



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

**(11) PI 0911367-3 B1**



**(22) Data do Depósito: 03/04/2009**

**(45) Data de Concessão: 07/01/2020**

**(54) Título:** DISPOSITIVO E PROCESSO DE TORREFAÇÃO AUTOTÉRMICO DE BIOMASSA, MÉTODO PARA AUMENTAR A EFETIVIDADE DE CUSTO NO USO DA MESMA COMO COMBUSTÍVEL E PROCESSO PARA PRODUIR PÉLETES DE BIOMASSA TORRADA

**(51) Int.Cl.:** F26B 17/20; F26B 23/02.

**(30) Prioridade Unionista:** 03/04/2008 US 61/042,034.

**(73) Titular(es):** NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY.

**(72) Inventor(es):** CHRISTOPHER B. HOPKINS; RUCKER PRESTON BURNETTE.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2009039541 de 03/04/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2009/124286 de 08/10/2009

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 04/10/2010

**(57) Resumo:** DISPOSITIVO E PROCESSO DE TORREFAÇÃO AUTOTÉRMICO DE BIOMASSA, MÉTODO PARA AUMENTAR A EFETIVIDADE DE CUSTO NO USO DA MESMA COMO COMBUSTÍVEL E PROCESSO PARA PRODUIR PÉLETES DE BIOMASSA TORRADA A presente invenção refere-se a um dispositivo de torrefação autotérmico, o qual pode ser estacionário ou móvel. Modalidades da presente invenção incluem uma câmara de torrefação (40) tendo uma entrada de câmara para receber biomassa e pelo menos uma saída de câmara (43). A câmara de torrefação pode ser substancialmente circundada por um alojamento externo definindo um invólucro externo (120) e tendo uma entrada de invólucro e uma saída de invólucro. O invólucro externo e câmara de torrefação definem um espaço entre eles de tal maneira que uma unidade queimadora (90) incluindo uma entrada conectada operacionalmente à saída de câmara e uma saída conectada operacionalmente à entrada de invólucro permite que vapores produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação se desloquem para dentro da unidade queimadora para combustão de pelo menos uma parte dos vapores e subsequentemente se desloquem através do espaço entre o invólucro e a câmara de torrefação para fornecer calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**DISPOSITIVO E PROCESSO DE TORREFAÇÃO AUTOTÉRMICO DE BIOMASSA, MÉTODO PARA AUMENTAR A EFETIVIDADE DE CUSTO NO USO DA MESMA COMO COMBUSTÍVEL E PROCESSO PARA PRODUZIR PÉLETES DE BIOMASSA TORRADA**".

Antecedentes da Invenção

1. Campo da Invenção

[001] A presente invenção refere-se de uma maneira geral a um dispositivo de torrefação autotérmico que é amplamente autoaquecido, móvel ou estacionário, e a um processo para a torrefação de biomassa.

2. Descrição da Técnica Relacionada

[002] Torrefação é considerada uma tecnologia de pré-tratamento para tornar biomassa mais adequada para cocombustão com aplicações de carvão. Torrefação é um processo térmico operado entre 200°C e 300°C na ausência de oxigênio e caracterizado por tempos de residência tipicamente de 1 hora ou mais. Processos de torrefação usualmente são executados em pressões próximas das pressões atmosféricas. Biomassa torrada exhibe fragilidade aumentada, moabilidade melhorada que podem capacitar taxas de cocombustão aumentadas no futuro.

[003] Durante a torrefação de biomassa, a biomassa se decompõe parcialmente e desprende vários gases e vapor de água, o que resulta em uma perda de massa e energia química para a fase gasosa. Entretanto, é bem reconhecido que mais massa do que energia seja perdida para a fase gasosa durante torrefação. Este fenômeno resulta em densificação de energia. Assim, torrefação de biomassa produz um produto sólido com menor teor de umidade e um maior teor de energia quando comparado ao material na biomassa inicial. Especificamente, a biomassa torrada exhibe inúmeras propriedades desejáveis tais como ter teor de

umidade diminuído, valores caloríficos aumentados e uma natureza hidrofóbica. Como tal, a torrefação tem sido identificada como uma abordagem exequível para aperfeiçoar as propriedades de biomassa de tal maneira que ela fica mais adequada como um combustível.

[004] Entretanto, abordagens tradicionais carecem da eficiência para fornecer um dispositivo de custo compensador para torrefação de biomassa. Esta ineficiência tem obstruído as potenciais aplicações comerciais da torrefação de biomassa. Dispositivos de torrefação anteriores são estacionários e dependentes de quantidades significativas de calor suplementar proveniente de fontes externas, tais como usinas de energia, para produzir uma biomassa torrada. Como tal, dispositivos de torrefação tradicionais não são amplamente autossuficientes em termos de energia térmica usada para torrefação.

[005] Um outro desafio enfrentado por supostos colheitadeiras e vendedores de biomassa celulósica, tais como cavacos de madeira, é sua baixa densidade física e energia e valor baixo, o que torna economicamente desvantajoso despachá-la para mais que 48,28 a 80,47 quilômetros (30 a 50 milhas) para um usuário. Relatado de forma simples, dispositivos e métodos anteriores exigem transportar biomassa não tratada, a qual frequentemente pode incluir tanto quanto 50% de água em peso, de diversas localizações separadas para o local do usuário, onde o processo de torrefação aconteceria.

[006] Portanto, permanece uma necessidade de um dispositivo e processo de torrefação mais eficientes para pré-tratar biomassa para vários usuários e aplicações. Adicionalmente, permanece uma necessidade de um dispositivo de torrefação viável que seja móvel e/ou modular de maneira que ele possa ser portátil e autoaquecido no campo para reduzir os custos de transporte para produção de combustível e eliminar tais custos para sequestro de carbono e melhoramento de solo.

### Breve Sumário da Invenção

[007] A presente invenção satisfaz pelo menos algumas das necessidades mencionadas anteriormente ao fornecer um dispositivo de torrefação autotérmico. Em certas modalidades, a presente invenção satisfaz pelo menos algumas das necessidades mencionadas anteriormente ao fornecer um dispositivo de torrefação autotérmico móvel, juntamente com opções para modificar adicionalmente a biomassa tratada, na sua fonte de coleta, para péletes e outras formas úteis. Em outras modalidades, o dispositivo de torrefação autotérmico é estacionário. Modalidades da presente invenção incluem uma câmara de torrefação tendo uma entrada de câmara para receber biomassa e pelo menos uma saída de câmara. A câmara de torrefação pode ser substancialmente circundada por um alojamento externo definindo um invólucro externo e tendo uma entrada de invólucro e uma saída de invólucro. O invólucro externo e câmara de torrefação definem um espaço entre eles de tal maneira que uma unidade queimadora incluindo uma entrada conectada operacionalmente à saída de câmara e uma saída conectada operacionalmente à entrada de invólucro permite que vapores produzidos ou liberados dentro da câmara de torrefação se desloquem para dentro da unidade queimadora para combustão de pelo menos uma parte dos vapores e subsequentemente se desloquem através do espaço entre o invólucro e a câmara de torrefação para fornecer calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa. Como tal, com exceção de combustível para preaquecer o dispositivo e uma luz piloto para assegurar que os gases derivados de biomassa inflamem, toda a energia térmica usada para torrefação virá da biomassa propriamente dita.

[008] Em um outro aspecto, a presente invenção fornece um processo para torrefação autotérmica de biomassa. Modalidades da presente invenção incluem aquecer indiretamente biomassa através das

paredes de uma câmara de torrefação para uma temperatura suficiente para produzir biomassa torrada. Gases derivados de biomassa produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação são transferidos para dentro de uma unidade queimadora e pelo menos uma parte dos vapores derivados de biomassa são queimados. O gás de combustão proveniente do queimador se desloca através de um espaço localizado entre a câmara de torrefação e um alojamento externo circundando substancialmente a câmara de torrefação. Os vapores saindo do queimador fornecem o calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa dentro da câmara de torrefação. Desta maneira, com exceção do combustível para preaquecer o dispositivo e uma luz piloto para assegurar que os gases derivados de biomassa inflamem, toda a energia térmica usada para torrefação virá da biomassa propriamente dita.

[009] Adicionalmente, a presente invenção fornece métodos para aumentar a efetividade de custo de usar biomassa torrada como um combustível. Modalidades da presente invenção incluem fornecer pelo menos um dispositivo de torrefação autotérmico em um ponto de operação, tal como um ponto de coleta, o qual pode incluir, mas não está limitado a isto, fazendas e florestas em uma localização distante de uma usina de energia, carregar biomassa localizada no ponto de operação para dentro do dispositivo de torrefação autotérmico, e converter a biomassa localizada no ponto de operação em biomassa torrada. Como tal, os custos, por BTU, de expedir as cargas injetáveis são muito reduzidos, uma vez que o custo de transportar água na biomassa não tratada é substancialmente eliminado e o combustível agora é mais denso em energia.

#### Descrição Resumida das Diversas Vistas do(s) Desenho(s)

[0010] Tendo assim descrito a invenção em termos gerais, será feita agora referência aos desenhos anexos, os quais não estão ne-

cessariamente desenhados em escala, e em que:

[0011] A figura 1 representa um dispositivo de torrefação autotérmico tendo um fluxo contracorrente e um pré-aquecedor de biomassa;

[0012] A figura 2 representa um dispositivo de torrefação autotérmico tendo uma única saída de câmara de torrefação;

[0013] A figura 3 representa uma vista seccional transversal de uma modalidade tendo múltiplas câmaras de torrefação;

[0014] A figura 4 representa uma vista seccional transversal de uma outra modalidade tendo múltiplas câmaras de torrefação; e

[0015] A figura 5 representa uma câmara de torrefação de acordo com uma modalidade da invenção.

#### Descrição Detalhada da Invenção

[0016] A presente invenção será descrita mais inteiramente em seguida com referência aos desenhos anexos, nos quais algumas, mas nem todas, modalidades das invenções estão mostradas. De fato, estas invenções podem ser incorporadas em muitas formas diferentes e não devem ser interpretadas como limitadas às modalidades expostas neste documento; em vez disto, estas modalidades são fornecidas de maneira que esta descrição satisfaça exigências legais aplicáveis. Números iguais se referem a elementos iguais por todos os desenhos.

[0017] Biomassa pode ser transformada por calor em um ambiente de pouco oxigênio em um material resistente hidrofóbico e de decaimento que pode ser usado como um substituto de carvão combustível ou aditivo de combustível de biomassa. Biomassa torrada também é conhecida como biocarvão e está sendo investigada tanto como um material de sequestro de carbono permanente em solo assim como um melhoramento de solo que pode aumentar taxas de crescimento de plantas. Biomassa torrada também pode ser usada como uma carga injetável para gaseificação de biomassa adicional e uma carga injetável para substitutos de combustível líquido. Adicionalmente, biomassa

torrada pode ser usada para combustível, fertilizante e armazenamento de carbono de longo prazo.

