo, material agrícola carbonáceo, material de silvicultura carbonáceo, resíduo de madeira carbonáceo, material de construção carbonáceo, material vegetativo carbonáceo, resíduo industrial carbonáceo, resíduo de fermentação carbonáceo, coprodutos petroquímicos carbonáceos, coprodutos de produção de álcool carbonáceos, carvão carbonáceo, pneus, plásticos, resíduo plástico, alcatrão de coqueria, *fibersoft*, lignina, licor negro, polímeros, polímeros residuais, tereftalato de polietileno (PETA), poliestireno (PS), lodo de esgoto, resíduo animal, resíduos de colheita, cultivos para a produção de energia, resíduos de processamento de floresta, resíduos de processamento de madeira, resíduos do gado, resíduos da criação de aves, resíduos de processamento de alimento, resíduos do processo fermentativo, coprodutos de etanol, resíduos de grãos, micro-organismos residuais ou suas combinações. Para essa revelação, o dióxido de carbono e o gás contendo metano não são considerados materiais carbonáceos. Para evitar dúvidas, vários material(materials) carbonáceo(s) pode(m) ser interpretado(s) tanto na forma singular quanto na forma plural, onde for apropriado, independentemente do uso da palavra na forma singular ou plural como fornecida nessa definição.

[00040] O termo “fermentação” significa fermentação de monóxido de carbono (CO) para álcoois e acetato. Um número de bactérias anaeróbicas é conhecido por serem capazes de realizar a fermentação de monóxido de carbono (CO) para álcoois, incluindo butanol e etanol, e

ácido acético, e são adequadas para o uso no processo da presente revelação. Exemplos de tais bactérias que são adequadas para o uso na revelação inclui aqueles do gênero *Clostridium*, tais como cepas de *Clostridium ljungdahlii*, incluindo aqueles descritos em WO 2000/68407, EP 117309, Patente US 5.173.429, 5.593.886, e 6.368.819, WO 1998/00558 e WO 2002/08438, e *Clostridium autoethanogenum*. Outras bactérias apropriadas incluem aquelas do gênero *Moorella*, incluindo *Moorella sp* HUC22-1, e aquelas do gênero *Carboxydotherrmus*. A revelação de cada uma dessas publicações é completamente incorporada neste documento por referência. Além disso, outras bactérias anaeróbicas acetogênicas podem ser selecionadas para o uso no processo da revelação por uma pessoa com conhecimento na técnica. Será também apreciado que uma cultura misturada de duas ou mais bactérias pode ser utilizada no processo da presente revelação. Um micro-organismo apropriado para o uso na presente revelação é o *Clostridium autoethanogenum*, que está comercialmente disponível de DSMZ e tendo as características identificadoras do número de depósito de DSMZ 10061. A fermentação pode ser realizada em qualquer biorreator adequado, tal como um reator tanque agitado contínuo (CTSR), um reator de coluna de bolha (BCR) ou um reator *trickle-bed* (TBR). Além disso, em algumas realizações preferidas da revelação, o biorreator pode compreender um primeiro reator de crescimento, em que os micro-organismos são cultivados, e um segundo reator de fermentação, ao qual o caldo de fermentação do reator de crescimento é alimentado e em que a maior parte do produto de fermentação (etanol e acetato) é produzida.

[00041] O termo “*fibersoft*” ou “*Fibersoft*” ou “*fibrosoft*” ou “*fibrousoft*” significa um tipo de material carbonáceo que é produzido como um resultado do amolecimento e concentração de várias substâncias; em um exemplo, um material carbonáceo é produzido por meio de autoclavagem a vapor de várias substâncias. Em outro exemplo, a *fibersoft* pode compreender autoclavagem a vapor de

resíduos urbanos, industriais, comerciais, médicos, resultando em um material lamacento e fibroso.

[00042] O “Gaseificador” ou “gaseificador” significa gaseificador de leito fixo de contracorrente, gaseificador de leito fixo de co-corrente, leito móvel, gaseificador de leito fluidizado, gaseificador de fluxo arrastado, gaseificador de arco de plasma, gaseificador de estágio único, gaseificador multiestágio, gaseificador de dois estágios, gaseificador de três estágios, gaseificador de quatro estágios, gaseificador de cinco estágios, e suas combinações.

[00043] O termo “micro-organismo” inclui bactérias, fungos, levedura, arqueia e protistas; plantas microscópicas (chamadas algas verdes); e animais, tais como plâncton, a planária e a ameba. Alguns também incluem vírus, mas outros consideram estes como não vida. Micro-organismos vivem em todas as partes da biosfera onde há água líquida, incluindo o solo, fontes termais, no fundo do oceano, no alto da atmosfera e profundamente em rochas dentro da crosta da Terra. Micro-organismos são críticos para reciclagem de nutrientes em ecossistemas, uma vez que agem como decompositores. Micróbios são também explorados por pessoas na biotecnologia, tanto no preparo de comida e bebida tradicional, quanto em tecnologias modernas baseadas em engenharia genética. É imaginado que micro-organismos de cepas misturadas, que podem ou não conter cepas de vários micro-organismos, serão utilizados na presente revelação. Além disso, é imaginado que a evolução direcionada pode seletivamente selecionar micro-organismos que possam ser utilizados na presente revelação. É ainda imaginado que tecnologia de DNA recombinante pode criar micro-organismos utilizando cepas selecionadas de micro-organismos existentes. É imaginado que bactérias anaeróbicas (ou facultativas) acetogênicas, que sejam capazes de converter monóxido de carbono (CO) e água ou hidrogênio (H₂) e CO₂ em produtos de etanol e ácido acético, serão utilizadas na presente revelação. Bactérias úteis, de acordo com essa revelação, incluem, sem limitação, *Acetogenium kivui*,

Acetobacterium woodii, *Acetoanaerobium noterae*, *Butyribacterium methylotrophicum*, *Caldanaerobacter subterraneus*, *Caldanaerobacter subterraneus pacificus*, *Carboxydotherrmus hydrogenoformans*, *Clostridium aceticum*, *Clostridium. acetobutylicum*, *Clostridium Autoethanogenum*, *Clostridium thermoaceticum*, *Eubacterium limosum*, *Clostridium ljungdahlii* PETC, *Clostridium ljungdahlii* ERI2, *Clostridium ljungdahlii* C-01, *Clostridium ljungdahlii* O-52, *Clostridium ultunense*, *Clostridium ragsdalei*, *Clostridium carboxidivorans*, *Geobacter sulfurreducens*, *Moorella*, *Moorella thermacetica*, e *Peptostreptococcus productus*. Outras bactérias anaeróbicas acetogênicas são selecionadas para uso nesses métodos por uma pessoa de conhecimento na técnica. Em algumas realizações da presente revelação, diversas cepas exemplificativas de *C. ljungdahlii* incluem a cepa PETC (Patente US 5.173.429); cepa ER12 (Patente US 5.593.886) e cepas C-01 e O-52 (Patente US 6.136.577). Essas cepas estão, cada uma, depositadas no American Type Culture Collection, 10801 University Boulevard, Manassas, Va. 20110-2209, sob o Número de Acesso 55383 (antes ATCC N° 49587), 55380, 55988, e 55989, respectivamente. Cada uma das cepas de *C. ljungdahlii* é uma bactéria gram-positiva anaeróbica com um conteúdo de nucleotídeo de guanina e citosina (G+C) de cerca de 22 mols %. Essas bactérias utilizam uma variedade de substratos para crescimento, mas não metanol ou lactato. Essas cepas se diferem em suas tolerâncias a monóxido de carbono (CO), taxas de captação de gás específico e produtividades específicas. Nas cepas “selvagens” encontradas na natureza, uma produção de etanol muito pequena é notada. Cepas de *C. ljungdahlii* operam idealmente a 37 graus C, e tipicamente produzem um etanol a acetil (isto é, que se refere tanto ao ácido acético molecular ou livre quanto a sais de acetato) razão de produção de cerca 1:20 (1 parte de etanol por 20 partes de acetil) no estado “selvagem”. As concentrações de etanol são tipicamente apenas 1-2 g/L. Enquanto essa capacidade de produzir etanol é de interesse, por causa da baixa produtividade de etanol, a bactéria “selvagem” não

pode ser utilizada para produzir economicamente etanol em uma base comercial. Com menor manipulação de nutriente, as cepas de *C. ljungdahlii* acima mencionadas têm sido utilizadas para produzir etanol e acetil com um razão de produção de 1:1 (partes iguais de etanol e acetil), mas a concentração de etanol é menor que 10 g/L, um nível que resulta em baixa produtividade, abaixo de 10 g/L-dia. Além disso, estabilidade da cultura é um problema, primeiramente devido à relativamente alta (8-10 g/L) concentração de acetil (2,5-3 g/L de ácido acético molecular) em combinação com a presença de etanol. Ademais, à medida que o fluxo de gás é aumentado em um esforço para produzir mais etanol, a cultura é inibida, primeiro pelo ácido acético molecular e depois pelo monóxido de carbono (CO). Como resultado, a cultura se torna instável e falha em captar gás e produzir o produto adicional. Outrossim, o trabalho inicial dos inventores mostrou dificuldade em produzir mais do que uma razão 2:1 de etanol para acetil em uma operação de estado estável. Um grande número de documentos descreve o uso de bactérias anaeróbicas, outras que não *C. ljungdahlii*, na fermentação de açúcares que não consomem monóxido de carbono (CO), CO₂ e hidrogênio (H₂) para produzir solventes. Em uma tentativa de fornecer altos rendimentos de etanol, uma variedade de parâmetros foi alterada, que inclui: tipos de nutrientes, micro-organismos, adição específica de agentes de redução, variações de pH, e a adição de gases exógenos.

[00044] O termo “resíduo sólido urbano” ou “RSU” ou “rsu” significa resíduos compreendendo resíduos domésticos, comerciais, industriais e/ou residuais.

