



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

**(11) BR 112012008513-1 B1**



**(22) Data do Depósito: 13/10/2010**

**(45) Data de Concessão: 19/03/2019**

---

**(54) Título:** PROCESSO PARA A CONVERSÃO DE BIOMASSA EM ETANOL, PROCESSO PARA A SEPARAÇÃO DE MATERIAL CONTENDO ENERGIA DAS CORRENTES DE PROCESSO DO PROCESSO DE CONVERSÃO DE BIOMASSA EM ETANOL E PROCESSO PARA A RECUPERAÇÃO DE UM MATERIAL COMBUSTÍVEL QUEIMÁVEL

**(51) Int.Cl.:** C12P 7/06.

**(30) Prioridade Unionista:** 13/10/2009 US 61/251.059.

**(73) Titular(es):** PURDUE RESEARCH FOUNDATION; DEFENSE LIFE SCIENCES, LLC.

**(72) Inventor(es):** NATHAN MOSIER; MICHAEL R. LADISCH; JERRY WARNER.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2010052503 de 13/10/2010

**(87) Publicação PCT:** WO 2011/047046 de 21/04/2011

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 11/04/2012

**(57) Resumo:** PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA COM RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS COMBUSTÍVEIS QUEIMÁVEIS. São descritos processos para a produção de um produto, tal como etanol, a partir de biomassa lignocelulósica, e produção de um material combustível queimável a partir dos subprodutos. O material combustível queimável pode ser queimado no local para produzir energia para retroalimentar o processo de produção.

“PROCESSO PARA A CONVERSÃO DE BIOMASSA EM ETANOL, PROCESSO PARA A SEPARAÇÃO DE MATERIAL CONTENDO ENERGIA DAS CORRENTES DE PROCESSO DO PROCESSO DE CONVERSÃO DE BIOMASSA EM ETANOL E PROCESSO PARA A RECUPERAÇÃO DE UM MATERIAL COMBUSTÍVEL QUEIMÁVEL”

[001]A presente invenção refere-se genericamente à utilização de biomassa lignocelulósica como uma fonte para a produção de etanol, e em certas modalidades, a recuperação de materiais portadores de energia que não são consumidos na formação de etanol para utilização como materiais combustíveis.

[002]Como um fundamento adicional, tem sido dada ênfase nos anos recentes nas descobertas de modos para produzir combustíveis de forma eficiente a partir de fontes renováveis não petrolíferas. Em um campo de interesse, o etanol combustível tem sido produzido a partir da fermentação de suprimentos de biomassa provenientes de fontes vegetais. Atualmente, o etanol combustível é comercialmente produzido a partir de matérias-primas de amido de milho, cana de açúcar e de beterraba. Estes materiais, no entanto, encontram significativos usos competitivos na indústria de alimentos, e seu uso expandido para produzir etanol combustível corrobora com o aumento dos preços e a paralisação das atividades de outras indústrias. Matérias-primas de fermentação alternativas e tecnologias viáveis para sua utilização são, portanto, muito procuradas.

[003]Materiais provenientes de biomassa lignocelulósica estão disponíveis em grandes quantidades e são relativamente baratos. Esses materiais estão disponíveis na forma de resíduos agrícolas, como palha de milho, fibra de milho, palha de trigo, palha de cevada, palha de aveia, casca de aveia, palha de canola, palha de soja, gramíneas como capim, miscanthus, grama cabo, e grama de cana das canárias, resíduos florestais tais como madeira aspen e serragem, e resíduos de transformação de açúcar, como bagaço e polpa de beterraba. A celulose proveniente

desses materiais é convertida açúcares, que são então fermentados para produzir o etanol.

[004]Um problema com o uso de materiais de biomassa lignocelulósica para produção de etanol é a eliminação das ligninas residuais e de outros materiais não formadores de etanol. Estes materiais podem ser tradicionalmente enviados para as instalações de tratamento de águas residuais para descarte. Nesta época de reciclagem e de conscientização do meio ambiente, permitir que esses materiais orgânicos, que podem conter valor potencial de energia, sejam descartados desse modo, não é um uso ambientalmente amigável ou eficiente. Em alguns desses aspectos, a presente invenção está voltada a este problema da utilização dos resíduos provenientes da biomassa da formação do etanol.