[0018] De particular importância, biomassa torrada usada em usinas a carvão existentes pode satisfazer a necessidade de usar combustíveis renováveis com infraestrutura existente para gerar eletricidade. Adicionalmente, biomassa torrada tem o benefício adicional de fornecer esta energia em um modo neutro em carbono porque ela não adiciona carbono à biosfera. Igualmente, biomassa torrada usada em uma aplicação de biocarvão pode remover carbono da atmosfera por várias centenas a vários milhares de anos.

[0019] Deve ser entendido que o termo biomassa, tal como usado neste documento, é um termo geral, o qual inclui toda matéria orgânica (por exemplo, toda a matéria que se origina de fotossíntese). Frequentemente, biomassa é uma carga injetável heterogênea, cuja composição pode variar dependendo da origem, localização física, idade e estação do ano entre outros fatores. Em várias modalidades, tipos de biomassa podem incluir inúmeros tipos de madeira, plantas, óleos vegetais, resíduos verdes e mesmo lama de estrume e de esgoto.

[0020] De acordo com modalidades da presente invenção, um dispositivo de torrefação autotérmico converte várias formas de biomassa em uma biomassa parcialmente pirolisada e torrada que pode ser apropriada para uso como um combustível neutro em carbono, para uso como um substituto de carvão em caldeiras a carvão existentes, para tratamento adicional através de gaseificação, e também para sequestro de carbono e melhoramento de solo. Em uma modalidade, o dispositivo de torrefação autotérmico pode ser carregado, continuamente ou por lote, com biomassa nova incluindo um teor de umidade de até 55% em peso. Alternativamente, a biomassa pode ser pré-secada e/ou preaquecida antes de ser carregada em uma câmara de torrefação. Em certas modalidades, a biomassa nova carregada no

dispositivo de torrefação é isenta de aditivos não de biomassa, tais como materiais plásticos.

[0021] Em uma modalidade, um dispositivo de torrefação autotérmico, o qual pode ser móvel e/ou modular, ou estacionário, inclui uma câmara de torrefação tendo uma entrada de câmara para receber biomassa e pelo menos uma saída de câmara. A câmara de torrefação pode ser substancialmente circundada por um alojamento externo definindo um invólucro externo e tendo uma entrada de invólucro e uma saída de invólucro. O invólucro externo e câmara de torrefação definem um espaço entre eles de tal maneira que uma unidade queimadora incluindo uma entrada conectada operacionalmente à saída de câmara e uma saída conectada operacionalmente à entrada de invólucro permite que vapores produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação se desloquem para dentro da unidade queimadora para combustão de pelo menos uma parte dos vapores e subsequentemente se desloquem através do espaço entre o invólucro e a câmara de torrefação para fornecer calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa. Em tais modalidades, gases de queima/combustão provenientes do queimador aquecem indiretamente a biomassa através das paredes da câmara de torrefação. À medida que a biomassa se desloca através da câmara de torrefação, a biomassa pode produzir vapor de água, compostos orgânicos voláteis, gases de pirólise e alcatrões de fase de vapor. Em uma modalidade, estes vapores se deslocam para o queimador sob sua própria pressão em conjunto com uma corrente de ar natural. Os gases combustíveis produzidos e/ou liberados na câmara de torrefação são queimados pelo menos parcialmente no queimador para gerar calor de processo para torrefação de biomassa adicional em conjunto com o calor disponível proveniente de qualquer vapor impulsionado pela biomassa na câmara de torrefação. Em uma modalidade, todos os vapores combustíveis liberados pela

câmara de torrefação são queimados no queimador.

[0022] Em certas modalidades, não existe necessidade de separar o vapor de água dos outros gases emitidos pela biomassa, onde a biomassa pode ter um teor de umidade tão alto quanto 55% em peso, ou 50% em peso, ou 45% em peso, ou 40% em peso, ou 35% em peso, ou 30% em peso, ou 20% em peso, ou 15% em peso, ou 10% em peso, ou 5% em peso. Vantajosamente, tanto o vapor quanto os gases combustíveis derivados da biomassa são direcionados para dentro do queimador. O calor disponível proveniente tanto do vapor quanto dos gases de combustão é utilizado para fornecer calor para a torrefação de biomassa. Por exemplo, este calor é passado através de um invólucro circundando a câmara de torrefação de tal maneira que a biomassa é aquecida indiretamente pelo vapor e pelos gases de combustão através das paredes da câmara de torrefação. Assim, exceto o combustível para preaquecer o dispositivo e uma luz piloto para o queimador para assegurar ignição dos gases, toda a energia térmica usada para a torrefação de biomassa virá da biomassa propriamente dita.

[0023] Nas modalidades preferidas, o queimador ou caixa de combustão é projetado de uma tal maneira que os gases são inteiramente oxidados antes de alcançar o invólucro externo. Isto permite que toda a energia seja extraída dos gases dando a quantidade máxima de calor disponível para as câmaras de torrefação. Em particular, a distância entre o queimador e o invólucro externo não deve ser menor que cerca de 2,13 metros (7 pés), ou não menor que cerca de 2,74 metros (9 pés), ou não menor que cerca de 3,66 metros (12 pés). Uma distância como esta assegura que gases são inteiramente oxidados antes de entrar em contato com o lado de fora das câmaras de torrefação. Vantajosamente, um projeto como este também protege as câmaras de torrefação contra gases corrosivos. Como tal, estas modalidades per-

mitem o uso de aço doce em vez de aços refratários. Desta maneira, estas modalidades permitem economias financeiras e permitem melhor transferência de calor para a biomassa transportada dentro das câmaras.

[0024] Em outras modalidades, a câmara de torrefação é projetada de tal maneira que área de transferência de calor suficiente está disponível para transferir calor dos gases de queima/combustão e vapor para elevar os gases circundando a biomassa para uma temperatura entre cerca de 300°C a cerca de 500°C por aproximadamente 5 minutos. Em várias modalidades, os gases circundando a biomassa podem ser aquecidos entre cerca de 310°C a cerca de 390°C, ou cerca de 320°C a cerca de 380°C, ou cerca de 330°C a cerca de 370°C, ou cerca de 340°C a cerca de 360°C. Assim, em certas modalidades, o ambiente circundando a biomassa durante torrefação está em pelo menos cerca de 300°C, frequentemente pelo menos em cerca de 320°C, e tipicamente pelo menos em cerca de 340°C. Em certas modalidades, a câmara de torrefação é projetada de tal maneira que área de transferência de calor suficiente está disponível para transferir calor dos gases de queima/combustão e vapor para elevar os gases circundando a biomassa para qualquer uma das faixas de temperaturas mencionada anteriormente por cerca de 2 a cerca de 16 minutos, ou cerca de 3 a cerca de 15 minutos, ou cerca de 4 a cerca de 12 minutos, ou cerca de 5 a cerca de 10 minutos. Em uma variedade de modalidades, a temperatura dos vapores dentro da câmara de torrefação pode aumentar em temperatura de próximo da temperatura ambiente perto da entrada de câmara de torrefação para dentro de qualquer uma das faixas de temperaturas mencionadas anteriormente próximo da saída de câmara de torrefação. De acordo com várias modalidades, o tempo de residência da biomassa dentro da câmara de torrefação pode variar de cerca de 2 a cerca de 16 minutos, ou de cerca de 3 a cerca de 15 minutos, ou de

cerca de 4 a cerca de 12 minutos, ou de cerca de 5 a cerca de 10 minutos. Em certas modalidades, o tempo de residência da biomassa não é mais que cerca de 10 minutos, frequentemente não mais que cerca de 8 minutos, e frequentemente não mais que cerca de 6 minutos ou não mais que cerca de 5 minutos. Em modalidades adicionais, os gases circundando a biomassa podem ser elevados para qualquer uma das faixas de temperaturas mencionadas anteriormente por cerca de 2 a cerca de 9 minutos, ou por cerca de 2 a cerca de 8 minutos, ou por cerca de 2 a cerca de 7 minutos, ou por cerca de 3 a cerca de 8 minutos, ou por cerca de 5 a cerca de 7 minutos. Em uma variedade de modalidades, a temperatura dos vapores dentro da câmara de torrefação pode aumentar em temperatura de próximo da temperatura ambiente perto da entrada de câmara de torrefação para dentro de qualquer uma das faixas de temperaturas mencionadas anteriormente perto da saída de câmara de torrefação. De acordo com várias modalidades, o tempo de residência da biomassa dentro da câmara de torrefação pode variar de cerca de 2 a cerca de 9 minutos, ou de cerca de 2 a cerca de 8 minutos, ou de cerca de 2 a cerca de 7 minutos, ou de cerca de 3 a cerca de 8 minutos, ou de cerca de 5 a 7 minutos.

[0025] Além da transferência indireta de calor dos gases de combustão e vapor para a biomassa de acordo com tais modalidades, a biomassa propriamente dita pode começar a liberar calor quando ela alcança temperaturas acima de cerca de 300°C. Uma vez que biomassa é tipicamente heterogênea em tamanho de partícula, as partículas menores neste processo são mais inteiramente pirolisadas tanto ao receber calor das paredes de torrefação mais efetivamente por causa de sua maior área de superfície para razão de volume quanto de gases quentes se elevando à medida que eles alcançam temperaturas acima de cerca de 300°C. Durante o manuseio de biomassa, tal como várias madeiras e plantas, por exemplo, uma parte do material lascará

ou quebrará em peças significativamente menor. Por exemplo, tais peças menores podem incluir cavacos de madeira, serragem, folhas e casca. O calor proveniente das paredes da câmara de torrefação e o calor de gases de partículas de biomassa pequenas permitem que as peças maiores de biomassa alcancem a temperatura de torrefação chave de cerca de 270°C. Como tal, as peças de menores tamanhos, ao serem aquecidas indiretamente pelos gases de combustão, fornecem alguma energia usada para a torrefação das peças de biomassa maiores.