[00045] O termo “singás” ou “gás de síntese” significa gás de síntese, que é o nome dado a uma mistura de gás que contém quantidades variadas de monóxido de carbono e hidrogênio. Exemplos de métodos de produção incluem reforma a vapor de gás natural ou hidrocarbonetos para produzir hidrogênio, a gaseificação de carvão e em alguns tipos de instalações de gaseificação de resíduos em energia. O

nome surgiu do seu uso como intermediário na criação de gás natural sintético (GNS) e para produção de amônia ou metanol. Gás de síntese é também utilizado como um intermediário na produção de petróleo sintético para uso como combustível ou lubrificante por meio da síntese Fischer-Tropsch e anteriormente o metanol Mobil para processar gasolina. Gás de síntese consiste principalmente em hidrogênio, monóxido de carbono e muito frequentemente em algum dióxido de carbono e tem menos que a metade da densidade de energia (ou seja, teor de BTU) de gás natural. Gás de síntese é combustível e frequentemente utilizado como uma fonte de combustível ou como um intermediário para a produção de outras substâncias químicas.

[00046] O termo “gás de síntese-carbono” ou “Gás de síntese-carbono” ou “Gás de síntese-Carbono” significa teor de partículas de carbono não convertido em gás de síntese bruto produzido no processo de gaseificação.

[00047] O termo “entrada de carbono total no gaseificador” ou “carbono total adicionado no gaseificador” significa a soma de todo o carbono contido em qualquer coisa alimentada no gaseificador, por exemplo, carbono contido em um ou mais materiais carbonáceos, como definido acima, adicionado ao gaseificador.

[00048] O termo “entrada de carbono total na primeira zona de reação do gaseificador” ou “carbono total adicionado na primeira zona de reação gaseificador” significa a soma de todo o carbono contido em qualquer coisa alimentada à primeira zona de reação do gaseificador, por exemplo, carbono contido em um ou mais materiais carbonáceos, como definido acima, adicionado à primeira zona de reação do gaseificador.

[00049] O termo “entrada de oxigênio total no gaseificador” ou “oxigênio total adicionado no gaseificador” significa a soma de todo o oxigênio contido em qualquer coisa alimentada ao gaseificador, por exemplo, oxigênio contido em gás contendo oxigênio molecular adicionado ao gaseificador, oxigênio contido em um ou mais materiais

carbonáceos como definido acima, adicionado ao gaseificador, oxigênio contido em qualquer água ou vapor adicionado no gaseificador.

[00050] O termo “entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador” ou “oxigênio total adicionado na primeira zona de reação do gaseificador” significa a soma de todo o oxigênio contido em qualquer coisa alimentada à primeira zona de reação do gaseificador, por exemplo, oxigênio contido em gás contendo oxigênio molecular adicionado na primeira zona de reação do gaseificador, oxigênio contido em um ou mais materiais carbonáceos como definido acima adicionado na primeira zona de reação do gaseificador, oxigênio contido em qualquer água ou vapor adicionado na primeira zona de reação do gaseificador.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[00051] A presente revelação será agora descrita mais completamente e com referência às figuras, em que várias realizações da presente revelação são mostradas. O assunto objeto dessa revelação pode, contudo, ser realizado de muitas diferentes formas e não deve ser interpretado como sendo limitado às realizações estabelecidas neste documento.

[00052] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir um gás produto compreendendo monóxido de carbono, hidrogênio e alcatrão, compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos, adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água em dito gaseificador; em que a quantidade de oxigênio total adicionada a dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionada a dito gaseificador compreende mais que cerca de 0,75. Em uma realização, a quantidade de oxigênio total adicionado a dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado a dito gaseificador compreende cerca de 0,75 por cerca de

3,0. Como realizações, a presente revelação compreende adição de água ao dito gaseificador; compreende adição de vapor direto em dito gaseificador; compreende adição de água por adição de vapor direta parcial em dito gaseificador; compreende adicionar um ou mais ditos materiais carbonáceos contendo umidade no dito gaseificador.

[00053] Em uma realização da presente revelação, um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreendem seleção dos materiais carbonáceos, produto líquido carbonáceo, reciclagem de líquido industrial carbonáceo, resíduo sólido urbano carbonáceo (RSU ou rsu), resíduo urbano carbonáceo, material agrícola carbonáceo, material de silvicultura carbonáceo, resíduo de madeira carbonáceo, material de construção carbonáceo, material vegetativo carbonáceo, resíduo industrial carbonáceo, resíduo de fermentação carbonáceo, coprodutos petroquímicos carbonáceos, coprodutos de produção de álcool carbonáceos, carvão carbonáceo, pneus, plásticos, resíduo plástico, alcatrão de coqueria, *fibersoft*, lignina, licor negro, polímeros, resíduo de polímeros, tereftalato de polietileno (PETA), polistireno (PS), lodo de esgoto, resíduo animal, resíduos de colheita, cultivos para a produção de energia, resíduos de processamento de floresta, resíduos de processamento de madeira, resíduos de gado, resíduos da criação de aves, resíduos de processamento de alimento, resíduos de processo fermentativo, coprodutos de etanol, *spent grain*, micro-organismos residuais ou suas combinações. Em uma realização, o teor de carbono de um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende cerca de 0,25 a cerca de 1,0 libra por libra de um ou mais ditos materiais carbonáceos em uma base livre de água. Em uma realização, o teor de hidrogênio de um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende cerca de 0,0 a cerca de 0,25 libra por libra de um ou mais dos ditos materiais carbonáceos em uma base livre de água. Em uma realização, o teor de oxigênio de um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende cerca de 0,0 a cerca de 0,5 libra por libra de um ou mais dos ditos materiais carbonáceos em uma base livre de água.

[00054] Em uma realização, dito material carbonáceo compreende uma pluralidade de materiais carbonáceos selecionados de material carbonáceo, produto líquido carbonáceo, reciclagem de líquido industrial carbonáceo, resíduo sólido urbano carbonáceo (RSU), resíduo urbano carbonáceo, material agrícola carbonáceo, material de silvicultura carbonáceo, resíduo de madeira carbonáceo, material de construção carbonáceo, material vegetativo carbonáceo, coprodutos petroquímicos carbonáceos, carvão carbonáceo, plásticos, resíduo plástico, alcatrão de coqueria, *fibersoft*, pneus, lignina, licor negro, polímeros, resíduo de polímeros, tereftalato de polietileno (PETA), polistireno (PS), lodo de esgoto, resíduo animal, resíduos de colheita, cultivos para a produção de energia, resíduos de processamento de floresta, resíduos de processamento de madeira, resíduos de gado, resíduos da criação de aves, resíduos de processamento de alimento, resíduos de processo fermentativo, resíduo industrial carbonáceo, resíduos de produção de álcool, coprodutos de etanol, *spent grains*, micro-organismos residuais ou combinações de qualquer um desses.

[00055] Em uma realização, o gaseificador produz cinza contendo cinza-carbono e em que dita cinza compreende menos do que cerca de 10% de cinza-carbono. Em uma realização, o gaseificador produz cinza contendo cinza-carbono e em que as ditas cinzas compreendem menos que cerca de 5% de cinzas-carbono.

[00056] Em uma realização, a presente revelação fornece um método para o tratamento do dito gás produto a uma temperatura em cerca de 1.750°F a cerca de 3.500°F na presença de oxigênio molecular para produzir um gás de síntese bruto compreendendo monóxido de carbono, hidrogênio, e gás de síntese-carbono. Em várias realizações, gás de síntese bruto compreende dióxido de carbono.

[00057] Em uma realização, a razão de massa de carbono para massa de hidrogênio em um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende 1 para 20. Em uma realização, a razão de massa carbono para massa de oxigênio em um ou mais dos ditos materiais carbonáceos

compreende 1 para 200.

[00058] Como uma realização, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,5 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido.

[00059] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese utilizando um método de oxidação parcial; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação e uma segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em um ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação do dito gaseificador; em que a quantidade de oxigênio total adicionada a dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende mais que cerca de 1,25. Em uma realização, a quantidade de oxigênio total adicionada na dita primeira zona de reação do dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende cerca de 1,25 a cerca de 3,5. Em uma realização, a temperatura da dita primeira zona de reação compreende 650-1.450°F. Em uma realização, a temperatura da dita segunda zona de reação compreende 1.750-3.500°F.

[00060] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação e uma segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em um ou em ambas ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação do dito gaseificador; em que a quantidade de oxigênio total adicionada ao dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende mais que cerca de 1,25. Em uma realização, a quantidade

de oxigênio total adicionada na dita primeira zona de reação do dito gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende cerca de 1,25 a cerca de 3,5. Em uma realização, a temperatura da dita primeira zona de reação compreende 650-1.450°F. Em uma realização, a temperatura da dita segunda zona de reação compreende 1.750-3.500°F.

[00061] A presente revelação ainda fornece um método compreendendo: sujeitar dito gás de síntese bruto a resfriamento e limpeza para produzir um gás de síntese limpo; colocando dito gás de síntese em contato com um biocatalisador em um recipiente de fermentação para produzir uma mistura produto de álcool. Em uma realização, a razão de massa de carbono para massa de hidrogênio em um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende 1 para 20. Em uma realização, a razão de massa de carbono para massa de oxigênio em um ou mais dos ditos materiais carbonáceos compreende 1 para 200.

[00062] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese utilizando método de oxidação parcial; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação com a segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em uma ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação do dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular na dita câmara conectando a dita primeira zona de reação com a dita segunda zona de reação do dito gaseificador.

[00063] A presente revelação fornece um gaseificador para produzir gás de síntese utilizando o método de oxidação parcial; o dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma

segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação com a segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em uma ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação do dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular na dita câmara conectando a dita primeira zona de reação com a dita segunda zona de reação do dito gaseificador.

[00064] A presente revelação fornece um método de gaseificação de materiais carbonáceos em um gaseificador para produzir gás de síntese; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação com a segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em uma ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação do dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular na dita câmara conectando a dita primeira zona de reação com a dita segunda zona de reação do dito gaseificador.