#### Sumário da Invenção

[005]Em uma modalidade, é proporcionado um processo para a conversão de biomassa em etanol. O processo inclui o processamento de uma primeira porção de biomassa lignocelulósica para produzir materiais que formam etanol e materiais que não formam etanol, o processamento incluindo aquecimento; coleta de pelo menos uma parcela dos materiais não formadores de etanol deixados após o processamento; secagem dos materiais não formadores de etanol coletados; e a queima dos materiais não formadores de etanol para gerar calor. O calor pode então ser fornecido para tratamento em um processamento de uma segunda parcela da biomassa lignocelulósica para produzir etanol.

[006]Em uma outra modalidade, é fornecido um processo para a recuperação de um material combustível queimável a partir da conversão da biomassa lignocelulósica em etanol. O processo inclui o processamento de biomassa lignocelulósica para produzir uma corrente de produto compreendendo etanol, sólidos e outros materiais orgânicos, a remoção do etanol a partir da corrente de produto deixando uma corrente de não-produto, separar os sólidos a partir da corrente de não-produto,

remover a água da corrente de não-produto produzindo um fluxo concentrado de não-produto, e secagem dos sólidos e da corrente concentrada de não-produto para produzir um combustível queimável.

[007]Em uma outra modalidade, é fornecido um processo para a recuperação do material combustível queimável. O processo inclui a obtenção de biomassa a partir de material lignocelulósico vegetal cultivado dentro de cerca de 80 km de uma instalação de processamento de biomassa lignocelulósica, o processamento de uma primeira quantidade de biomassa para produzir etanol, recolhimento dos materiais de subprodutos da transformação da biomassa, processamento dos materiais sub-produto para formar um material combustível queimável, e uso do material combustível queimável no local, na instalação industrial de processamento de material lignocelulósico para produzir energia.

[008]Modalidades adicionais do invento, bem como características e vantagens da mesma será aparente a partir das descrições aqui descritas.

#### Breve Descrição dos Desenhos

[009]A Figura 1 é uma representação esquemática das etapas utilizadas no processo de conversão da biomassa lignocelulósica ao etanol incluindo as etapas para a recuperação de material não formador de etanol, para utilização como combustível queimável.

#### Descrição Detalhada da Invenção

[010]Para os propósitos de promover uma compreensão dos princípios da invenção, a referência será agora feita para certas modalidades e será utilizada linguagem específica para a sua descrição. No entanto, será entendido que não é pretendido aqui nenhuma limitação ao escopo da presente invenção, e que eventuais alterações e modificações adicionais no dispositivo ilustrado estão contempladas como normalmente ocorrentes para aquele usualmente versado na técnica ao qual a invenção é pertinente.

[011]Tal como aqui utilizado, o termo "biomassa lignocelulósica", pretende referir-se a qualquer tipo de biomassa compreendendo lignina e celulose tais como, mas não se limitam a, biomassa de vegetal não-lenhoso, resíduos agrícolas e resíduos florestais e resíduos do processamento de açúcar. Por exemplo, o suprimento celulósico pode incluir, mas não está limitado a, gramíneas, tais como ervas daninhas, capim de corda, miscanthus, gramíneas mistas, ou uma combinação dessas; resíduos do processamento de açúcar de tais como, mas não limitado a, bagaço de cana e polpa de açúcar de beterraba; resíduos agrícolas, tais como, mas não se limitam a, palha de soja, fibra de milho proveniente do processamento de grãos, a palha de milho, palha de aveia, palha de arroz, cascas de arroz, palha de cevada, espigas de milho, palha de trigo, palha de canola, cascas de aveia, e fibras de milho; e resíduos florestais, tais como, mas não limitados a, fibras de madeira, polpa reciclada de madeira, serragem de madeira dura, de madeira macia, ou qualquer combinação destes Além disso, a biomassa lignocelulósica pode compreender resíduos de materiais lignocelulósicos ou materiais de resíduos de rejeitos florestais, tais como, mas não limitado a, lamas de papel, papel jornal, papelão e semelhantes. A biomassa lignocelulósica pode compreender uma única espécie de fibra ou, alternativamente, uma matéria-prima de biomassa lignocelulósica pode compreender uma mistura de fibras que se originam de diferentes materiais lignocelulósicos.

[012]Tipicamente, o material lignocelulósico compreenderá celulose em uma quantidade maior do que cerca de 2%, 5% ou 10% e de preferência superior a cerca de 20% (p/p) para produzir uma quantidade significativa de glicose. O material lignocelulósico pode ter maior teor de celulose, por exemplo, pelo menos, cerca de 30% (p/p), 35% (p/p), 40% (p/p) ou mais. Portanto, o material lignocelulósico pode compreender desde cerca de 2% a cerca de 90% (p/p), ou a partir de cerca de 20% a cerca de 80% (p/p) de celulose, ou a partir de 25% a cerca de 70% (p/p) celulose, ou cerca de 35% a cerca de 70% (p/p) de celulose, ou mais, ou qualquer quantidade

entre essas mencionadas.

