



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

(11) PI 0708745-4 B1



(22) Data do Depósito: 12/03/2007

(45) Data de Concessão: 07/05/2019

(54) Título: PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE MICROPÓ A PARTIR DE UMA BIOMASSA CELULÓSICA POR DIGESTÃO ENZIMÁTICA OU COMBUSTÃO DIRETA

(51) Int.Cl.: B02C 15/14; B02C 18/14.

(30) Prioridade Unionista: 10/03/2006 US 60/781,429.

(73) Titular(es): BIOMASS CONVERSIONS LLC.

(72) Inventor(es): SEIJI HATA.

(86) Pedido PCT: PCT US2007063797 de 12/03/2007

(87) Publicação PCT: WO 2007/106773 de 20/09/2007

(85) Data do Início da Fase Nacional: 10/09/2008

(57) Resumo: SISTEMA PERTURBADOR PARA MATERIAIS CELULÓSICOS SECOS. A presente invenção refere-se a uma biomassa celulósica que é reduzida a um micropó com partículas tendo diâmetros médios abaixo de 5 a 10 micrômetros com uma fração significativa das partículas tendo diâmetros abaixo de 1 micrômetro. Uma biomassa (por exemplo, madeira, resíduo agrícola ou outros materiais de planta) é primeiramente processada em pedaços tendo um diâmetro máximo em torno de 10 mm. Isto então é seco para redução de seu teor de água para não mais do que em torno de 15% em peso e é introduzido em um perturbador, o qual reduz o tamanho de partículas para em torno de 1 mm. Em seguida, a biomassa é processada com um moinho de discos em que as bordas de discos rotativos viajam ao longo de um sulco pressionando e comprimindo a biomassa, desse modo rompendo os pedaços de biomassa em partículas cada vez menores. O micropó resultante é extremamente suscetível à hidrólise enzimática ou química em açúcares constituintes. Além disso, o micropó pode ser suspenso em uma corrente de ar e queimado diretamente para a provisão de calor para caldeiras e dispositivos similares.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE MICROPÓ A PARTIR DE UMA BIOMASSA CELULÓSICA POR DIGESTÃO ENZIMÁTICA OU COMBUSTÃO DIRETA".**

Referência Cruzada a Pedidos Relacionados

[001] Este pedido é baseado em e reivindica prioridade a partir de e benefícios do Pedido de Patente Provisória N° 60/781.429, depositado em 10 de março de 2006, cujo pedido é incorporado aqui por referência até a mais plena extensão permitida pelas leis e pelos regulamentos aplicáveis.

Suporte do Governo dos Estados Unidos

[002] Não Aplicável.

Antecedentes

Área da Técnica

[003] O pedido concerne a um dispositivo e a um método para redução de materiais de planta celulósicos para partículas de micrômetro e submicrômetro, os quais são ideais para hidrólise enzimática ou química em açúcares ou para combustão direta.

Descrição da Técnica Relacionada

[004] Pelas últimas várias décadas, houve repetidos avisos concernentes a faltas de energia. O padrão geral tem sido que os preços de energia tenham picos agudos, resultando em uma retração econômica, o que temporariamente retira as pressões dos suprimentos de energia. Ao mesmo tempo, medidas de conservação de energia sem entusiasmo são estabelecidas. Isto resulta em uma queda nos preços de energia, de modo que o consumo crescente é retomado e a conservação de energia e o planejamento de energia de longa duração são completamente esquecidos. Não obstante, os suprimentos de energia são finitos. As melhores estimativas são que os suprimentos de óleo tenham sua maior porção esgotada em opcionalmente quaren-

ta anos. Mesmo com a descoberta de novos campos de óleo e uma recuperação melhorada dos campos existentes, esta estimativa tem pouquíssima probabilidade de ser aumentada mesmo duas vezes para oitenta anos. Assim, excluindo-se melhoramentos drásticos na eficiência ou esforços de conservação tremendos, alguns indivíduos vivos que vivem agora quase com certeza verão o fim do mundo movido a petróleo, exatamente como nossos ancestrais, não há muitas gerações atrás, viram o fim de uma tecnologia movida a cavalo. Alguns puseram suas esperanças na energia nuclear. Infelizmente, o suprimento de combustível nuclear também é limitado, particularmente considerando-se os reatores nucleares ineficientes em uso hoje. Mais ainda, o problema de resíduo nuclear é tão crítico que nossa civilização não poderia depender com segurança da energia nuclear, mesmo se o suprimento de combustível fosse ilimitado.

[005] O cenário para outros combustíveis fósseis populares não é muito mais brilhante do que aquele para o óleo. É estimado que suprimentos de gás natural atuais sejam exauridos por volta de sessenta anos. Mesmo se o tempo estimado for dobrado, pareceria que a dependência de disseminação ampla de gás natural terminaria em não mais do que cento e vinte anos. O carvão é talvez o combustível fóssil mais abundante; pensa-se que há um suprimento de pelo menos 200 anos. Isto significa que, a menos que tecnologias de energia alternativa sejam desenvolvidas logo, nossa civilização se tornará inteiramente dependente do carvão nos próximos cinquenta a cem anos. Ainda, o carvão é o combustível fóssil que foi desenvolvido mais cedo e foi largamente suplantado pelo óleo e pelo gás natural, porque a combustão de carvão é suja e deixa grandes volumes de cinzas. Para não mencionar os custos ambientais terríveis de mineração de carvão.

[006] Contudo, provavelmente não é uma falta de carvão que tornará necessário o abandono do uso do carvão. Ao invés disso, serão

as conseqüências ambientais de liberação continuada de dióxido de carbono fóssil para a atmosfera. Este problema, freqüentemente denominado de aquecimento global, resulta da combustão de qualquer combustível fóssil. É justo que o óleo provavelmente seja exaurido antes da crise plena do problema ser sentida. O aquecimento global provavelmente não é um bom termo, porque, embora as temperaturas globais gerais estejam aumentando, devido ao dióxido de carbono atmosférico em excesso, o problema real não é o aquecimento em si, e sim a drástica mudança climática. O clima da Terra está sempre mudando – em um momento mais rapidamente do que em outros momentos. Por exemplo, durante a mudança climática drástica relativamente recente que ocorreu no fim da era do gelo, a mudança climática foi suficientemente lenta para que os organismos vivos pudessem se ajustar ao novo clima ou se mudar para um clima mais propício. Assim, conforme as geleiras se retraíram e as temperaturas se aqueceram, espécies "árticas" adaptadas ao frio se moveram para o norte ou para elevações maiores. Há toda indicação que as mudanças climáticas resultantes da queima de combustível fósseis serão rápidas demais para que os organismos vivos sejam realocados. O resultado será uma perda extrema de espécies e diversidade biológica geral, com uma taxa de extinção de espécies muito mais alta do que a taxa de extinção já alta causada pela disseminação de nossa civilização.

[007] Até certas fontes de energia novas, tal como a fusão, serem perfeitas, a melhor resposta à charada da energia seria uma conservação grandemente aumentada acoplada ao uso exclusivo de fontes de energia renováveis. A maior parte da energia no nosso planeta vem, finalmente, do sol. Portanto, a energia solar na forma de eletricidade fotovoltaica e aquecimento solar é ideal. Contudo, a energia solar não pode satisfazer a todas as nossas necessidades. A potência hidroelétrica e a potência gerada por vento são duas outras formas de

energia baseadas no sol renovável. Nenhuma dessas fontes de potência resulta em mudanças no dióxido de carbono atmosférico. A energia de biomassa (isto é, madeira e outros materiais de planta) pode ser o complemento ideal para a energia solar. Isto pode parecer surpreendente, porque a energia de biomassa normalmente é obtida através da combustão da biomassa, e tal combustão libera dióxido de carbono para a atmosfera. Contudo, a biomassa é renovável. Se plantações de vegetais forem deixadas crescer para a produção de biomassa, o dióxido de carbono liberado rapidamente será seqüestrado no novo material de planta. Assim, o dióxido de carbono é usado cada vez mais, e o nível total de dióxido de carbono atmosférico não continuará a aumentar, como com queima de combustíveis fósseis. O problema real é como integrar a energia de biomassa na nossa economia. Presentemente, há uma falta notável de trens de corrente de queima de madeira e automóveis de queima de madeira. Tampouco a combustão direta de biomassa em plantas de potência particularmente é viável, porque nossos sistemas de geração elétrica são adaptados ao uso de óleo ou gás natural ou mesmo carvão pulverizado.