[00065] A presente revelação fornece um gaseificador para produzir gás de síntese; dito gaseificador compreendendo uma primeira zona de reação, uma segunda zona de reação e uma câmara conectando a primeira zona de reação com a segunda zona de reação; compreendendo dito método: adicionar um ou mais materiais carbonáceos na dita primeira zona de reação do gaseificador; adicionar um gás contendo oxigênio molecular e opcionalmente adicionar água ou vapor em uma ou em ambas das ditas primeira zona de reação e segunda zona de reação do dito gaseificador; compreendendo adicionar gás contendo oxigênio molecular na dita câmara conectando a dita primeira zona de reação com a dita segunda zona de reação do dito gaseificador.

[00066] Em uma realização dessa revelação, a temperatura do dito gaseificador compreende cerca de 650°F a cerca de 3.500°F. Em uma realização, a temperatura compreende cerca de 650°F a cerca de 1.450°F. Em uma realização, a temperatura do dito gaseificador compreende cerca de 950°F a cerca de 1.400°F. Em uma realização, a temperatura do dito gaseificador é cerca de 1.400°F. Em uma realização, a temperatura do dito gaseificador compreende cerca de 1.750°F a cerca de 2.250°F. Em uma realização, a temperatura do dito gaseificador é cerca de 2.250°F.

[00067] Em várias realizações da presente revelação, o dito gás produto contendo alcatrão pode ser tratado para remover ou destruir pelo menos uma parte de alcatrão contido em dito gás produto contendo alcatrão utilizando vários métodos de remoção de alcatrão descritos na técnica publicada, a fim de produzir um gás de síntese bruto contendo menos alcatrão ou livre de alcatrão. Em uma realização da presente revelação o dito gás produto contendo alcatrão é tratado a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 3.500°F na presença de oxigênio molecular para remover ou produzir um gás de síntese bruto compreendendo monóxido de carbono, hidrogênio e gás de síntese-carbono. Em uma realização da presente revelação, dito gás produto contendo alcatrão é tratado a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 3.500°F na presença de oxigênio molecular para remover ou produzir um gás de síntese bruto compreendendo dióxido de carbono. Presumivelmente em tal tratamento o alcatrão é destruído através de craqueamento de alcatrão. Presumivelmente em tal tratamento o alcatrão é destruído através da oxidação parcial de alcatrão. Em uma realização, a temperatura de tratamento compreende cerca de 1.750°F a cerca de 2.250°F. Em uma realização, a temperatura de tratamento é cerca de 2.250°F.

[00068] A operação do gaseificador como acima não realiza a combustão completa de todo o carbono introduzido no gaseificador para produzir o dióxido de carbono. Presumivelmente, uma oxidação parcial

de carbono que é realizada, que aumenta a produção de monóxido de carbono. Tal oxidação parcial também pode levar à formação de partículas de carbono não reagido ou fuligem (“gás de síntese-carbono”), que permanecem no gás de síntese bruto. O gás de síntese bruto contendo grande quantidade de gás de síntese-carbono é indesejável, uma vez que aumenta a dificuldade e o custo de limpar o gás de síntese bruto. No método dessa revelação, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,5 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido. Em uma realização, da revelação, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,25 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido. Em uma realização, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,125 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido.

[00069] A operação do gaseificador como acima não realiza combustão completa de todo o carbono introduzido no gaseificador para produzir dióxido de carbono. Presumivelmente, uma oxidação de carbono incompleta é realizada, que aumenta a produção de monóxido de carbono. Tal oxidação incompleta também pode levar à formação de partículas de carbono não reagido ou fuligem (“gás de síntese-carbono”), que permanecem no gás de síntese bruto. O gás de síntese bruto contendo grande quantidade de gás de síntese-carbono é indesejável, uma vez que aumenta a dificuldade e o custo de limpar o gás de síntese bruto. No método dessa revelação, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,5 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido. Em uma realização, da revelação, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,25 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido. Em uma realização, dito gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,125 libra de gás de síntese-carbono por 1.000 SCF de gás de síntese bruto produzido.

[00070] A gaseificação de materiais carbonáceos para produzir gás

produto contendo alcatrão e o tratamento subsequente de dito gás produto contendo alcatrão a alta temperatura na presença de gás contendo oxigênio molecular (“craqueamento de alcatrão”) para produzir gás de síntese bruto livre de alcatrão ou contendo menos alcatrão podem ser realizados em unidades de processos múltiplos e separados ou em uma única unidade com múltiplas zonas ou câmaras ou compartimentos de reação.

[00071] A gaseificação de materiais carbonáceos para produzir gás produto contendo alcatrão e o tratamento subsequente de dito gás produto contendo alcatrão em alta temperatura na presença de gás contendo oxigênio molecular (“oxidação parcial de alcatrão”) para produzir gás de síntese bruto livre de alcatrão ou contendo menos alcatrão podem ser realizados em unidades de processo múltiplas e separadas ou em uma única unidade com múltiplas zonas ou câmaras ou compartimentos de reação.

[00072] Em uma realização, da presente revelação, uma unidade de gaseificação é utilizada, que compreende duas zonas de reação: uma primeira zona de reação que produz um gás produto contendo alcatrão e uma segunda zona de reação, que produz gás de síntese bruto livre de alcatrão ou contendo menos alcatrão a partir do gás produto contendo alcatrão.

[00073] Em uma realização, da presente revelação, uma unidade de gaseificação de múltiplos estágios é utilizada, que compreende duas zonas de reação: uma primeira zona de reação que produz um gás produto contendo alcatrão e uma segunda zona de reação que produz gás de síntese bruto livre de alcatrão ou contendo menos alcatrão a partir do gás produto contendo alcatrão.

[00074] Em uma realização, da presente revelação, uma unidade de gaseificação em dois estágios é utilizada, que compreende duas zonas de reação: uma primeira zona de reação que produz um gás produto contendo alcatrão e uma segunda zona de reação que produz gás de síntese bruto livre de alcatrão ou contendo menos alcatrão a partir do

gás produto contendo alcatrão.

[00075] Em uma realização, da presente revelação, a temperatura na primeira zona de reação não deve estar acima do ponto de fusão dos componentes inorgânicos dos materiais carbonáceos que formam a cinza. Essa temperatura pode ser chamada de temperatura de fusão de cinza. Em uma realização, a primeira zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 650°F a cerca de 1.450°F. Em uma realização, a primeira zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 950°F a cerca de 1.450°F. Em uma realização, a primeira zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 1.400°F.

[00076] A temperatura na segunda zona de reação deve ser alta o suficiente para que o craqueamento do alcatrão ocorra de forma efetiva. Em uma realização, a segunda zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 3.500°F. Em uma realização, a segunda zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 2.250°F. Em uma realização, a segunda zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 2.250°F. Além de manter a temperatura apropriada, a segunda zona de reação deve ser dimensionada de uma maneira que um tempo de contato ou tempo de residência apropriado seja fornecido para o craqueamento do alcatrão. Tipicamente, um tempo de residência de cerca de 2 a cerca de 5 segundos é mantido.

[00077] A temperatura na segunda zona de reação deve ser alta o suficiente para que a oxidação ocorra efetivamente. Em uma realização, a segunda zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 3.500°F. Em uma realização, a segunda zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 1.750°F a cerca de 2.250°F. Em uma realização, a segunda zona de reação é mantida a uma temperatura de cerca de 2.250°F. Além de manter a temperatura apropriada, a segunda zona de reação deve ser dimensionada de uma maneira que um tempo de contato ou tempo de residência apropriado seja fornecido para o craqueamento do alcatrão. Tipicamente, um tempo

de residência de cerca de 2 a cerca de 5 segundos é mantido.

[00078] Em uma realização, a segunda zona de reação é colocada verticalmente acima da primeira zona de reação. Em uma realização, a segunda zona de reação é colocada verticalmente abaixo da primeira zona de reação.

[00079] Gás contendo oxigênio molecular é adicionado na primeira zona de reação de dito gaseificador. Gás contendo oxigênio molecular é adicionado na segunda zona de reação de dito gaseificador. Gás contendo oxigênio molecular é adicionado tanto na primeira quanto na segunda zona de reação de dito gaseificador. Gás contendo oxigênio molecular pode ser ar, ar enriquecido de oxigênio ou oxigênio puro. Gás contendo oxigênio molecular pode conter de cerca de 21 volume% a cerca de 100 volume% de oxigênio molecular.

[00080] Nessa revelação, o oxigênio total adicionado no gaseificador é a soma do teor de oxigênio de um ou mais materiais carbonáceos adicionados no gaseificador, oxigênio contido em qualquer água ou vapor opcionalmente adicionado, e oxigênio contido em gás contendo oxigênio molecular injetado tanto na primeira zona de reação ou câmara inferior quanto na segunda zona de reação ou câmara superior do gaseificador; carbono total adicionado no gaseificador é a soma do teor de carbono de um ou mais materiais carbonáceos adicionados no gaseificador.

[00081] Nessa revelação, o oxigênio total adicionado na primeira zona de reação do gaseificador é a soma do teor de oxigênio de um ou mais materiais carbonáceos adicionados na primeira zona de reação do gaseificador, o oxigênio contido tanto em qualquer água ou vapor opcionalmente adicionado na primeira zona de reação do gaseificador, e o oxigênio contido no gás contendo oxigênio molecular adicionado na primeira zona de reação do gaseificador; o carbono total adicionado na primeira zona de reação do gaseificador é a soma do teor de carbono de um ou mais materiais carbonáceos adicionados na primeira zona de reação do gaseificador.

[00082] Em uma realização, o carbono total adicionado na primeira zona de reação do gaseificador é igual ao carbono total adicionado no gaseificador.

[00083] Em uma realização, o carbono total adicionado na primeira zona de reação do gaseificador não é igual ao carbono total adicionado no gaseificador.

[00084] Como uma realização, a presente revelação fornece também método para produzir álcool, compreendendo:

submeter dito gás de síntese bruto a resfriamento e limpeza, para produzir um gás de síntese limpo;

colocar dito gás de síntese limpo em contato com um biocatalisador em um recipiente de fermentação para produzir uma mistura produto de álcool.

[00085] Em uma realização, um ou mais ditos álcoois compreendem metanol. Em uma realização, um ou mais ditos álcoois compreendem etanol. Em uma realização, um ou mais ditos álcoois compreendem o metanol, etanol, propanol, butanol, e suas combinações.