[013]Antes do pré-tratamento, a biomassa lignocelulósica pode ser mecanicamente processada para aumentar a sua área de superfície. Tal processamento mecânico pode incluir, por exemplo, redução da biomassa para um material particulado mediante trituração, moagem, agitação, picotagem ou outros tipos de ação mecânica.

[014]A biomassa lignocelulósica pode ser usada para criar uma lama bombeável em combinação com um líquido adequado, de preferência um meio aquoso. O meio aquoso pode ser água sozinha, mas em outras modalidades pode incluir aditivos para melhorar o processo de pré-tratamento, tais como ácidos ou bases para ajustar ou manter o pH do meio aquoso. A pasta aquosa da biomassa lignocelulósica terá tipicamente uma concentração de sólidos relativamente alta. Em certas modalidades, a pasta aquosa será constituída, por pelo menos, cerca de 10 gramas por litro (g/L) de sólidos de biomassa lignocelulósica, de preferência pelo menos cerca de 50 g/L, mais preferivelmente pelo menos cerca de 100 g/L, e tipicamente na gama de cerca de 100 g/L até cerca de 500 g/L. Será entendido, no entanto, que outras concentrações de sólidos podem ser utilizadas em aspectos mais amplos da invenção.

[015]Aspectos da presente invenção são igualmente aplicáveis a sistemas que empregam processos de pré-tratamento por ácido diluído. Os ácidos adequados para estes ou outros fins aqui incluem, por exemplo, ácidos inorgânico ou orgânicos, por exemplo sulfúrico, clorídrico, nítrico, fosfórico, ácido acético, cítrico ou fórmico. As bases adequadas para estes fins incluem, por exemplo, hidróxidos de metais alcalinos ou alcalino-terrosos, por exemplo, hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, ou outras bases de hidróxido, tais como hidróxido de amônio. Em certas formas preferidas, o meio aquoso será ajustado inicialmente e/ou durante um processo de pré-tratamento térmico pela adição de ácido ou base para fornecer um pH que seja

próximo do neutro, de modo a evitar a ocorrência significativa de auto hidrólise catalisada por ácido ou catalisada por base, do material lignocelulósico, por exemplo, a um pH na faixa de cerca de 5 até cerca de 8. Informação adicional tais como dos pré-tratamentos de biomassa lignocelulósicas controlados por pH se encontra na Patente U.S. No. 5.846.787, que é aqui incorporada por referência na sua totalidade. Outros aditivos que podem estar presentes na suspensão aquosa de biomassa incluem, a título de ilustração, tensoativos, por exemplo, óleos vegetais tais como óleo de soja, óleo de canola, e outros, para servir como agentes de intercalação.

[016]Após pré-tratamento, a biomassa é submetida a uma enzima celulase para produzir um material fermentável. A este respeito, uma enzima celulase é uma enzima que catalisa a hidrólise da celulose para produtos tais como glicose, celobiose, e/ou outros celiooligossacarídeos. Enzimas celulase podem ser fornecidas como uma mistura multienzimática compreendendo exo-celobioidrolases (CBH), endoglucanases (EG) e beta-glicosidases (BEtag) que podem ser produzidas por um número de plantas e microrganismos. O processo da presente invenção pode ser realizado com qualquer tipo de enzimas de celulase, independentemente da sua origem, no entanto, celulases microbianas fornecem modalidades preferidas. Enzimas celulase podem ser, por exemplo, obtidas a partir de fungos do gênero *Aspergillus*, *Humicola*, e de *Trichoderma*, e entre as bactérias de gênero *Bacillus* e *Thermobifida*.

[017]Em seguida a essa hidrólise da biomassa pré-tratada, um meio aquoso contendo os açúcares resultantes pode ser submetido a uma fermentação para produzir etanol. A fermentação dos açúcares para produzir o etanol pode ser conduzida com qualquer um de uma grande variedade de micro-organismos fermentativos; tais como, levedura ou bactéria, incluindo as versões geneticamente modificadas das mesmas, e utilizando técnicas conhecidas. O etanol pode então ser purificado a partir do meio fermentado, por exemplo, por destilação. O material deixado após a remoção do etanol, se não utilizado de algum modo seria enviado a uma instalação de

tratamento de rejeitos aquosos. Todavia, esse material tem conteúdo significativo de energia, e poderia proporcionar uma utilização mais eficiente se fosse recuperado e utilizado com respeito ao seu conteúdo de energia em vez de enviar para o tratamento de resíduos, onde teria um significativo custo de descarte sem proporcionar benefícios.