[008] Houve um esforço considerável para a produção de um combustível líquido (etanol primário) a partir de biomassa. Isto envolve a fermentação de açúcares derivados diretamente de produtos de planta ou indiretamente da digestão de biomassa celulósica. A tecnologia para fermentação de açúcares derivados diretamente é bem estabelecida. Infelizmente, a maior fonte potencial de energia está na biomassa celulósica. A conversão de celulose em açúcar fermentável é difícil e, no presente, não terrivelmente eficiente. Tipicamente, as enzimas ou os ácidos são usados para hidrólise da biomassa celulósica em açúcares fermentáveis. Um pré-tratamento mecânico adequado da biomassa é essencial. Em alguns processos, a biomassa é quimicamente pré-tratada e, então, "explodida" por rápidas mudanças na tem-

peratura e na pressão. Tais processos podem criar grandes quantidades de resíduo químico perigoso. Outros processos cozinham lascas de madeira em ácido em dispositivos como aqueles usados para a produção de polpa de madeira para a fabricação de papel. Até agora, nenhuma dessas abordagens provou ser altamente bem-sucedida.

[009] O inventor acredita que a maioria dos problemas da presente tecnologia pode ser resolvida pela redução da biomassa em partículas suficientemente pequenas. O inventor descobriu que essas partículas (denominadas micropó celulósico) podem ser prontamente hidrolisadas em açúcares e outros monômeros orgânicos por meio de enzimas ou por meio de hidrólise química. Provavelmente, devido ao tamanho muito pequeno da partícula, as enzimas hidrolíticas são bem mais eficazes do que elas são sobre a biomassa celulósica preparada de outras formas. Mais ainda, o micropó preparado de acordo com a presente invenção pode ser prontamente queimado com um injetor tipo de aspersão não completamente como um fluido líquido. A chave é preparar partículas de micropó extremamente finas e uniformes.

[0010] Há uma variedade de dispositivos pequenos (geralmente denominados "moinhos") que é usada para a desintegração de amostras pequenas de uma variedade de materiais orgânicos e inorgânicos. Por exemplo, um moinho de corte que usa bordas afiadas rotativas pode reduzir muitos materiais para uma faixa de tamanho de 200 μm . Um moinho batedor de pás adiciona uma ação de esmagamento ao corte, para redução adicional dos materiais processados para a faixa de tamanho de 100 μm . Moinhos batedores de rotor, de centrífuga de rotor e de disco de vibração podem reduzir adicionalmente muitos materiais para a faixa de 50 μm . Em comparação com a biomassa, os metais têm uma estrutura de cristal, de modo que mesmo partículas pequenas são muito fortes. Não obstante, o moinho de esferas, uma máquina industrial popular, é capaz de despedaçar a estrutura de cris-

tal de partículas de metal em subpartículas menores a uma faixa de tamanho de 5 μm (ou mesmo ligeiramente menor). Contudo, o moinho de esferas típico geralmente não funciona bem em materiais de fibra de biomassa, talvez porque a biomassa é resiliente e geralmente não se comporta de uma maneira cristalina. Não obstante a isto, um moinho de esferas com esferas muito pequenas é capaz de obter alguma desintegração limitada de fibras de biomassa. Contudo, nenhum destes dispositivos da técnica anterior é prático em uma escala industrial. As quantidades de material processado tipicamente são de uns poucos gramas a umas poucas centenas de gramas. Mais ainda, muitos dispositivos que dependem de "corte" empregam bordas afiadas que rapidamente se tornam cegas por tentativas de processamento de grandes volumes de material.

[0011] O inventor anteriormente desenvolveu um sistema para redução de biomassa para micropó usando uma combinação de força mecânica e adição de água (veja o WO/2002/057317). O micropó produzido por aquele método é prontamente hidrolisável em açúcares fermentáveis através da ação de enzimas. Contudo, esse processo requer uma adição e remoção repetidas de água e uma agitação mecânica prolongada, o que aumentou o gasto de energia necessário para a produção do micropó. Embora o orçamento de energia geral daquele processo tenha sido positivo, o inventor continuou a trabalhar no problema, até o método melhorado de produção de micropó mostrado aqui ser aperfeiçoado.

Descrição das Figuras

[0012] A figura 1 mostra um desintegrador usado para redução da biomassa para partículas de dimensão de milímetro.

[0013] A figura 2 mostra um diagrama de um moinho de discos rotativos, conforme visto a partir de cima.

[0014] A figura 3 mostra uma vista lateral diagramática do disposi-

tivo da figura 2.

[0015] A figura 4 mostra uma vista lateral do exterior do dispositivo da figura 2.

[0016] A figura 5 mostra uma representação diagramática de uma segunda modalidade do moinho de discos visto a partir de cima.

[0017] A figura 6 é uma vista diagramática da modalidade da figura 5 vista a partir da lateral.

[0018] A figura 7 é uma vista diagramática de uma seção transversal da modalidade da figura 5, tomada ao longo da linha 7-7 na figura 6.

[0019] A figura 8 é um diagrama do disco usado na modalidade da figura 5, a figura 5 mostrando extensões de borda.

[0020] A figura 9 é uma seção transversal do disco mostrado na figura 8.

[0021] A figura 10 é uma imagem de SEM de polpa de madeira a partir de uma árvore dicotiledônea para ilustração do elemento de polpa de madeira; as barras de micrômetro mostram que a magnificação das imagens aumenta da figura 10A para a figura 10D.

[0022] A figura 11 é uma imagem de SEM de polpa de papel de kenaf (*Hibiscus cannabinus*) produzida por um sistema de desintegração de explosão; as barras de micrômetro mostram que a magnificação das imagens aumenta da figura 11A para a figura 11D.

[0023] A figura 12 é uma imagem de SEM de um micropó de madeira a partir de uma árvore conífera (*Larix kaempferi*) produzida de acordo com o método inventivo; as barras de micrômetro mostram que a magnificação das imagens aumenta da figura 12A para a figura 12D.

[0024] A figura 13 é uma imagem de SEM de micropó de madeira de kenaf (*Hibiscus cannabinus*) produzida de acordo com o método inventivo; as barras de micrômetro mostram que a magnificação das imagens aumenta da figura 12A para a figura 12D.

[0025] A figura 14 mostra um diagrama de um sistema de combustão baseado no micropó.

Descrição Detalhada da Invenção

[0026] A descrição a seguir é provida para se permitir que uma pessoa versada na técnica faça e use a invenção e estabeleça os melhores modos contemplados pelo inventor de realização desta invenção. Várias modificações, contudo, permanecerão prontamente evidentes para aqueles versados na técnica, uma vez que os princípios gerais da presente invenção foram definidos aqui especificamente para a provisão de um aparelho e de um processo mecânico essencialmente melhorado para pré-tratamento de uma variedade de tipos de biomassa celulósica para a produção de um micropó, o qual é prontamente hidrolisável e prontamente suscetível a uma combustão.

[0027] O presente inventor inesperadamente descobriu um novo método mecânico a seco de desintegração de biomassa celulósica para partículas extremamente pequenas que prontamente sofrem hidrólise enzimática ou outra química, bem como oxidação (combustão). Uma biomassa de planta consiste primariamente em paredes de célula celulósica. Em geral, a biomassa celulósica não pode ser prontamente dissolvida em qualquer solvente. A estrutura paracristalina da celulose e a estrutura compósita formada pela "cimentação" de lignina em torno da celulose são as principais razões para esta insolubilidade. Contudo, a biomassa pode ser quebrada através de uma biodegradação lenta que envolve fermentação e oxidação. A maioria destas reações de biodegradação opera em uma fase de sólido-líquido na superfície da biomassa.

[0028] A biomassa de planta, tal como de madeira, há muito tem sido usada para fazer papel, enquanto outras formas de biomassa têm sido usadas para a produção de fibras (têxteis). A produção de papel envolve a extração por meio de processos industriais que usam produ-

tos químicos e grandes quantidades de água. O cimento natural (lame-la média) entre as paredes de célula de células de madeira é quimicamente dissolvido, e as paredes de célula enredadas (fibras) são postas em suspensão em água para a formação de uma pasta de polpa de madeira. No caso de têxteis, as paredes de célula individuais (fibras) são principalmente separadas e não afixadas umas às outras, de modo que um processamento complexo não é requerido. (Contudo, a produção de linho, por exemplo, requer um processo de digestão usualmente denominado "maceração". Devido ao fato de a celulose ser essencialmente insolúvel em água, as fibras são estáveis em água. Contudo, essas fibras de planta realmente absorvem água e incham até certo grau. Após um inchamento, a biomassa geralmente pode ser seca para retornar para seu formato original. Geralmente, acreditava-se que processos mecânicos não são capazes de reduzir a biomassa celulósica muito abaixo do nível de paredes de célula individuais, embora uma desintegração mecânica possa fragmentar as fibras individuais (isto é, as paredes de célula) até certo grau.

[0029] Um processo em escala industrial é necessário, no qual um processo simples reduz mais a biomassa celulósica para um micropó. O processo original do inventor envolvia a adição e a remoção repetidas de água. A biomassa celulósica, especialmente em plantas vivas, é hidratada. Todas as células vivas têm um alto teor de água, e em plantas vivas as paredes de muitas células não vivas são usadas como condutos para água, garantindo mais que a biomassa permaneça hidratada. No processo prévio, era necessário remover primeiramente a água em excesso e, então, fazer a adição e a remoção de água em ciclos.

