



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

(11) PI 0911512-9 B1

(22) Data do Depósito: 28/04/2009

(45) Data de Concessão: 16/10/2018



(54) Título: MÉTODO DE PRODUZIR UM MATERIAL CELULÓSICO OU LIGNOCELULÓSICO PARA USO NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

(51) Int.Cl.: D21B 1/06; D21C 1/00; D21F 5/00

(30) Prioridade Unionista: 03/04/2009 US 12/417,707, 30/04/2008 US 61/049,391

(73) Titular(es): XYLECO, INC.

(72) Inventor(es): MARSHALL MEDOFF

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/10/2010

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO DE PRODUZIR UM MATERIAL CELULÓSICO OU LIGNOCELULÓSICO PARA USO NA FABRICAÇÃO DE PAPEL"**.

CAMPO TÉCNICO

5 Esta invenção refere-se aos métodos e sistemas para preparar produtos de papel, e aos produtos produzidos por tais métodos e sistemas.

ANTECEDENTES

10 O papel, conforme este termo é usado neste documento, refere-se à ampla variedade de materiais de folhas à base de celulose, usados para escrever, imprimir, embalar e outras aplicações. O papel pode ser usado, por exemplo, porém sem limitação, nas seguintes aplicações: como papel-moeda, cédulas, cautelas de ações e títulos, cheques, e similares; em livros, revistas, jornais, e cultura; para embalar, por exemplo, papelão, papelão ondulado, bolsas de papel, envelopes, papel de seda, caixas; em produtos domésticos, tais como papel higiênico, lenços de papel, papéis-toalha e guardanapos de papel; papel tipo favo de mel, usado como um material de núcleo em materiais compósitos; materiais para construção; cartolina; roupa descartável; e em diversos usos industriais, incluindo lixa de esmeril, lixa, mata-borrão, papel de tornassol, papel indicador universal, cromatografia em

15 papel, separadores de bateria, e dielétricos de capacitores.

20 O papel é geralmente produzido por polpação de um material celulósico para formar uma polpa contendo fibras celulósicas, amalgamação das fibras celulósicas para formar uma lâmina úmida, e secagem da lâmina úmida. No papel acabado, as fibras são mantidas juntas por entrelaçamento mecânico e ligação de hidrogênio. A polpação pode ser efetuada em diversos modos, por exemplo, usando um processo químico (por exemplo, o processo Kraft), um processo mecânico (pasta de madeira triturada), ou um processo termomecânico (TMP). As etapas de amalgamação e secagem são geralmente efetuadas usando uma máquina de papel de alta velocidade.

25 A fonte mais comum de fibras celulósicas é a polpa de madeira das árvores. A polpa é também derivada de papel recuperado ("reciclado"). Os materiais de fibras vegetais, tais como o algodão, o cânhamo, o linho, e o

arroz, são também usados. As outras fontes de fibra que não são de madeira incluem, porém não estão limitadas à cana de açúcar, bagaço, palha, bambu, kenaf, juta, fibra de linho, e algodão. Uma ampla variedade de fibras sintéticas, tais como o polipropileno e o polietileno, bem como outros ingredientes, tais como as cargas inorgânicas, pode ser incorporada no papel como um meio para conferir as propriedades físicas desejáveis.

Para muitas aplicações, é desejável que o papel tenha alta resistência e resistência ao rasgo, mesmo em folhas muito finas, por exemplo, quando o papel for usado no acondicionamento, em aplicações industriais, como dinheiro, e em outras aplicações que requeiram resistência e durabilidade. Também é geralmente desejável que o papel exiba boas características de capacidade de impressão, com as características particulares dependendo, até certo ponto, do processo de impressão no qual o papel será usado.

15 SUMÁRIO

A invenção é baseada, em parte, na descoberta que, por irradiação dos materiais fibrosos em níveis apropriados, as características físicas do material fibroso podem ser favoravelmente alteradas. Por exemplo, o peso molecular, o nível de reticulação, os locais de enxerto, e/ou os grupos funcionais pelo menos das partes celulósicas dos materiais podem ser alterados. Além disso, as propriedades físicas, tais como a resistência à tração e a resistência ao cisalhamento do material fibroso podem ser favoravelmente alteradas. As doses relativamente altas de radiação ionizante podem ser usadas para reduzir o peso molecular pelo menos das partes celulósicas do material fibroso, auxiliando com a transformação de um material fibroso em uma polpa que seja adequada para uso na formação do papel. As doses relativamente menores de radiação ionizante podem ser usadas para aumentar o peso molecular de um produto de papel, aumentando a sua resistência à tração e outras propriedades mecânicas. A radiação ionizante pode também ser usada para controlar a funcionalização do material fibroso, isto é, os grupos funcionais que estão presentes sobre o, ou dentro do, material.

Em um aspecto, a invenção caracteriza-se por métodos de pro-

duzir um material celulósico ou lignocelulósico para uso na fabricação do papel. Alguns métodos incluem tratar uma matéria-prima seca celulósica ou lignocelulósica, tendo um primeiro peso molecular médio, com pelo menos 2,5 MRad de radiação ionizante, para reduzir o peso molecular médio da
5 matéria-prima até um nível predeterminado. O nível predeterminado é selecionado de modo que a matéria-prima tratada seja adequada para uso como, ou na formação de, uma polpa em um processo de fabricação do papel.

Algumas implementações incluem uma ou mais das seguintes características. Os métodos adicionalmente incluem submeter a matéria-prima tratada a um processo de polpação. Os métodos adicionalmente incluem submeter a matéria-prima tratada a um processo de desintegração mecânica. Os métodos podem adicionalmente incluir aplicar energia acústica à matéria-prima tratada.

Em algumas modalidades, a matéria-prima pode incluir os cavacos de madeira, e a dose de radiação ionizante pode ser cerca de 2,5 a cerca de 10 MRad. O tratamento pode incluir irradiar com radiação gama e/ou irradiar com radiação de feixe de elétrons. Em certas modalidades, os elétrons no feixe de elétrons podem ter uma energia de pelo menos 0,25 MeV.

Em um outro aspecto, a invenção caracteriza-se por métodos de preparar um produto de papel irradiado. Alguns métodos incluem tratar um produto de papel que inclui um primeiro material contendo carboidrato, tendo um primeiro peso molecular, com radiação ionizante, para proporcionar um produto de papel irradiado que inclui um segundo material contendo carboidrato, tendo um segundo peso molecular maior do que o primeiro peso molecular.
25

Em um outro aspecto, a invenção caracteriza-se por finalizar um produto de papel irradiado. O produto de papel inclui um primeiro material contendo carboidrato, que foi irradiado com pelo menos 0,10 MRad de radiação ionizante para aumentar o peso molecular do produto de papel.

30 Ainda em um outro aspecto, a invenção caracteriza-se por incluir a irradiação de um produto de papel que inclui um primeiro material contendo carboidrato com pelo menos 0,10 MRad de radiação ionizante, para au-

mentar o peso molecular do produto de papel, e então a finalização do produto de papel irradiado.

Algumas implementações incluem uma ou mais das seguintes características. A dose de radiação ionizante pode ser pelo menos 0,10 MRad, por exemplo, pelo menos 0,25 MRad. A dose de radiação ionizante pode ser controlada até um nível de cerca de 0,25 a cerca de 5 MRad. O tratamento pode incluir irradiar com radiação gama, e/ou com radiação de feixe de elétrons. Os elétrons no feixe de elétrons podem ter uma energia de pelo menos 0,25 MeV, por exemplo, de cerca de 0,25 MeV a cerca de 7,5 MeV. Os métodos podem adicionalmente incluir finalizar o produto de papel tratado. Por exemplo, a finalização pode ser efetuada na presença de um gás selecionado para reagir com os radicais presentes no produto de papel tratado.

Em mais um aspecto adicional, a invenção caracteriza-se por métodos de preparar um produto de papel irradiado que incluem tratar um material de polpa contendo carboidrato com radiação ionizante, de modo tal que o peso molecular médio do material de polpa contendo carboidrato seja aumentado.

Algumas implementações destes métodos podem incluir uma ou mais das seguintes características. O tratamento pode ocorrer durante a formação do produto de papel. A formação pode incluir a amalgamação do material de polpa em uma lâmina de papel úmida. O tratamento pode ser efetuado sobre a lâmina de papel úmida, ou antes da formação da lâmina de papel úmida. A formação pode adicionalmente incluir a secagem da lâmina de papel úmida, e o tratamento pode ocorrer após a secagem.

Em um aspecto adicional, a invenção caracteriza-se por um papel, o papel compreendendo um material lignocelulósico irradiado, onde o material lignocelulósico irradiado inclui pelo menos cerca de 2 por cento em peso de lignina, tal como pelo menos cerca de 2,5, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0 ou pelo menos cerca de 10,0 por cento em peso de lignina.

Em alguns casos, o material lignocelulósico irradiado inclui reticulações, e as reticulações ocorrem pelo menos na parte de lignina do mate-

rial lignocelulósico irradiado.

A invenção também se caracteriza por um método de preparar um papel, o método incluindo combinar um material celulósico ou lignocelulósico com a lignina e formar um papel a partir da combinação. A invenção também se caracteriza por formar um papel a partir de um precursor proporcionado combinando-se um material celulósico ou lignocelulósico com a lignina.

Em alguns casos, o material celulósico ou lignocelulósico foi irradiado, e/ou a combinação é irradiada e então formada em um papel, e/ou o papel formado é irradiado. Em alguns casos, o precursor foi irradiado.

A invenção também se caracteriza por produtos de polpa e papel formados por irradiação de materiais celulósicos e lignocelulósicos, por exemplo, usando os métodos descritos neste documento.

Em um aspecto, a invenção se caracteriza por materiais de polpa que incluem um material fibroso celulósico ou lignocelulósico tratado, tendo um peso molecular médio de menos do que 500.000 e contendo grupos funcionais não presentes em um material fibroso celulósico ou lignocelulósico de ocorrência natural, a partir do qual foi obtido o material tratado. Por exemplo, em algumas modalidades, os grupos funcionais incluem os grupos enol e/ou os grupos ácido carboxílico ou os seus sais ou ésteres. Os grupos funcionais podem também ser selecionados a partir do grupo que consiste em grupos aldeído, grupos nitroso, grupos nitrila, grupos nitro, grupos cetona, grupos amino, grupos alquil amino, grupos alquila, grupos cloroalquila, grupos clorofluoralquila, e grupos ácido carboxílico. Em alguns casos, os materiais fibrosos celulósicos ou lignocelulósicos de ocorrência natural podem incluir os cavacos de madeira. Em alguns casos, um produto de papel é formado a partir do material de polpa.

Em um outro aspecto, a invenção se caracteriza por produtos de papel que incluem um material fibroso celulósico ou lignocelulósico tratado, o material fibroso celulósico ou lignocelulósico tratado contendo grupos funcionais não presentes em um material fibroso celulósico ou lignocelulósico de ocorrência natural, a partir do qual foi obtido o material tratado.