[018]Em certos modos de prática, durante a transformação da biomassa, incluindo a biomassa lignocelulósica, sólidos não hidrolisados e outros materiais não formadores de etanol, tipicamente incluindo lignina, componentes orgânicos derivados a partir de biomassa, compostos fenólicos, leveduras, enzimas, e produtos de degradação de lignina podem ser separados dos líquidos como um subproduto, por exemplo, por centrifugação, filtração ou num tanque de decantação para produzir sólidos úmidos. Os sólidos podem ser recuperados em vários estágios do processo de transferência da biomassa em etanol, como após a fase de hidrólise, mas antes da fermentação, após a fermentação, mas antes da destilação, ou após a destilação. Sólidos úmidos provenientes de qualquer dessas etapas de isolamento podem ser combinados e secados ou secados separadamente para formar sólidos inflamáveis. Estes sólidos inflamáveis podem ser utilizados no local, para produzir energia, tal como para uso em uma caldeira ou gerador que fornece calor para ser usado no tratamento da biomassa lignocelulósica subsequentemente processada, por exemplo, no aquecimento de misturas aquosas da biomassa lignocelulósica para pré-tratamento tal como aqui descrito e/ou em misturas de aquecimento submetidos à fermentação para a produção de etanol como aqui descrito.

[019]Materiais solúveis não formadores de etanol podem ser recuperados das correntes de líquidos após o etanol ter sido removido por destilação mediante concentração das correntes líquidas contendo esses materiais através de operações unitárias tais como unidade de evaporação de múltiplos efeitos, uma unidade de evaporação híbrida de múltiplos efeitos, uma com de destilação flash ou alguma ou-

tra operação unitária que possa ser usada para remover um material mais volátil do resíduo. Os sólidos molhados previamente isolados e o líquido concentrado podem ser secos para produzir sólidos que possuem significativo conteúdo energético. Os sólidos úmidos e líquidos concentrados podem ser secos separadamente ou depois de terem sido combinados. Os sólidos a partir de qualquer um dos processos de secagem podem ser ainda processados para produzir um material que pode ser utilizado como um combustível inflamável. Em alguns casos o concentrado irá resultar em sólidos evaporados que podem formar um aglutinante para manter agregadas as partículas do material. O processamento pode resultar em partículas ou *pelotas* de materiais inflamáveis que podem ser facilmente manuseados e facilmente transportados. O processamento do material a partir do processo de secagem pode incluir pelletização, moagem, peneiração, extrusão ou qualquer outro método que pode ser usado para produzir um material facilmente manuseado e transportado. Este material pode ser usado em uma variedade de situações que requerem um material inflamável tal como um forno de carvão. Em um aspecto os materiais inflamáveis podem ser usados localmente ou no local de produção para gerar energia ou para fornecer uma fonte de combustível para equipamentos tais como caldeiras ou geradores, em um outro tipo de equipamento que utilize combustível sólido queimável. Num outro aspecto, a energia gerada no local através da queima do material recuperado a partir da transformação de biomassa lignocelulósica de etanol pode ser utilizada para fornecer o calor para o subsequente processamento de biomassa lignocelulósica adicional a etanol, tal como na etapa de pré-tratamento, etapa de hidrólise, ou etapa de fermentação aqui descritas. Em ainda outras modalidades, o material combustível queimável na forma de sólidos secos pode ser enviado para um outro local para ser queimado de modo a produzir energia, por exemplo, em um local relativamente nas proximidades da instalação de produção de etanol na qual os sólidos foram produzidos (por exemplo, dentro de cerca de 160 km).