[0030] O processo melhorado começa com uma desintegração mecânica inicial de biomassa celulósica. Um maquinário de picar e moer similar ou idêntico àquele usado nos processos anteriores é usa-

do para o processamento inicial. Foi descoberto que é vantajoso reduzir a biomassa para partículas tendo um diâmetro médio máximo em torno de 1 mm. Conforme será explicado, isto é feito convenientemente em estágios. Contudo, não há uma exigência de uso das etapas exatas ou do aparelho descritos. Qualquer procedimento que reduza a biomassa para partículas de em torno de 1 mm de diâmetro funcionará. Embora o processamento inicial possa ocorrer em uma biomassa "nativa" (isto é, úmida), foi descoberto que o maquinário atualmente sendo usado opera mais rapidamente e de forma mais eficiente em uma biomassa que contenha um nível reduzido de água. Devido ao fato de as etapas posteriores do processo requererem uma biomassa com um nível reduzido de umidade, é conveniente secar a biomassa como uma primeira etapa ou, pelo menos, após a biomassa ter sido reduzida para partículas de em torno de 5 a 10 mm de diâmetro. A primeira etapa do novo processo de desintegração é reduzir o tamanho dos pedaços de biomassa para em torno de 5 a 10 mm de diâmetro pelo uso de um picador ou formador de lascas ou um outro dispositivo mecânico apropriado. As partículas de partida têm teores de água em torno de 20 e em torno de 80% em peso. Antes de uma desintegração adicional poder prosseguir eficientemente, as partículas devem ser secas até seu teor de água ser menor do que em torno de 15% em peso. A secagem é obtida por métodos padronizados. Nos exemplos apresentados aqui, o material de planta (pedaços de 5 a 10 mm) foi aquecido para pelo menos em torno de 80°C, para se garantir uma secagem rápida. Será apreciado por aqueles versados na técnica que outros métodos de secagem menos intensivos em termos de energia podem ser empregados também. Energia solar ou calor industrial de perda pode ser usado para a secagem da biomassa.

[0031] No processo de desintegração anterior do inventor, a adição de água era usada para enfraquecer as ligações de hidrogênio

mantendo juntos os polímeros de polissacarídeo que formavam a biomassa. Neste novo método de secagem, a abordagem oposta é utilizada; uma remoção de água aumenta a rigidez da biomassa, de modo que uma desintegração mecânica seja mais eficaz. A etapa central do processo se baseia em uma peça especial de equipamento denominada o microdesintegrador, o qual foi otimizado para uma produção de pó de submicrômetro. O processo total a partir de madeira (por exemplo) até um micropó inclui as etapas a seguir: (1) coleta de matéria-prima; (2) transporte da matéria-prima; (3) redução para uma escala de 5 a 10 mm (picar e nivelar /formar lascas); (4) secagem (pode ocorrer antes de picar e formar lascas); (5) desintegração para partículas de tamanho de milímetro; (6) redução com moinho de discos para um tamanho de partículas de 100 micrômetros e abaixo, com classificação de tamanho de partículas; e (7) tratamento com microdesintegrador/misturador para a produção de um micropó de micrômetro e submicrômetro.

[0032] Um picador ou formador de lascas plano comercial é usado para redução da biomassa para uma escala de 5 a 10 mm. Estes dispositivos são amplamente usados para se formarem lascas de madeira e escovar e, geralmente, incluem uma ou mais bordas de corte em um eixo rotativo. Os dispositivos usualmente têm algum tipo de tela ou peneira, de modo que grandes pedaços de biomassa possam ser adicionalmente processados, enquanto os pedaços menores caem através dali. Geralmente, uma tela ou peneira que produz pedaços com uma dimensão máxima em torno de 3 a 5 mm é ótima. Conforme já mencionado, o material a ser picado pode ser seco primeiramente, ou ele pode ser seco após picar/nivelar. Uma secagem é realizada vantajosamente a uma temperatura geralmente em torno de 80°C ou mais alta, embora uma secagem a uma temperatura mais baixa por um tempo mais longo seja perfeitamente viável. Foi descoberto que o pro-

cesso de planificação – picar é mais eficiente em material seco; 25 kg de biomassa adequadamente seca podem ser picados em 10 minutos ou menos, enquanto a mesma quantidade de biomassa úmida pode requerer uma hora ou mais para ser picada adequadamente.

[0033] É vantajoso reduzir a biomassa lascada para partículas tendo uma escala em torno de 1 mm. Uma ampla variedade de dispositivos de moagem está disponível para a obtenção desta finalidade. O inventor descobriu ser eficaz utilizar um desintegrador que ele desenvolveu para seu processo anterior. No dispositivo desintegrador 30 da figura 1, uma pluralidade de eixos de contra-rotação 36 (aqui dois) porta pás rígidas 38 que são espaçadas de modo que elas entrem em contato relativamente próximo (uma folga em torno de 1 cm) durante uma rotação. Os eixos 36 são orientados horizontalmente e são dispostos próximos do fundo do recipiente tipo de tremonha 32. Os eixos 36 são contra-rodados por motores 34 (apenas um mostrado) a uma velocidade de umas poucas centenas de RPM ou menos. A biomassa é alimentada para o dispositivo e desintegrada pelas pás. Usando-se um dispositivo como esse, 25 kg de biomassa podem ser reduzidos de um tamanho de partícula ou em torno de 3 a 5 mm para um tamanho de partícula de menos de 1 mm em 60 min ou menos.

[0034] O processo inventivo então usa um moinho de discos e um microdesintegrador/misturador para redução da biomassa para partículas de um micrômetro para a escala de submicrômetro. O moinho de discos é eficaz na redução rápida da biomassa de uma escala de exatamente menos que 1 mm para uma escala em torno de 100 μm . O microdesintegrador/misturador pode reduzir eficientemente as partículas de 100 μm para a escala final de micrômetro para submicrômetro. Será apreciado que, se o moinho de discos for operado por um tempo muito longo, poderá reduzir a biomassa para partículas menores do que 100 μm ; contudo, pelo movimento do material de um tipo de apa-

relho para um outro, é possível produzir um micropó mais rapidamente com um gasto menor de energia.

[0035] O teor de água preciso das partículas é importante no processo geral. Conforme explicado abaixo, uma versão do moinho de discos é particularmente sensível ao excesso de água. O dispositivo de moinho de discos contém discos rotativos os quais dispersam as partículas de biomassa seca, conforme elas forem adicionadas. A borda de disco a qual interage com as partículas não tem que ser afiada, porque nenhum corte real das partículas ocorre. Ao invés disso, as partículas são repetidamente prensadas ou comprimidas (cisalhadas), conforme elas contatarem os discos rotativos de desintegrador do moinho de discos. A prensagem ou compressão gradualmente rompe as partículas em estruturas cada vez menores, as quais são mantidas separadas de cada outra pela agitação constante dos discos rotativos. Inicialmente, as fibras individuais (paredes de célula) se tornam separadas. Então, as paredes de célula são rompidas em partículas cada vez menores. A parede de célula é composta principalmente por microfibrilas de celulose complexadas com hemicelulose e lignina. Mais provavelmente, a flexão e a compressão repetidas das partículas pelos discos resultam em separações ao longo das zonas de fraqueza na junção dos subcomponentes de celulose, hemicelulose e lignina da biomassa. Conforme as partículas da biomassa se tornam cada vez menores, uma evaporação a partir da área superficial grandemente aumentada é melhorada, de modo que pouco ou nenhum calor adicional seja necessário para se efetuar uma secagem ótima.

[0036] Após a biomassa ter sido tratada com o moinho de discos, ela experimenta um tratamento final com o microdesintegrador/misturador. Esta unidade é como uma versão em miniatura do desintegrador descrito na figura 1. O dispositivo ilustrado tem em torno de 53 cm por 90 cm e 100 cm ao longo do eixo com motores de 2 kW.

O diâmetro medido de acordo com as lâminas ou pás é de em torno de 35 cm. O microdesintegrador/misturador tem apenas 50 cm ao longo do eixo geométrico e é proporcionado de modo conforme, mas, por causa da velocidade mais alta, usa motores de 3,7 kW. No desintegrador/misturador, dois eixos de rotação espaçados portando pás interestopadas rodam a altas velocidades em direções opostas em um invólucro. Os eixos são capazes de rodarem a 12.000 RPM, embora o atrito causado pelas partículas de biomassa geralmente reduza a taxa prática de rotação para 4.000 RPM ou menos (mas pelo menos vários milhares de RPM). As partículas são postas em suspensão em ar pela rotação e a rotação de compensação tensiona e rasga as partículas separando-as e desagrega as partículas que tiverem se tornado aglomeradas no moinho de discos. Neste estágio final, as partículas são reduzidas para o tamanho de micrômetro único ou submicrômetro. Um microdesintegrador/misturador pode processar 25 kg de partículas de 100 µm a partir do moinho de discos em partículas de um micropó tendo uma escala de micrômetro – submicrômetro em 60 a 120 minutos.