O material celulósico ou lignocelulósico pode ser selecionado a partir do grupo que consiste em resíduo de papel, madeira, aglomerado de madeira, serragem, silagem, capins, cascas de arroz, bagaço, algodão, juta, cânhamo, fibra de linho, bambu, sisal, abacá, palha, sabugos de milho, forragem de milho, capim switchgrass, alfafa, feno, cascas de arroz, fibra de coco, algodão, alga marinha, algas, e suas misturas.

Em um outro aspecto, a preparação de um material celulósico ou lignocelulósico inclui irradiar um material celulósico ou lignocelulósico com radiação ionizante até uma temperatura selecionada; esfriar o material irradiado abaixo da temperatura selecionada; e irradiar o material esfriado com radiação ionizante novamente.

Em algumas implementações, o material celulósico ou lignocelulósico inclui um produto de papel e/ou um material de partida para a produção de polpa.

Em um outro aspecto, a preparação de um produto de papel inclui tratar na superfície um material celulósico irradiado com um revestimento ou corante.

Em um outro aspecto, a preparação de um produto de papel inclui enxertar um material sobre os locais de enxerto de um material celulósico que tenha sido irradiado, para proporcionar um material celulósico funcionalizado tendo uma pluralidade de locais de enxerto.

Em um outro aspecto, a preparação de um produto de papel inclui irradiar um material celulósico para proporcionar um material celulósico funcionalizado tendo uma pluralidade de locais de enxerto, e enxertar um material sobre os locais de enxerto.

Em algumas implementações, o material enxertado sobre os locais de enxerto inclui um corante reativo.

Em um outro aspecto, a preparação de um produto de papel inclui irradiar uma combinação que inclui um material celulósico e um agente de enxerto, em um modo que o agente de enxerto torne-se ligado ao material celulósico.

Em algumas implementações, o agente de enxerto se torna co-

valentemente ligado ao material celulósico.

Em um outro aspecto, o tratamento do papel ou de um precursor do papel inclui formar uma pluralidade de íons negativamente carregados; acelerar os íons negativamente carregados até uma primeira energia; remover uma pluralidade de elétrons de pelo menos alguns dos íons negativamente carregados para formar íons positivamente carregados; acelerar os íons positivamente carregados até uma segunda energia; e direcionar os íons positivamente carregados para serem incidentes sobre o papel ou um precursor do papel.

Em um outro aspecto, o tratamento do papel ou de um precursor do papel inclui gerar uma pluralidade de partículas carregadas; acelerar as partículas carregadas direcionando cada uma das partículas carregadas para efetuar múltiplas passagens através de uma cavidade de acelerador incluindo um campo elétrico dependente do tempo; e expor o papel ou um precursor do papel às partículas carregadas, aceleradas.

Em um outro aspecto, o tratamento do papel ou de um precursor do papel inclui gerar uma pluralidade de partículas carregadas; acelerar a pluralidade de partículas carregadas direcionando as partículas carregadas para passar através de uma cavidade de acelerador que inclui múltiplos eletrodos de diferentes potenciais, ou um acelerador compreendendo múltiplos guias de ondas, onde cada guia de ondas tem um campo eletromagnético; e expor o papel ou um precursor de papel às partículas carregadas aceleradas.

O termo "matéria-prima seca", conforme usado neste documento, refere-se a uma matéria-prima (por exemplo, cavadas de madeira ou outro material fibroso celulósico ou lignocelulósico) tendo um teor de umidade de menos do que 25%.

As descrições completas de cada um dos seguintes Pedidos de Patentes U.S. são, pelo presente, incorporadas por referência neste documento: Pedidos Provisórios U.S. N°s de Série 61/049.391; 61/049.394; 61/049.395; 61/049.404; 61/049.405; 61/049.406; 61/049.407; 61/049.413; 61/049.415; e 61/049.419, todos depositados em 30 de abril de 2008; Pedi-

dos Provisórios U.S. Nºs de Série 61/073.432; 61/073.436; 61/073.496; 61/073.530; 61/073.665; e 61/073.674, todos depositados em 18 de junho de 2008; Pedido Provisório U.S. Nº de Série 61/106.861, depositado em 20 de outubro de 2008; Pedidos Provisórios U.S. Nºs de Série 61/139.324 e
5 61/139.453, ambos depositados em 19 de dezembro de 2008; e Pedidos de Patentes U.S. Nºs de Série 12/417.707; 12/417.720; 12/417.840; 12/417.699; 12/417.731; 12/417.900; 12/417.880; 12/417.723; 12/417.786; e 12/417.904, todos depositados em 3 de abril de 2009.

Em quaisquer dos métodos divulgados neste documento, a radi-
10 ação pode ser aplicada a partir de um dispositivo que esteja em uma caverna.

Salvo definição em contrário, todos os termos técnicos e científicos utilizados neste documento têm o mesmo significado como comumente entendidos por alguém de habilidade comum na técnica à qual pertence esta
15 invenção. Embora possam ser usados métodos e materiais similares ou equivalentes àqueles descritos aqui na prática ou teste da presente invenção, são descritos abaixo os métodos e os materiais adequados. Todas as publicações, pedidos de patentes, patentes, e outras referências mencionadas são incorporados neste documento por referência em sua totalidade. Em
20 caso de conflito, o presente relatório descritivo, incluindo as definições, governará. Além disso, os materiais, os métodos e os exemplos são ilustrativos somente e não pretendidos serem limitativos.

As outras características e vantagens da invenção serão aparentes a partir da descrição detalhada a seguir, e a partir das reivindicações.

25 DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1A é uma vista diagramática de um sistema de polpação. A figura 1B é uma vista diagramática do subsistema de pré-tratamento do sistema de polpação mostrado na figura 1A.

A figura 2 é uma vista diagramática de um sistema de fabricação
30 de papel.

A figura 3 é um diagrama que ilustra modificar uma estrutura molecular e/ou uma supramolecular de um material fibroso.

A figura 4 é uma vista de corte, em perspectiva, de um irradiador gama alojado em uma caverna de concreto.

A figura 5 é uma vista em perspectiva ampliada da região, R, da figura 4.

5 A figura 6 é um diagrama esquemático de um acelerador de CC.

A figura 7 é uma vista esquemática de um sistema para sonicar uma corrente de processo de material celulósico em um meio líquido.

A figura 8 é uma vista esquemática de um sonificador tendo dois transdutores acoplados a uma única buzina ("horn").

10 A figura 9 é uma vista lateral de seção transversal esquemática de um dispositivo de feixe de elétrons/sonicação híbrido.

A figura 10 é um diagrama esquemático de uma fonte de ionização por campo.

15 A figura 11 é um diagrama esquemático de um separador de íons eletrostático.

A figura 12 é um diagrama esquemático de um gerador de ionização por campo.

A figura 13 é um diagrama esquemático de uma fonte de emissão termiônica.

20 A figura 14 é um diagrama esquemático de uma fonte de íons de descarga de micro-ondas.

A figura 15 é um diagrama esquemático de um acelerador de recirculação.

25 A figura 16 é um diagrama esquemático de um acelerador estático.

A figura 17 é um diagrama esquemático de um acelerador linear dinâmico.

A figura 18 é um diagrama esquemático de um acelerador de van de Graaff.

30 A figura 19 é um diagrama esquemático de um acelerador em conjunto dobrado.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Conforme discutido acima, a invenção é baseada, em parte, na descoberta que, por irradiação de materiais fibrosos, isto é, materiais celulósicos e lignocelulósicos, em níveis apropriados, pode ser alterada a estrutura molecular de pelo menos uma parte celulósica do material fibroso. Por exemplo, a alteração na estrutura molecular pode incluir uma alteração em qualquer um ou mais de um peso molecular médio, cristalinidade média, área de superfície, polimerização, porosidade, ramificação, enxerto, e tamanho do domínio da parte celulósica. Estas alterações na estrutura molecular podem, por sua vez, resultar em alterações favoráveis das características físicas exibidas pelos materiais fibrosos. Além disso, os grupos funcionais do material fibroso podem ser alterados favoravelmente.

Por exemplo, as propriedades a seguir podem ser aumentadas em 10, 20, 30, 40, 50, 75, ou mesmo 100% em relação às mesmas propriedades antes da irradiação.

TAPPI T494 om-06, Propriedades de Tração do Papel e do Papelão (Usando Aparelho de Taxa Constante de Alongamento), incluindo a resistência à tração e o comprimento de ruptura;

Método TAPPI T 414 om-04, Resistência ao rasgo interna do papel (Método do tipo Elmendorf);

Método TAPPI T 403 om-02, Resistência à ruptura do papel; e

Método TAPPI T 451 cm-84, Propriedades flexionais do papel (Dureza de Clark).

Os diversos materiais celulósicos e lignocelulósicos, os seus usos, e as aplicações foram descritos nas Patentes U.S. N°s 7.307.108, 7.074.918, 6.448.307, 6.258.876, 6.207.729, 5.973.035 e 5.952.105; e em diversos pedidos de patentes, incluindo "FIBROUS MATERIALS AND COMPOSITES," PCT/US2006/010648, depositado em 23 de março de 2006, e "FIBROUS MATERIALS AND COMPOSITES", Publicação de Pedido de Patente U.S. N° 2007/0045456. Os documentos antes mencionados são todos incorporados por referência neste documento em suas totalidades. O material celulósico e lignocelulósico pode incluir, por exemplo, o resíduo de papel, a madeira, o aglomerado de madeira, a serragem, a silagem, os capins, as

cascas de arroz, o bagaço, o algodão, a juta, o cânhamo, a fibra de linho, o bambu, o sisal, o abacá, a palha, os sabugos de milho, a forragem de milho, o capim switchgrass, a alfafa, o feno, as cascas de arroz, a fibra de coco, o algodão, a alga marinha, as algas, e as suas misturas.

5 As doses relativamente altas de radiação ionizante podem ser usadas para reduzir o peso molecular do material fibroso, auxiliando com a transformação do material fibroso em polpa, que é adequada para uso na fabricação de papel. Assim, a irradiação pode ser usada para pré-tratar uma matéria-prima e, assim, facilitar um processo de polpação químico, mecâni-

10 co, ou termomecânico ou, em alguns casos, pode ser usada para substituir pelo menos uma parte de um processo de polpação convencional. As doses relativamente altas podem também ser aplicadas a áreas selecionadas de um produto de papel ou um precursor (por exemplo, uma lâmina de papel úmida) para formar regiões predeterminadas, nas quais o papel está enfra-

15 quecido, por exemplo, para criar zonas de rasgo.

 As doses relativamente menores de radiação ionizante podem ser aplicadas, em um ou mais estágios de um processo de fabricação de papel e/ou a um produto de papel acabado, para aumentar o peso molecular e o nível de reticulação de um produto de papel.

20 A radiação ionizante pode também ser usada para controlar a funcionalização do material fibroso, isto é, os grupos funcionais que estão presentes sobre ou dentro do material, os quais podem aumentar a solubili-

 dade e/ou a dispersibilidade durante a polpação, e podem afetar favoravel-

25 mente as propriedades de superfície de um produto de papel, por exemplo, a receptividade da superfície aos revestimentos, tintas e corantes.