[0026] A figura 1 ilustra um dispositivo de torrefação autotérmico de acordo com uma modalidade da presente invenção. Nesta modalidade particular, biomassa úmida ou nova 1 proveniente de uma fonte é pelo menos parcialmente pré-secada e preaquecida por um trocador de calor direto ou indireto 10 antes de ser carregada em uma tremonha de alimentação 20 ao utilizar o calor residual proveniente do dispositivo de torrefação. Tais modalidades, portanto, vantajosamente não exigem um sistema de secagem separado para pré-secagem ou preaquecimento da biomassa. Uma válvula de fecho pneumático 30 é localizada na descarga da tremonha de alimentação para controlar ou medir a biomassa a ser fornecida para dentro de uma câmara de torrefação 40 através de uma entrada de câmara 41. Nesta modalidade, a biomassa é transportada através da câmara de torrefação por um dispositivo de manuseio de material 50 (por exemplo, parafuso transportador) para transportar biomassa da entrada de câmara 41 para a saída de câmara 43. O dispositivo de manuseio de material é acionado por um motor 60. Em uma modalidade preferida, o dispositivo de torrefação autotérmico é modular e operável no campo. Em tais casos, a energia para acionar o motor pode ser fornecida por um gerador 300. A câmara de torrefação inclui uma entrada de câmara para receber biomassa e pelo menos uma saída de câmara. A figura 1 ilustra uma

câmara de torrefação tendo duas saídas de câmara. Uma primeira saída de câmara 43 é fornecida no fundo da câmara de torrefação de maneira que biomassa torrada pode sair da câmara ao cair para fora do fundo da câmara. Se desejado, a biomassa torrada saindo pode ser descarregada para dentro de um tanque de retenção ou de surto intermediário (não mostrado). Independente disto, a biomassa saindo da câmara de torrefação pode ser medida por meio de uma válvula de fecho pneumático 70 ao ser fornecida para dentro de um tanque de retenção transportável 80. Este tanque de retenção 80 pode ser transportado para uma usina de energia a carvão existente para aplicações de cocombustão. A segunda saída de câmara de torrefação 44 pode ser posicionada perto do topo da câmara para capacitar os gases derivados de biomassa produzidos ou liberados dentro da câmara de torrefação para se deslocarem para um queimador 90. Os vapores, incluindo vapor liberado pela biomassa, se deslocam para dentro do queimador onde pelo menos uma parte dos vapores combustíveis é queimada. Após combustão, os vapores, incluindo qualquer vapor liberado ou iniciado pela biomassa na câmara de torrefação, se deslocam através de um espaço definido por um alojamento externo definindo um invólucro externo 120, o qual circunda substancialmente a câmara de torrefação 40. O invólucro externo inclui uma entrada de invólucro 122 e uma saída de invólucro 124 de tal maneira que vapores saindo do queimador se deslocam para dentro do invólucro através da entrada de invólucro, através do espaço entre o invólucro e a câmara de torrefação e para fora pela saída de invólucro. Em uma modalidade preferida, os vapores saindo do invólucro externo são passados através de um trocador de calor 10 onde calor remanescente contido nestes vapores é utilizado no preaquecimento e/ou pré-secagem da biomassa nova 1. Vantajosamente, os vapores derivados de biomassa, incluindo qualquer vapor liberado pela biomassa, produzidos ou liberados de

dentro da câmara de torrefação fornecem no final o calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa. Desta maneira, tais modalidades são desejavelmente autossuficientes em termos de calor, em que fontes externas de calor são necessárias somente para partida e para manter uma luz piloto no queimador. Para tais casos, um tanque de gás portátil 100 (por exemplo, cilindro de propano) pode ser facilmente usado em modalidades móveis e/ou modulares. Quando o gás não é necessário, uma válvula 110 pode ser fechada.

[0027] Embora uma fonte externa de aquecimento, tal como uma fonte de gás combustível, possa ser usada para propósitos de aquecer o dispositivo de torrefação para a temperatura de operação desejada, uma vez que a temperatura desejada é alcançada, a entrada de energia de fontes externas de aquecimento é muito reduzida de acordo com a presente invenção. Por exemplo, durante partida, a entrada de energia para o dispositivo de torrefação pode ser tão alta quanto cerca de 650.000 BTU/hr. Entretanto, uma vez que temperaturas de torrefação iniciais são alcançadas, a entrada de energia para o sistema proveniente de uma fonte externa (isto é, energia não derivada da combustão de gases produzidos pelos processos de torrefação) pode ser diminuída para não mais que cerca de 50.000 BTU/hr, frequentemente não mais que cerca de 40.000 BTU/hr, e tipicamente não mais que cerca de 30.000 BTU/hr.

[0028] Nas modalidades preferidas, a tremonha 20 age como um bloqueio de vapor. Mais especificamente, a água na biomassa e a água criada por reações de desidrogenação expandem quando expostas ao calor e mudam para vapor dentro da câmara de torrefação 40. Este vapor enche a câmara de torrefação e se desloca não somente para fora pela saída da câmara de torrefação para o queimador, mas uma parte também pode escapar para fora da entrada de câmara de torrefação e se deslocar através da tremonha. Isto é, um fluxo positivo

de vapor se desloca para fora da câmara e para dentro da tremonha (e do queimador). Este fluxo positivo de vapor se deslocando através da tremonha impede ar, e assim oxigênio, de entrar na câmara de torrefação através da tremonha. Desta maneira, a câmara é essencialmente bloqueada para entrada de ar ambiente (especialmente oxigênio). Vantajosamente, tais modalidades não exigem uma válvula de bloqueio de ar na tremonha de alimentação ou uma purgação de nitrogênio.

[0029] Embora a figura 1 ilustre uma modalidade tendo um transportador de parafuso como o dispositivo de manuseio de material 50, o dispositivo de manuseio de material não está limitada a somente transportadores de parafuso. Por exemplo, certas modalidades da presente invenção podem incluir quaisquer dispositivos de manuseio de material que transportem mecanicamente e de forma contínua a biomassa internamente através da(s) câmara(s) de torrefação de uma entrada para uma saída de tal maneira que operação contínua do dispositivo seja possível. Preferivelmente, o dispositivo de manuseio de material é adaptado para promover uma taxa aumentada de movimentação interna ou "rotação" da biomassa. Isto é, o dispositivo de manuseio de material preferivelmente é configurado e operado de tal maneira que a biomassa sendo transportado através da câmara de torrefação é submetida a turbulência ou movimento de queda interno aumentado e contínuo. Este alto nível de movimento de queda ou ação de mistura dentro da câmara de torrefação ajuda a promover rotação contínua de biomassa entrando em contato com as paredes quentes da câmara de torrefação. Como tal, mais da biomassa sendo transportada através da câmara de torrefação é colocada em contato íntimo com as paredes quentes da câmara de torrefação por unidade de tempo. Um dispositivo de manuseio de material adaptado para promover este alto nível de interno movimento de queda, vantajosamente, pode aumentar

a taxa na qual calor é transferido para a biomassa e facilitar a torrefação eficiente de biomassa tal como evidente pelo menos em parte pelos reduzidos tempos de residência alcançados por modalidades descritas neste documento. Além de um transportador de parafuso ou sistema de veruma para a promoção de movimento de queda interno aumentado, o dispositivo de manuseio de material também pode ser, por exemplo, um acionamento por corrente alternante, uma corrente de transporte, um corrente de arrastamento ou coisa parecida.

[0030] Em uma modalidade preferida, o fluxo de vapores produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação se desloca em uma primeira direção, isto é em uma direção da entrada de câmara para a saída de câmara, para a unidade queimadora e o gás de combustão saindo do queimador se desloca em uma segunda direção sendo oposta à primeira direção. Como tal, os gases de queima/combustão e/ou vapor se deslocam em um fluxo contracorrente para os vapores emitidos na câmara de torrefação. A figura 1 representa uma modalidade como esta tendo um esquema de fluxo contracorrente. Em uma modalidade alternativa, o dispositivo de torrefação compreende um esquema de fluxo cocorrente. Em particular, os vapores produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação se deslocam na mesma direção que os vapores se deslocando através do espaço entre o invólucro e a câmara de torrefação. Nesta modalidade, os vapores queimados provenientes do queimador se deslocam através do invólucro em um modo no qual os vapores queimados entram no invólucro em um ponto mais próximo à entrada de câmara de torrefação e saem do invólucro externo em uma posição mais próxima à saída de câmara de torrefação. Também em uma outra modalidade alternativa, o dispositivo de torrefação compreende um esquema de fluxo transversal. Em particular, a direção dos gases e/ou vapor queimados se estende perpendicular à câmara de torrefação.

[0031] De acordo com certas modalidades da presente invenção, o dispositivo de torrefação, se desejado, pode incluir um sistema de resfriamento integral. Alternativamente, o dispositivo de torrefação pode ser conectado operacionalmente de forma direta ou indireta a um sistema de resfriamento para o material torrado. Tais modalidades preferivelmente são utilizadas quando a biomassa torrada quente não será submetida a peletização, briquetagem, ou densificada de outro modo enquanto quente. Em casos nos quais a biomassa torrada não será densificada enquanto ainda quente, resfriamento da biomassa torrada é importante para impedir chamas. Como tal, calor deve ser retirado da biomassa torrada antes de ela alcançar ar atmosférico ou a biomassa torrada reagirá com o oxigênio. Em tais casos, a temperatura da biomassa torrada deve ser resfriada para não mais que cerca de 65,56°C, 54,45°C, 46,12°C ou 37,78°C (150°F, 130°F, 115°F, ou 100°F) (isto é, resfriar para 37,78°C (100°F) ou menos). Em certas modalidades, trocadores de calor de ar resfriado, trocadores de calor de água resfriada, ou ambos podem ser usados para remover calor da biomassa torrada. Nas modalidades preferidas, a biomassa é transportada através do(s) resfriador(s) por meio de um dispositivo de manuseio de material similar a esse usado nas câmaras de torrefação. Em modalidades mais preferidas, calor liberado do material torrado pode ser usado para secagem direta ou indireta de biomassa, aquecer ar de combustão ou liberado para o ambiente.

[0032] A figura 2 ilustra um dispositivo de torrefação autotérmico de acordo com uma outra modalidade da presente invenção. Nesta modalidade particular, a câmara de torrefação 40 inclui uma única saída de câmara de torrefação 43 localizada no fundo da câmara. Desta maneira, tanto a biomassa torrada quanto os vapores derivados de biomassa gerados dentro da câmara de torrefação saem pela mesma saída de câmara 43. Tal como mostrado na figura 2, um separador

gás-sólido 45 (por exemplo, ciclone) pode ser utilizado para assegurar que biomassa torrada não é arrastada inadvertidamente em vapores levados para dentro do queimador 90 para combustão. A biomassa torrada e vapores derivados de biomassa entram no separador gás-sólido 45 enquanto a biomassa torrada cai para a seção inferior do separador 48 para descarga e os vapores saem pela seção superior do separador 42. Os vapores derivados de biomassa se deslocam para o queimador para combustão, enquanto que a biomassa torrada é medida ao ser fornecida para dentro de um recipiente transportável 80 por meio de uma válvula de fecho pneumático 70.