[0037] O produto final do processamento é um micropó. Por micropó se quer dizer uma biomassa em pó, onde as partículas têm um tamanho médio de não mais do que em torno de 2 a 3 µm, mas com uma proporção significativa de partículas de submicrômetro. Será entendido que os tempos de processamento médios mencionados abaixo produzem um micropó com estas características. Uma classificação (isto é, uma classificação por tamanho) do micropó permite que partículas maiores recebam um processamento adicional, desse modo se produzindo uma proporção maior de partículas de submicrômetro. Os usos do micropó incluem digestão enzimática para a produção de açúcares (geralmente seguida por uma fermentação para álcool) ou combustão direta. O micropó com um tamanho de partículas médio de 2 a 3 µm é adequado para essas aplicações, mas, em alguns processos,

pode ser uma vantagem usar um micropó tendo uma proporção maior de partículas de submicrômetro. O aumento no tempo de processamento, particularmente no microdesintegrador/misturador, aumenta a proporção de partículas de submicrômetro. Será apreciado que um processamento adicional para a produção de uma proporção maior de partículas de submicrômetro requer mais tempo e energia. Uma análise de custo – benefício pode determinar a faixa ótima de tamanho de micropó para cada uso em particular.

[0038] O inventor produziu duas versões diferentes do disco. O primeiro dispositivo não foi pretendido como um dispositivo prontamente escalonável, ao passo que o segundo dispositivo foi pretendido como um dispositivo escalonável e um protótipo para produção de micropó em escala industrial. Subseqüentemente, foi descoberto que os resultados mais expeditos são obtidos por pré-processamento usando-se o segundo dispositivo, seguido por um tratamento de moinho de discos final com um dispositivo do primeiro tipo. Isto é, uma desintegração ótima pode ser obtida por um dispositivo do primeiro tipo, mas a produção geral é relativamente baixa. A produção de um dispositivo do segundo tipo é melhor, mas gastam-se tempos de processamento excessivos para a obtenção de uma proporção grande de partículas de submicrômetro no micropó. Contudo, pelo processamento da saída do dispositivo do segundo tipo com o dispositivo do primeiro tipo, um micropó tendo uma proporção significativa de partículas de submicrômetro pode ser obtido de forma pronta e eficiente. A substituição do primeiro tratamento de moinho de discos por um tratamento de desintegrador também provou ser expedito. No presente momento, o uso do desintegrador seguido pelo moinho de discos do primeiro tipo é o arranjo preferido.

[0039] Pelo exame das estruturas destes dispositivos diferentes, os princípios de operação e os parâmetros da invenção tornar-se-ão

evidentes. A figura 2 mostra um diagrama de um microdesintegrador baseado em disco rotativo, conforme visto a partir de cima. Neste dispositivo, um sistema de braço em formato de "X" duplo 22 (isto é, quatro segmentos de braço separados) é acoplado a um eixo ou eixo central 24, de modo que o sistema de braço 22 possa rodar em torno do centro. O sistema de braço em X 22 é uma estrutura conveniente, mas será evidente para alguém versado na técnica que qualquer membro (um braço ou disco, por exemplo) disposto para rodar em torno do centro pode ser substituído pelo sistema de braço em X 22. Cada um dos braços 26 porta dois discos rotativos. Conforme visto na figura 3, cada disco 28 é conectado a um eixo horizontal 32, cada um dos quais sendo suportado por um par de suportes 42 pendentes a partir de um dos braços 26. Cada disco 28 é alinhado de modo que role ao longo do fundo de um dos quatro sulcos concêntricos em formato de V 37 que ocupam o fundo de um invólucro 39 que contém o braço em X 22. Os quatro trilhos concêntricos sucessivos são de em torno de 330 mm, 490 mm, 650 mm e 810 mm de diâmetro. Os sulcos em V 36 têm um fundo plano de em torno de 8 mm de largura. As partes de trabalho são todas construídas a partir de aço inoxidável. Quando o dispositivo opera, um motor 34 é conectado por meio de uma cinta 44 ao término inferior 46 do eixo central 24, que faz com que o sistema de braço em X 22 revolva no invólucro 39 a uma velocidade de em torno de 120 RPM. Os discos 28 se movem ao longo do fundo dos sulcos em formato de V 37. A estrutura do eixo horizontal 32 é tal que os discos sejam montados com alguma flexibilidade, permitindo-se que eles respondam a irregularidades e naveguem no sulco em V circular 37. Qualquer outro arranjo mecânico adequado além do eixo e cinta pode ser usado para se fazer com que o sistema de braço em X 22 rode em torno de seu centro.

[0040] A unidade é estruturada de modo que o disco 28 não toque

realmente o fundo ou os lados do sulco em V 36. A borda de cada disco 28 é um pouco afunilada para combinar com o sulco em V 37, de modo que haja nominalmente uma folga entre as superfícies do disco 28 e as superfícies adjuntas dos sulcos em V 37. Peças cortadas de biomassa são introduzidas na unidade através de uma janela de entrada 48 no lado vertical inferior da unidade e caem nos sulcos em V 37. A biomassa preenche a folga entre o disco 28 e as paredes do sulco em V 37. O disco em movimento 28 esmaga a biomassa e o atrito resultante faz com que o disco revolva e desloque/distribua a biomassa. A ação repetida de esmagamento e cisalhamento rasga os pedaços de biomassa separando-os, resultando em partículas cada vez menores. Isto é onde o grau de umidade na biomassa é particularmente importante. Se a biomassa estiver úmida demais, ela aderirá em conjunto em grandes grumos, os quais impedem um movimento suave dos discos 28 e podem mesmo fazer com que um disco 28 salte parcialmente para fora de seu sulco em V 37. Durante este processo de desintegração, os pedaços maiores caem de volta nos sulcos em V 37 para processamento adicional, enquanto as partículas menores são envolvidas no ar pelo movimento dos discos 28 e podem ser retiradas a partir de uma janela de saída 52 na cobertura superior da unidade. Quando operada em um modo de batelada, a unidade pode processar em torno de 10 a 15 kg de biomassa em 20 a 30 min. Quando operada em modo de fluxo contínuo, em torno de 0,5 kg de material é adicionado (e retirado) por minuto. O inconveniente mais significativo desta configuração é que uma biomassa excessivamente úmida pode entupir os sulcos em V 37, fazendo com que os discos 28 trilhem de forma imprópria. Se o material estiver úmido demais, as partículas se agrupam e impedem completamente um processamento adicional. Isto torna necessária uma parada da unidade para limpeza dos sulcos 37.

[0041] A segunda modalidade do desintegrador de moinho de dis-

cos foi projetada para suplantar os inconvenientes da primeira modalidade discutida acima. A figura 5 mostra um diagrama simplificado desta modalidade, conforme visto a partir de cima. Um invólucro fechado 39 contém uma pluralidade de eixos horizontais 54, aqui em número de quatro. Cada eixo 54 é diretamente acoplado a um motor 34. Os discos rotativos 28 são afixados a cada eixo 54 de uma maneira espaçada, com o eixo passando através do centro de cada disco 28. Na figura, cada eixo 54 porta oito discos 26 e os discos 26 nos eixos adjacentes 54 são deslocados ao longo do comprimento dos eixos 54, de modo que os discos 26 em eixos adjacentes 42 possam ser intercalados ou sobrepostos. No dispositivo real, os discos 26 têm em torno de 800 mm de diâmetro. A figura 6 mostra o aparelho a partir do lado, ilustrado adicionalmente a superposição dos discos 26 nos eixos horizontais adjacentes 54. Conforme mostrado na figura 7, o perímetro externo de cada disco 26 roda em um sulco em V reto 37'. Isto é, a estrutura da primeira modalidade requer que os sulcos em V 37 sejam circulares. Aqui, os sulcos em V 37' são lineares, correndo pelo comprimento do dispositivo. As figuras 8 e 9 mostram de forma diagramática que as bordas externas dos discos 26 são providas com extensões 56, as quais são dimensionadas para penetrarem quase nos fundos dos sulcos em V 36'. A figura 8 mostra um disco 26 do qual uma porção aumentada 26' porta as extensões 56 com cada extensão 56 sendo curvada de modo a seguir a circunferência do disco 26. As extensões 56 são afixadas à borda de disco por meio de parafusos 58 (embora qualquer outro prendedor mecânico apropriado pudesse ser usado também). A figura 9 mostra uma seção transversal do disco 26, tomada ao longo de um raio do disco circular, para ilustração do método de afixação das extensões 56. Devido ao fato de as extensões 56 penetrarem nos sulcos em V 37', a maior parte do contato entre as partículas de biomassa e o disco 26 ocorre nas extensões 56, as quais po-

dem ser prontamente substituídas, quando um desgaste significativo tiver ocorrido. De novo, todas as partes do dispositivo que contatam a biomassa são construídas a partir de aço inoxidável ou de um outro material resistente. Note que os parafusos 58 são usados em conjunto com arruelas biseladas 68, as quais mantêm mais firmemente as extensões 56 no lugar e também provêem uma turbulência de ar para movimento e mistura do micropó.