 Cada um destes processos será discutido em detalhe abaixo.

 As etapas de irradiação discutidas acima podem ser combinadas em muitos modos. Alguns exemplos de processos incluindo a irradiação incluem os que seguem:

30 (a) Irradiar somente com uma alta dose de radiação ionizante, para reduzir o peso molecular e facilitar a polpação. A irradiação pode ser efetuada antes ou durante a polpação.

(b) Irradiar somente com uma baixa dose de radiação ionizante, para aumentar o peso molecular, e reduzir até uma polpa convencionalmente. A irradiação pode ser efetuada em qualquer estágio do processo de fabricação de papel, ou sobre o papel acabado.

5 (c) Irradiar com uma alta dose de radiação ionizante, para decompor o peso molecular e facilitar a polpação, seguida por irradiação com uma dose baixa de radiação, para aumentar o peso molecular.

(d) Irradiar sob condições que alterem favoravelmente os grupos funcionais presentes no material. Isto pode ser efetuado durante uma das etapas discutidas acima, ou como uma etapa separada, conforme será discutido em detalhe abaixo.

(e) Irradiar áreas selecionadas do papel ou um precursor do papel com uma dose relativamente alta de radiação, para formar áreas enfraquecidas predeterminadas. Esta etapa pode ser efetuada sozinha, ou em combinação com quaisquer das etapas discutidas em (a)-(d) acima.

(f) Irradiar múltiplas vezes para obter uma dose final dada, por exemplo, emitindo uma dose de 1 MRad 10 vezes repetidas, para proporcionar uma dose final de 10 MRad. Isto pode impedir o superaquecimento do material irradiado, particularmente se o material for esfriado entre as doses.

20 Irradiação para Reduzir o Peso Molecular

A radiação ionizante pode ser aplicada a um material fibroso celulósico ou lignocelulósico que seja adequado para uso na fabricação do papel (por exemplo, cavacos de madeira) antes ou durante a polpação, em uma dose que seja suficiente para converter o material de partida em polpa.

25 Em outras palavras, pode ser usada uma irradiação com uma dose de radiação ionizante que é selecionada para converter ou auxiliar na conversão do material de partida em polpa no lugar dos processos convencionais de polpação, tais como a polpação química, mecânica, e termomecânica.

Neste caso, a dose é selecionada de modo que o peso molecular do material de partida seja reduzido até uma proporção similar à proporção pela qual o peso molecular é reduzido pela polpação convencional. Por exemplo, no caso de converter os cavacos de madeira em polpa, a dose ge-

ralmente seria selecionada para reduzir o peso molecular a partir do peso molecular de partida (1 milhão ou maior) para cerca de 20.000 a 500.000. A dose ótima dependerá da matéria-prima usada, porém geralmente estará na faixa de 10 MRad a 1000 MRad, por exemplo, 25 MRad a 500 MRad, para as matérias-primas convencionais de papel, tais como os materiais à base de madeiras.

Vantajosamente, em algumas implementações não é necessário remover a lignina da polpa, conforme é convencionalmente feito durante o processo de polpação. Este é o caso, por exemplo, se o papel for irradiado com uma dose baixa, para aumentar o peso molecular, de radiação ionizante durante ou depois do processo de preparação do papel, conforme será discutido abaixo. Neste caso, a lignina residual pode de fato ser útil, visto que a lignina atua como uma carga, reduzindo efetivamente a quantidade de material celulósico necessário, e pode ser reticulada pela radiação em baixa dose.

Em outras implementações, em vez de substituir a polpação convencional pela irradiação, a radiação ionizante pode ser aplicada antes ou durante um processo de polpação convencional, para facilitar ou aumentar o processo de polpação. Por exemplo, os cavacos de madeira podem ser irradiados com uma dose relativamente alta de radiação ionizante, antes do início do processo de polpação. Se desejado, após a irradiação, os cavacos de madeira podem ser submetidos a um processo mecânico, antes da polpação química, tal como a raspagem, o corte, ou a pulverização adicional. A irradiação e, opcionalmente, a polpação mecânica da matéria-prima irradiada podem iniciar a decomposição da matéria-prima, em alguns casos permitindo que a polpação química seja efetuada sob condições menos severas, por exemplo, usando menos substâncias químicas, menos energia, e/ou menos água.

A radiação ionizante pode também ser usada em um processo de reciclo de papel, para reduzir novamente a uma polpa o papel residual para uso como material de partida na produção de papel reciclado. Neste caso, a dose de radiação ionizante emitida é selecionada para ser suficiente

para decompor a ligação de hidrogênio e mecânica no papel, sem afetar de modo deletério as fibras celulósicas e/ou lignocelulósicas no papel. A dose de radiação ionizante pode, por exemplo, ser cerca de 20% a 30% menor do que a dose usada quando o material de partida for cavacos de madeira.

5 A figura 1A mostra um sistema 100 para converter o material de partida celulósico ou lignocelulósico, toras de madeira no exemplo mostrado, em polpa adequada para uso na fabricação de papel. O sistema 100 inclui um subsistema de preparação de alimentação 110, um subsistema de pré-tratamento 114, um subsistema de processo primário 118, e um subsistema
10 de pós-processamento 122. O subsistema de preparação de alimentação 110 recebe o material de partida em sua forma bruta (por exemplo, toras), e prepara fisicamente o material de partida para os processos a jusante (por exemplo, reduz o tamanho do material e começa a homogeneizar o material). No exemplo mostrado, isto é efetuado por descascamento e raspagem
15 das toras. Os materiais de partida com componentes celulósicos e lignocelulósicos significativos podem ter um peso molecular médio e uma cristalinidade altos, que podem tornar a polpação difícil.

O subsistema de pré-tratamento 114 recebe a matéria-prima (por exemplo, os cavacos de madeira) a partir do subsistema de preparação
20 de alimentação 110 e prepara a matéria-prima para uso nos processos de produção primários, por exemplo, reduzindo o peso molecular médio e a cristalinidade, e alterando o tipo e o grau de funcionalização da matéria-prima. Isto é efetuado, no exemplo mostrado, por irradiação com uma dose relativamente alta de radiação ionizante, seguida por um processo de soni-
25 cação em linha (acústico). A sonicação será discutida em detalhe abaixo. Uma correia transportadora carrega a matéria-prima a partir do subsistema de preparação de alimentação 110 para o subsistema de pré-tratamento 114.

Conforme mostrado na figura 1B, no subsistema de pré-
30 tratamento 114, a matéria-prima é irradiada, por exemplo, usando os emissores de feixes de elétrons 492, misturada com água para formar uma pasta fluida, e submetida à aplicação de energia ultrassônica. Conforme discutido

acima, a irradiação da matéria-prima altera a estrutura molecular (por exemplo, reduz o peso molecular médio e a cristalinidade) da matéria-prima. Misturar a matéria-prima irradiada em uma pasta fluida e aplicar energia ultrassônica à pasta fluida altera adicionalmente a estrutura molecular da matéria-prima. A aplicação de radiação e de sonicação, em sequência, pode ter efeitos sinérgicos pelo fato de que a combinação de técnicas parece obter maiores alterações na estrutura molecular (por exemplo, redução do peso molecular médio e da cristalinidade) do que pode eficientemente obter sozinha uma ou outra técnica. Sem desejar estar ligado por teoria, além de reduzir a polimerização da matéria-prima por ruptura das ligações intramoleculares entre os segmentos dos componentes celulósicos e lignocelulósicos da matéria-prima, a irradiação pode tornar a estrutura física global da matéria-prima mais frágil. Após a matéria-prima frágil ser misturada em uma pasta fluida, a aplicação de energia ultrassônica altera adicionalmente a estrutura molecular (por exemplo, reduz o peso molecular médio e a cristalinidade) e também pode reduzir o tamanho de partícula da matéria-prima.

A correia transportadora 491 que carrega a matéria-prima para o subsistema de pré-tratamento distribui a matéria-prima para múltiplas correntes de alimentação (por exemplo, cinquenta correntes de alimentação), cada uma levando para os emissores de feixes de elétrons 492 separados. De preferência, a matéria-prima é irradiada ao mesmo tempo em que ela é seca. Por exemplo, a matéria-prima pode ter um teor de umidade de menos do que 25%, preferivelmente menos do que 20%, menos do que 15% ou menos do que 10%. Cada corrente de alimentação é carregada sobre uma correia transportadora separada para um emissor de feixes de elétrons associado. Cada correia transportadora de alimentação de irradiação pode ser de aproximadamente um metro de largura. Antes de atingir o emissor de feixes de elétrons, pode ser induzida uma vibração localizada em cada correia transportadora, para distribuir uniformemente a matéria-prima seca sobre a largura de seção transversal da correia transportadora.

O emissor de feixes de elétrons 492 (por exemplo, os dispositivos de irradiação de feixes de elétrons comercialmente disponíveis da Titan

Corporation, San Diego, CA) é, em um exemplo, configurado para aplicar uma dose de elétrons de 100 quiloGray, em uma potência de 300 kW. Os emissores de feixes de elétrons são dispositivos de feixes de varredura com uma largura de alcance de 1 metro para corresponder à largura da correia transportadora. Em algumas modalidades, utilizam-se emissores de feixes de elétrons com grandes larguras de feixe fixo. Diversos fatores, incluindo a largura da correia/feixe, a dose desejada, a densidade da matéria-prima, e a energia aplicada, governam o número de emissores de feixes de elétrons requeridos para a planta para processar 2.000 toneladas por dia de matéria-prima seca.

Em algumas modalidades, a sonicação é omitida do sistema de pré-tratamento. Em algumas modalidades, o processamento mecânico adicional, por exemplo, a raspagem adicional, substitui ou é utilizado além da sonicação.

Em alguns casos, o produto do subsistema de processo primário 118 é diretamente útil como polpa, porém, em outros casos, o produto requer processamento adicional, o qual é proporcionado pelo subsistema de pós-processamento 122. O subsistema de pós-processamento 122 proporciona polpação química do produto do subsistema de processo primário (por exemplo, cozimento por pressão e digestão, no exemplo mostrado). Se o papel a ser produzido com a polpa for branqueado, por exemplo, se o papel for um papel de impressão branqueado, efetua-se uma etapa de branqueamento. Esta etapa pode ser omitida para a polpa a ser usada para o papel não branqueado. Em algumas modalidades, o subsistema de pós-processamento 122 utiliza outros processos de polpação, tais como a polpação termomecânica, em vez da polpação química. Conforme mostrado, em alguns casos, o subsistema de pós-processamento 122 pode produzir água tratada a ser reciclada para uso como água de processo em outros subsistemas, e/ou pode produzir resíduo inflamável que pode ser usado como combustível para caldeiras que produzem vapor e/ou eletricidade.