[0033] De acordo com certas modalidades da presente invenção, um dispositivo de torrefação autotérmico pode compreender mais de uma câmara de torrefação. Assim, apesar das figuras 1 e 2 ilustrarem modalidades tendo somente uma câmara de torrefação 40 dentro de um alojamento/invólucro externo 120, muitas modalidades da presente invenção podem compreender mais de uma câmara de torrefação. Por exemplo, um único dispositivo de torrefação pode compreender mais que cerca de 20 câmaras de torrefação, ou alternativamente de 2 a cerca de 20 câmaras. Em uma modalidade, o dispositivo de torrefação compreende de 2 a cerca de 10 câmaras de torrefação, preferivelmente de cerca de 4 a cerca de 8 câmaras. Em uma modalidade preferida, o dispositivo de torrefação inclui cerca de 6 câmaras de torrefação localizadas dentro do alojamento ou invólucro externo. Em uma outra modalidade, o dispositivo compreende de cerca de 5 a cerca de 18 câmaras, preferivelmente de cerca de 10 a cerca de 14 câmaras. Em uma modalidade como esta, o dispositivo compreende cerca de 12 câmaras de torrefação dispostas dentro do invólucro externo. Também em uma outra modalidade, a câmara de torrefação compreende de cerca de 10 a cerca de 20 câmaras de torrefação, preferivelmente de cerca de 12 a cerca de 18, mais preferivelmente de cerca de 14 a cer-

ca de 16 câmaras de torrefação localizadas dentro de um único invólucro externo. Em várias modalidades, dispositivos de manuseio de material separados (por exemplo, sistemas transportadores de verruma ou parafuso separados) podem ser incluídos para transportar biomassa através das respectivas câmaras.

[0034] As figuras 3 e 4 ilustram vistas seccionais transversais de várias modalidades tendo mais de uma câmara de torrefação. Em particular, a figura 3 representa uma modalidade tendo um invólucro externo circular 120 e dez câmaras de torrefação 40. A figura 4 representa uma modalidade tendo doze câmaras de torrefação 40 localizadas dentro de um invólucro externo retangular 120.

[0035] De acordo com certas modalidades compreendendo múltiplas câmaras de torrefação, biomassa úmida ou nova opcionalmente pode ser pelo menos parcialmente pré-secada e preaquecida por meio de um trocador de calor direto ou indireto antes de ser carregada em uma tremonha ou tremonhas de alimentação. Uma(s) válvula(s) de fecho pneumático é(são) localizada(s) na descarga da(s) tremonha(s) de alimentação para controlar ou medir a biomassa a ser fornecida para dentro das respectivas câmaras de torrefação através de uma entrada de câmara de cada câmara. Em tais modalidades, a biomassa é transportada através das câmaras de torrefação por seus respectivos dispositivos de manuseio de material para transportar biomassa da entrada de câmara para a saída de câmara.

[0036] Em uma modalidade preferida, o dispositivo de torrefação autotérmico é modular e/ou móvel. Assim, de acordo com uma modalidade preferida, o dispositivo não é somente operável no campo, mas pode ser facilmente relocado para outras localizações. Em tais casos, a energia para acionar o(s) motor(s) pode ser fornecida por um gerador.

[0037] Ambas as figuras 1 e 2 ilustram modalidades da presente

invenção incluindo um dispositivo de controle opcional 200, o qual pode ser usado para monitorar e ajustar condições de processo. Em algumas modalidades, o dispositivo de controle 200 pode incluir vários hardwares e/ou softwares. O dispositivo de controle pode ser conectado a um ou mais sensores (não mostrados) ou medidores indiretamente, tal como conectado de modo sem fio, ou diretamente. Um exemplo como este de um dispositivo de controle compreende um controlador lógico programável (PLC). Preferivelmente, o dispositivo de controle compreende PLC por causa de seu projeto para arranjos de múltiplas entradas e saídas (não mostrado), faixas de temperaturas estendidas, imunidade a ruído elétrico, e resistência à vibração e impacto. Estes arranjos de entrada/saída (I/O) extensivos podem conectar o PLC a uma grande quantidade de sensores, acionamentos, medidores e atuadores (nenhum mostrado). Um dispositivo de controle 200 como este também pode ler comutadores de limite, variáveis de processo analógicas (tais como temperatura e pressão), e as posições de sistemas de posicionamento complexos. Por exemplo, no lado de atuador, o dispositivo de controle 200 pode operar motores elétricos, cilindros pneumáticos ou hidráulicos, relés ou solenóides magnéticos, ou saídas analógicas. Os arranjos de entrada/saída do dispositivo de controle podem ser construídos em um PLC simples, ou o PLC pode ter módulos I/O externos ligados a uma rede de computador que se conecta ao PLC.

[0038] Em certas modalidades, o dispositivo de controle pode ser conectado a um ou mais sensores e/ou controles de processo. Por exemplo, o dispositivo de controle pode ser conectado a uma pluralidade de sensores de temperatura, células de carga, acionamentos de frequência variável, sensores de pressão, sensores de taxa de fluxo de gás e uma ou mais interfaces homem-máquina. Por exemplo, várias modalidades podem incluir medidores/sensores temperatura (não mostrados) por toda a câmara de torrefação, dentro da unidade quei-

madora, por todo o invólucro circundando a câmara de torrefação ou na saída de exaustão. Tais modalidades, se desejado, também podem incluir células de carga (não mostradas) que podem ser fornecidas para monitorar o peso de biomassa nos tanques 20 e 80. Modalidades da presente invenção também podem incluir um ou mais manômetros/sensores (não mostrados). Por exemplo, sensores de temperatura podem ser fornecidos para monitorar a temperatura dentro da câmara de torrefação, dentro do invólucro, ou mesmo dentro da unidade queimadora. De forma similar, o dispositivo de controle também pode ser conectado ao sensor de taxa de fluxo de gás para monitorar a taxa de gás saindo como exaustão. Adicionalmente, o dispositivo de controle também pode ser conectado a um ou mais acionamentos de frequência variável, em que a amperagem do motor pode ser monitorada e ajustada conforme necessário. Por exemplo, o motor 60 pode compreender um acionamento de frequência variável. Igualmente, as válvulas de fecho pneumático/medição 30 e 70 também podem ser acionadas pelos respectivos acionamentos de frequência variável (não mostrados). Em uma modalidade preferida, o dispositivo de controle inclui pelo menos uma interface homem-máquina, em que um operador pode monitorar os vários parâmetros de processo e se necessário ajustar manualmente parâmetros de processo no campo ou por meio da interface homem-máquina. Preferivelmente, o dispositivo de controle 200 é um PLC, em que os vários parâmetros de processo podem ser designados como pontos de referência predeterminados e os vários sensores, atuadores e/ou acionamentos de processo são ajustados automaticamente pelo PLC com base nas saídas em tempo real recebidas destes dispositivos de controle de processo.

[0039] Em uma modalidade preferida, a câmara de torrefação compreende um conduto circular. Adicionalmente, o espaço definido entre o invólucro externo e a câmara de torrefação pode compreender

um anel. Em outras modalidades, a câmara de torrefação compreende um conduto circular e o invólucro circundando a câmara de torrefação pode compreender uma caixa retangular ou qualquer outra configuração geométrica desejada. Em certas modalidades, especialmente modalidades móveis e/ou modulares, o dispositivo de torrefação autotérmico pode incluir pelo menos um moinho de péletes ou briquetes ou coisa parecida conectado operacionalmente à saída de câmara de tal maneira que biomassa torrada saindo da câmara de torrefação é peletizada, briquetada, ou densificada de outro modo. Assim, a biomassa torrada pode ser peletizada no campo enquanto a biomassa torrada ainda está quente. Alternativamente, a biomassa torrada saindo quente pode ser carregada manualmente para uma unidade de peletização ou briquetagem separada posicionada proximamente a ela, tal como no mesmo campo, fazenda ou floresta.

[0040] A câmara de torrefação pode ser substancialmente circundada por um alojamento externo definindo um invólucro externo e tendo uma entrada de invólucro e uma saída de invólucro. O invólucro externo e câmara de torrefação definem um espaço entre eles de tal maneira que uma unidade queimadora incluindo uma entrada conectada operacionalmente à saída de câmara e uma saída conectada operacionalmente à entrada de invólucro permite que vapores produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação se desloquem para dentro da unidade queimadora para combustão de pelo menos uma parte dos vapores e subsequentemente se desloquem através do espaço entre o invólucro e a câmara de torrefação para fornecer calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa. Como tal, com exceção do combustível para preaquecer o dispositivo e uma luz piloto para assegurar que os gases derivados de biomassa inflamem, toda a energia térmica usada para torrefação virá da biomassa propriamente dita.

[0041] Em uma modalidade, o dispositivo de torrefação pode compreender uma ou mais câmaras de torrefação; em que cada câmara de torrefação tem um diâmetro interno de cerca de 7,62 centímetros (três polegadas) a cerca de 38,10 centímetros (15 polegadas). Em outras modalidades, o diâmetro interno de cada câmara pode compreender de cerca de 10,16 centímetros (quatro polegadas) a cerca de 30,48 centímetros (doze polegadas), ou de cerca de 12,70 centímetros (cinco polegadas) a cerca de 22,86 centímetros (nove polegadas). Por exemplo, em uma modalidade particular cada câmara compreende um diâmetro interno de cerca de 15,24 centímetros (seis polegadas). Em uma outra modalidade, o diâmetro interno da(s) câmara(s) de torrefação compreende de cerca de 25,40 centímetros (10 polegadas) a cerca de 101,60 centímetros (40 polegadas), ou 50,80 centímetros (20 polegadas) a 76,20 centímetros (30 polegadas). Em modalidades alternativas, o dispositivo pode compreender múltiplas câmaras de torrefação, em que os diâmetros internos das câmaras não são idênticos.

[0042] Em certas modalidades, o comprimento da(s) câmara(s) de torrefação que é(são) circundada(s) pelo invólucro externo pode compreender de cerca de 1,52 a cerca de 15,24 metros (5 a cerca de 50 pés). Em certas modalidades, o comprimento da(s) câmara(s) de torrefação, a(s) qual(s) é(são) circundada(s) pelo invólucro externo, pode compreender de cerca de 1,52 a cerca de 6,10 metros (5 a cerca de 20 pés), preferivelmente de cerca de 3,05 a cerca de 5,49 metros (10 a cerca de 18 pés), mais preferivelmente de cerca de 3,96 a 5,18 metros (13 a 17 pés). Em outras modalidades, o comprimento da(s) câmara(s) de torrefação, a(s) qual(s) é(são) circundada(s) pelo invólucro externo, pode compreender de cerca de 6,10 a cerca de 15,24 metros (20 a cerca de 50 pés), preferivelmente de cerca de 9,14 a cerca de 13,72 metros (30 a cerca de 45 pés), mais preferivelmente de cerca de 10,67 a 12,19 metros (35 a 40 pés). Também em uma modalidade adicional,

o comprimento da(s) câmara(s) de torrefação, a(s) qual(s) é(são) circundada(s) pelo invólucro externo, pode compreender de cerca de 3,05 a cerca de 9,14 metros (10 a cerca de 30 pés), preferivelmente de cerca de 4,57 a cerca de 7,62 metros (15 a cerca de 25 pés), mais preferivelmente de cerca de 5,49 a 6,71 metros (18 a 22 pés). Em uma modalidade preferida, a câmara de torrefação compreende tubo de bitola 40 de qualquer uma das dimensões mencionadas anteriormente.