[020]Em certos modos de praticar o presente invento, aprimorada suficiência de energia e eficiência para a produção de etanol e/ou menor pegada de carbono são providas na operação de uma unidade industrial de celulose a etanol. Os sólidos propriamente derivados de material vegetal de fato irão produzir energia e CO<sub>2</sub>, onde o CO<sub>2</sub> será integrado de volta na forma de material vegetal em virtude do ciclo de Calvin. Por conseguinte, está clara a marca ambiental mínima de tal instalação, onde os sólidos queimáveis são recuperados do processo e são em seguida usados para uma unidade industrial de queima de carvão seja no local ou fora dele é limpa. Em alguns modos de prática, o material de biomassa é cultivado e colhido dentro de cerca de 160 km, mais preferivelmente dentro de cerca de 65 ou 80 km da instalação onde a biomassa é processada para fornecer etanol. Quando a biomassa é obtida localmente, e os sólidos que são gerados são utilizados localmente (dentro de um raio de 65 a 80 km), este é um exemplo de combustível da caldeira localizado derivado a partir de produtos provenientes de um processo de celulose a etanol. O impacto de CO<sub>2</sub> sobre o meio ambiente global seria mínimo com a totalidade do CO<sub>2</sub> que é gerado vindo de uma fonte local de biomassa renovável. Neste sentido, em certas modalidades, a unidade de processamento pode ser operada completamente ou predominantemente (por exemplo, pelo menos, cerca de 80%) sobre tal material de biomassa desenvolvido localmente a fim de minimizar ou reduzir seu impacto de CO<sub>2</sub>.

[021]Com referência agora à Figura 1, uma modalidade de processamento de biomassa lignocelulose incluindo o isolamento dos sólidos não formadores de etanol para uso como um combustível queimável é mostrado. Palha de milho 30 ou outra massa lignocelulósica é cultivada, colhida e armazenada dentro de cerca de 800 km, ou cerca de 160 km, ou preferivelmente dentro de cerca de 65 km da instalação industrial de processamento. A biomassa lignocelulósica é transportada até a instalação 32 onde é triturada 34, água 36 que pode incluir água reciclada 38 prove-

niente do processo é adicionada à biomassa lignocelulósica triturada e misturada 40 para produzir uma mistura de consistência adequada para o sistema de pré-tratamento. A mistura de biomassa lignocelulósica triturada e água é aquecida até temperaturas apropriadas para o pré-tratamento e mantida nessa temperatura por um tempo apropriado. O aquecimento de pré-tratamento da mistura pode, por exemplo, ser realizado em uma série de dois ou mais trocadores de calor, por exemplo, como descrito nos pedidos co-pendentes Nos. 61/076, 019 depositado em 26 de julho de 2008 e 61/076.034 depositado em 26 de julho de 2008, ambos aqui se incorporam por referência na sua totalidade. Outras descrições de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica são encontradas na Patente U.S. No. 5.846.787, que é aqui incorporada por referência na sua totalidade. As temperaturas de pré-tratamento podem incluir 120°C a 220°C, ou 150°C a 200°C, ou 160°C a 190°C e tempos de pré-tratamento em que a mistura é mantida nessas temperaturas variam de 10 minutos a 60 minutos, ou 10 minutos a 40 minutos ou 10 minutos a 20 minutos. Após o pré-tratamento estar completo, a mistura é resfriada, e a enzima celulase 48 é acrescentada e o material na mistura é deixado a liquefazer 50 mediante manutenção da mistura com a enzima celulase presente por até 5 horas. O material liquefeito pode, opcionalmente, ser ainda processado para separar 52 (por exemplo, por prensa ou centrífuga) uma corrente líquida 54 contendo o material solúvel dissolvido. A corrente de líquido 54 pode ser encaminhada ao evaporador de múltiplo efeito 82 (discutido abaixo) para resultar na recuperação de sólidos dissolvidos a partir da corrente 54 em uma corrente concentrada 84, (também discutido abaixo), que é finalmente adicionada aos sólidos úmidos 78 e proporciona um valor de combustível adicional a um produto de sólidos secos 88. Tal recuperação dos sólidos dissolvidos na corrente 54 pode também reduzir o nível de orgânicos nas correntes de rejeitos resultantes do processo como um todo.

[022]A mistura remanescente é enviada para um reator de hidrólise e de

fermentação 56. A levedura é adicionada ao reator 56 a partir de uma fonte de levedura 58 onde a levedura pode ser cultivada por adição de levedura complementar 60 e açúcar 62. A mistura é deixada a hidrolisar e fermentar durante cerca de 50 horas. Durante a hidrólise e fermentação é desejável que uma fração significativa do material celulósico seja fermentado a etanol. Isto pode ser conseguido através de uma combinação da adição de enzima, adição de levedura e ajuste do pH, para permitir a enzima hidrolisar a celulose em açúcares, e a levedura fermentar os açúcares em etanol. O pH preferido situa-se entre 5 e 6,5.