[00086] Em uma realização, um álcool é recuperado seletivamente a partir da mistura produto de álcool. Em uma realização, o álcool recuperado seletivamente é etanol. Em uma realização, o álcool recuperado seletivamente é butanol.

[00087] Como uma realização, dito biocatalisador compreende: micro-organismos; bactérias acetogênicas; uma ou mais cepas selecionadas de *Clostridium*, *Moorella*, e *Carboxydotherrmus* ou suas cepas misturadas; *Clostridium ljungdahlii*. Dito *Clostridium ljungdahlii* da presente revelação é selecionado das cepas consistindo em PETC, ERI-2, O-52 e C-01 ou suas combinações.

[00088] A Figura 1 compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização de um gaseificador. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático de um gaseificador de dois estágios. Como uma

realização, a Figura 1 apresenta um diagrama esquemático de um gaseificador de dois estágios utilizando oxidação parcial. Referindo-se agora à Figura 1, um ou mais materiais carbonáceos (150) é alimentado a partir de um funil de alimentação (100) para primeira zona de reação ou câmara inferior (200) do gaseificador para gaseificação. Gás contendo oxigênio molecular (220) é introduzido na câmara inferior para auxiliar a gaseificação. Em uma realização, água ou vapor pode ser adicionado na câmara inferior para auxiliar a gaseificação. A quantidade de oxigênio injetado na câmara inferior é regulada de maneira a evitar a combustão completa do material carbonáceo. Em outras palavras, a câmara inferior está privada de oxigênio. A prevenção da combustão completa também é regulada através de ajuste da temperatura na câmara inferior. Uma temperatura de 750 a 1.450 graus F é mantida na câmara inferior. Em uma realização, a temperatura na câmara inferior é ajustada de maneira a evitar a fusão de qualquer cinza formada durante a gaseificação. Em uma realização, a temperatura na câmara inferior é 1.400°F. Em uma realização, a quantidade de oxigênio molecular introduzido na câmara inferior compreende 10 a 100 libras mols por tonelada de material carbonáceo em uma base livre de água ou seca.

[00089] Uma corrente de material gasoso produzido na primeira zona de reação ou câmara inferior se move para a segunda zona de reação ou câmara superior (400) do gaseificador através da câmara (300) conectando a primeira zona de reação / câmara inferior à segunda zona de reação / câmara superior. Uma corrente de cinza (250) é removida da câmara inferior. Uma corrente de material gasoso produzido na primeira zona de reação se move para a segunda zona de reação (400) do gaseificador através da câmara de conexão (300) do gaseificador conectando a primeira zona de reação à segunda zona de reação. Uma corrente de cinza (250) é removida da primeira zona de reação.

[00090] Em uma realização, vapor pode ser adicionado na primeira

zona de reação / câmara inferior (200). Em uma realização, vapor pode ser adicionado na segunda zona de reação / câmara superior (400). Em uma realização, vapor pode ser adicionado na primeira zona de reação / câmara inferior (200) e na segunda zona de reação / câmara superior (400). Em uma realização, vapor pode ser adicionado na câmara conectando a primeira zona de reação / câmara inferior à segunda câmara de reação / câmara superior. Em uma realização, vapor pode ser adicionado à corrente de gás (310) indo para a câmara conectando a primeira zona de reação / câmara inferior à segunda zona de reação / câmara superior.

[00091] Em uma realização, vapor contínuo pode ser adicionado na primeira zona de reação / câmara inferior (200). Em uma realização, vapor contínuo pode ser adicionado na segunda zona de reação / câmara superior (400). Em uma realização, vapor contínuo pode ser adicionado na primeira zona de reação / câmara inferior (200) e na segunda zona de reação / câmara superior (400). Em uma realização, vapor contínuo pode ser adicionado na câmara (300) conectando a primeira zona de reação / câmara inferior à segunda zona de reação / câmara superior. Em uma realização, vapor contínuo pode ser adicionado à corrente de gás (310) indo para a câmara conectando a primeira zona de reação / câmara inferior à segunda zona de reação / câmara superior.

[00092] Presumivelmente, a oxidação parcial do alcatrão contido no material gasoso produzido na câmara inferior é realizada na câmara superior. Presumivelmente, o craqueamento do alcatrão contido no material gasoso produzido na câmara inferior é realizado na câmara superior. Uma corrente de gás contendo oxigênio molecular é introduzida na câmara conectando a primeira zona de reação / câmara inferior à segunda zona de reação / câmara superior (300) ou garganta de restrição do gaseificador a fim de auxiliar a oxidação parcial e/ou craqueamento do alcatrão na câmara superior. Em uma realização, gás contendo oxigênio molecular é introduzido diretamente dentro da

câmara superior. A oxidação parcial de alcatrão também é regulada ajustando a temperatura na câmara superior do gaseificador. O craqueamento do alcatrão também é regulado ajustando-se a temperatura na câmara superior do gaseificador. Uma temperatura de 1.750 a 3.500°F é mantida na câmara superior. Em uma realização, a temperatura na câmara superior é de 2.250°F. Em uma realização, a quantidade de oxigênio molecular introduzida na câmara superior compreende 10 a 100 libras-mols por tonelada de material carbonáceo em uma base livre de água ou seca.

[00093] Em uma realização, a câmara superior está posicionada em um nível verticalmente acima do topo da câmara inferior. Em uma realização, a câmara superior está posicionada em um nível não verticalmente acima do topo da câmara inferior. Em uma realização, a câmara inferior e a câmara superior estão posicionadas em torno da mesma elevação vertical, isto é, lado a lado. Uma corrente de gás de síntese bruto (410) é removida da câmara superior do gaseificador.

[00094] A Figura 2 compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização de um processo para produzir etanol a partir de um material carbonáceo por meio de gaseificação de dito material carbonáceo. Referindo-se agora à Figura 2, um material carbonáceo (1) é alimentado em um gaseificador (10), em que o material carbonáceo é convertido para produzir gás ou gás de síntese ou singás compreendendo monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂). Um produto de gás de síntese bruto (11) é removido do gaseificador. O gás de síntese bruto é quente e pode conter gás contendo enxofre e outros gases acídicos, material particulado, etc. e está sujeito a resfriamento e limpeza em um processo de resfriamento e limpeza (20). Uma corrente fria e limpa de gás de síntese (21) é produzida pelo processo de resfriamento e limpeza, que é introduzido em um biorreator ou fermentador ou fermentador (30) para produzir etanol. No biorreator, micro-organismos agem sobre o monóxido de carbono (CO) e o hidrogênio (H₂) do gás de síntese para produzir etanol. Uma corrente

contendo etanol (31) é removida do biorreator. A corrente contendo etanol pode ser ainda processada para produzir etanol grau combustível (não mostrado no diagrama).

[00095] A Figura 3 compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito da entrada de oxigênio total no gaseificador sobre gás de síntese-carbono para várias quantidades de entrada de água no gaseificador. Como uma realização, a Figura 3 ilustra que a tendência de teor de gás de síntese-carbono total diminui à medida que a entrada de oxigênio no gaseificador aumenta. A Figura 3 é um gráfico do gás de síntese-carbono em libras por KSCF de gás de síntese bruto produzido (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total em libras por libra de entrada de carbono total (eixo x). A Figura 3 é um gráfico do gás de síntese-carbono em libras por mil SCF de gás de síntese bruto produzido (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x). A Figura 3 é um gráfico de gás de síntese-carbono em libras por mil SCF de gás de síntese bruto produzido (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x); em que a entrada de oxigênio total é a entrada de oxigênio total no gaseificador e a entrada de carbono total é a entrada de carbono total no gaseificador. Para uma entrada de oxigênio total no gaseificador maior do que cerca de 1,4 libra por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador, o gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de uma (1) libra (lb) de gás de síntese-carbono por mil pés cúbicos padrão (1.000 SCF ou KSCF) de gás de síntese bruto produzido. Para uma entrada de oxigênio total no gaseificador maior do que cerca de 1,5 libra por libra (1lb/lb) de entrada de carbono total no gaseificador, o gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,3 libra (lb) de gás de síntese-carbono por mil pés cúbicos padrão (1.000 SCF ou KSCF) de gás de síntese bruto produzido.

[00096] A Figura 4 compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito de entrada de oxigênio total no

gaseificador sobre quantidade de etanol produzido para várias quantidades de entrada de água no gaseificador. Como uma realização, a Figura 4 ilustra que a tendência da produção de álcool inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total. A Figura 4 é um gráfico do etanol produzido em libras por libra da entrada de carbono total (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x). A Figura 4 é um gráfico do etanol produzido em libras por libra da entrada de carbono total (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x); em que a entrada de oxigênio total é a entrada de oxigênio total no gaseificador e a entrada de carbono total é a entrada de carbono total no gaseificador. Como uma realização, a Figura 4 ilustra que a tendência da produção de álcool inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total e depois diminui com o aumento na entrada de oxigênio total. Como uma realização, a Figura 4 ilustra que a tendência da produção de etanol inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total. Como uma realização, a Figura 4 ilustra que a tendência da produção de etanol inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total e depois diminui com o aumento na entrada de oxigênio total. Como uma realização, a Figura 4 ilustra que a tendência da produção de etanol (libras de etanol produzido por libras da entrada de carbono total no gaseificador) aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total no gaseificador até a entrada de oxigênio total cerca de uma libra e meia por libra (lb/lb) de entrada de carbono total no gaseificador. Como uma realização, a Figura 4 ilustra que a tendência da produção de etanol (libras de etanol produzido por libra da entrada de carbono total no gaseificador) aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total no gaseificador até a entrada de oxigênio total de cerca de uma libra e meia (1,5) por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador e pela entrada de oxigênio total no gaseificador de mais de uma libra e meia (1,5) por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador, a

produção de etanol (libras de etanol produzido por libra da entrada de carbono total no gaseificador) diminui com o aumento na entrada de oxigênio total no gaseificador.