[0043] De acordo com certas modalidades alternativas, o dispositivo de torrefação inclui pelo menos uma câmara de torrefação compreendendo um conduto fechado tendo uma entrada de câmara para receber biomassa e pelo menos uma saída de câmara. Preferivelmente, o fundo do conduto tem uma parte inferior na forma de sulco. Isto é, o fundo da câmara de torrefação inclui um ou mais canais configurados de tal maneira que um dispositivo de manuseio de material de acordo com esses descritos neste documento pode ser posicionado dentro de cada canal. Os dispositivos de manuseio de material (por exemplo, verruma) transportam a biomassa da entrada de câmara para a saída de câmara. Em uma modalidade, a biomassa é mexida de forma aleatória e contínua para dentro e para fora de cada canal. Além disso, a biomassa pode saltar para fora de um canal e para dentro de um canal próximo enquanto sendo transportada através da câmara de torrefação.

[0044] Tal como mostrado na figura 5, a câmara de torrefação contendo sulcos 40 inclui os múltiplos canais 42 através dos quais a biomassa é transportada. Nesta modalidade, um dispositivo de manuseio de material 50 é fornecido para transportar biomassa através de cada canal 42. Em uma modalidade como esta a câmara contendo sulcos é substancialmente ou completamente circundada por um invólucro externo. Os gases e vapor de torrefação liberados dentro da câmara de torrefação se deslocam para dentro de uma unidade queimadora e são

queimados. Os gases de combustão e vapor são então direcionados através do invólucro externo para aquecer pelo menos uma das paredes externas da câmara de torrefação. Em uma outra modalidade, somente o fundo ou parede contendo sulcos da câmara de torrefação fica dentro de invólucro. Como tal, os gases de combustão provenientes do queimador aquecem a parede de fundo contendo sulcos. Em tais modalidades, as paredes da câmara de torrefação que não estão dentro de invólucro (e assim não ficam expostas aos gases de combustão para aquecer biomassa) preferivelmente são isoladas para impedir a perda de calor através das paredes fora de invólucro.

[0045] Em um outro aspecto da presente invenção, um processo para torrefação autotérmica de biomassa é fornecido. Em uma modalidade, um processo para torrefação autotérmica de biomassa inclui aquecer indiretamente biomassa através de paredes de uma câmara de torrefação para uma temperatura suficiente para produzir biomassa torrada. Gases derivados de biomassa, incluindo vapor, produzidos ou liberados de dentro da câmara de torrefação podem se deslocar ou são arrastados para dentro de uma unidade queimadora e pelo menos uma parte dos vapores combustíveis derivados de biomassa é queimada. O gás de queima/combustão sai do queimador e se desloca através de um espaço localizado entre a câmara de torrefação e um alojamento externo definindo um invólucro que circunda substancialmente a(s) câmara(s) de torrefação. Os vapores saindo do queimador fornecem o calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa dentro da câmara de torrefação. Vantajosamente, com exceção do combustível para preaquecer o dispositivo e uma luz piloto para assegurar que os gases derivados de biomassa inflamem, toda a energia térmica usada para torrefação virá da biomassa propriamente dita.

[0046] De acordo com uma modalidade preferida, o processo inclui adicionalmente preaquecimento e/ou pré-secagem da biomassa nova

e medição da biomassa preaquecida fornecida para dentro da câmara de torrefação. Preferivelmente, a biomassa nova é preaquecida e pré-secada ao passar a biomassa através de um trocador de calor em que gases de combustão saindo do invólucro externo fornecem energia térmica para a biomassa nova. Embora o trocador de calor possa ser um trocador direto ou indireto, uma modalidade preferida utiliza contato direto da biomassa nova com os gases queimados. Em tais modalidades, a temperatura da biomassa não é somente elevada, mas uma parte do teor de água na biomassa pode ser reduzida de acordo com princípios de transferência de massa bem conhecidos. Por exemplo, o contato direto entre a biomassa nova, a qual pode incluir um teor de umidade de aproximadamente 50% em peso, e os gases queimados podem explorar a diferença de concentração de água entre a biomassa nova e os gases queimados de saída para ajudar a reduzir o teor de água na biomassa antes de entrar na câmara de torrefação.

[0047] De acordo com certas modalidades, a biomassa dentro da câmara de torrefação pode ser aquecida indiretamente através das paredes da câmara de torrefação. Além da biomassa propriamente dita, o ar circundando a biomassa também é aquecido. Em uma modalidade, os gases circundando a biomassa na câmara de torrefação são aquecidos para cerca de 300°C a cerca de 500°C de tal maneira que uma parte da biomassa é pirolisada. Preferivelmente, a parte da biomassa que passa por pirólise inclui principalmente peças menores da biomassa heterogênea. Por exemplo, peças de biomassa menores tais como serragem, cavacos de madeira e folhas e cascas podem passar por pirólise. Ao passar por pirólise, estas peças de biomassa menores produzem uma quantidade significativa de calor, o que ajuda a aquecer as peças maiores ou mais volumosas de biomassa. Em uma modalidade, a biomassa propriamente dita pode ser aquecida para cerca de 265°C a cerca de 300°C, ou para cerca de 265°C a cerca de 275°C.

Também em uma outra modalidade, a biomassa propriamente dita pode ser aquecida para cerca de 275°C a cerca de 300°C. Em modalidades adicionais os gases e/ou a biomassa propriamente dita podem ser aquecidos para cerca de 300°C a cerca de 500°C, ou para cerca de 300°C a cerca de 400°C, ou de 350°C a cerca de 450°C, de 300°C a cerca de 500°C, ou de cerca de 400°C a cerca de 500°C, ou de cerca de 450°C a cerca de 500°C.

[0048] Em uma modalidade, o processo para torrefação autotérmica de biomassa compreende obter e manter uma diferença de temperatura entre a biomassa torrada e/ou vapores de torrefação na extremidade de descarga da câmara de torrefação e os vapores atravessando o espaço dentro de invólucro compreende de cerca de 280°C a cerca de 320°C, ou de cerca de 290°C a cerca de 310°C; em que a temperatura de vapor dentro de invólucro compreende a temperatura local dos vapores (por exemplo, gases de combustão e vapor) próximo da extremidade de descarga da câmara ou câmaras de torrefação. Em uma modalidade, os vapores atravessando o espaço dentro de invólucro entram no espaço dentro de invólucro em uma posição próxima da descarga de biomassa e compreendem uma temperatura de cerca de 290°C a cerca de 310°C mais quente que a biomassa e/ou vapores saindo da câmara de torrefação. Em certas modalidades, a diferença de temperatura pode compreender de cerca de 270°C a 330°C.

[0049] Em várias modalidades, o processo compreende monitorar a temperatura dos vapores saindo do dispositivo de torrefação para a atmosfera e ajustar a operação do dispositivo de tal maneira que a temperatura dos vapores de saída seja de cerca de 180°C a cerca de 220°C, ou de cerca de 190°C a cerca de 210°C. Ao manter uma temperatura de saída de vapor apropriada, processos de acordo com modalidades da presente invenção podem minimizar desperdício de calor que pode ser transferido para a biomassa para torrefação da mesma.

[0050] A taxa na qual biomassa pode ser carregada para dentro do dispositivo de torrefação pode variar dependendo da modalidade particular sendo empregada. Entretanto, modalidades da presente invenção podem operar com uma taxa de alimentação de biomassa de cerca de 22,68 a cerca de 2.267,96 kg/h (50 a cerca de 5.000 lb/h). Em uma modalidade, o dispositivo é adaptado para acomodar uma taxa de alimentação variando de cerca de 22,68 a cerca de 226,79 kg/h (50 a cerca de 500 lb/h), ou cerca de 27,21 a cerca de 181,43 kg/h (60 a cerca de 400 lb/h), ou preferivelmente de cerca de 36,29 a cerca de 136,08 kg/h (80 a cerca de 300 lb/h), ou mais preferivelmente de cerca de 45,36 a cerca de 90,72 kg/h (100 a cerca de 200 lb/h). Em outras modalidades, o dispositivo é adaptado para acomodar uma taxa de alimentação de biomassa variando de cerca de 453,59 a cerca de 2.267,96 kg/h (1.000 a cerca de 5.000 lb/h). Em uma modalidade, a taxa de alimentação pode variar de cerca de 907,18 a cerca de 1.814,37 kg/h (2.000 a cerca de 4.000 lb/h), ou de cerca de 1.133,98 a cerca de 1.587,57 kg/h (2.500 a cerca de 3.500 lb/h). Em uma modalidade alternativa, o dispositivo de torrefação é adaptado para acomodar uma taxa de alimentação variando de cerca de 181,43 a cerca de 544,31 kg/h (400 a cerca de 1.200 lb/h), ou cerca de 272,15 a cerca de 453,59 kg/h (600 a cerca de 1.000 lb/h), ou de cerca de 317,51 a cerca de 362,87 kg/h (700 a cerca de 800 lb/h).

[0051] Dispositivos de torrefação de acordo com modalidades da presente invenção vantajosamente podem ser transportados para um ponto de operação tendo biomassa para torrefação. Tais modalidades podem ser amplamente autoacionadas em que toda energia térmica, com exceção da partida, para a torrefação de biomassa é derivada do processamento de biomassa através do dispositivo de torrefação. Possuindo tal operabilidade e mobilidade de campo, estas modalidades capacitam uma redução em custos de transporte e de processa-

mento de cargas injetáveis. Por exemplo, o custo de transportar a água na biomassa é amplamente eliminado. Em modalidades alternativas, o dispositivo de torrefação pode incluir ou alimentar alternativamente um pelletizador ou briquetador enquanto a biomassa torrada está quente para formar péletes ou briquetes com entrada de energia relativamente pequena e sem aglutinantes adicionais. De acordo com tais modalidades, o dispositivo de torrefação autotérmico pode prover muitos se não todos os produtos descritos anteriormente nos campos e florestas com uma tecnologia que é móvel e/ou modular. A proximidade desta produção de combustível para a sua fonte de carga injetável original pode reduzir custos de transporte e o uso total de combustíveis emitindo carbono.