[023]Após ter ocorrido a hidrólise e a fermentação, uma destilação 64 é realizada e o produto de topo 66 contendo etanol e alguma água é enviado a um sistema de desidratação 70. O sistema de desidratação produz uma corrente de produto etanol 72, e uma corrente de água 90, que pode ser reciclada para as partes iniciais do processo, poupando assim água. Uma suspensão sólida e corrente líquida 68 contendo material não formador de etanol proveniente da destilação 64 é enviada através de um dispositivo de separação sólido-líquido 74 que remove os sólidos 78 do líquido 80. Quaisquer dispositivos de separação sólido-líquido normalmente utilizados na indústria podem ser utilizados para realizar essa separação; tais como filtros, filtros de pressão, filtros de vácuo, os tanques de decantação ou centrífugas. O líquido 80 proveniente do separador sólido-líquido 74 é então submetido a um evaporador de múltiplo efeito 82 onde uma corrente de água 92 é removida e uma corrente concentrada 84 é produzida. A corrente de água 92 removida pode ser reciclada para as partes iniciais do processo, economizando desse modo, água. Outros métodos podem ser usados em lugar de um evaporador de múltiplo efeito 82 para remover água e outros voláteis do líquido de processo, por exemplo, uma coluna flash, coluna de destilação, ou evaporador de baixa pressão. A corrente concentrada 84 de material não formador de etanol, deixada após a água ter sido removida, é misturada com os sólidos úmidos 78 provenientes do separador sólido-líquido 74 e

são então alimentados a um secador 86. Os sólidos 88 provenientes do secador 86 são processados para serem usados como combustível queimável para tais instalações como em uma instalação industrial que usa queima de carvão.

[024]Para proporcionar uma compreensão adicional dos aspectos da presente invenção, e suas vantagens, o seguinte exemplo específico é dado. Será entendido que esse exemplo é ilustrativo, e não limitante da invenção.

Exemplo 1.

[025]Um peso total de aproximadamente 726 kg (1600 lb) de palha de milho é triturado e misturado com água para produzir um teor total de água de aproximadamente 4.844 kg (10.670 lb) (incluindo a umidade da palha de milho). A quantidade de água adicionada à palha de milho é ajustada a fim de dar a proporção total, que representa uma concentração de 13% em peso/peso, ou 15% peso/volume de material lignocelulósico em água. Esta mistura é pré-tratada por aquecimento a uma temperatura compreendida entre 160°C e 190°C, e por tempos de residência que variam de 10 minutos a 20 minutos. Após o pré-tratamento o material é resfriado, uma enzima celulase é acrescentada, e o material é liquefeito mediante manutenção por 5 horas. O material liquefeito é ainda processado para pressionar o material dissolvido em uma corrente de água, obtendo-se 8,936 kg de líquido com uma concentração de 60 gramas/litro de material solúvel. O restante do material a um nível de 461 gramas por litro (peso/volume) base é então alimentado a um reator de hidrólise/fermentação onde a levedura é acrescentada para fermentar os açúcares que são gerados. A levedura propriamente é obtida a partir de um fermentador de semeadura. O tempo de fermentação é de aproximadamente 50 horas até que uma fração significativa do material celulósico seja convertida em etanol. Esta fermentação é conseguida através de uma combinação de adição de enzima e adição de levedura, onde o pH é ajustado para permitir a enzima hidrolisar a celulose em açúcares, e a levedura fermentar os açúcares em etanol. O pH preferido situa-se entre 5 e 6,5.

[026]Depois de ocorrer a hidrólise e a fermentação, a destilação é efetuada e o produto de topo contendo alguma água é então medido a um sistema de desidratação em que o produto etanol é recolhido e uma corrente de água é obtida a qual pode ser reciclada para partes iniciais do processo, conservando assim a água. A lama sólida e a corrente líquida deixada da destilação são filtradas, onde os sólidos são removidos do líquido. O fluxo de líquido proveniente do filtro é então concentrado por evaporação de múltiplo efeito. A corrente concentrada proveniente do evaporador de múltiplo efeito é então combinada com os sólidos úmidos coletados pelo filtro, e esses são em seguida secados e processados na forma de partículas ou pellets para facilidade de manejo. As formas desses materiais processados material são selecionadas para estar em uma forma adequada para uso como um combustível sólido queimável, tal como para uma unidade industrial que usa queima de carvão.