[00097] A Figura 5 compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito da entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador sobre gás de síntese-carbono para várias quantidades de entrada de água no gaseificador. Como uma realização, a Figura 5 ilustra que a tendência do teor de gás de síntese-carbono total do gás de síntese bruto diminui, à medida que aumenta a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador. A Figura 5 é um diagrama do gás de síntese de carbono em libras por KSCF de gás de síntese bruto produzido (eixo y) *versus* entrada de oxigênio total na primeira zona de reação em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x). A Figura 5 é um gráfico de gás de síntese carbono em libras por mil SCF de gás de síntese bruto produzido (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x). A Figura 5 é um gráfico de gás de síntese-carbono em libras por mil SCF de gás de síntese bruto produzido (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x); em que a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação é a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador e a entrada de carbono total é a entrada de carbono total no gaseificador. Para uma entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador maior do que cerca de 0,75 libra por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador, o gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de uma (1) libra (lb) de gás de síntese-carbono por mil pés cúbicos padrão (1.000 SCF) de gás de síntese bruto produzido. Para uma entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador maior do que cerca de 0,9 libra por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador, gás de síntese bruto compreende menos do que cerca de 0,3 libra (lb) gás de síntese-carbono

por um mil pés cúbicos padrão (1.000 SCF ou KSCF) de gás de síntese produzido.

[00098] A Figura 6 compreende um diagrama esquemático ilustrando uma realização do efeito de entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador sobre a quantidade de etanol produzido para várias quantidades de entrada de água no gaseificador. Como uma realização, a Figura 6 ilustra que a tendência da produção de álcool inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador. A Figura 6 é um gráfico de etanol produzido em libras por libra da entrada de carbono total (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x). A Figura 6 é um gráfico de etanol produzido em libras por libra da entrada de carbono total (eixo y) *versus* a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação em libras por libra da entrada de carbono total (eixo x); em que a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação é a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador e a entrada de carbono total é a entrada de carbono total no gaseificador. Como uma realização, a Figura 6 ilustra que a tendência da produção de álcool inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador e depois diminui com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador. Como uma realização, a Figura 6 ilustra que a tendência da produção de etanol inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador. Como uma realização, a Figura 6 ilustra que a tendência da produção de etanol inicialmente aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador e depois diminui com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador. Como uma realização, a Figura 6 ilustra que a tendência de produção de etanol (libras de etanol produzido por libra da entrada de carbono total no gaseificador) aumenta com o aumento na entrada

de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador até a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador de cerca de 0,9 libra por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador. Como uma realização, a Figura 6 ilustra que a tendência de produção de etanol (libras de etanol produzido por libra da entrada de carbono total no gaseificador) aumenta com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador até a entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador de cerca de 0,9 libra por libra (lb/lb) da entrada de carbono total no gaseificador e para entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador acima de 0,9 libra por libra (lb/lb) da produção de etanol (libras de etanol produzido por libra da entrada de carbono total no gaseificador), diminui com o aumento na entrada de oxigênio total na primeira zona de reação do gaseificador.

[00099] As descrições acima mencionadas de realizações específicas da presente revelação são apresentadas para fins de ilustração e descrição. Elas não se destinam ser exaustivas ou a limitar a revelação às formas precisas reveladas. Naturalmente, muitas modificações e variações são possíveis tendo em vista os ensinamentos acima. Enquanto as realizações foram escolhidas e descritas a fim de melhor explicar os princípios da revelação e suas aplicações práticas, permitindo, desse modo, que outras pessoas versadas na técnica melhor utilizem a revelação, várias realizações com várias modificações, na medida em que são adequadas ao uso particular, também são possíveis.

[000100] Em uma realização dessa revelação, o álcool é produzido através do contato do gás de síntese com o biocatalizador em um recipiente de fermentação para produzir uma mistura produto álcool. Em uma realização, dito álcool compreende metanol, etanol, propanol, e butanol ou suas combinações. Em uma realização, dito álcool compreende etanol. Em uma realização, dito biocatalizador compreende bactérias acetogênicas. Em uma realização, dito biocatalizador

compreende uma ou mais cepas selecionadas de *Clostridium*, *Moorella*, e *Carboxydotherrmus* ou suas cepas misturadas. Em uma realização, dito biocatalizador compreende uma ou mais cepas de *Clostridium ljungdahlii*. Em uma realização, dita *Clostridium ljungdahlii* é selecionada das cepas consistindo em PETC, ERI-2, O-52 e C-01 ou suas combinações. Em uma realização, dito biocatalizador compreende uma ou mais cepas de *Clostridium carboxidivorans*. Em uma realização, dito biocatalizador compreende uma ou mais cepas de *Clostridium ragsdalei*. Em uma realização, dito biocatalizador compreende uma ou mais cepas de *Clostridium autoethanogenum*.

EXEMPLOS

[000101] Um gaseificador multiestágio é contemplado na presente revelação. Como uma realização, um gaseificador multiestágio utilizando o método de oxidação parcial é contemplado na presente revelação. Os exemplos a seguir utilizam um gaseificador de dois estágios, como mostrado na Figura 1. O gaseificador compreende um primeiro estágio ou primeira zona de reação ou câmara inferior e um segundo estágio ou segunda zona de reação ou câmara superior. O material carbonáceo é alimentado na câmara inferior, em que ar, ar enriquecido de oxigênio ou oxigênio puro pode ser injetado a uma taxa controlada abaixo de uma grade. Para os exemplos apresentados abaixo, oxigênio puro é injetado na câmara inferior. A temperatura da câmara inferior e a entrada de oxigênio são controladas, tal que apenas a oxidação incompleta de material carbonáceo ocorre, não a combustão completa (também descrita como combustão privada de ar ou privada de oxigênio). A temperatura da câmara inferior e a entrada de oxigênio são controladas, tal que apenas a oxidação parcial de material carbonáceo ocorre, não a combustão completa (também descrito como combustão privada de ar ou privada de oxigênio). Uma temperatura cerca de 750 a cerca de 1.450 graus F é mantida na câmara inferior.

Em uma realização, uma temperatura de cerca de 1.400 graus F é mantida no primeiro estágio. Em uma realização, uma temperatura menor do que cerca de 1.400 graus F é mantida no primeiro estágio ou câmara inferior. O produto gasoso da câmara inferior se move para o segundo estágio ou câmara superior. Cinza é removida da câmara inferior. Oxigênio puro é introduzido na câmara superior para elevar a temperatura para uma temperatura na câmara superior cerca de 1.750 a cerca de 3.500 graus F a fim de realizar o craqueamento de qualquer alcatrão (tal como hidrocarbonos pesados) contido na corrente gasosa do primeiro estágio. Oxigênio puro é introduzido na câmara superior para elevar a temperatura para uma temperatura na câmara superior de cerca de 1.750 a cerca de 3.500 graus F a fim de realizar oxidação parcial de qualquer alcatrão (tal como hidrocarbonos pesados) contido na corrente gasosa do primeiro estágio. Para os exemplos apresentados abaixo, a temperatura da câmara superior é 2.250 graus F. Um gás produtor bruto (também chamado gás de síntese bruto ou singás bruto) contendo monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂), CO₂, N₂ e outros constituintes {por exemplo, O₂, material particulado (PM), alcatrões, metais} é produzido e removido da câmara superior. Em uma realização, vapor pode ser injetado na câmara inferior. Em uma realização, vapor pode ser injetado na câmara superior.

[000102] Seguindo a gaseificação, o gás de síntese bruto é submetido a resfriamento e limpeza para produzir um gás de síntese produto. O gás de síntese produto é introduzido em um biorreator ou fermentador ou fermentador para produzir álcoois; metanol; etanol; propanol; e/ou butanol. Nos exemplos abaixo, etanol é produzido no biorreator.

[000103] Nos exemplos abaixo, modelos matemáticos foram utilizados para calcular a saída do gaseificador ou fermentador para várias condições de processos e matérias-primas ao invés da experiência atual. Para cálculo da saída do gaseificador, um modelo matemático baseado em CHEMKIN foi utilizado.

[000104] O modelo utilizou um vazamento de ar de 5% na câmara

inferior ou primeira zona de reação do gaseificador.

[000105] O modelo para o processo de fermentação envolve um processo que converte 90% de monóxido de carbono e um processo que converte 40% de hidrogênio com 95% de seletividade para cada processo para fazer etanol.

Exemplos 1-29

[000106] Os exemplos 1-29 exemplificam realização de gaseificação de materiais carbonáceos contendo nenhuma ou quase nenhuma água e nenhuma água ou vapor diretamente adicionado ao gaseificador, bem como realização de gaseificação de materiais carbonáceos contendo água substancial e/ou quantidade substancial de água ou vapor diretamente adicionado ao gaseificador. Os exemplos exemplificam realizações de gaseificação de materiais carbonáceos simples, tal como carvão, alcatrão de coqueria (coque), plástico, pneu, madeira, poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PETA) e pluralidade de material carbonáceo, tal como misturas de pneu e madeira, plástico e madeira, plástico e rsu, e alcatrão de coqueria e *fibersoft*. Para todos esses exemplos, a temperatura na primeira zona de reação é 1.400 °F e a temperatura na segunda zona de reação é 2.250 °F. Propriedades de material carbonáceo relevantes, outras condições de gaseificação e dados de produto estão resumidos na Tabela I e na Tabela II abaixo.

[000107] Como realizações, a seguir estão descrições de misturas de materiais carbonáceos mostrados nos exemplos 1-29:

Biomassa-VW-15: mistura de 80% de massa de biomassa e 20% de massa de resíduos de madeira de construção ou resíduos vegetais com um teor de água de 15% de massa da mistura.