Irradiação para Aumentar o Peso Molecular

As doses relativamente baixas de radiação ionizante podem reti-

cular, enxertar, ou de outro modo aumentar o peso molecular de um material contendo carboidrato, tal como um material celulósico ou lignocelulósico (por exemplo, a celulose). Em algumas modalidades, o peso molecular médio numérico de partida (antes da irradiação) de um produto de papel ou de um precursor para um produto de papel é de cerca de 20.000 a cerca de 500.000, por exemplo, de cerca de 25.000 a cerca de 100.000. O peso molecular médio numérico após a irradiação é maior do que o peso molecular médio numérico de partida, por exemplo, em pelo menos cerca de 10%, 25%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200%, 300%, ou tanto quanto 500%. Por exemplo, se o peso molecular médio numérico de partida estiver na faixa de cerca de 20.000 a cerca de 100.000, o peso molecular médio numérico após a irradiação é, em alguns casos, de cerca de 40.000 a cerca de 200.000.

Os novos métodos podem ser usados para alterar favoravelmente as propriedades dos papéis à base de celulose por aplicação de radiação em um ou mais estágios selecionados do processo de fabricação de papel. Em alguns casos, a irradiação melhorará a resistência e a resistência ao rasgo do papel, aumentando a resistência das fibras celulósicas das quais é feito o papel. Além disso, o tratamento do material celulósico com a radiação pode esterilizar o material, o que pode reduzir a tendência do papel de promover o crescimento de bolor, mofo ou similar. A irradiação é geralmente efetuada em um modo controlado e predeterminado, para proporcionar propriedades ótimas para uma aplicação particular, tal como resistência, por seleção do tipo ou dos tipos de radiação empregados e/ou da dose ou das doses de radiação aplicadas.

Uma dose baixa de radiação ionizante pode ser aplicada para aumentar o peso molecular, por exemplo, após a polpação e antes da amalgamação das fibras em polpa para uma lâmina; à lâmina de fibra úmida; à lâmina de papel durante ou após a secagem; ou à lâmina de papel secada, por exemplo, antes, durante, ou após as etapas de processamento subsequentes, tais como a engomadura, o revestimento, e a calandragem. Prefere-se geralmente que a radiação seja aplicada à lâmina quando ela tiver um teor de umidade relativamente baixo. No exemplo mostrado na figura 2, a

irradiação pode ser efetuada durante a secagem e o acabamento, por exemplo, entre as operações de engomadura, secagem, prensagem e calandragem, ou durante o pós-processamento, por exemplo, ao papel acabado em cilindro, cilindro com fenda ou forma de folha.

- 5 Conforme observado acima, em algumas modalidades, a radiação é aplicada em mais do que um ponto durante o processo de fabricação. Por exemplo, a radiação ionizante pode ser usada em uma dose relativamente alta para formar ou para auxiliar a formar a polpa, e então, posteriormente, em uma dose relativamente menor para aumentar o peso molecular
- 10 das fibras no papel. Conforme será discutido em detalhe adicional abaixo, a radiação pode também ser aplicada ao papel acabado, em uma forma de modo a afetar favoravelmente os grupos funcionais presentes dentro e/ou sobre a superfície do papel. A radiação em altas doses pode ser aplicada ao papel acabado em áreas selecionadas da lâmina de papel, para criar áreas
- 15 localmente enfraquecidas, por exemplo, para proporcionar zonas de rasgo.

Como um modo prático, usando a tecnologia existente, é geralmente mais desejável integrar a etapa de irradiação no processo de fabricação de papel após a polpação e antes da introdução da polpa na máquina de fabricação de papel, ou após a lâmina ter saído da máquina de fabricação de

20 papel, tipicamente após a secagem e a engomadura. Entretanto, conforme observado acima, a irradiação pode ser efetuada em qualquer estágio desejado no processo.

Se desejado, podem ser adicionados diversos aditivos de reticulação à polpa, para aumentar a reticulação em resposta à irradiação. Tais

25 aditivos incluem os materiais que são eles próprios reticuláveis e os materiais que auxiliarão com a reticulação. Os aditivos de reticulação incluem, porém não estão limitados à lignina, amido, diacrilatos, compostos de divinila, e polietileno. Em algumas implementações, tais aditivos são incluídos em concentrações de cerca de 0,25% a cerca de 2,5%, por exemplo, cerca de 0,5%

30 a cerca de 1,0%.

Irradiação para Afetar os Grupos Funcionais do Material

Após o tratamento com uma ou mais radiações ionizantes, tais

como a radiação fotônica (por exemplo, raios X ou raios gama), a radiação de feixes e/ou a irradiação com partículas mais pesadas do que os elétrons que estão carregadas positiva ou negativamente (por exemplo, prótons ou íons de carbono) em quaisquer dos materiais contendo carboidratos ou as

5 misturas descritas neste documento tornam-se ionizadas; ou seja, elas incluem radicais em níveis que são detectáveis, por exemplo, com um espectrômetro de ressonância de spin de elétrons. Após a ionização, qualquer material que tenha sido ionizado pode ser finalizado para reduzir o nível de radicais no material ionizado, por exemplo, de modo tal que os radicais não

10 mais sejam detectáveis com o espectrômetro de ressonância de spin de elétrons. Por exemplo, os radicais podem ser finalizados pela aplicação de pressão suficiente ao material ionizado e/ou por contato do material ionizado com um fluido, tal como um gás ou líquido, que reage com (finaliza) os radicais. Diversos gases, por exemplo, o nitrogênio ou o oxigênio, ou líquidos

15 podem ser usados para pelo menos auxiliar na finalização dos radicais e para funcionalizar o material ionizado com os grupos funcionais desejados. Assim, a irradiação seguida por finalização pode ser usada para proporcionar polpa ou papel com os grupos funcionais desejados. Assim, a irradiação seguida por finalização pode ser usada para prover a polpa ou o papel com

20 os grupos funcionais desejados, incluindo, por exemplo, um ou mais dos seguintes: grupos aldeído, grupos enol, grupos nitroso, grupos nitrila, grupos nitro, grupos cetona, grupos amino, grupos alquil amino, grupos alquila, grupos cloroalquila, grupos clorofluoralquila, e/ou grupos ácido carboxílico. Estes grupos aumentam a capacidade da região do material onde eles estão

25 presentes de ser hidrofílica. Em algumas implementações, a lâmina de papel é irradiada e finalizada, antes ou após as etapas de processamento, tais como o revestimento e a calandragem, para afetar a funcionalidade dentro e/ou na superfície do papel e, com isso, afetar a receptividade à tinta e outras propriedades do papel. Em outras implementações, a matéria-prima de

30 papel é irradiada com uma dose relativamente alta de radiação ionizante, para facilitar a polpação, e então, mais tarde, finalizada para melhorar a estabilidade do material ionizado na polpa.

A figura 3 ilustra a alteração de uma estrutura molecular e/ou supramolecular de material fibroso, tal como a matéria-prima de papel, o precursor do papel (por exemplo, uma lâmina de papel úmida), ou o papel, por pré-tratamento do material fibroso com radiação ionizante, tal como com os elétrons ou os íons de energia suficiente para ionizar o material, para proporcionar um primeiro nível de radicais. Conforme mostrado na figura 3, se o material ionizado permanecer na atmosfera, ele será oxidado, por exemplo, até um ponto que grupos ácidos carboxílicos sejam gerados por reação com o oxigênio atmosférico. Em algumas situações, com alguns materiais, tal oxidação é desejada, porque ela pode auxiliar na decomposição adicional no peso molecular do material contendo carboidrato (por exemplo, se a irradiação estiver sendo usada para facilitar a polpação). Entretanto, visto que os radicais podem "viver" por algum tempo após a irradiação, por exemplo, por mais tempo do que 1 dia, 5 dias, 30 dias, 3 meses, 6 meses, ou mesmo por mais tempo do que 1 ano, as propriedades do material podem continuar a se alterar ao longo do tempo, o que, em algumas situações, pode ser indesejável.

A detecção dos radicais em amostras irradiadas por espectroscopia de ressonância de spin de elétrons e das durações dos radicais em tais amostras é discutida em Bartolotta e outros, *Physics in Medicine and Biology*, 46 (2001), 461-471 e em Bartolotta e outros, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 84, N°s 1-4, págs. 293-296 (1999). Conforme mostrado na figura 3, o material ionizado pode ser finalizado para funcionalizar e/ou estabilizar o material ionizado.

Em algumas modalidades, a finalização inclui a aplicação de pressão ao material ionizado, tal como deformando mecanicamente o material, por exemplo, comprimindo direta e mecanicamente o material em uma, duas, ou três dimensões, ou aplicando pressão ao fluido no qual o material está imerso, por exemplo, prensagem isostática. No caso do papel que tiver sido ionizado, a pressão pode ser aplicada, por exemplo, passando o papel através de uma pinça. Em tais situações, a deformação do material, ele próprio, ocasiona os radicais, que estão frequentemente presos em domínios

cristalinos, em proximidade rente o suficiente para os radicais se reagruparem, ou reagirem com um outro grupo. Em alguns casos, a pressão é aplicada juntamente com a aplicação de calor, por exemplo, uma quantidade de calor suficiente para elevar a temperatura do material até acima de um ponto de fusão ou ponto de amolecimento de um componente do material ionizado, tal como a lignina, a celulose ou a hemicelulose. O calor pode melhorar a mobilidade molecular no material, o que pode auxiliar na finalização dos radicais. Quando a pressão for utilizada para finalizar, a pressão pode ser maior do que cerca de 6894,76 kPa (1000 psi), tal como maior do que cerca de 8.618,45 kPa (1250 psi), 9.997,40 kPa (1450 psi), 24.993,50 kPa (3625 psi), 34.990,90 kPa (5075 psi), 49.987,00 kPa (7250 psi), 68.947,58 kPa (10000 psi), ou mesmo maior do que 103.421,36 kPa (15000 psi).

Em algumas modalidades, a finalização inclui contatar o material ionizado com um fluido, tal como um líquido ou um gás, por exemplo, um gás capaz de reagir com os radicais, tal como o acetileno ou uma mistura de acetileno em nitrogênio, etileno, etilenos clorados ou clorofluoretilenos, propileno ou misturas destes gases. Em outras modalidades particulares, a finalização inclui contatar o material ionizado com um líquido, por exemplo, um líquido solúvel, ou pelo menos capaz de penetrar, no material ionizado e reagir com os radicais, tal como um dieno, tal como o 1,5-ciclo-octadieno. Em algumas modalidades específicas, a finalização inclui contatar o material ionizado com um antioxidante, tal como a Vitamina E. Se desejado, o material pode incluir um antioxidante disperso nele, e a finalização pode vir do contato do antioxidante disperso no material com os radicais.

São possíveis outros métodos para a finalização. Por exemplo, qualquer método para finalizar os radicais em materiais poliméricos descrito em Muratoglu e outros, Pedido de Patente U.S. Nº 2008/0067724, e Muratoglu e outros, Patente U.S. Nº 7.166.650, cujas descrições são incorporadas neste documento por referência em suas totalidades, pode ser utilizado para finalizar qualquer material ionizado descrito aqui. Além disso, qualquer agente de finalização (descrito como um "agente sensibilizante" nas descrições de Muratoglu acima observadas) e/ou qualquer antioxidante descrito em

qualquer referência de Muratoglu podem ser utilizados para finalizar qualquer material ionizado.