[0042] Durante uma operação, os discos 26 tipicamente revolvem a uma velocidade de em torno de 150 RPM. A biomassa (material picado com uma dimensão máxima de em torno de 10 mm) é introduzida através de uma janela de entrada 62 (figura 6) e é varrido para os sulcos em V 37'. O disco rotativo 26 pulveriza a biomassa e a varre para uma janela de saída 64, onde o micropó é passado através de um dispositivo de classificação 66, onde o micropó é separado de acordo com o tamanho. Uma classificação pode ser obtida de forma gravimétrica pelo sopro do micropó para cima em uma torre de separação (com ou sem defletores), onde as partículas menores (produto acabado) são retiradas a partir do topo da torre. As partículas menores são retiradas a partir da base da torre, porque as partículas mais finas permaneceram em suspensão na corrente de ar por um período de tempo mais longo (as partículas mais finas podem formar uma suspensão coloidal no ar). As partículas maiores então são recirculadas através do dispositivo para uma desintegração adicional. O mesmo método de classificação é útil com o desintegrador rotativo já descrito. Outros métodos de classificação usando telas e/ou separadores de ciclone de pó ou combinações desses métodos também podem ser usados. O dispositivo ilustrado (quatro eixos horizontais com oito discos de 800 mm de diâmetro por eixo) desintegra em torno de duas toneladas de biomassa por 10 a 12 horas. A capacidade do dispositivo pode ser prontamente aumentada pela adição de eixos adicionais (isto

é, tornando o comprimento do dispositivo mais longo) e/ou pela adição de discos a cada eixo (isto é, tornando a largura do dispositivo mais longa).

[0043] Contudo, o produto típico produzido pela máquina linear é um pouco maior no sentido de partícula (menos partículas de submicrômetro) do que no dispositivo rotativo. Acredita-se que isto é devido ao efeito de as bordas de disco passarem para o sulco e, então, elevando-se, enquanto o disco do dispositivo rotativo mantém mais contato com o sulco pelo "rolamento" para dentro e para fora do sulco. O efeito líquido é que o disco rotativo provê mais esmagamento e forças de cisalhamento as quais são mais eficazes na ruptura das partículas de biomassa em partículas ainda menores. Por outro lado, o dispositivo linear é relativamente insensível a variações nos níveis de umidade conforme o movimento "para dentro e para fora" de um ponto em particular no disco rotativo, já que interage com os sulcos, varre os sulcos e os limpa de quaisquer agregados de partículas. Embora o dispositivo linear possa produzir um micropó muito fino ao se estender consideravelmente seu ciclo de operação, os resultados mais eficientes são obtidos pelo pré-processamento da biomassa picada com a unidade linear, para a obtenção de partículas principalmente na subfaixa de tamanho de 100 μm , e, então, completando-se o processamento com o dispositivo rotativo, para a obtenção de micropós com um tamanho de partícula máximo abaixo de 10 μm com uma percentagem substancial das partículas tendo dimensões máximas na faixa de submicrômetro.

[0044] Esta abordagem produz um micropó de qualidade excelente, a etapa de pré-processamento com o dispositivo linear impedindo inteiramente um entupimento de sulco com agregado que, às vezes, aflige o dispositivo rotativo. A biomassa pré-processada com a unidade linear é de um tamanho tal e de uma consistência que um entupimento dos sulcos não ocorre. A abordagem alternativa, a qual presentemente

é preferida, é usar o desintegrador (ao invés do moinho de discos linear) para redução da biomassa para a faixa de tamanho de 100 μm e, então, usar o moinho de discos rotativo para um processamento adicional.

[0045] O moinho de discos linear descrito acima eficazmente processa em torno de 2 toneladas métricas em 10 horas. Isto é, ele pode extrair em torno de 200 kg de biomassa por hora. A unidade experimental usa motores elétricos e requer em torno de 3 kW por hora. O moinho de discos rotativo descrito acima (diâmetro de operação de aproximadamente 90 cm) pode processar completamente em torno de 20 kg de material por hora. Portanto, dez unidades devem ser conectadas a cada moinho de discos linear, ou, caso contrário, moinhos de discos rotativos de capacidade mais alta são requeridos. Usando motores elétricos, um moinho de discos rotativo atualmente usa entre em torno de 2,5 e 5 kW de potência por tonelada métrica de biomassa. Assim, com o presente equipamento experimental, uma tonelada métrica de biomassa requer em torno de 20 kW de potência elétrica para a desintegração. É provável que dispositivos mais eficientes usando fontes de potência motoras mais econômicas do que motores elétricos possam ser prontamente divisados.

[0046] A modalidade presentemente preferida alternativa do processo começa com um picador/formador de lascas o qual pode reduzir (em uma escala de laboratório) 25 kg de biomassa seca para pedaços de 3 mm em 10 min. Isto então é alimentado para o desintegrador (figura 1), o que reduz o material para o tamanho de submilímetro em menos de 60 min. Isto, então, é alimentado para o moinho de discos rotativo (figura 2), o que reduz o material para o estágio abaixo de 100 micrômetros em 30 min. Finalmente, este material é processado no microdesintegrador/misturador de alta velocidade, o qual produz um pó de micrômetro para submicrômetro em 1 a 2 horas.

[0047] O efeito do processo inventivo pode ser mais bem apreciado por uma comparação do tamanho do pó celulósico desenvolvido por processos tradicionais, se comparado com o processo inventivo. A figura 10 mostra uma imagem de SEM (microscópio de varredura de elétrons) de uma polpa de madeira tradicional feita a partir de uma árvore de dicotiledônea. O método de formação de polpa típico macera as lascas de madeira quimicamente, após o que os componentes celulósicos da madeira são separados mecanicamente. As barras de micrômetro nas figuras demonstram que as figuras mostram um aumento na magnificação a partir da figura 10A para a figura 10D, com a última sendo de aproximadamente dez vezes a magnificação da anterior. As figuras também revelam que os maiores aspectos celulares – principalmente paredes de célula de elementos de vaso – estão largamente intactos.

[0048] A figura 11 mostra um conjunto similar de imagens de SEM da madeira de kenaf dicotiledônea desintegrada por um método de explosão da técnica anterior. O kenaf é um arbusto de madeira que está sendo cultivado como uma fonte de polpa de papel. O método de explosão foi desenvolvido como um método simplificado para desintegração de biomassa celulósica para facilitação da digestão enzimática, hidrólise química e processos de biomassa relacionados. Uma inspeção das figuras 11A a 11D revela que os elementos de vaso celular grandes são largamente não desintegrados. De fato, uma desintegração de explosão não é significativamente mais eficaz do que os métodos tradicionais de formação de polpa química na redução de elementos de celulose em partículas digeríveis por enzima prontamente pequenas.

[0049] As figuras 10 e 11 devem ser contrastadas com as figuras 12 e 13. A figura 12 mostra o processo de desintegração inventivo aplicado à madeira de lariço japonês. A figura 12D mostra que a desin-

tegração produz um número significativo de partículas de celulose abaixo de em torno de 1 μm de diâmetro, ao passo que muitas das partículas estão na faixa de 2 a 3 μm (note que a maioria das partículas maiores parece ser de agregados de partículas menores). A figura 13 mostra imagens de SEM de madeira de kenaf desintegrada. Embora algumas partículas na faixa de 10 μm permaneçam, a figura 13D mostra várias partículas na faixa de tamanho de micrômetro a submicrômetro. O material produzido pelo tratamento de explosão mostra poucas partículas, se houver, nesta faixa de tamanho. Todas as fibras grandes e elementos de vaso mostrados na figura 11 foram desintegrados pelo tratamento inventivo. Devido ao fato de o método de desintegração inventivo poder ser equipado com um dispositivo de classificação (explicado abaixo), as partículas maiores (isto é, maiores do que 1 μm) podem ser automaticamente recirculadas para uma desintegração adicional, e o processo pode ser prontamente "sintonizado" para a produção de partículas primariamente de submicrômetro.

[0050] O presente inventor fez uma descoberta inesperada que com métodos de combustão ótima o micropó preparado de acordo com esta invenção é um combustível industrial excelente para substituição de óleo combustível ou gás natural para a geração de calor. A queima de micropó é principalmente uma oxidação de fase gasosa, tal como aquela de gás natural ou óleo combustível (o qual é queimado como gotículas pequenas em um aerossol). O carvão também é queimado, às vezes, como um pó formado por um moinho de rolos. Essa combustão não é como aquela da queima de um bloco de carvão, mas, por causa das partículas pequenas (e, correspondentemente, das áreas superficiais grandes) envolvidas, a reação começa a se aproximar da reação de oxidação entre gases – por exemplo, oxigênio e metano. De modo similar, a queima de um micropó não é como a queima de uma tora ou de um pedaço de madeira. O tamanho de par-

tículas extremamente pequeno torna a combustão do micropó ainda mais como uma reação de gás – gás.