Coque-*fibersoft*-10: mistura de 50% de massa de alcatrão de coqueria contendo nenhuma água e 50% de massa de *fibersoft* molhada contendo 20% de massa de água, fornecendo 10% de massa de água

para a mistura

Coque-*fibersoft*-20: mistura de 50% de massa de alcatrão de coqueria (coque) contendo nenhuma água e 50% de massa de *fibersoft* molhada contendo 40% de massa de água, fornecendo 20% de massa de água para a mistura

Coque-*fibersoft*-30: mistura de 50% de massa de alcatrão de coqueria (coque) contendo nenhuma água e 50% de massa de *fibersoft* molhada contendo 60% de massa de água, fornecendo 30% de massa de água para a mistura

Pástico-RSU-03: mistura de 90% de massa de plástico contendo 0,2% de massa de água e 10% de massa de RSU contendo 30% de massa de água fornecendo 3,2% de massa de água para a mistura

Plástico-RSU-08: mistura de 75% de massa de plástico contendo 0,2% de massa de água e 25% de massa de RSU contendo 30% de massa de água, fornecendo 7,7% de massa de água para a mistura

Plástico-RSU-15: mistura de 50% de massa de plástico contendo 0,2% de massa de água e 50% de massa de RSU contendo 30% de massa de água, fornecendo 15,1% de massa de água para a mistura

Plástico-madeira-04: mistura de 90% de massa de plástico contendo 0,2% de massa de água e 10% de massa de madeira contendo 40% de massa de água fornecendo 4,2% de massa de água para a mistura

Plástico-madeira-10: mistura de 75% de massa de plástico contendo 0,2% de massa de água e 25% de massa de madeira contendo 40% de massa de água, fornecendo 10,2% de massa de água para a mistura

Plástico-madeira-20: mistura de 50% de massa de plástico contendo 0,2% de massa de água e 50% de massa de madeira contendo 40% de massa de água, fornecendo 20,1% de massa de água para a mistura

Pneu-madeira-00: mistura de 85% de massa de pneu não contendo água e 15% de massa de madeira contendo 40% de massa de água e depois pré-seca para remover toda a água

Pneu-madeira-03: mistura de 85% de massa de pneu não contendo água e 15% de massa de madeira contendo 40% de massa de água e depois pré-seca para 3% de massa de teor de água de mistura

Pneu-madeira-04: mistura de 90% de massa de pneu não contendo água e 10% de massa de madeira contendo 40% de massa de água fornecendo 4,0% de massa de água para a mistura

Pneu-madeira-06: mistura de 85% de massa de pneu não contendo água e 15% de massa de madeira contendo 40% de massa de água fornecendo 6,0% de massa de água para a mistura

Pneu-madeira-09: mistura de 85% de massa de pneu não contendo água e 15% de massa de madeira contendo 40% de massa de água e depois adicionou água para 9% de teor de água de mistura

Pneu-madeira-10: mistura de 75% de massa de pneu não contendo água e 25% de massa de madeira contendo 40% de massa de água fornecendo 10% de massa de água para a mistura

Pneu-madeira-12: mistura de 85% de massa de pneu não contendo água e 15% de massa de madeira contendo 40% de massa de água e depois adicionou água para 15% de teor de água de mistura

Pneu-madeira-15: mistura de 85% de massa de pneu não

contendo água e 15% de massa de madeira contendo 40% de massa de água e depois adicionou água para 15% de teor de água de mistura

Tabela I. Propriedades dos Materiais Carbonáceos E Condições de Processos de Gaseificação para os Exemplos 1-29

Ex N°	Material Carbonáceo Alimentado	Composição de Material Carbonáceo Alimentado						Outros Alimentos em Gaseificador, libramols/DT		
		Carbono % de massa*	Oxigênio % de massa*	Hidrogênio % de massa*	Cinza % de massa*	Outros % de massa*	Água % de massa*	Vapor	O ₂ (FZ)	O ₂ (SZ)
1	Biomassa-VW-15	46,6	40,3	5,7	6,9	0,5	15,0	12,3	14,0	13,5
2	Carvão	64,8	9,2	4,5	16,1	21,5	0,0	0,0	12,1	18,0
3	Coque-fibersoft-10	69,6	14,6	5,9	7,7	2,2	10,0	0,0	18,0	27,1
4	Coque-fibersoft-20	73,0	12,4	5,8	6,6	2,2	20,0	0,0	25,4	26,4
5	Coque-fibersoft-30	77,5	9,7	5,7	5,1	2,0	30,0	0,0	33,9	25,3
6	Alcatrão de coqueria	91,7	0,8	5,5	0,3	2,0	0,0	0,0	12,8	24,9
7	Plástico	73,0	10,6	9,5	3,4	6,9	0,2	0,0	24,3	29,8
8	Plástico-RSU-03	70,6	12,0	9,3	4,8	3,3	3,2	0,0	25,0	29,2
9	Plástico-RSU-08	66,8	14,3	8,9	7,0	3,0	7,7	0,0	27,0	26,7
10	Plástico-RSU-15	59,4	18,5	8,2	11,3	2,6	15,1	0,0	26,3	21,0
11	Plástico-madeira-04	71,5	12,7	9,3	3,3	3,2	4,2	0,0	25,4	29,2
12	Plástico-madeira-10	69,1	16,1	8,9	3,1	2,8	10,2	0,0	27,0	26,7
13	Plástico-madeira-20	64,2	22,8	8,0	2,7	2,3	20,1	0,0	28,2	21,6
14	PETA	62,5	33,1	4,1	0,1	0,3	0,2	0,0	10,0	22,8
15	Poliestireno	86,8	3,9	8,4	0,5	0,9	0,2	0,0	30,7	30,7
16	Pneu	64,2	4,4	5,0	25,6	26,4	0,0	0,0	11,5	16,8

17	Pneu	64,2	4,4	5,0	25,4	1,0	0,0	50,0	26,7	20,9
18	Pneu	64,2	4,4	5,0	25,4	1,0	0,0	60,0	28,5	20,0
19	Pneu	64,2	4,4	5,0	25,4	1,0	0,0	70,0	30,1	19,3
20	Pneu-madeira-00	62,8	8,1	5,0	23,1	24,1	0,0	0,0	11,3	17,7
21	Pneu-madeira-03	62,8	8,1	5,0	23,1	1,0	3,0	0,0	13,4	19,9
22	Pneu-madeira-04	63,3	6,8	5,0	23,9	1,0	4,0	0,0	14,2	12,9
23	Pneu-madeira-06	62,8	8,1	5,0	23,1	1,0	6,0	0,0	15,4	22,2
24	Pneu-madeira-09	62,8	8,1	5,0	23,1	1,0	9,0	0,0	17,4	23,9
25	Pneu-madeira-10	61,7	10,9	5,1	21,4	0,9	10,0	0,0	17,6	23,6
26	Pneu-madeira-12	62,8	8,1	5,0	23,1	1,0	12,0	0,0	19,4	24,0
27	Pneu-madeira-15	62,8	8,1	5,0	23,1	1,0	15,0	0,0	21,4	23,3
28	Madeira	49,5	43,1	5,4	1,5	2,0	0,0	0,0	6,3	17,4
29	Madeira	49,5	43,1	5,5	1,5	0,4	40,0	0,0	24,5	13,3

NOTA: * indica base seca ou livre de água; DT significa tonelada de material carbonáceo seco ou livre de água

Tabela II. Produtos de Gaseificação e Processos de Fermentação Subsequentes para os Exemplos 1-29

Ex Nº	Alimentação	Componentes de Gás de Síntese Bruto Produzidos, libra-mols/DT					Gás de síntese-Carbono	Volume de Gás de Síntese Bruto, KSCF/DT	Cinza-Carbono, libra-mols/DT	Etanol, libra-mols/DT
		CO	H ₂	CO ₂	H ₂ O					
1	Biomassa-VW-15	59,1	49,3	17,9	38,8	0,1	60321	0,574	11,5	
2	Carvão	67,5	42,7	0,1	0,1	38,9	55782	1,340	12,3	
3	Coque-fibersoft -10	108,9	67,8	1,6	2,6	4,8	68505	0,942	19,8	
4	Coque-fibersoft -20	112,6	72,7	7,5	12,6	1,1	76228	0,546	20,6	
5	Coque-fibersoft -30	113,0	77,4	15,2	27,0	0,5	86109	0,422	21,0	
6	Alcatrão de coqueria	77,9	61,2	0,1	0,1	74,9	78465	0,025	15,0	
7	Plástico	111,2	93,1	0,8	1,9	9,4	79625	0,284	21,7	
8	Plástico-RSU-03	111,4	91,5	2,1	4,5	3,8	78546	0,399	21,7	
9	Plástico-RSU-08	104,4	87,1	4,9	10,6	1,4	76746	0,586	20,4	
10	Plástico-RSU-15	87,4	77,4	10,2	23,5	0,5	73293	0,942	17,4	
11	Plástico-madeira-04	112,3	91,7	2,6	5,4	3,2	79187	0,284	21,8	
12	Plástico-madeira-10	107,5	87,9	6,2	13,2	1,2	79482	0,266	20,9	
13	Plástico-madeira-20	92,8	78,1	13,6	29,7	0,4	78874	0,225	18,2	
14	PETA	98,6	40,1	1,4	1,5	4,4	53409	0,004	16,6	
15	Poliestireno	118,7	83,9	0,4	0,6	25,8	84425	0,038	22,2	
16	Pneu	58,2	49,4	0,0	0,1	46,8	56564	2,098	11,4	
17	Pneu	91,4	72,5	13,1	27,0	0,4	75191	2,098	17,6	

18	Pneu	88,3	74,0	16,3	35,5	0,3	78833	2,098	17,3
19	Pneu	85,3	75,3	19,3	44,2	0,2	82470	2,098	16,9
20	Pneu- madeira-00	64,1	49,9	0,1	0,1	38,6	55973	1,924	12,3
21	Pneu- madeira-03	75,3	53,2	0,1	0,2	27,4	57335	1,924	14,1
22	Pneu- madeira-04	77,1	54,0	0,1	0,3	26,3	57949	1,990	14,4
23	Pneu- madeira-06	86,4	56,6	0,3	0,5	16,0	58779	1,924	15,9
24	Pneu- madeira-09	95,2	59,6	0,9	1,4	6,6	60300	1,924	17,3
25	Pneu- madeira-10	95,8	59,5	2,0	3,2	3,0	60202	2,168	17,4
26	Pneu- madeira-12	97,7	61,2	2,4	3,9	2,6	61867	1,924	17,8
27	Pneu- madeira-15	96,9	62,2	4,4	7,4	1,4	63527	1,924	17,7
28	Madeira	75,8	44,9	6,7	10,2	0,6	50387	0,127	13,6
29	Madeira	48,7	46,2	33,6	82,9	0,0	77345	0,127	9,9

[000108] Todos os documentos publicados são incorporados por referência neste documento. Numerosas modificações e variações da presente revelação são incluídas no Relatório Descritivo acima identificado e espera-se que sejam evidentes para uma pessoa versada na técnica. Tais modificações e alterações às composições e métodos da presente revelação acredita-se estarem englobadas no escopo das Reivindicações apensadas ao presente documento. Conseqüentemente, várias modificações, adaptações e alternativas podem ocorrer a uma pessoa versada na técnica, sem se afastar do espírito e escopo neste documento.