A funcionalização pode ser aumentada utilizando íons carregados pesados, tais como quaisquer dos íons mais pesados descritos neste documento. Por exemplo, se for desejado aumentar a oxidação, os íons de oxigênio carregados podem ser utilizados para a irradiação. Se os grupos funcionais de nitrogênio forem desejados, os íons de nitrogênio ou qualquer íon que inclua o nitrogênio pode ser utilizado. Também, se os grupos de enxofre ou fósforo forem desejados, os íons de enxofre ou fósforo podem ser usados na irradiação.

Em algumas modalidades, após a finalização, quaisquer dos materiais ionizados finalizados descritos neste documento podem ser adicionalmente tratados com uma ou mais doses adicionais de radiação, tal como radiação ionizante ou não ionizante, sonicação, pirólise, e oxidação, para a alteração adicional da estrutura molecular e/ou supramolecular.

Em algumas modalidades, o material fibroso é irradiado sob uma camada de gás inerte, por exemplo, o hélio ou o argônio, antes da finalização.

A posição dos grupos funcionais pode ser controlada, por exemplo, selecionando um tipo e uma dose particular de partículas ionizantes. Por exemplo, a radiação gama tende a afetar a funcionalidade das moléculas dentro do papel, enquanto que a radiação de feixe de elétrons tende a afetar preferencialmente a funcionalidade das moléculas na superfície.

Em alguns casos, a funcionalização do material pode ocorrer simultaneamente com a irradiação, em vez de como um resultado de uma etapa de finalização separada. Neste caso, o tipo de grupos funcionais e o grau de oxidação podem ser afetados em diversos modos, por exemplo, controlando a cobertura pelo gás do material a ser irradiado, através da qual passa o feixe de irradiação. Os gases adequados incluem o nitrogênio, o oxigênio, o ar, o ozônio, o dióxido de nitrogênio, o dióxido de enxofre e o cloro.

Em algumas modalidades, a funcionalização resulta na formação

de grupos enol no material fibroso. Quando o material fibroso for o papel, isto pode aumentar a receptividade do papel às tintas, adesivos, revestimentos, e similares, e pode proporcionar locais de enxerto. Os grupos enol podem auxiliar a decompor o peso molecular, especialmente na presença de base ou ácido adicionado. Assim, a presença de tais grupos pode auxiliar com a polpação. No produto de papel acabado, geralmente o pH está próximo suficientemente ao neutro, de modo que estes grupos não causarão uma diminuição deletéria no peso molecular.

Exposição ao Feixe de Partículas nos Fluidos

10 Em alguns casos, os materiais celulósicos ou lignocelulósicos podem ser expostos a um feixe de partículas na presença de um ou mais fluidos adicionais (por exemplo, gases e/ou líquidos). A exposição de um material a um feixe de partículas, na presença de um ou mais fluidos adicionais, pode aumentar a eficiência do tratamento.

15 Em algumas modalidades, o material é exposto a um feixe de partículas na presença de um fluido, tal como o ar. As partículas aceleradas em qualquer um ou mais dos tipos de aceleradores divulgados neste documento (ou um outro tipo de acelerador) são acopladas fora do acelerador, por meio de um compartimento de saída (por exemplo, uma membrana fina, 20 tal como uma folha metálica), passam através de um volume de espaço ocupado pelo fluido, e estão então incidentes sobre o material. Além de tratar diretamente o material, algumas das partículas geram espécies químicas adicionais por interação com as partículas do fluido (por exemplo, íons e/ou radicais gerados a partir de diversos constituintes do ar, tais como o ozônio e 25 os óxidos de nitrogênio). Estas espécies químicas geradas podem também interagir com o material, e podem atuar como iniciadores para uma variedade de diferentes reações químicas de rompimento de ligações no material. Por exemplo, qualquer oxidante produzido pode oxidar o material, o que pode resultar na redução do peso molecular.

30 Em certas modalidades, os fluidos adicionais podem ser introduzidos seletivamente no percurso de um feixe de partículas, antes do feixe estar incidente sobre o material. Conforme discutido acima, as reações entre

as partículas do feixe e as partículas dos fluidos introduzidos podem gerar espécies químicas adicionais, que reagem com o material e podem auxiliar na funcionalização do material, e/ou de outro modo alterar seletivamente certas propriedades do material. Os um ou mais fluidos adicionais podem ser

5 dirigidos para o percurso do feixe a partir de um tubo de fornecimento, por exemplo. A direção e a vazão do(s) fluido(s) que é/são introduzido(s) podem ser selecionadas de acordo com uma taxa de exposição e/ou direção desejadas, para controlar a eficiência do tratamento global, incluindo os efeitos que resultam do tratamento baseado em ambas as partículas e os efeitos

10 que são devidos à interação das espécies dinamicamente geradas a partir do fluido introduzido com o material. Além do ar, os fluidos ilustrativos que podem ser introduzidos no feixe de íons incluem o oxigênio, o nitrogênio, um ou mais gases nobres, um ou mais halogênios, e o hidrogênio.

Resfriamento dos Materiais Irradiados

15 Durante o tratamento dos materiais discutidos acima com a radiação ionizante, especialmente em taxas de doses altas, tais como em taxas maiores do que 0,15 Mrad por segundo, por exemplo, 0,25 Mrad/s, 0,35 Mrad/s, 0,5 Mrad/s, 0,75 Mrad/s ou mesmo mais do que 1 Mrad/s, os materiais podem reter quantidades significativas de calor, de modo que a temperatura do material se torna elevada. Embora as temperaturas mais elevadas

20 possam, em algumas modalidades, ser vantajosas, por exemplo, quando for desejada uma taxa de reação mais rápida, é vantajoso controlar o aquecimento para manter o controle sobre as reações químicas iniciadas pela radiação ionizante, tais como a reticulação, a cisão da cadeia e/ou o enxerto, por

25 exemplo, para manter o controle do processo.

Por exemplo, em um método, o material é irradiado em uma primeira temperatura com a radiação ionizante, tal como fótons, elétrons ou íons (por exemplo, cátions ou ânions individual ou multiplamente carregados), por um tempo suficiente e/ou uma dose suficiente para elevar o mate-

30 rial até uma segunda temperatura, maior do que a primeira temperatura. O material irradiado é então resfriado até uma terceira temperatura abaixo da segunda temperatura. Se desejado, o material resfriado pode ser tratado

uma ou mais vezes com radiação, por exemplo, com radiação ionizante. Se desejado, o resfriamento pode ser aplicado ao material após e/ou durante cada tratamento de radiação.

5 O resfriamento pode, em alguns casos, incluir o contato do material com um fluido, tal como um gás, em uma temperatura abaixo da primeira ou da segunda temperatura, tal como o nitrogênio gasoso a, ou em torno de, $-196,15^{\circ}\text{C}$ (77 K). Mesmo a água, tal como a água em uma temperatura abaixo da temperatura ambiente nominal (por exemplo, 25 graus Celsius), pode ser utilizada em algumas implementações.

10 Tipos de Radiação

A radiação pode ser proporcionada, por exemplo, por: 1) partículas carregadas pesadas, tais como as partículas alfa; 2) elétrons, produzidos, por exemplo, em aceleradores de desintegração beta ou feixe de elétrons; ou 3) radiação eletromagnética, por exemplo, raios gama, raios x ou raios ultravioletas. As formas diferentes de radiação ionizam o material celulósico ou lignocelulósico por meio de interações particulares, como determinadas pela energia da radiação.

20 As partículas carregadas pesadas ionizam principalmente a matéria por meio do espalhamento de Coulomb; além disso, estas interações produzem elétrons energéticos que podem adicionalmente ionizar a matéria. As partículas alfa são idênticas ao núcleo de um átomo de hélio e são produzidas por desintegração alfa de diversos núcleos radioativos, tais como os isótopos de bismuto, polônio, astato, radônio, frâncio, rádio, diversos actínides, tais como actínio, tório, urânio, netúnio, cúrio, califórnio, amerício e plutônio.

25 Os elétrons interagem via espalhamento de Coulomb e radiação de freamento (bremsstrahlung) produzida por alterações na velocidade dos elétrons. Os elétrons podem ser produzidos por núcleos radioativos que sofrem desintegração alfa, tais como os isótopos de iodo, cério, tecnécio e irídio. Alternativamente, uma pistola de elétrons pode ser usada como uma fonte de elétrons via emissão termiônica.

A radiação eletromagnética interage por meio de três processos:

absorção fotoelétrica, espalhamento de Compton e produção de pares. A interação dominante é determinada pela energia de radiação incidente e pelo número atômico do material. A soma das interações que contribuem para a radiação absorvida no material celulósico pode ser expressa pelo coeficiente de absorção de massa.

A radiação eletromagnética é subclassificada como raios gama, raios x, raios ultravioletas, raios infravermelhos, micro-ondas ou ondas de rádio, dependendo de seu comprimento de ondas.

Por exemplo, a radiação gama pode ser empregada para irradiar os materiais. Com referência às figuras 4 e 5 (uma vista ampliada da região R), um irradiador gama 10 inclui as fontes de radiação gama 408, por exemplo, as pelotas de ^{60}Co , uma mesa de trabalho 14 para suportar os materiais a serem irradiados e o armazenamento 16, por exemplo, feito de uma pluralidade de placas de ferro, todos os quais estão alojados em uma câmara de contenção de concreto (caverna) 20 que inclui uma entrada em labirinto 22 além de uma porta revestida com chumbo 26. O armazenamento 16 define uma pluralidade de canais 30, por exemplo, dezesseis ou mais canais, que permite que as fontes de radiação gama passem através do armazenamento no seu caminho mais próximo à mesa de trabalho.

Em operação, a amostra a ser irradiada é colocada sobre a mesa de trabalho. O irradiador é configurado para emitir a taxa de dose desejada e o equipamento de monitoramento é conectado a um bloco experimental 31. O operador então deixa a câmara de contenção, passando através da entrada em labirinto e através da porta revestida com chumbo. O operador opera um painel de controle 32, instruindo um computador 33 a levantar as fontes de radiação 12 até a posição de trabalho usando o cilindro 36 unido à bomba hidráulica 40.

A radiação gama tem a vantagem de profundidade significativa de penetração em uma variedade de materiais na amostra. As fontes de raios gama incluem os núcleos radioativos, tais como os isótopos de cobalto, cálcio, tecnécio, cromo, gálio, índio, iodo, ferro, criptônio, samário, selênio, sódio, tálio e xenônio.

As fontes de raios x incluem a colisão de feixe de elétrons com alvos metálicos, tais como o tungstênio ou o molibdênio ou as ligas, ou as fontes de luzes compactas, tais como aquelas produzidas comercialmente por Lyncean Technologies, Inc., de Palo Alto, CA.

5 As fontes para a radiação ultravioleta incluem as lâmpadas de deutério ou cádmio.

As fontes para a radiação infravermelha incluem as lâmpadas cerâmicas de janelas de safira, zinco ou seleneto.