[027]O uso dos termos referências "um", "uma" e "o" e similares no contexto da descrição da invenção (especialmente no contexto das afirmações seguintes) são para serem interpretados de forma a abranger tanto o singular e o plural, a menos indicação em contrário neste documento ou em clara contradição com o contexto. A menção das faixas de valores aqui é pretendida meramente a servir como um método de abreviação ou de referência individual a cada valor em separado que seja contido na faixa, a menos que de outro modo aqui indicado, e cada valor em separado é incorporado na especificação como se fosse individualmente aqui mencionado. Todos os métodos aqui descritos podem ser realizados em qualquer ordem apropriada, a menos que indicado de outra forma ou de outra forma aqui claramente contrariada pelo contexto. O uso de qualquer e todos os exemplos, ou linguagem representativa (por exemplo, "tal como") aqui providos, é pretendido meramente a melhor ilustrar a invenção e não representa uma limitação no escopo da invenção, salvo de outro modo indicado. Nenhuma linguagem na especificação deve ser interpretada como a

indicar qualquer elemento não reivindicado como essencial para a prática da invenção.

[028]Embora a invenção tenha sido ilustrada e descrita em detalhes nos desenhos e descrição que segue, os mesmos são considerados como ilustrativos e não restritivos no seu caráter, sendo entendido que apenas a modalidade preferida foi mostrada e descrita e que todas as alterações e modificações que advenham e se insiram no conceito inventivo e escopo da invenção são pretendidas a estarem protegidas. Além disso, todas as referências aqui mencionadas são indicativas do nível de experimentação existente no estado da técnica e são aqui incorporadas por referência em suas totalidades.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a conversão de biomassa em etanol **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

processar uma primeira parcela da biomassa lignocelulósica para produzir etanol e materiais não formadores de etanol, o processamento incluindo aquecimento;

coletar pelo menos uma parcela dos materiais não formadores de etanol deixados após o processamento, em que os materiais não formadores de etanol incluem lignina;

secar os materiais não formadores de etanol coletados;

queimar os materiais não formadores de etanol para gerar calor; e

fornecer o calor a um processamento de uma segunda parcela da biomassa lignocelulósica para produzir etanol.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a biomassa lignocelulósica é proveniente de uma fonte a menos de 100 milhas (160 km) de um local onde se encontram as referidas etapas de processamento.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a biomassa lignocelulósica é proveniente de uma fonte a menos de 40 milhas (65 km) de um local onde se encontram as referidas etapas de processamento.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a queima é conduzida em uma caldeira.

5. Processo para a separação de material contendo energia das correntes de processo do processo de conversão de biomassa em etanol, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

separar os resíduos sólidos incluindo lignina provenientes de uma corrente de processo produzida a partir da produção de etanol a partir de biomassa lignocelu-

lósica;

concentrar os materiais não formadores de etanol em uma corrente líquida de processo deixada após a referida etapa de separação produzindo um concentrado; e

secar os resíduos sólidos e o concentrado para produzir um combustível queimável.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que os resíduos sólidos e dos concentrados são combinados antes da secagem.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a biomassa lignocelulósica é proveniente de uma fonte situada a menos de 100 milhas (160 km) do local da produção de etanol.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a biomassa lignocelulósica é proveniente de uma fonte situada a menos de 40 milhas (65 km) do local da produção de etanol.

9. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 8, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a concentração compreende evaporação de múltiplo efeito.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 8, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a concentração compreende destilação flash.

11. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 8, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende a queima do material queimável no local da instalação de produção de etanol, para produzir energia.

12. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 8, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende processar o material queimável a uma forma particulada.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 12, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a forma particulada está em uma forma de pelota.

14. Processo para a recuperação de um material combustível queimável proveniente da conversão de biomassa lignocelulósica em etanol, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

processar a biomassa lignocelulósica para produzir uma corrente de produto compreendendo etanol, sólidos e outros materiais orgânicos, em que os sólidos incluem lignina;

remover o etanol da corrente de produto deixando uma corrente de não-produto;

separar os sólidos da corrente de não-produto;

remover água da corrente de não-produto produzindo uma corrente de não-produto concentrada; e

secar os sólidos e a corrente de não-produto concentrada de modo a produzir um combustível queimável.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a biomassa lignocelulósica é proveniente de uma fonte situada a menos de 100 milhas (160 km) do local da produção de etanol.

16. Processo, de acordo com a reivindicação 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a biomassa lignocelulósica é proveniente de uma fonte situada a menos de 40 milhas (65 km) do local da produção de etanol.

17. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende processar o combustível queimável até uma forma de particulado.

18. Processo, de acordo com a reivindicação 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a forma particulada está em uma forma de pelota.

19. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente compreende a queima do material queimável no local do processamento da biomassa lignocelulósica, para produzir

energia.