[0052] Uma modalidade da presente invenção compreende métodos para aumentar a efetividade de custo de usar biomassa torrada como um combustível. Tais métodos podem incluir fornecer pelo menos um dispositivo de torrefação autotérmico, tal como descrito neste documento, em um ponto de operação sendo separado de uma usina de energia para a torrefação de biomassa localizada nesse ponto de operação. Por exemplo, o ponto de operação pode incluir qualquer ponto de coleta ou fonte de biomassa. Como tal, deve ser entendido que pontos de operação incluem os locais de coleta de biomassa de madeira e agrícola. Exemplos não limitativos de tais pontos de coleta incluem florestas, campos e fazendas. Estes pontos de coleta podem estar a várias centenas de quilômetros (milhas) (ou mais) distantes de uma fonte externa de calor, tais como uma usina de energia a carvão existente. Adicionalmente, a biomassa localizada no ponto de operação pode ser carregada continuamente ou por lote para o dispositivo de torrefação autotérmico e convertida em biomassa torrada tal como descrito neste documento.

[0053] Em uma modalidade preferida o dispositivo de torrefação

autotérmico é operável em campo. Em particular, tais modalidades vantajosamente podem empregar uma unidade móvel e/ou modular que pode ser transferida ao carregar o dispositivo de torrefação autotérmico na plataforma de um caminhão de utilidade de 5,18 metros (17 pés) típico ou de dezoito rodas, por exemplo, somente, e transportado para a(s) localização(s) separada(s) para operação. Em outras palavras, o dispositivo de torrefação autotérmico da invenção preferivelmente é dimensionado de tal maneira que transporte veicular do dispositivo é possível. Como tal, um único dispositivo de torrefação autotérmico vantajosamente pode ser transportado para diversas localizações diferentes para torrefação de biomassa independente de qualquer local de energia ou fonte externa de calor existente.

[0054] Desta maneira, o dispositivo de torrefação autotérmico pode ser implementado em qualquer(s) ponto(s) de operação tendo biomassa que possa ser torrada. Tal como discutido anteriormente, o processo de torrefação retira muito de toda a umidade contida na biomassa e produz adicionalmente a biomassa hidrofóbica em natureza. Por causa da redução no teor de umidade, o custo de transportar a biomassa torrada é menor que o custo de transportar biomassa não convertida. Além disso, a natureza hidrofóbica da biomassa torrada capacita maiores tempos de transporte e retenção/armazenamento sem indesejavelmente recuperar umidade. Como tal, o raio de operação para tais modalidades a partir de uma fonte externa de calor, tais como uma usina a carvão existente, é substancialmente sem limites. Adicionalmente, uma vez que biomassa torrada é menos provável de apodrecer do que biomassa não tratada, a biomassa torrada pode ser armazenada por maiores períodos de tempo antes do uso. Em várias modalidades preferidas, a biomassa compreende materiais orgânicos baseados em celulose, enquanto que em outras modalidades a biomassa compreende dejetos de animal. Adicionalmente, o dispositivo

de torrefação autotérmico de acordo com várias modalidades também pode ser usado como uma unidade de redução de descarte de resíduo ou de sobras para reduzir o peso e volume de produtos de resíduos de animais e de plantas.

[0055] Em uma modalidade, biomassa pode ser torrada em um ponto de operação separado de uma fonte externa de calor, tal como uma usina a carvão existente. Por exemplo, um dispositivo de torrefação móvel e/ou modular de acordo com modalidades da presente invenção pode ser transportado para um campo ou floresta para a torrefação de biomassa localizada no campo ou floresta. Entretanto, isto não impede que modalidades da invenção sejam utilizadas em um local de energia existente se desejado. Em certas modalidades, a biomassa torrada pode ser peletizada, briquetada, ou densificada de outro modo por um moinho conectado ao dispositivo de torrefação ou posicionado proximamente a ele, tal como no mesmo campo ou floresta. Em uma modalidade, a biomassa torrada pode ser parcialmente peletizada, briquetada, ou densificada de outro modo no campo ou floresta e transportada para uma segunda localização tendo um moinho autônomo para densificação final. Em uma modalidade, a biomassa torrada é transportada para uma segunda localização, separada do campo ou floresta onde a biomassa foi tratada, para peletização, briquetagem, ou coisa parecida. A segunda localização pode compreender uma operação de moagem autônoma ou mesmo uma operação de moagem conectada a uma usina de energia existente. Em uma modalidade é permitido que a biomassa torrada quente esfrie antes da peletização, briquetagem, ou coisa parecida na mesma localização ou em localização diferente daquela da torrefação.

[0056] Em certas modalidades, a invenção compreende um processo para produzir péletes ou briquetes de biomassa torrada em um ponto de operação separado de fontes externas de calor, usinas de

energia, peletização estacionária, briquetagem, ou outras instalações de densificação, e outras mais. Em uma modalidade, o processo compreende converter biomassa não tratada em biomassa torrada, tal como discutido por todo este documento, em um ponto de coleta e peletização, briquetagem, ou de densificação de outro modo da biomassa torrada no mesmo ponto de coleta. Nas modalidades preferidas, a biomassa torrada é carregada para pelo menos um moinho de grãos enquanto ainda estando quente. Por exemplo, a temperatura da biomassa torrada carregada para o moinho de densificação pode ser de cerca de 200°C a cerca de 320°C, ou de cerca de 225°C a cerca de 300°C, ou de cerca de 250°C a 300°C, ou preferivelmente de cerca de 270°C a cerca de 300°C.

[0057] Vantajosamente, modalidades da presente invenção permitem e incluem a peletização de biomassa torrada no campo, fazenda, floresta e outros mais. Assim, biomassa torrada pode ser rapidamente peletizada, briquetada, ou densificada de outro modo no ponto de coleta enquanto a biomassa tratada ainda está aquecida pelo processo de torrefação. Consequentemente, péletes, briquetes, ou coisa parecida de biomassa torrada podem ser alcançados com entrada de energia relativamente pequena. Adicionalmente, em várias modalidades, aglutinantes adicionais não são exigidos para formar péletes de biomassa torrada.

#### Exemplo

[0058] Um dispositivo de torrefação autotérmico de acordo com uma modalidade da presente invenção foi utilizado para a torrefação de resíduos de corte de pinheiros (madeira de pequeno diâmetro, cascas, folhas). O dispositivo de torrefação incluiu 6 câmaras de torrefação, cada uma tendo um comprimento total de 6,10 metros (20 pés). O alojamento externo ou invólucro externo circundando as câmaras de torrefação compreendeu uma caixa tendo uma largura interna de 1,52

metros (5 pés), uma altura interna de 1,52 metros (5 pés) e um comprimento interno de 4,27 metros (14 pés). Como tal, 4,27 metros (14 pés) das câmaras de torrefação de 6,10 metros (20 pés) foram circundados pelo invólucro externo.

[0059] A biomassa (isto é, os resíduos de corte de pinheiros) foi alimentada através de uma tela de 12,7 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) em um moinho de martelos. O teor de água variou de partícula para partícula, mas o teor de água médio total foi de aproximadamente 50% em peso. A biomassa moída foi transportada em um canal para uma tremonha de alimentação. Enquanto sendo transportada no canal para a tremonha de alimentação, gases quentes de exaustão foram soprados através da biomassa no canal assim como em volta do canal. Em média, isto reduziu o teor de água média da biomassa para cerca de 45% em peso.

[0060] Antes de carregar a biomassa nas câmaras de torrefação, o dispositivo de torrefação foi aquecido pela combustão de propano no queimador. Os gases de combustão foram passados através do espaço aberto entre o invólucro e as câmaras de torrefação para fornecer o calor inicial necessário para torrar a biomassa. Após o dispositivo de torrefação ser aquecido para uma temperatura de operação de aproximadamente 400°C (tipicamente em qualquer lugar entre 300°C e 450°C é suficiente), a biomassa foi carregada continuamente para dentro das câmaras de torrefação e transportada através das câmaras por meio de um sistema de verrumas para promover renovação contínua da biomassa. O uso de propano para aquecer inicialmente o dispositivo e começar o processo de torrefação foi de cerca de 671.000 BTU/h. À medida que a biomassa foi aquecida e iniciou a emitir gases e vapor de torrefação, estes vapores foram queimados e passados através do espaço dentro de invólucro em um modo de contracorrente para fornecer calor indireto para o processo de torrefação.

[0061] Ao alcançar condições autotérmicas, tal como evidente pela

drástica redução no uso de propano, a taxa de alimentação determinada pela média de aproximadamente 249,48 kg/h (550 lb/h) de biomassa e 79,38 kg/h (175 lb/h) de material torrado foi produzida. Sob condições autotérmicas, o uso de propano foi muito reduzido para cerca de 20.000 BTU/h, o qual considera aproximadamente uma diminuição de 97% na taxa na qual propano é consumido. Este nível de uso de propano se relaciona com a quantidade de propano usado meramente para assegurar que a luz piloto permanece acesa. Como tal, em termos práticos toda a energia térmica usada para torrefação veio da biomassa propriamente dita.

[0062] Durante operação do dispositivo de torrefação sob condições autotérmicas, as temperaturas na seção mais quente (isto é, a extremidade de descarga) das câmaras de torrefação foram monitoradas e a taxa na qual a biomassa era transportada através do dispositivo foi modulada. Mais especificamente, o tempo de residência da biomassa nas câmaras de torrefação foi modulado de tal maneira que à medida que as temperaturas de câmara de descarga se elevaram acima de 450°C o tempo de residência nas câmaras de torrefação foi diminuído ao aumentar a taxa na qual a biomassa foi transportada. Adicionalmente, à medida que as temperaturas de descarga das câmaras de torrefação caíram abaixo de 400°C o tempo de residência nas câmaras de torrefação foi aumentado ao reduzir a taxa na qual biomassa era transportada através das câmaras. Por todo o funcionamento sob condições autotérmicas, o tempo de residência médio nas câmaras de torrefação variou de aproximadamente 5 a 7 minutos.

[0063] Todo o material torrado descarregado do dispositivo de torrefação foi resfriado de uma temperatura de cerca de 400°C para temperaturas ambientes com uma combinação de resfriamento indireto em um banho de água e ar por meio de tubulação de aço e alumínio.

[0064] As gravações de temperatura de câmara de torrefação e

invólucro externo para este funcionamento são fornecidas na Tabela 1. Tal como indicado anteriormente, este dispositivo de torrefação particular incluiu 6 câmaras de torrefação. Estas câmaras foram posicionadas lateralmente através da largura do invólucro externo. Como tal as câmaras foram identificadas numericamente como as câmaras 1-6. As câmaras 1 e 6 ficaram mais próximas à parede lateral do invólucro externo, enquanto que as câmaras 3 e 4 foram posicionadas aproximadamente equidistantes do ponto central (por exemplo, 76,20 centímetros (2,5 pés) a partir das paredes laterais internas) da largura do invólucro externo. A câmara 2 foi posicionada entre as câmaras 1 e 3. A câmara 5 foi posicionada entre as câmaras 4 e 6.