10 As fontes para micro-ondas incluem os clistrônios, as fontes de RF do tipo Slevin ou as fontes de feixes de átomos que empregam os gases hidrogênio, oxigênio ou nitrogênio.

Em algumas modalidades, um feixe de elétrons é usado como a fonte de radiação. Um feixe de elétrons tem as vantagens de taxas de doses altas (por exemplo, 1, 5, ou mesmo 10 MRad por segundo), alta produção, 15 menos contenção e menos equipamento de confinamento. Os elétrons podem também ser mais eficientes em causar a cisão da cadeia. Além disso, os elétrons tendo energias de 4-10 MeV podem ter profundidades de penetração de 5 a 30 mm ou mais, tal como 40 mm.

Os feixes de elétrons podem ser gerados, por exemplo, por geradores eletrostáticos, geradores em cascata, geradores de transformadores, aceleradores de baixa energia com um sistema de varredura, aceleradores de baixa energia com um catodo linear, aceleradores lineares, e aceleradores pulsados. Os elétrons, como uma fonte de radiação ionizante podem ser úteis, por exemplo, para materiais relativamente finos, por exemplo, 20 menos do que 1,27 centímetro (0,5 polegada), por exemplo, menos do que 1,016 centímetro (0,4 polegada), 0,762 centímetro (0,3 polegada), 0,508 centímetro (0,2 polegada), ou menos do que 0,254 centímetro (0,1 polegada). Em algumas modalidades, a energia de cada elétron do feixe de elétrons é de cerca de 0,25 MeV a cerca de 7,5 MeV (milhão de elétrons-volts), 25 por exemplo, de cerca de 0,5 MeV a cerca de 5,0 MeV, ou de cerca de 0,7 MeV a cerca de 2,0 MeV. Os dispositivos de irradiação de feixes de elétrons 30 podem ser obtidos comercialmente da Ion Beam Applications, Louvain-la-

Neuve, Bélgica, ou da Titan Corporation, San Diego, CA. As energias típicas dos elétrons podem ser 1, 2, 4,5, 7,5, ou 10 MeV. A potência do dispositivo de irradiação de feixes de elétrons típica pode ser 1, 5, 10, 20, 50, 100, 250, ou 500 kW. As doses típicas podem adotar valores de 1, 5, 10, 20, 50, 100, ou 200 kGy.

Os prós e contras na consideração das especificações da potência do dispositivo de irradiação de feixes de elétrons incluem os custos de operação, os custos de capital, a depreciação e a área ocupada pelo dispositivo. Os prós e contras na consideração dos níveis de doses de exposição da irradiação de feixe de elétrons seriam os custos de energia e as considerações com o ambiente, a segurança, e a saúde (ESH). Os geradores são tipicamente alojados em uma caverna, por exemplo, de chumbo ou concreto.

O dispositivo de irradiação de feixes de elétrons pode produzir um feixe fixo ou um feixe de varredura. Um feixe de varredura pode ser vantajoso com um grande comprimento de alcance da varredura e altas velocidades de varredura, visto que isto efetivamente substituiria uma grande largura de feixe fixo. Ademais, as larguras de alcance disponíveis de 0,5 m, 1 m, 2 m ou mais estão disponíveis.

Nas modalidades nas quais a irradiação é efetuada com radiação eletromagnética, a radiação eletromagnética pode ter uma energia por fóton (em elétrons-volts) de, por exemplo, mais do que 10^2 eV, por exemplo, mais do que 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 ou mesmo mais do que 10^7 eV. Em algumas modalidades, a radiação eletromagnética tem energia por fóton de entre 10^4 e 10^7 , por exemplo, entre 10^5 e 10^6 eV. A radiação eletromagnética pode ter uma frequência de, por exemplo, mais do que 10^{16} Hz, mais do que 10^{17} Hz, 10^{18} , 10^{19} , 10^{20} ou mesmo mais do que 10^{21} Hz. Em algumas modalidades, a radiação eletromagnética tem uma frequência de entre 10^{18} e 10^{22} Hz, por exemplo, entre 10^{19} a 10^{21} Hz.

Um tipo de acelerador que pode ser usado para acelerar os íons produzidos usando as fontes discutidas acima é um Dynamitron® (disponível, por exemplo, da Radiation Dynamics Inc., agora uma unidade da IBA, Louvain-la-Neuve, Bélgica). Um diagrama esquemático de um acelerador Dy-

namitron® 1550 é mostrado na figura 6. O acelerador 1500 inclui um injetor 1510 (que inclui uma fonte de íons) e uma coluna aceleradora 1520 que inclui uma pluralidade de eletrodos anulares 1530. O injetor 1510 e a coluna 1520 estão alojados dentro de um compartimento 1540 que é evacuado por uma bomba a vácuo 1600.

O injetor 1510 produz um feixe de íons 1580, e introduz o feixe 1580 na coluna aceleradora 1520. Os eletrodos anulares 1530 são mantidos em diferentes potenciais elétricos, de modo que os íons são acelerados à medida que eles passam através de espaços entre os eletrodos (por exemplo, os íons são acelerados nos espaços, porém não dentro dos eletrodos, onde os potenciais elétricos são uniformes). À medida que os íons deslocam-se a partir do topo da coluna 1520 na direção do fundo na figura 6, a velocidade média dos íons aumenta. O espaçamento entre os eletrodos anulares 1530 subsequentes tipicamente aumenta, por esta razão, para se adaptar à maior velocidade média dos íons.

Após os íons acelerados terem atravessado o comprimento da coluna 1520, o feixe de íons acelerados 1590 é acoplado fora do compartimento 1540 através do tubo de distribuição 1555. O comprimento do tubo de distribuição 1555 é selecionado para permitir que a blindagem adequada (por exemplo, a blindagem de concreto) seja posicionada adjacente à coluna 1520, isolando a coluna. Após passar através do tubo 1555, o feixe de íons 1590 passa através do íma de varredura 1550. O íma de varredura 1550, que é controlado por uma unidade lógica externa (não mostrada), pode varrer o feixe de íons acelerados 1590 no modo controlado através de um plano bidimensional orientado perpendicular a um eixo central da coluna 1520. Conforme mostrado na figura 6, o feixe de íons 1590 passa através da janela 1560 (por exemplo, uma janela ou tela de folha metálica) e então é direcionado para colidir sobre regiões selecionadas de uma amostra 1570 pelo íma de varredura 1550.

Em algumas modalidades, os potenciais elétricos aplicados aos eletrodos 1530 são potenciais estáticos, gerados, por exemplo, por fontes de potenciais de CC. Em certas modalidades, alguns ou todos os potenciais

elétricos aplicados aos eletrodos 1530 são potenciais variáveis, gerados por fontes de potenciais variáveis. As fontes variáveis adequadas de grandes potenciais elétricos incluem as fontes de campos amplificadas, por exemplo, tais como os clistrônios. Desse modo, dependendo da natureza dos potenciais aplicados aos eletrodos 1530, o acelerador 1500 pode operar no modo pulsado ou contínuo.

Para obter uma energia selecionada dos íons acelerados na extremidade de saída da coluna 1520, o comprimento da coluna 1520 e os potenciais aplicados aos eletrodos 1530 são escolhidos com base em considerações bastante conhecidas na técnica. Entretanto, é digno de nota que, para reduzir o comprimento da coluna 1520, podem ser usados íons múltiplemente carregados no lugar dos íons individualmente carregados. Ou seja, o efeito acelerador de uma diferença selecionada de potenciais elétricos entre dois eletrodos é maior para um íon contendo uma carga de valor 2 ou mais, do que para um íon contendo uma carga de valor 1. Assim, um íon arbitrário X^{2+} pode ser acelerado até uma energia final E sobre um comprimento mais curto do que um íon arbitrário X^+ correspondente. Os íons triplamente e quatro vezes mais carregados (por exemplo, X^{3+} e X^{4+}) podem ser acelerados até a energia final E sobre distâncias até mais curtas. Portanto, o comprimento da coluna 1520 pode ser significativamente reduzido quando o feixe de íons 1580 incluir principalmente espécies de íons múltiplemente carregadas.

Para acelerar os íons positivamente carregados, as diferenças de potenciais entre os eletrodos 1530 da coluna 1520 são selecionadas, de modo que a direção da resistência de campo crescente na figura 6 seja para baixo (por exemplo, na direção do fundo da coluna 1520). Inversamente, quando o acelerador 1500 for usado para acelerar íons negativamente carregados, as diferenças de potenciais elétricos entre os eletrodos 1530 são invertidas na coluna 1520, e a direção da resistência de campo crescente na figura 6 é para cima (por exemplo, na direção do topo da coluna 1520). A reconfiguração dos potenciais elétricos aplicados aos eletrodos 1530 é um procedimento fácil, de modo que o acelerador 1500 pode ser convertido de

modo relativamente rápido de íons positivos que aceleram para íons negativos que aceleram, ou vice-versa. Similarmente, o acelerador 1500 pode ser convertido rapidamente de íons individualmente carregados que aceleram para íons multiplamente carregados que aceleram, e vice-versa.

5 Doses

- Em algumas modalidades, a irradiação com altas doses, para reduzir o peso molecular (com qualquer fonte de radiação ou uma combinação de fontes), é efetuada até que o material receba uma dose de pelo menos 2,5 MRad, por exemplo, pelo menos 5,0, 7,5, 10,0, 100, ou 500 MRad.
- 10 Em algumas modalidades, a irradiação é efetuada até que o material receba uma dose de entre 3,0 MRad e 100 MRad, por exemplo, entre 10 MRad e 100 MRad ou entre 25 MRad e 75 MRad. Se a radiação gama for usada, a dose geralmente será para a extremidade mais elevada destas faixas, embora se a radiação de feixes de elétrons for usada, a dose pode, em algumas
- 15 modalidades, ser para a extremidade menor. As taxas de dosagem também serão para a extremidade menor, para alguns materiais celulósicos que já tenham um peso molecular relativamente baixo, por exemplo, o papel reciclado.

- Em algumas modalidades, a irradiação em baixas doses, para
- 20 aumentar o peso molecular (com qualquer fonte de radiação ou uma combinação de fontes), é efetuada até que o material receba uma dose de pelo menos 0,05 MRad, por exemplo, pelo menos 0,1, 0,25, 1,0, 2,5, ou 5,0 MRad. Em algumas modalidades, a irradiação é efetuada até que o material receba uma dose de entre 0,1 e 2,5 MRad. As outras faixas adequadas in-
- 25 cluem entre 0,25 MRad e 4,0 MRad, entre 0,5 MRad e 3,0 MRad, e entre 1,0 MRad e 2,5 MRad.

As doses discutidas acima, tanto altas quanto baixas, são também adequadas para a funcionalização do material, com o grau de funcionalização geralmente sendo maior quanto maior for a dose.