REIVINDICAÇÕES

1 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, para produzir um gás de produto que compreende monóxido de carbono, hidrogênio e alcatrão;

compreendendo o dito método:

adicionar um ou mais materiais carbonáceos, adicionar um gás contendo oxigênio molecular e, opcionalmente, adicionar água ao referido gaseificador;

caracterizado por que a quantidade do oxigênio total adicionado ao citado gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende mais do que 2,0 e menos do que 3,0;

em que o gasificador produz produz cinza compreendendo carbono de cinzas e em que a referida cinza compreende menos do 10% de carbono de cinzas;

em que o citado gás de produto é tratado a uma temperatura de 954°C (1.750°F) a 1.927°C (3.500°F) na presença de oxigênio molecular para produzir um singás bruto que compreende monóxido de carbono, hidrogênio e carbono de singás;

em que dito singás bruto compreende menos do que 0,5 libras de carbono de singás por 1.000 pés cúbicos de singás bruto produzido;

em que o referido gás de produto compreende uma razão de CO para CO₂ maior do que 1,4; e

em que o citado volume de singás bruto se situa na faixa de 50.387 a 89.109 KSCF/DT.

2 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que compreende adicionar água ao referido gaseificador.

3 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que compreende adicionar diretamente vapor ao referido gaseificador.

4 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que compreende adicionar água, por adição parcial de vapor direto ao referido gaseificador.

5 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que compreende adicionar um ou mais dos referidos materiais carbonáceos contendo humidade ao citado gaseificador.

6 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende a selecção a partir de material carbonáceo, produto líquido carbonáceo, resíduo líquido carbonáceo industrial, resíduos sólidos municipais carbonáceos (MSW), desperdícios urbanos carbonáceos, material agrícola carbonáceo, material carbonáceo da silvicultura, desperdícios de madeira carbonáceos, material de construção carbonáceo, material vegetativo carbonáceo, co-produtos petroquímicos carbonáceos, carvão carbonáceo, desperdícios de plástico, alcatrão de forno de coque, *fibersoft*, pneus, lignina, licor negro, polímeros, polímeros de descarte, tereftalato de polietileno (PETA), poliestireno (PS), lama de esgoto, resíduos animais, resíduos de culturas, culturas energéticas, resíduos de processamento de floresta, resíduos de processamento de madeira, resíduos de gado, resíduos de aves, resíduos de processamento de

alimentos, resíduos de processos fermentativos, resíduos industriais carbonáceos, resíduos de produção de álcool, co-produtos do etanol, grãos de descarte, microorganismos de descarte ou suas combinações.

7 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o teor de carbono de um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende 0,25 a 1,0 libras por libra de um ou mais dos referidos materiais carbonáceos sobre uma base isenta de água.

8 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o teor de hidrogênio de um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende de 0,0 a 0,25 libras por libra de um ou mais dos referidos materiais carbonáceos sobre uma base isenta de água.

9 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o teor de oxigênio de um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende 0,0 a 0,5 libras por libra de um ou mais dos referidos materiais carbonáceos sobre uma base isenta de água.

10 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o gaseificador produz cinza compreendendo carbono de cinzas e por que a dita cinza compreende menos do que 5% de carbono de cinzas.

11 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que a razão em massa de carbono para hidrogênio em um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende de 1 a 20.

12 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em

Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que a razão em massa de carbono para oxigênio em um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende de 1 a 200.

13 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, para produzir gás de síntese bruto;

compreendendo dito gaseificador uma primeira zona de reação e uma segunda zona de reação;

compreendendo o dito método:

adicionar um ou mais materiais carbonáceos à referida primeira zona de reação de gaseificação;

adicionar um gás contendo oxigênio molecular e, opcionalmente, adicionar água ou vapor de água a uma ou ambas as referidas primeira zona de reação e segunda zona de reação do citado gaseificador;

caracterizado por que a quantidade de oxigênio total adicionado ao referido gaseificador em libras por libra de carbono total adicionado ao dito gaseificador compreende mais do que 2,0 e menos do que 3,0;

em que dito singás bruto compreende menos do que 0,5 libras de carbono de singás por 28,3 m³ (1.000 scf) de singás bruto produzido;

em que o citado singás compreende uma razão de CO para CO₂ maior do que 1,4;

e em que o referido volume de singás bruto se situa desde 50.387 a 86.109 KSCF/DT.

14 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que a referida temperatura da primeira zona de reação compreende 343-788°C (650-1450°F).

15 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que a referida temperatura da segunda zona de reação compreende 954-1.927°C (1.750-3.500°F).

16 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que compreende ainda:

submeter o referido gás de síntese bruto a arrefecimento e limpeza para produzir um gás de síntese limpo;

contatar o referido gás de síntese limpo com um biocatalisador num recipiente de fermentação para a produção de uma mistura de produto de álcool.

17 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que a razão de massa de carbono para hidrogênio em um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende de 1 a 20.

18 - Método Não Catalítico de Gaseificar Materiais Carbonáceos em Gaseificador, de acordo com a Reivindicação 13, **caracterizado** por que a razão de massa de carbono para oxigênio em um ou mais dos referidos materiais carbonáceos compreende de 1 a 200.

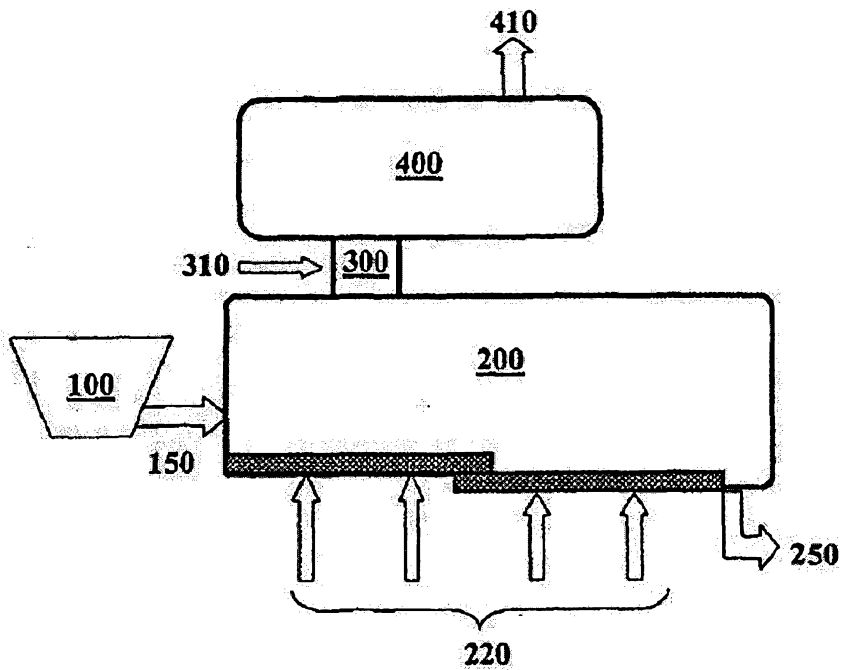


Figura 1: Compreender o Diagrama Esquemático que Ilustra uma Realização do Processo de Gaseificação Para Esta Presente Descrição; a Figura 1 Apresenta uma Realização de um Processo de Gaseificação de Dois Estágios.

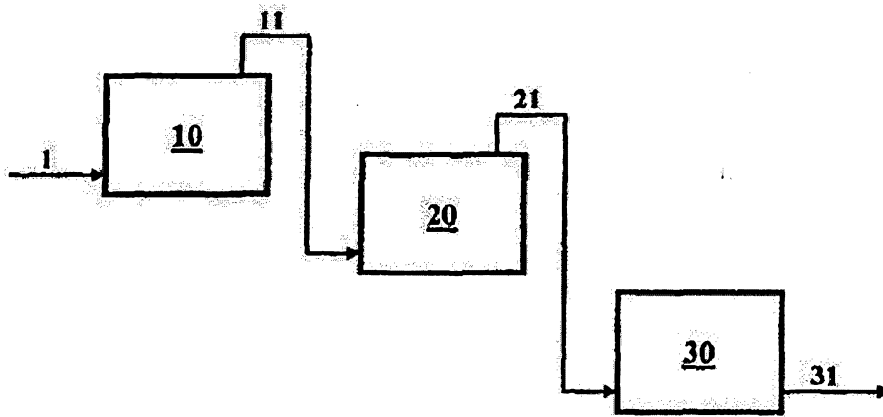


Figura 2: Compreende um Diagrama Esquemático que Ilustra uma Realização do Processo de Produção de Etanol por Meio da Gaseificação de Materiais Carboníferos.