[0065] Sob condições autotérmicas, a temperatura de cada uma das câmaras 1, 3 e 5 foi monitorada em três localizações diferentes ao longo do comprimento das câmaras dentro de invólucro. Em particular, a temperatura de cada câmara foi monitorada como se segue: (1) perto da extremidade de descarga (por exemplo, câmara 1 - seção quente); perto do meio da câmara dentro de invólucro (por exemplo, câmara 1 - seção central); e perto da entrada da câmara dentro de invólucro (por exemplo, câmara 1 - frio).

[0066] Além de monitorar as temperaturas de câmara, a temperatura de vapor no invólucro externo foi monitorada de forma similar. Mais especificamente, os vapores no invólucro externo foram monitorados em 6 localizações diferentes, com 3 medições sendo feitas ao longo de uma seção superior do invólucro externo e 3 ao longo da seção inferior. Estas temperaturas foram monitoradas como se segue: (1) perto da entrada do gás de combustão na seção superior do invólucro (por exemplo, invólucro - superior quente); (2) perto da entrada do gás de combustão na seção inferior do invólucro (por exemplo, invólucro - inferior quente); (3) perto da seção superior central (ao longo do comprimento da caixa) do invólucro (por exemplo, invólucro - supe-

rior meio); (4) perto da seção inferior central (ao longo do comprimento da caixa) do invólucro (por exemplo, invólucro - inferior meio); (5) perto da saída do gás de combustão na seção superior do invólucro (por exemplo, invólucro - superior frio); e (6) perto da saída do gás de combustão na seção inferior do invólucro (por exemplo, invólucro - inferior frio).

[0067] Tal como mostrado na Tabela 1, um gradiente de temperatura da extremidade de entrada para a extremidade de descarga de cada câmara está presente. De forma mais importante, entretanto, os dados na Tabela 1 demonstram que temperaturas de torrefação são obtidas e mantidas por diversas horas sem o uso de uma fonte externa de calor. Como tal o calor para torrefação é fornecido pela biomassa propriamente dita. Desta maneira, o dispositivo de torrefação forneceu um meio eficiente de torrar a biomassa em um tempo de residência muito reduzido sob condições autotérmicas. Conseqüentemente, modalidades da presente invenção fornecem um dispositivo de torrefação que torra biomassa não somente sob condições autotérmicas, mas também fornece rendimento aumentado de biomassa por unidade de tempo.

Tabela 1: Dados de Temperatura Durante Condições Autotérmicas

	Câmara 1 (seção fria)	Câmara 3 (seção fria)	Câmara 5 (seção fria)	Câmara 1 (seção central)	Câmara 3 (seção central)	Câmara 5 (seção central)	Câmara 1 (seção quente)	Câmara 3 (seção quente)
HORA	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
9	274	287,1	247,8	295,2	336,3	283,8	373,9	434,3
10	346	363,6	325,1	362	375,6	382	391,6	455
11	344,2	376,2	345,8	394,5	402,4	444,4	400,1	461,8
12	306	334,2	301,2	373,4	391	386,2	398,1	466,2
13	319,6	360,5	333,2	384,4	407,5	452,6	405,1	471,6
14	350,7	386,6	356,3	398,6	434,2	466,6	423,2	497,4
15	291	314,5	301,6	364,2	386,6	444,5	416	480

Tabela 1: Dados de Temperatura Durante Condições Autotérmicas (Continuação)

	Câmara 5 (seção quente)	Invólucro (superior-frio)	Invólucro (inferior-frio)	Invólucro (superior-meio)	Invólucro (inferior-meio)	Invólucro (superior-quente)	Invólucro (inferior-quente)
HORA	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
9	424,8	464,4	410,5	492,8	453,3	524,3	506,9
10	450,2	488,9	448,7	512,5	485,8	540,1	525,9
11	455,5	497,3	457,9	522,5	494,9	541,4	531,1
12	452,8	482,8	441,7	509,6	486,7	537,9	526,1
13	462,1	496,8	451,8	520,4	495,2	550,3	533
14	484,8	530,4	485,6	554	529,6	590,3	571,4
15	484	502,9	458,7	539,8	507,6	581,6	557,9

[0068] Muitas modificações e outras modalidades das invenções expostas neste documento aparecerão na mente dos versados na técnica à qual estas invenções pertencem tendo o benefício dos preceitos apresentados nas descrições anteriores e nos desenhos associados. Portanto, é para ser entendido que as invenções não estão limitadas às modalidades específicas reveladas e que modificações e outras modalidades são pretendidas para estarem incluídas no escopo das reivindicações anexas. Embora termos específicos tenham sido empregados neste documento, eles são usados somente em um sentido genérico e descritivo e não para propósitos de limitação.

## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de torrefação autotérmico **caracterizado pelo fato de que** compreende:

(a) pelo menos uma câmara de torrefação (40), cada câmara incluindo uma entrada de câmara para receber biomassa e pelo menos uma saída de câmara (43);

(b) um alojamento externo definindo um invólucro externo (120) circundando a pelo menos uma câmara de torrefação (40) e incluindo uma entrada de invólucro e uma saída de invólucro, o invólucro externo (120) e a pelo menos uma câmara de torrefação (40) definindo um espaço entre eles; e

(c) uma unidade queimadora (90) incluindo uma entrada conectada operacionalmente à saída de câmara de torrefação (40) e uma saída conectada operacionalmente à entrada de invólucro;

de tal maneira que todos os vapores, incluindo qualquer vapor quente e gases combustíveis derivados da biomassa a partir de dentro da pelo menos uma câmara de torrefação (40) se deslocam diretamente para dentro da unidade queimadora (90) para combustão de todos os gases combustíveis derivados da biomassa e subseqüentemente se deslocam através do espaço entre o invólucro e a pelo menos uma câmara de torrefação (40) para fornecer calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa.

2. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o fluxo de vapores produzidos ou liberados de dentro da pelo menos uma câmara de torrefação (40) se desloca em uma primeira direção para a unidade queimadora (90) para combustão de pelo menos uma parte dos vapores e subseqüentemente se desloca através do espaço entre o invólucro e a pelo menos uma câmara de torrefação (40) em uma segunda direção sendo oposta à primeira direção.

3. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o fluxo de vapores produzidos ou liberados de dentro da pelo menos uma câmara de torrefação (40) se desloca na mesma direção que os vapores se deslocando através do espaço entre o invólucro e a pelo menos uma câmara de torrefação (40).

4. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um dispositivo de manuseio de material para transportar biomassa da entrada de câmara para a saída de câmara (43).

5. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de manuseio de material compreende um transportador de parafuso.

6. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo é móvel.

7. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a pelo menos uma câmara de torrefação (40) compreende um conduto.

8. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende um trocador de calor direto ou indireto localizado de tal maneira que os vapores saindo pela saída de invólucro entram no trocador de calor e preaquecem biomassa nova antes de a biomassa entrar na câmara de torrefação (40).

9. Dispositivo de torrefação autotérmico, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende pelo menos um moinho de péletes ou briquetes conectado operacionalmente à saída de câmara (43) de tal maneira que biomassa torrada saindo da câmara de torrefação (40) é peletizada, briquetada ou densificada de outro modo.

10. Processo de torrefação autotérmico de biomassa **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de:

(a) aquecer indiretamente biomassa e ar circundando a biomassa dentro de pelo menos uma câmara de torrefação (40) através de paredes da pelo menos uma câmara de torrefação (40) para uma temperatura suficiente para produzir biomassa torrada;

(b) permitir ou arrastar todos os vapores, incluindo qualquer vapor quente e gases combustíveis derivados a partir de dentro da pelo menos uma câmara de torrefação (40) para dentro de uma unidade queimadora (90);

(c) queimar todos os gases combustíveis derivados a partir da biomassa na unidade queimadora (90); e

(d) passar o vapor quente e os gases queimados a partir da etapa (c) através de um espaço dentro de invólucro localizado entre e definido por meio da pelo menos uma câmara de torrefação (40) e um alojamento externo circundando pelo menos uma câmara de torrefação (40), em que os vapores, incluindo qualquer vapor quente e gases combustíveis derivados da biomassa, fornecem calor necessário para torrefação autotérmica de biomassa dentro da câmara de torrefação (40).

11. Processo, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende o pré-aquecer a biomassa e regular o fornecimento da biomassa preaquecida para dentro da pelo menos uma câmara de torrefação (40), em que a biomassa nova é preaquecida por meio de transferência de calor direta ou indireta a partir de vapores de escape saindo do espaço dentro de invólucro.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** aquecer indiretamente a biomassa e os gases circundando a biomassa compreende aquecer os gases de 300°C a 500°C de maneira que uma parte da biomassa é pirolisada.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** a biomassa é aquecida de 300°C a 400°C.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende transportar continuamente a biomassa através da pelo menos uma câmara de torrefação (40) de maneira que a biomassa é torrada em não mais que 10 minutos.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** uma diferença de temperatura entre a biomassa torrada em uma extremidade de descarga da pelo menos uma câmara de torrefação (40) e os vapores atravessando o espaço dentro de invólucro em uma posição próxima da extremidade de descarga da pelo menos uma câmara de torrefação (40) compreende de 280°C a 320°C.

16. Processo, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** os vapores atravessam o espaço dentro de invólucro e entram no espaço dentro de invólucro em uma temperatura de 290°C a 310°C mais quente que a biomassa saindo da pelo menos uma câmara de torrefação (40).

17. Método para aumentar a efetividade de custo de usar biomassa torrada como um combustível **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de:

(a) fornecer pelo menos um dispositivo de torrefação autotérmico em um ponto de operação sendo separado de uma usina de energia;

(b) carregar biomassa localizada no ponto de operação para o dispositivo de torrefação autotérmico; e

(c) converter a biomassa localizada no ponto de operação em biomassa torrada.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo fato de que** o dispositivo de torrefação autotérmico é mó-

vel.

19. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado pelo fato de que** o ponto de operação compreende um ponto de coleta tendo uma fonte de biomassa compreendendo um campo, uma fazenda, ou uma floresta.

20. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado pelo fato de que** a biomassa compreende material orgânico baseado em celulose.

21. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado pelo fato de que** a biomassa compreende dejetos de animal.

22. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado pelo fato de que** o ponto de operação compreende mais de um campo fora do local de operação incluindo biomassa para torrefação.

23. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende a peletização de pelo menos parte da biomassa torrada.

24. Método, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado pelo fato de que** a biomassa torrada é peletizada no campo fora do local de operação.

25. Método, de acordo com a reivindicação 24, **caracterizado pelo fato de que** a biomassa torrada é peletizada parcialmente no campo fora do local de operação e transportada para uma segunda localização para peletização completa.

26. Método, de acordo com a reivindicação 24, **caracterizado pelo fato de que** a biomassa torrada é transportada para uma segunda localização para peletização.

27. Processo para produzir péletes de biomassa torrada **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de:

(a) converter biomassa não tratada em biomassa torrada em um ponto de coleta; e

(b) peletizar a biomassa torrada no mesmo ponto de coleta.