- 30 Em algumas modalidades, a irradiação é efetuada em uma taxa de doses de entre 5,0 e 15000,0 quilorrads/hora, por exemplo, entre 10,0 e 750,0 quilorrads/hora ou entre 50,0 e 350,0 quilorrads/hora. Quando for de-

sejada uma alta produção, por exemplo, em um processo de fabricação de papel em altas velocidades, a radiação pode ser aplicada a, por exemplo, 0,5 a 3,0 MRad/s, ou mesmo mais rápido, usando esfriamento para evitar o superaquecimento do material irradiado.

- 5 Em algumas modalidades nas quais o papel revestido é irradiado, o revestimento do papel inclui uma resina que seja reticulável, por exemplo, o diacrilato ou o polietileno. Como tal, a resina reticula à medida que o material contendo carboidrato é irradiado para aumentar o seu peso molecular, o que pode proporcionar um efeito sinérgico de otimizar a resistência ao
- 10 arranhão e outras propriedades de superfície do papel. Nestas modalidades, a dose de radiação é selecionada para ser suficientemente alta, de modo a aumentar o peso molecular das fibras celulósicas, isto é, pelo menos cerca de 0,25 a cerca de 2,5 MRad, dependendo do material, ao mesmo tempo sendo suficientemente baixa, de modo a evitar afetar prejudicialmente o re-
- 15 vestimento do papel. O limite superior sobre a dose variará dependendo da composição do revestimento, porém, em algumas modalidades, a dose preferida é menos do que cerca de 5 MRad.

- Em algumas modalidades, são usadas duas ou mais fontes de radiação, tal como duas ou mais radiações ionizantes. Por exemplo, as a-
- 20 mostras podem ser tratadas, em qualquer ordem, com um feixe de elétrons, seguidos por radiação gama e/ou luz UV tendo comprimentos de ondas de cerca de 100 nm a cerca de 280 nm. Em algumas modalidades, as amostras são tratadas com três fontes de radiação ionizante, tais como um feixe de elétrons, a radiação gama, e a luz UV energética.

25 Energia Acústica

- A radiação pode ser usada em combinação com a energia acústica, por exemplo, energia sônica ou ultrassônica, para melhorar a produção e/ou as características do material, e/ou para minimizar o uso de energia. Por exemplo, a energia acústica pode ser usada em combinação com radia-
- 30 ção em altas doses para intensificar o processo de polpação.

 Com referência novamente à figura 1A, no sistema de pré-tratamento 114, um material de partida que será usado para formar a polpa,

por exemplo, os cavacos de madeira, pode ser submetido a uma etapa de sonicação em linha, usando energia acústica.

A figura 7 mostra um sistema geral no qual a corrente de material celulósico 1210 (por exemplo, a matéria-prima para preparar a polpa) é misturada com a corrente de água 1212, no reservatório 1214, para formar a corrente de processo 1216. Uma primeira bomba 1218 extrai a corrente de processo 1216 do reservatório 1214 e para a célula de fluxo 1224. O transdutor ultrassônico 1226 transmite energia ultrassônica para a corrente de processo 1216 à medida que a corrente de processo flui através da célula de fluxo 1224. Uma segunda bomba 1230 extrai a corrente de processo 1216 da célula de fluxo 1224 e para o processo subsequente.

O reservatório 1214 inclui a primeira entrada 1232 e a segunda entrada 1234 em comunicação de fluido com o volume 1236. Um transportador (não mostrado) distribui a corrente de material celulósico 1210 para o reservatório 1214 através da primeira entrada 1232. A corrente de água 1212 entra no reservatório 1214 através da segunda entrada 1234. Em algumas modalidades, a corrente de água 1212 entra no volume 1236 ao longo de um fluxo torvelinhante formador tangente dentro do volume 1236. Em certas modalidades, a corrente de material celulósico 1210 e a corrente de água 1212 são introduzidas no volume 1236 ao longo de eixos postos para intensificar a mistura dentro do volume.

A válvula 1238 controla o fluxo de corrente de água 1212 através da segunda entrada 1232 para produzir uma razão desejada de material celulósico para água (por exemplo, aproximadamente 10% de material celulósico, peso por volume). Por exemplo, 2.000 toneladas/dia de material celulósico podem ser combinadas com 3.785.411,784 a 5.678.117,676 litros (1 milhão a 1,5 milhão de galões)/dia, por exemplo, 4.731.764,73 litros (1,25 milhão de galões)/dia, de água.

A mistura do material celulósico e da água no reservatório 1214 é controlada pelo tamanho do volume 1236 e pelas vazões de material celulósico e água no volume. Em algumas modalidades, o volume 1236 é dimensionado para criar um tempo de residência de mistura mínimo para o

material celulósico e a água. Por exemplo, quando 2.000 toneladas/dia de material celulósico e 4.731.764,73 litros (1,25 milhão de galões)/dia de água estiverem fluindo através do reservatório 1214, o volume 1236 pode ser cerca de 121.133,1771 litros (32.000 galões) para produzir um tempo de residência de mistura mínimo de cerca de 15 minutos.

O reservatório 1214 inclui um misturador 1240 em comunicação de fluido com o volume 1236. O misturador 1240 agita os conteúdos do volume 1236 para distribuir o material celulósico por toda a água no volume. Por exemplo, o misturador 1240 pode ser uma pá de hélice rotativa disposta no reservatório 1214. Em algumas modalidades, o misturador 1240 distribui o material celulósico substancial e uniformemente por toda a água.

O reservatório 1214 adicionalmente inclui uma saída 1242 em comunicação de fluido com o volume 1236 e a corrente de processo 1216. A mistura de material celulósico e água no volume 1236 flui para fora do reservatório 1214 por meio da saída 1242. A saída 1242 está disposta próxima ao fundo do reservatório 1214, para permitir que a gravidade puxe a mistura de material celulósico e água para fora do reservatório 1214 e para a corrente de processo 1216.

A primeira bomba 1218 (por exemplo, quaisquer de diversas bombas de vórtice de impulsor embutido, feitas pela Essco Pumps & Controls, de Los Angeles, CA) move os conteúdos da corrente de processo 1216 para a célula de fluxo 1224. Em algumas modalidades, a primeira bomba 1218 agita os conteúdos da corrente de processo 1216, de modo tal que a mistura de material celulósico e água esteja substancialmente uniforme na entrada 1220 da célula de fluxo 1224. Por exemplo, a primeira bomba 1218 agita a corrente de processo 1216 para criar um fluxo turbulento que persiste ao longo da corrente de processo entre a primeira bomba e a entrada 1220 da célula de fluxo 1224.

A célula de fluxo 1224 inclui um volume de reator 1244 em comunicação de fluido com a entrada 1220 e a saída 1222. Em algumas modalidades, o volume de reator 1244 é um tubo de aço inoxidável capaz de suportar pressões elevadas (por exemplo, 1.000 kPa (10 bars)). Além disso, ou

na alternativa, o volume de reator 1244 define uma seção transversal retangular.

A célula de fluxo 1224 adicionalmente inclui um trocador de calor 1246 em comunicação térmica com pelo menos uma parte do volume de reator 1244. O fluido de esfriamento 1248 (por exemplo, a água) flui para o trocador de calor 1246 e absorve o calor gerado quando a corrente de processo 1216 é sonicada no volume de reator 1244. Em algumas modalidades, a vazão e/ou a temperatura do fluido de esfriamento 1248 no trocador de calor 1246 é controlada para manter uma temperatura aproximadamente constante no volume de reator 1244. Em algumas modalidades, a temperatura do volume de reator 1244 é mantida a 20 a 50°C, por exemplo, 25, 30, 35, 40 ou 45°C. Adicional ou alternativamente, o calor transferido para o fluido de esfriamento 1248 a partir do volume de reator 1244 pode ser usado em outras partes do processo global.

Um segmento adaptador 1226 cria comunicação de fluido entre o volume de reator 1244 e o amplificador 1250, acoplado (por exemplo, mecanicamente acoplado usando um flange) ao transdutor ultrassônico 1226. Por exemplo, o segmento adaptador 1226 pode incluir um flange e uma montagem de anel em O disposto para criar uma conexão à prova de vazamento entre o volume de reator 1244 e o amplificador 1250. Em algumas modalidades, o transdutor ultrassônico 1226 é um transdutor ultrassônico de alta energia, feito pela Hielscher Ultrasonics, de Teltow, Alemanha.

Em operação, o gerador 1252 distribui eletricidade para o transdutor ultrassônico 1252. O transdutor ultrassônico 1226 inclui um elemento piezoelétrico que converte energia elétrica em som na faixa ultrassônica. Em algumas modalidades, os materiais são sonicados usando som tendo uma frequência de cerca de 16 kHz a cerca de 110 kHz, por exemplo, de cerca de 18 kHz a cerca de 75 kHz ou de cerca de 20 kHz a cerca de 40 kHz (por exemplo, som tendo uma frequência de 20 kHz a 40 kHz). A energia ultrassônica é emitida para o meio de trabalho através do amplificador 1248. A energia ultrassônica que se desloca através do amplificador 1248 no volume de reator 1244 cria uma série de compressões e rarefações na corrente de

processo 1216, com intensidade suficiente para criar cavitação na corrente de processo 1216. A cavitação desagrega o material celulósico distribuído na corrente de processo 1216. A cavitação também produz radicais livres na água da corrente de processo 1216. Estes radicais livres atuam para decompor adicionalmente o material celulósico na corrente de processo 1216.

Em geral, 5 a 4000 MJ/m³, por exemplo, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 2000 ou 3000 MJ/m³, de energia ultrassônica são aplicados à corrente de processo 16 que flui em uma taxa de cerca de 0,2 m³/s (cerca de 3.200 galões/min). Após exposição à energia ultrassônica no volume de reator 1244, a corrente de processo 1216 sai da célula de fluxo 1224 através da saída 1222. A segunda bomba 1230 move a corrente de processo 1216 para o processamento subsequente (por exemplo, quaisquer de diversas bombas de vórtice de impulsor embutido, feitas pela Essco Pumps & Controls, de Los Angeles, CA).

Embora certas modalidades tenham sido descritas, outras modalidades são possíveis.

Como um exemplo, embora a corrente de processo 1216 tenha sido descrita como uma trajetória de fluxo única, são possíveis outros arranjos. Em algumas modalidades, por exemplo, a corrente de processo 1216 inclui múltiplas trajetórias de fluxo paralelas (por exemplo, fluindo em uma taxa de 37,85 litros (10 galões)/min). Além disso, ou na alternativa, as múltiplas trajetórias de fluxo paralelas da corrente de processo 1216 fluem para células de fluxo separadas e são sonicadas em paralelo (por exemplo, usando uma pluralidade de transdutores ultrassônicos de 16 kW).

Como um outro exemplo, embora um único transdutor ultrassônico 1226 tenha sido descrito como estando acoplado à célula de fluxo 1224, são possíveis outros arranjos. Em algumas modalidades, uma pluralidade de transdutores ultrassônicos 1226 está disposta na célula de fluxo 1224 (por exemplo, dez transdutores ultrassônicos podem estar dispostos na célula de fluxo 1224). Em algumas modalidades, as ondas sonoras geradas por cada uma da pluralidade de transdutores ultrassônicos 1226 são reguladas (por exemplo, sincronizadas fora de fase uma com a outra) para aumentar a cavi-

tação que atua sobre a corrente de processo 1216.