Figura 3

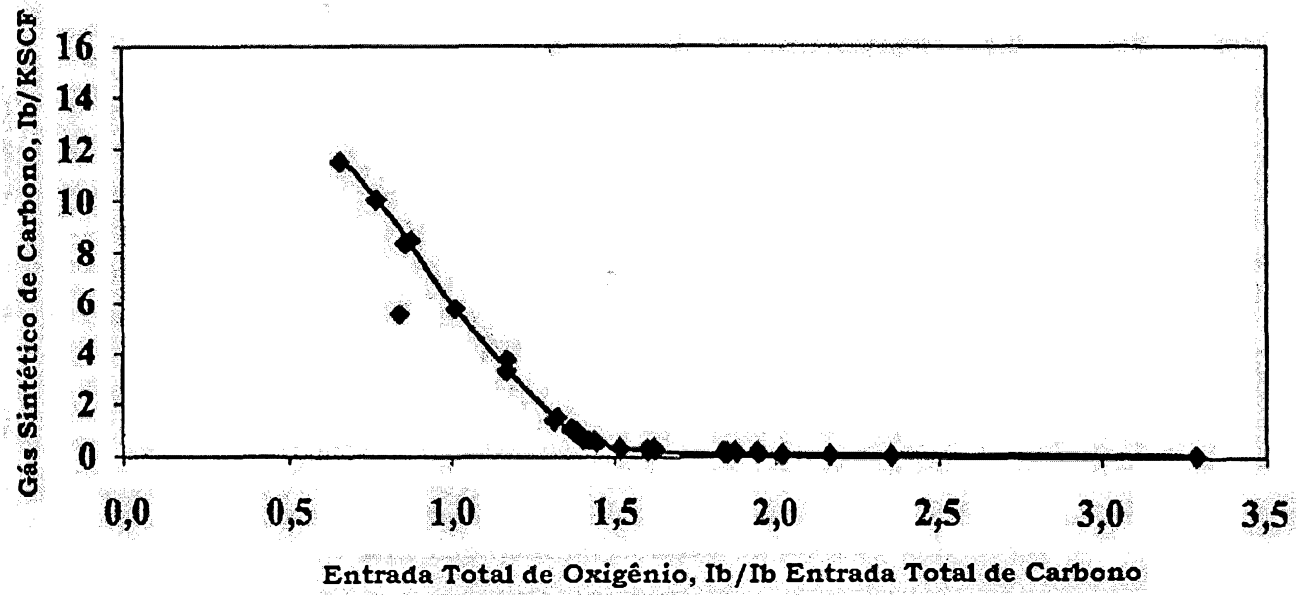


Figura 4

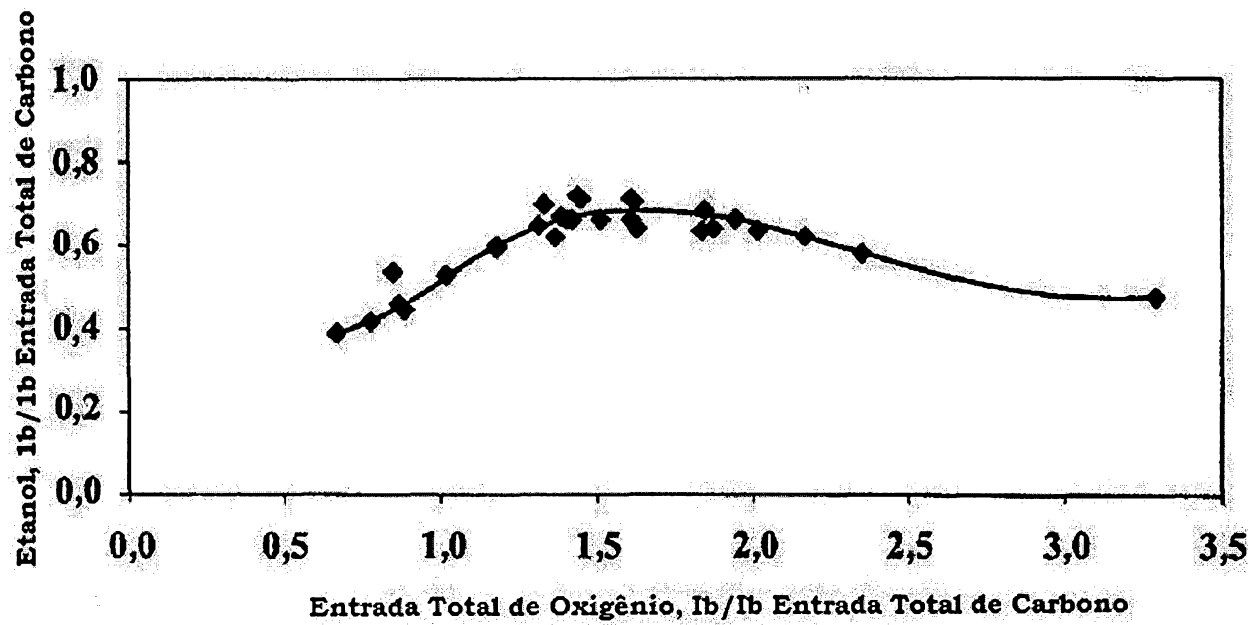


Figura 5

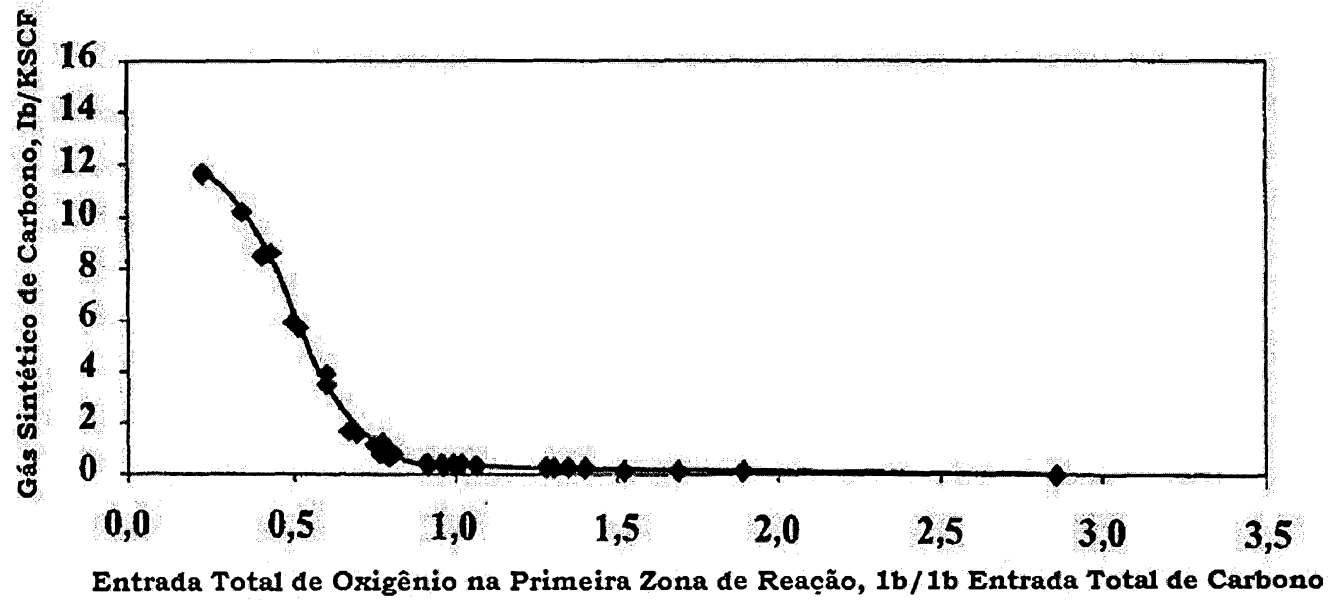
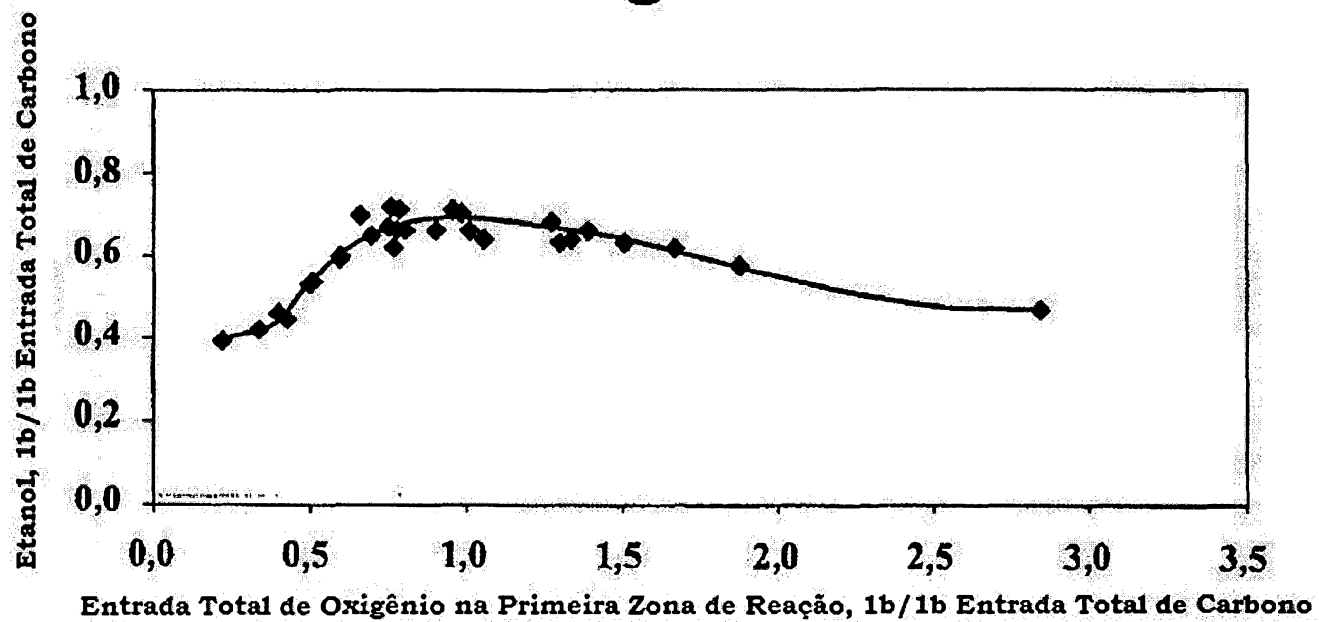


Figura 6

**“GASEIFICADOR E MÉTODOS DE GASEIFICAÇÃO
DE MATERIAIS CARBONÁCEOS”**

RESUMO

A presente revelação é dirigida em geral a processo de gaseificação de materiais carbonáceos para a produção de gás de síntese ou singas. A presente divulgação proporciona métodos aperfeiçoados de gaseificação que compreendem a adição de um gás contendo oxigênio molecular e, opcionalmente, a adição de água ao referido gaseificador. Esta revelação é também direcionada a processo de produção de um ou mais álcoois a partir de dito gás de síntese, através de fermentação ou digestão, na presença de pelo menos um microorganismo.