[0051] Testes de ignição de amostras de micropó de planta mostram temperaturas de ignição relativamente baixas e a capacidade de o pó sustentar uma combustão contínua e uma liberação resultante de quantidades significativas de energia. Contudo, uma combustão de micropó não é tão facilmente sustentada como o é uma combustão verdadeira de fase gasosa. Um suprimento de combustível contínuo e constante é crítico. Para a obtenção desta pressão, mistura e vibração estão envolvidas no movimento do micropó e na colocação dele em suspensão em um estado combustível. Tende a ser difícil manter um fluxo controlável constante de micropó por meio de pressão apenas. Ao invés disso, é necessário lentamente agitar o micropó em grande volume, enquanto se aplica alguma pressão, para se fazer com que o material flua. Uma agitação à alta velocidade não funciona conforme o esperado, uma vez que o dispositivo de agitação simplesmente se move através do micropó, sem contribuir para a fluidização geral do grande volume. Uma vez que o micropó tenha fluído para o local da combustão, uma pressão de ar é aplicada para se dispersar completamente o micropó. Conforme o micropó se aproxima do ponto de dispersão, o percurso inteiro de alimentação é vibrado, para se garantir uma alimentação de combustível ótima e uma dispersão. Uma vibração pode ser provida por um eixo de rotação desequilibrado em contato com o dispositivo; dispositivos piezoelétricos, sistema de "bobina de voz" e outros transdutores bem-conhecidos também podem ser usados para a provisão da vibração. A frequência de vibração vantajosamente é ajustável, e a frequência de vibração ótima geralmente está entre 50 e 500 Hz.

[0052] Uma vez que o micropó vibrado atinja o "queimador", ele é misturado com e disperso por uma corrente de ar pressurizado. A mis-

tura de pó/ar se expande para um espaço de combustão onde ela pode ser queimada por uma centelha, uma vela de incandescência, chama, bobina aquecida ou por um dispositivo de ignição similar. É importante manter uma relação de ar – combustível apropriada de em torno de 5:1. Este valor é pequeno, se comparado com relações ótimas para carvão, gasolina, óleo combustível ou gás natural. Por exemplo, a relação de ar – combustível ótima para gasolina é de em torno de 15:1. A quantidade total de calor gerada por unidade de tempo é controlada pela variação do peso do micropó enviado por unidade de tempo. O valor médio para queima de madeira seca é conhecido como sendo em torno de 4300 kcal/kg. Assim, é razoavelmente fácil dispor que um queimador de micropó opere a um valor regulado conhecido, tal como de 50.000 kcal/h, o que requereria em torno de 200 g de micropó por minuto. De modo similar, um queimador de 200.000 kcal/h requereria em torno de 800 g de micropó por minuto. Diferentemente da queima de um pedaço de madeira, uma combustão de micropó é essencialmente completa. A cinza resultante é muito leve e, usualmente, representa em torno de 50% a 70% do volume do micropó original. O peso de cinza geralmente está entre 1% e 10% do peso de micropó original, dependendo da fonte da biomassa original com madeira tendo um valor de cinza geralmente baixo, se comparado com bagaço ou uma biomassa similar.

[0053] A figura 14 mostra um diagrama de um sistema para a queima de micropó. Neste diagrama, um silo de armazenamento 70 para o micropó está localizado em grande proximidade com queimador 84. Contudo, será apreciado que dutos contendo dispositivos de agitação (por exemplo, fusos lineares ou transportadores) podem ser usados para a condução do micropó, muito como se fosse um fluido, de modo que o silo de armazenamento principal pudesse estar a uma distância do queimador. Na figura, uma fonte de vibração 74 é combinada

com a fonte de pressão de ar 72 para a fluidização do micropó em um misturador 82. O micropó entra no conjunto de queimador 84, onde uma fonte de ar pressurizado adicional coloca o micropó em suspensão. A fonte de ar adicional e a vazão de micropó induzida por vibração são ajustadas para manterem uma mistura ar – combustível ótima no queimador. Um ignitor 80 (por exemplo, vela de incandescência ou centelha) queima a mistura de ar – combustível e a nuvem de ignição resultante é dirigida para a porção de troca de calor de, por exemplo, um queimador 78. A nuvem de ignição é um jato de chama forçado não diferente da chama formada por um queimador a óleo combustível convencional. A cinza resultante é extremamente fina e leve, e é recuperada a partir da corrente de ar de exaustão saindo do trocador de calor de queimador, usando-se uma tecnologia bem-conhecida na técnica de sistemas de potência acionados a carvão. Diferentemente da cinza de carvão, a cinza de micropó é livre de compostos tóxicos e metais pesados. Devido ao fato de consistir em minerais removidos do solo pelas plantas, cuja biomassa se tornou o micropó, ela pode ser adicionada com segurança de volta ao solo para fins de descarte.

[0054] As reivindicações a seguir assim devem ser consideradas como incluindo o que é especificamente ilustrado e descrito acima, o que é conceitualmente equivalente, o que pode ser obviamente substituído e o que também incorpora essencialmente a idéia essencial da invenção. Aqueles versados na técnica apreciarão que várias adaptações e modificações da modalidade preferida recém descrita podem ser configuradas, sem que se desvie do escopo da invenção. A modalidade ilustrada foi estabelecida apenas para fins de exemplo e isso não deve ser tomado como limitando a invenção. Portanto, é para ser entendido que, no escopo das reivindicações em apenso, a invenção pode ser praticada de outra forma além da especificamente descrita aqui.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a produção de micropó a partir de uma biomassa celulósica por digestão enzimática ou combustão direta caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

picar ou formar lascas da biomassa para a produção de partículas tendo uma dimensão máxima de 3 mm a 5 mm;

processar a biomassa picada para reduzir o diâmetro máximo das partículas para 1 mm ou menos;

tratar a biomassa processada com um moinho de discos rotativos para reduzir o tamanho de partículas máximo para menos de 100 micrômetros de diâmetro, em que os eixos de revolução suportam discos, cujas bordas viajam em sulcos em formato de V circulares e desintegrar as partículas ao pressionarem as partículas entre as bordas e os sulcos em formato de V.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende a etapa de desintegrar as partículas de biomassa a partir do moinho de discos rotativos com um microdesintegrador, em que eixos de contra-revolução rodam apoiando pás suspendendo e desintegrando as partículas, e em que os eixos revolvem em velocidades de pelo menos várias revoluções por minuto.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa de processamento usa um desintegrador em que eixos de contra-revolução apoiando pás suspendem e desintegram as partículas, e em que os eixos revolvem em velocidades abaixo de 500 revoluções por minuto.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa de processamento usa um moinho de discos lineares, em que eixos de revolução apóiam discos, cujas bordas desintegram partículas ao pressionarem as partículas entre as bordas e sulcos em formato de V lineares.