28. Processo, de acordo com a reivindicação 27, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de peletização compreende carregar pelo menos um moinho de péletes com biomassa torrada tendo uma temperatura variando de 250°C a 300°C.

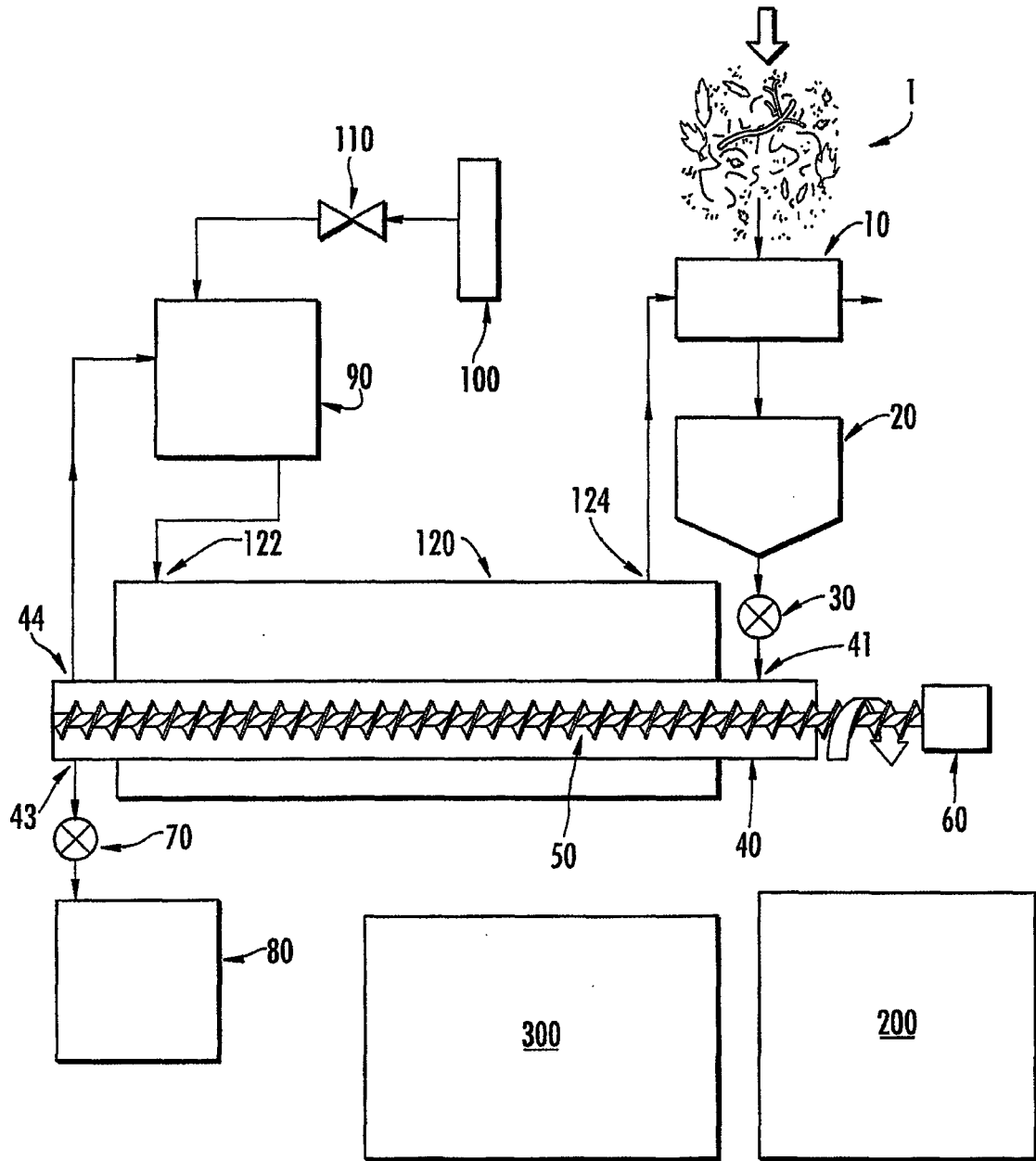


FIG. 1

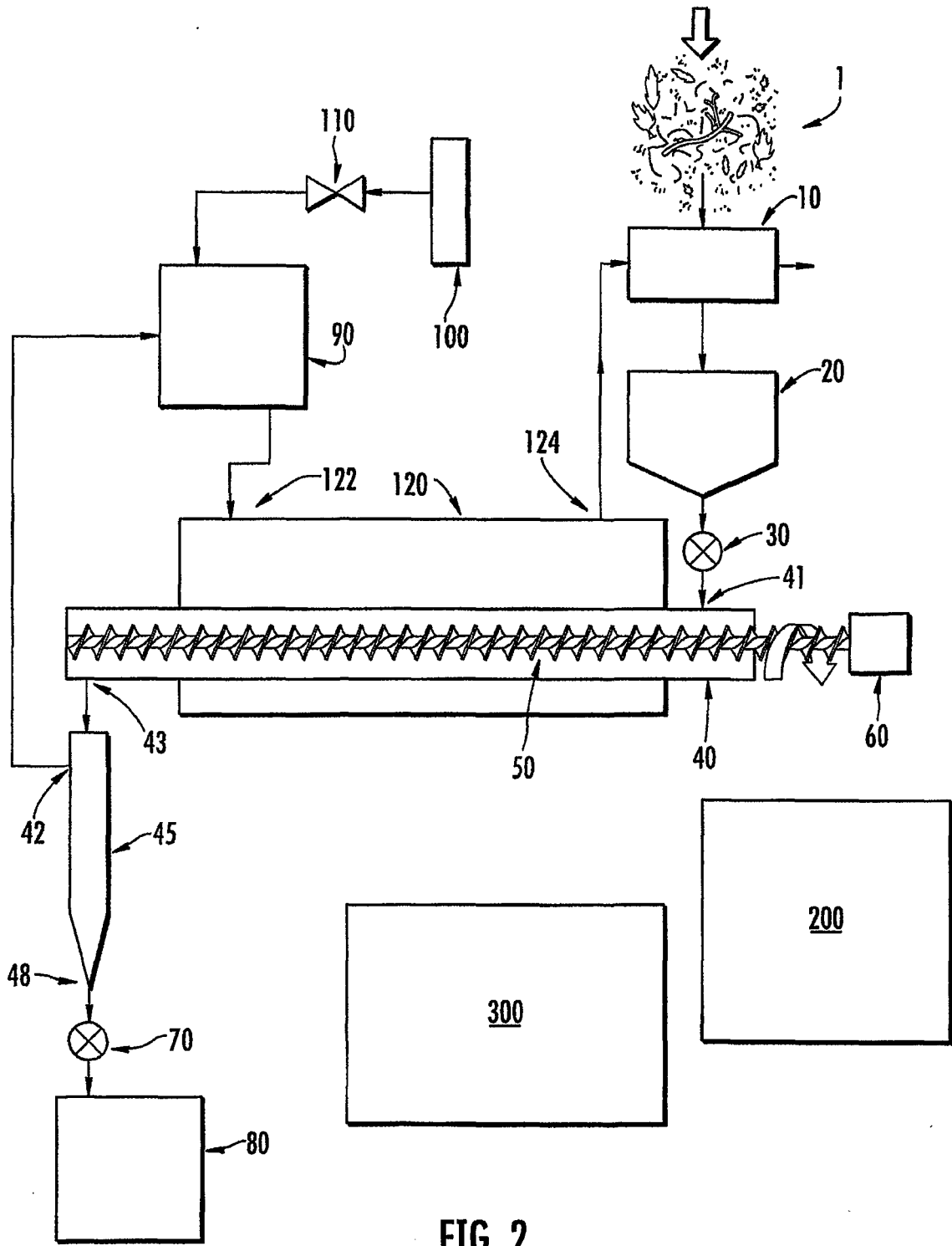


FIG. 2

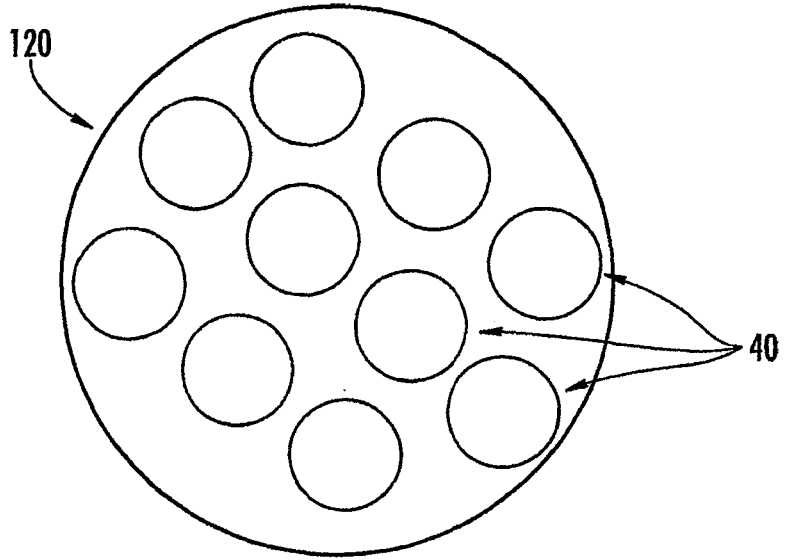


FIG. 3

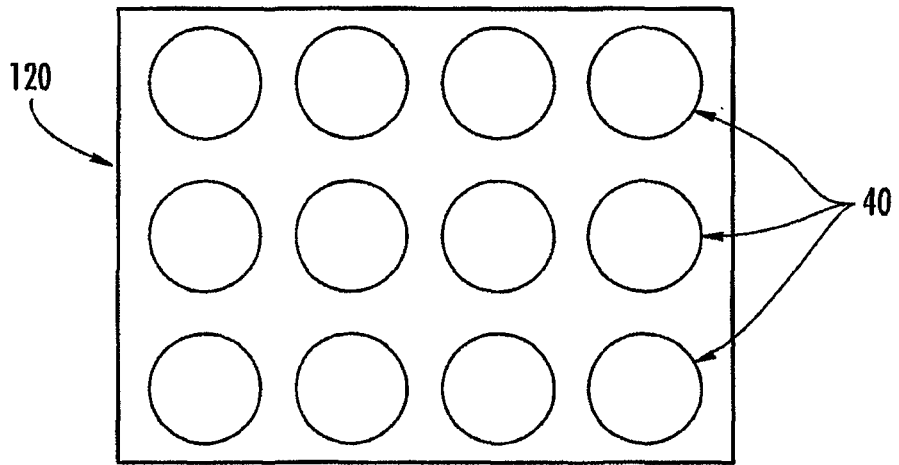


FIG. 4

FIG. 5