20. Processo para a recuperação de material combustível queimável, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

obter biomassa lignocelulósica a partir de plantas cultivadas dentro de uma distância de 50 milhas (80 km) de uma instalação industrial de processamento da biomassa lignocelulósica;

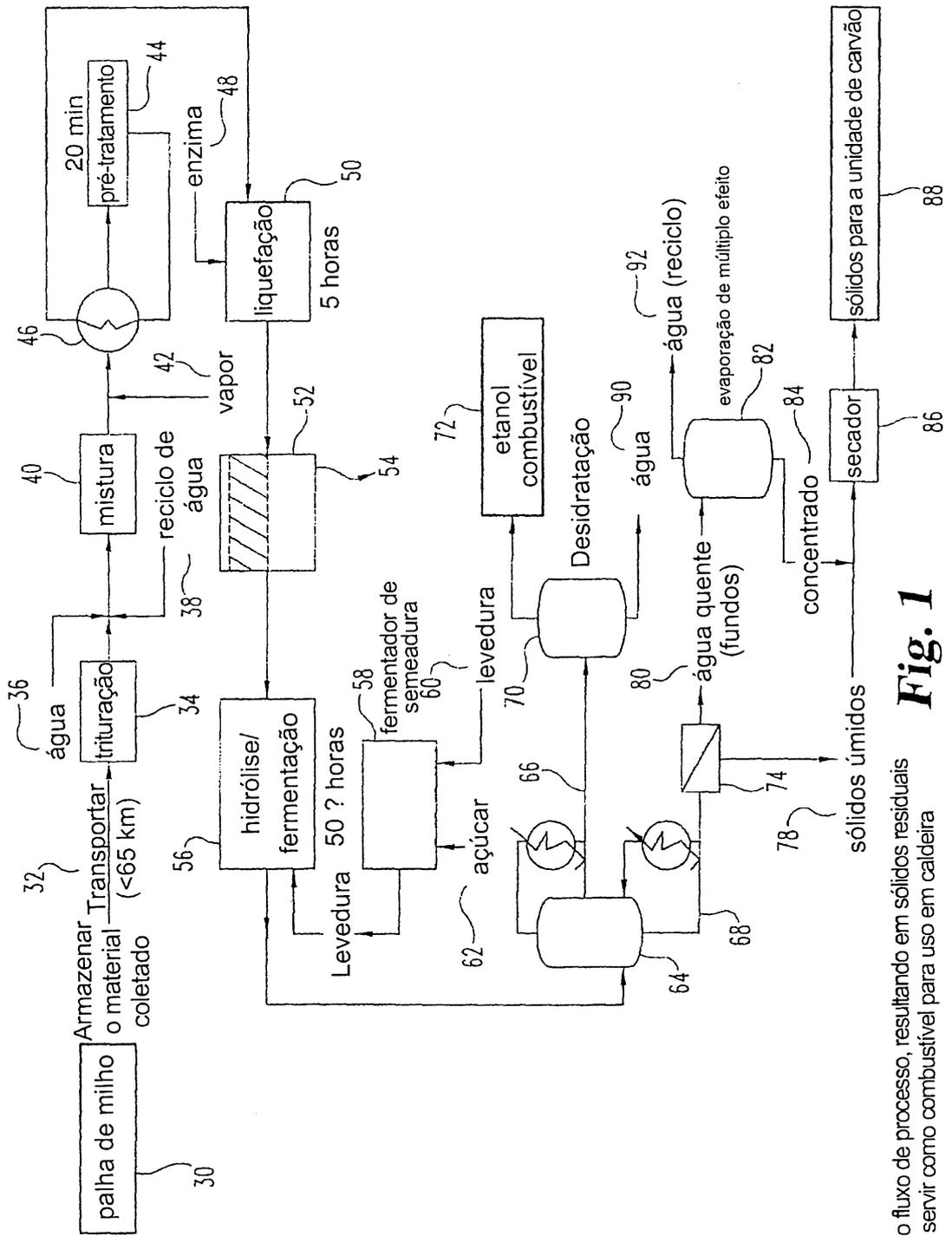
processar uma primeira quantidade da biomassa para produzir etanol;

coletar os materiais de subproduto provenientes do processamento da biomassa, os materiais de subproduto incluindo lignina;

processar os materiais de subproduto de modo a formar um material combustível queimável; e

queimar o material combustível queimável no local onde se situa a instalação de processamento da biomassa, para produzir energia.

21. Processo, de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a energia é calor, e onde o calor é fornecido para processamento de uma segunda quantidade da biomassa, para produzir etanol.



**Fig. 1**  
 Diagrama do fluxo de processo, resultando em sólidos residuais que podem servir como combustível para uso em caldeira