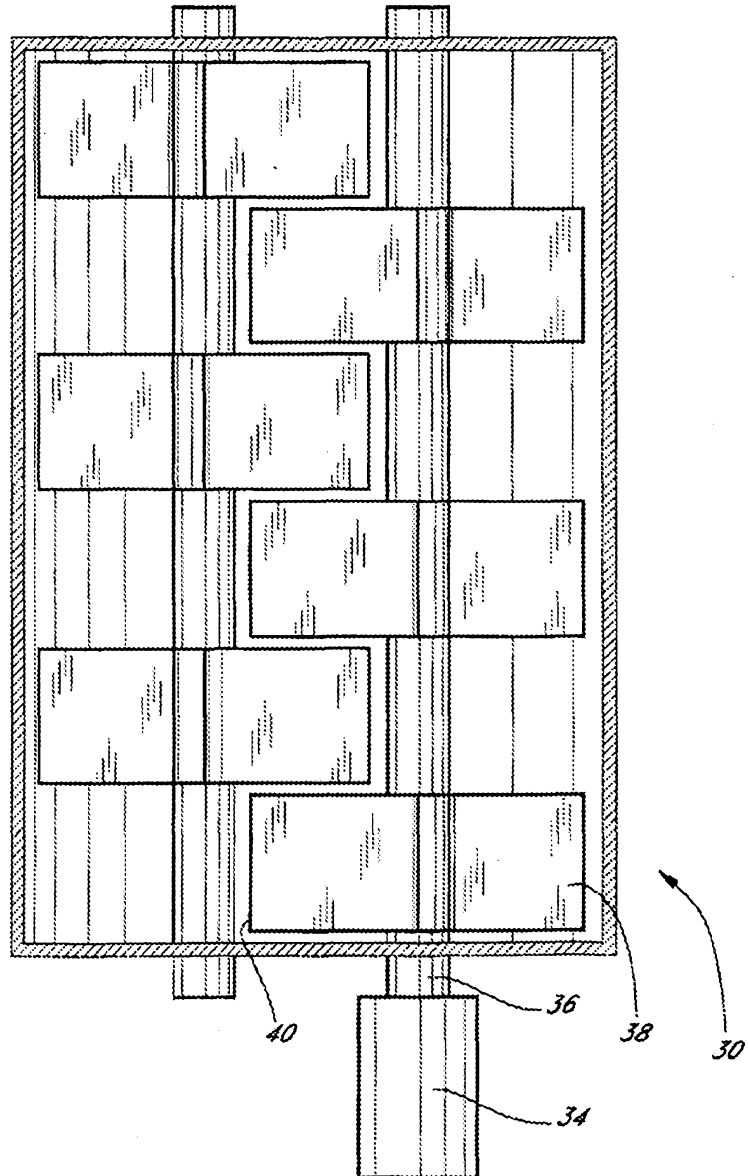


FIG. 1

FIG. 2

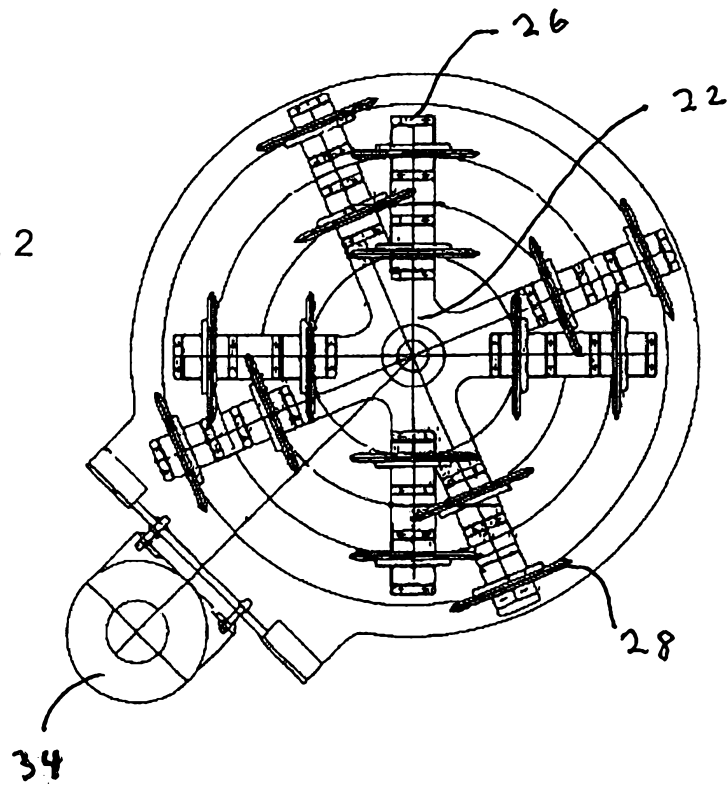
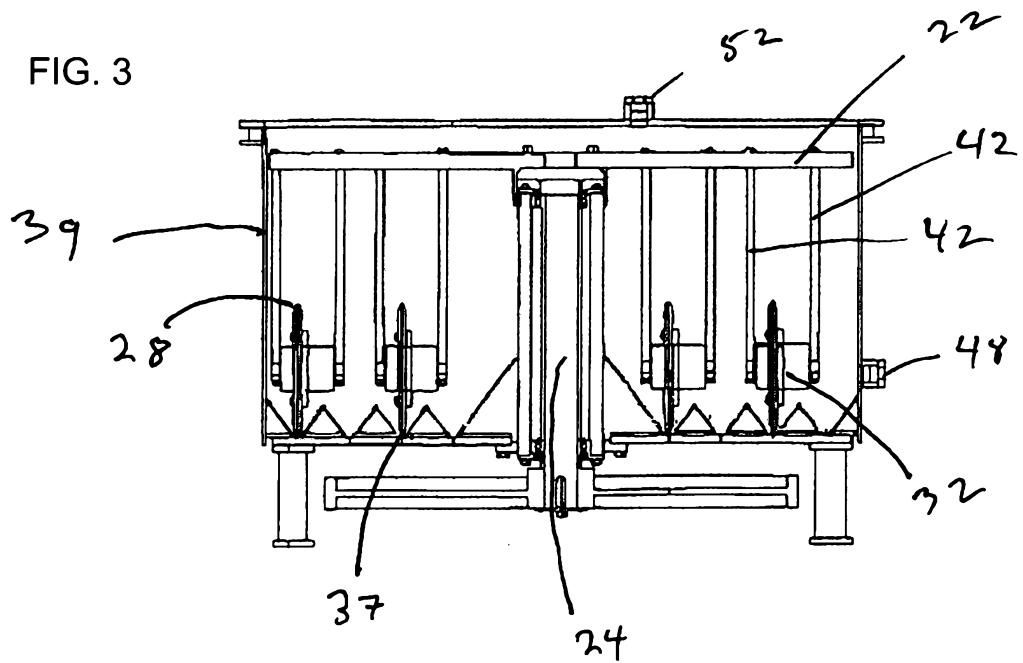


FIG. 3



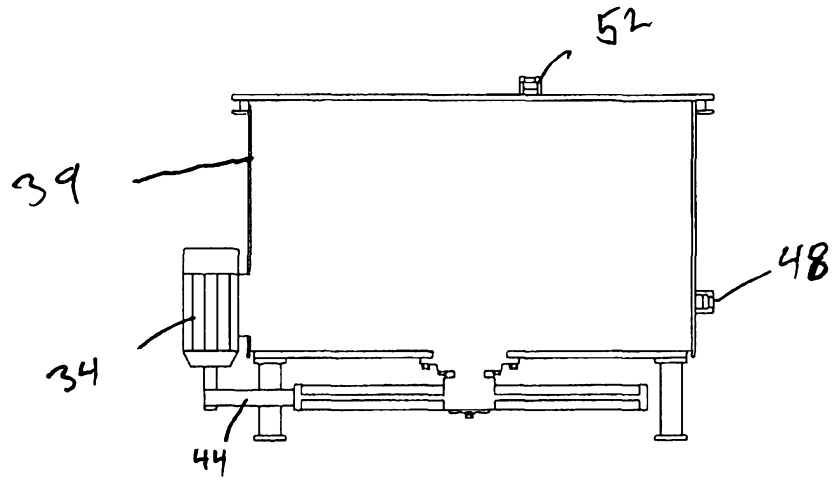


FIG. 4

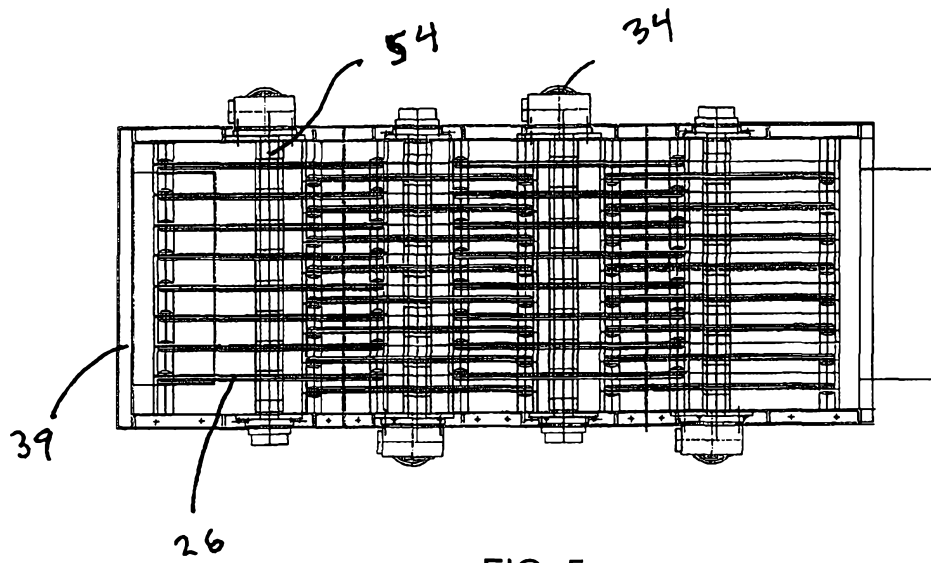


FIG. 5

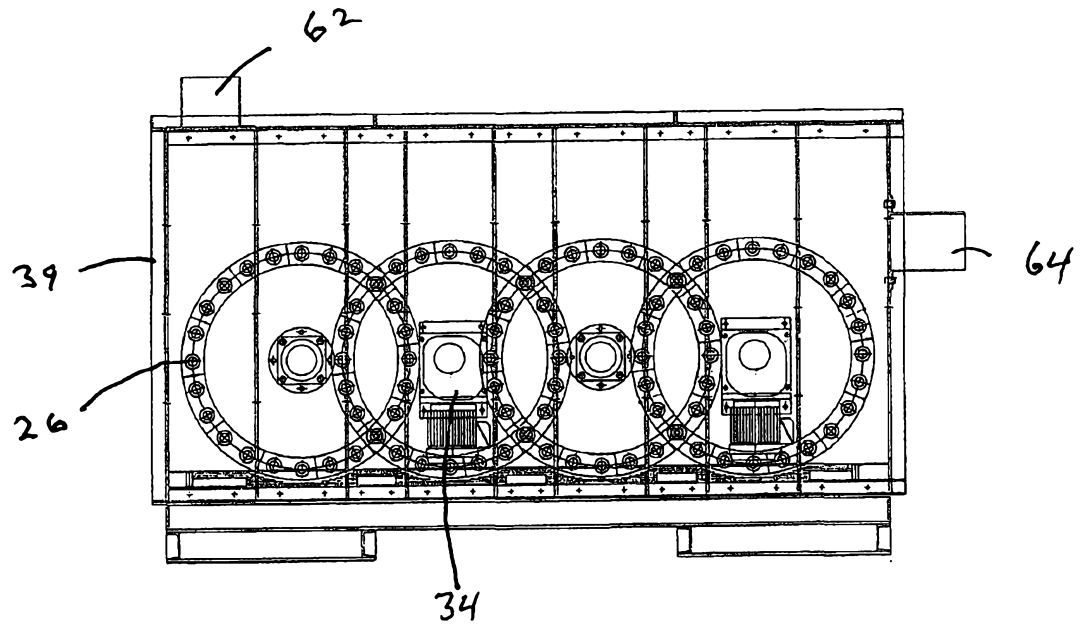


FIG. 6

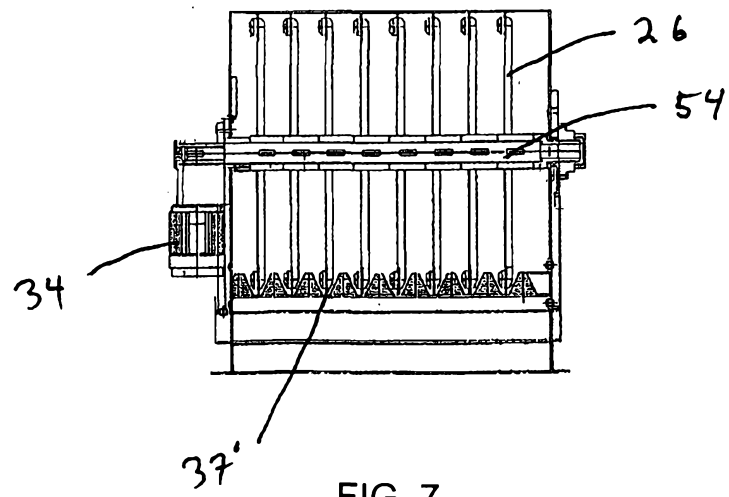


FIG. 7

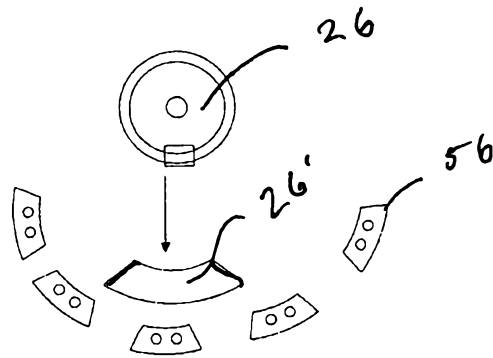


FIG. 8

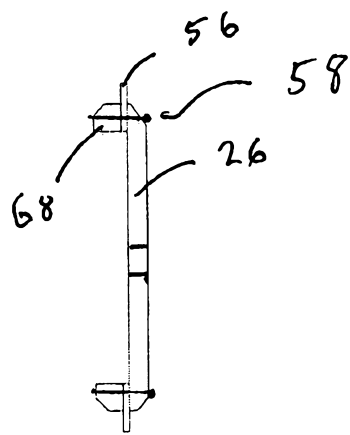


FIG. 9

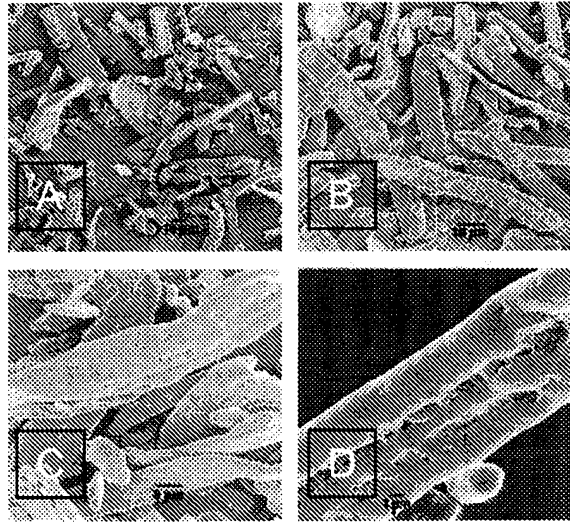


FIG. 10

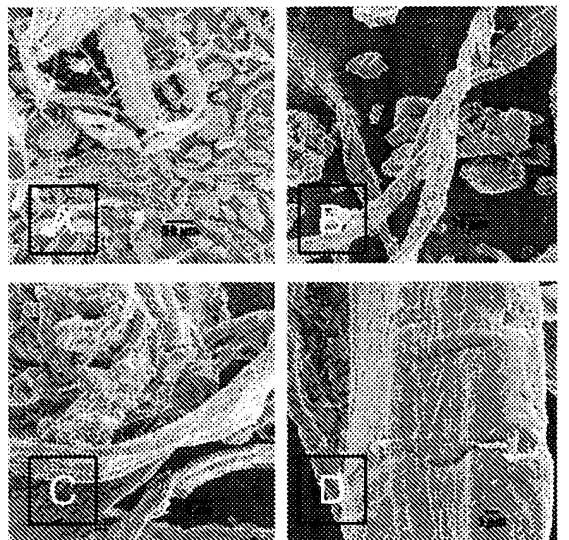


FIG. 11

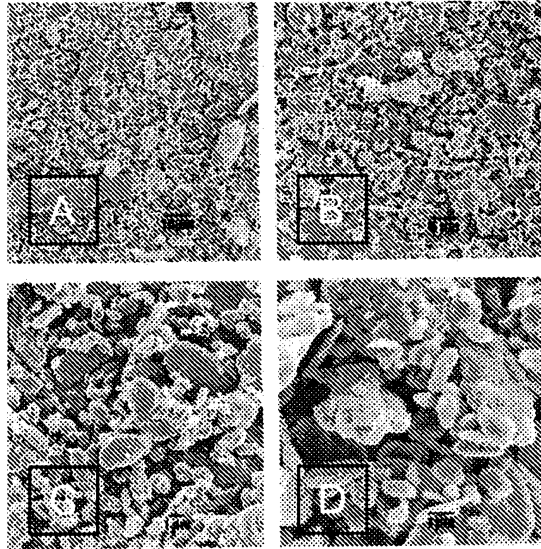


FIG. 12

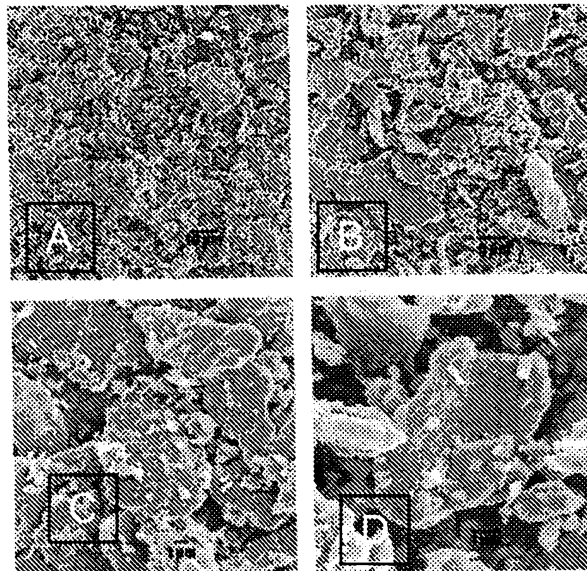


FIG. 13

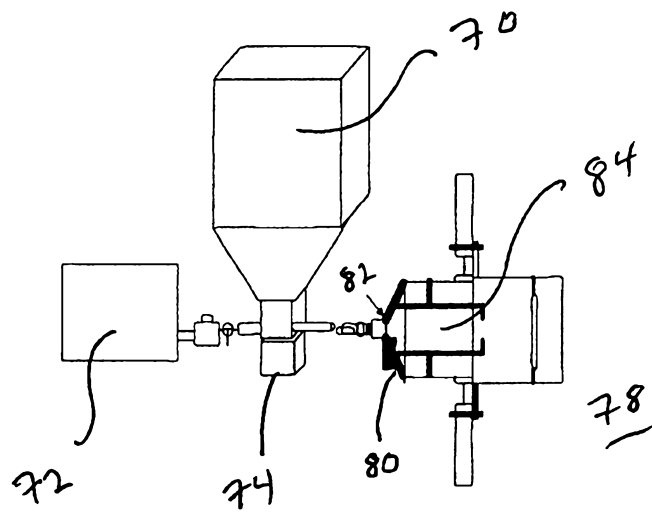


FIG. 14