Como um outro exemplo, embora uma única célula de fluxo 1224 tenha sido descrita, são possíveis outros arranjos. Em algumas modalidades, a segunda bomba 1230 move a corrente de processo para uma segunda célula de fluxo, onde um segundo amplificador e um transdutor ultrassônico sonicam adicionalmente a corrente de processo 1216.

Ainda como um outro exemplo, embora o volume de reator 1244 tenha sido descrito como um volume fechado, o volume de reator 1244 está aberto para as condições ambiente em certas modalidades. Em tais modalidades, o pré-tratamento de sonicação pode ser efetuado substancial e simultaneamente com outras técnicas de pré-tratamento. Por exemplo, a energia ultrassônica pode ser aplicada à corrente de processo 1216 no volume de reator 1244, enquanto os feixes de elétrons são simultaneamente introduzidos na corrente de processo 1216.

Como um outro exemplo, embora um processo de fluxo passando tenha sido descrito, outros arranjos são possíveis. Em algumas modalidades, a sonicação pode ser efetuada em um processo em batelada. Por exemplo, um volume pode ser cheio com uma mistura a 10% (peso por volume) de material celulósico em água e exposto ao som com intensidade de cerca de 50 W/cm^2 a cerca de 600 W/cm^2 , por exemplo, de cerca de 75 W/cm^2 a cerca de 300 W/cm^2 ou de cerca de 95 W/cm^2 a cerca de 200 W/cm^2 . Adicional ou alternativamente, a mistura no volume pode ser sonificada por cerca de 1 hora a cerca de 24 horas, por exemplo, por cerca de 1,5 hora a cerca de 12 horas ou por cerca de 2 horas a cerca de 10 horas. Em certas modalidades, o material é sonicado por um tempo predeterminado, e então deixado em repouso por um segundo tempo predeterminado, antes de sonicar novamente.

Com referência agora à figura 8, em algumas modalidades, dois transdutores eletroacústicos são mecanicamente acoplados a uma única buzina. Conforme mostrado, um par de transdutores piezelétricos 60 e 62 é acoplado à buzina de barras com fendas 64 pelas buzinas de acoplamento intermediárias respectivas 70 e 72, estas também sendo conhecidas como

buzinas amplificadoras. As vibrações mecânicas proporcionadas pelos transdutores, sensíveis à energia elétrica de alta frequência aplicada a eles, são transmitidas para as buzinas de acoplamento respectivas, que podem ser construídas para proporcionar um ganho mecânico, tal como uma razão

5 de 1 para 1,2. As buzinas são proporcionadas com um flange de montagem 74 e 76 respectivo para suportar o transdutor e a estrutura de buzinas em uma armação estacionária.

As vibrações transmitidas a partir dos transdutores através das buzinas de acoplamento ou amplificadoras são acopladas à superfície de

10 entrada 78 da buzina e são transmitidas através da buzina para a superfície de saída 80 opostamente disposta, a qual, durante a operação, está em ação forçada com uma peça a usinar (não mostrada) à qual são aplicadas as vibrações.

A energia elétrica de alta frequência proporcionada pela fonte de

15 energia 82 é alimentada para cada um dos transdutores, eletricamente conectados em paralelo, por meio de um transformador equilibrado 84 e um capacitor conectado em série 86 e 90 respectivo, um capacitor conectado em série com a conexão elétrica a cada um dos transdutores. O transformador equilibrado é conhecido também como "balun", que significa "unidade

20 equilibrada". O transformador equilibrado inclui um núcleo magnético 92 e um par de enrolamentos idênticos 94 e 96, também chamados o enrolamento primário e o enrolamento secundário, respectivamente.

Em algumas modalidades, os transdutores incluem os transdutores piezelétricos comercialmente disponíveis, tais como os modelos 105 ou

25 502 da Branson Ultrasonics Corporation, cada um projetado para operação a 20 kHz e uma potência nominal máxima de 3 kW. A voltagem de energização para proporcionar o desvio de movimento máximo na superfície de saída do transdutor é 930 volts rms. O fluxo de corrente através de um transdutor pode variar entre zero e 3,5 ampères, dependendo da impedância de carga.

30 A 930 volts rms, o movimento de saída é aproximadamente 20 micra. A diferença máxima na voltagem terminal para a mesma amplitude de movimento, portanto, pode ser 186 volts. Tal diferença de voltagem pode dar origem a

grandes correntes circulantes que fluem entre os transdutores. A unidade equilibrada 430 assegura uma condição balanceada proporcionando fluxo de corrente igual através dos transdutores, conseqüentemente eliminando a possibilidade de correntes circulantes. O tamanho do fio dos enrolamentos deve ser selecionado para a corrente de carga total observada acima e a voltagem máxima que aparece através de uma entrada do enrolamento é 93 volts.

Como uma alternativa à utilização de energia ultrassônica, podem ser utilizados os dispositivos de rotor-estator, de alta frequência. Este tipo de dispositivo produz forças de microcavitação de alto cisalhamento que podem desintegrar os materiais em contato com tais forças. Os dois dispositivos de dispersão de rotor-estator, de alta frequência, comercialmente disponíveis, são os dispositivos Suprator[®], fabricação dos pela Krupp Industrie-technik GmbH e vendidos pela Dorr-Oliver Deutschland GmbH de Connecticut, e os dispositivos Dispax[®], fabricados e vendidos pela Ika-Works, Inc. de Cincinnati, Ohio. A operação de tal dispositivo de microcavitação é discutida em Stuart, Patente U.S. Nº 5.370.999.

Embora o transdutor ultrassônico 1226 tenha sido descrito como incluindo um ou mais elementos ativos piezelétricos para criar energia ultrassônica, outros arranjos são possíveis. Em algumas modalidades, o transdutor ultrassônico 1226 inclui elementos ativos feitos de outros tipos de materiais magneto estritivos (por exemplo, metais ferrosos). O projeto e a operação de tal transdutor ultrassônico com alta energia são discutidos em Hansen e outros, Patente U.S. Nº 6.624.539. Em algumas modalidades, a energia ultrassônica é transferida para a corrente de processo 16 através de um sistema eletro-hidráulico.

Embora o transdutor ultrassônico 1226 tenha sido descrito como usando a resposta eletromagnética dos materiais magneto estritivos para produzir a energia ultrassônica, outros arranjos são possíveis. Em algumas modalidades, a energia acústica na forma de uma onda de choque intensa pode ser aplicada diretamente à corrente de processo 16 usando uma faísca submersa. Em algumas modalidades, a energia ultrassônica é transferida

para a corrente de processo 16 através de um sistema termo-hidráulico. Por exemplo, as ondas acústicas de densidade de energia alta podem ser produzidas aplicando energia através de um volume fechado de eletrólito, com isso aquecendo o volume fechado e produzindo uma elevação de pressão que é subsequentemente transmitida através de um meio de propagação de som (por exemplo, a corrente de processo 1216). O projeto e a operação de tal transdutor termo-hidráulico são discutidos em Hartmann e outros, Patente U.S. 6.383.152.

Em algumas modalidades, pode ser vantajoso combinar os dispositivos de irradiação e sonicação em uma única máquina híbrida. Para tal máquina híbrida, podem ser efetuados múltiplos processos em justaposição próxima ou mesmo simultaneamente, com o benefício de rendimento crescente do pré-tratamento e economias de custo potenciais.

Por exemplo, considerar os processos de irradiação de feixe de elétrons e sonicação. Cada processo separado é efetivo em diminuir o peso molecular médio do material celulósico por uma ordem de grandeza ou mais, e por diversas ordens de grandeza quando efetuado em série.

Ambos os processos de irradiação e sonicação podem ser aplicados usando um dispositivo híbrido de feixe de elétrons/sonicação, conforme é ilustrado na figura 8. O dispositivo híbrido de feixe de elétrons/sonicação 2500 é retratado acima de um tanque raso (profundidade ~ 3-5 cm) de uma pasta fluida de material celulósico 2550 disperso em um meio oxidante, aquoso, tal como o peróxido de hidrogênio ou o peróxido de uréia. O dispositivo híbrido 2500 tem uma fonte de energia 2510, que provê de energia tanto o emissor de feixes de elétrons 2540 quanto as buzinas de sonicação 2530.

O emissor de feixes de elétrons 2540 gera feixes de elétrons que passam através de um dispositivo de direcionamento dos feixes de elétrons 2545 para colidir com a pasta fluida 2550 contendo o material celulósico. O dispositivo de direcionamento dos feixes de elétrons pode ser um scanner que varre um feixe sobre uma faixa de até cerca de 182,88 centímetros (6 pés) em uma direção aproximadamente paralela à superfície da pasta fluida

2550.

Sobre qualquer lado do emissor de feixes de elétrons 2540 estão as buzinas de sonicação 2530, que emitem a energia de onda ultrassônica para a pasta fluida 2550. As buzinas de sonicação 2530 terminam em uma
5 peça terminal removível 2535 que está em contato com a pasta fluida 2550.

As buzinas de sonicação 2530 correm o risco de dano a partir da exposição residual de longa duração à radiação de feixe de elétrons. Assim, as buzinas podem ser protegidas com um anteparo padrão 2520, por exemplo, feito de chumbo ou uma liga contendo metal pesado, tal como o metal
10 de Lipowitz, que é impermeável à radiação de feixe de elétrons. Devem ser tomadas precauções, entretanto, para assegurar que a energia ultrassônica não seja afetada pela presença do anteparo. As peças terminais removíveis 2535 são construídas do mesmo material e unidas às buzinas 2530, são usadas para estarem em contato com o material celulósico 2550 e espera-se
15 que sejam deterioradas. Desse modo, as peças terminais removíveis 2535 são construídas para serem facilmente substituíveis.

Um benefício adicional de tal processo simultâneo de feixes de elétrons e ultrassom é que os dois processos têm resultados complementares. Com a irradiação de feixe de elétrons sozinha, uma dose insuficiente
20 pode resultar na reticulação de alguns dos polímeros do material celulósico, o que diminui a eficiência do processo global de despolimerização. As doses menores de irradiação de feixe de elétrons e/ou radiação de ultrassom podem também ser usadas para obter um grau similar de despolimerização, como aquele obtido usando a irradiação de feixe de elétrons e a sonicação
25 separadamente.

Um dispositivo de feixe de elétrons pode também ser combinado com um ou mais dispositivos de rotor-estator, de alta frequência, que pode ser usado como uma alternativa aos dispositivos de energia ultrassônica, e desempenha uma função similar.

30 São também possíveis combinações adicionais dos dispositivos. Por exemplo, um dispositivo de radiação ionizante que produz radiação gama emitida a partir, por exemplo, de pelotas de ^{60}Co pode ser combinado

com uma fonte de feixe de elétrons e/ou uma fonte de onda ultrassônica. As exigências de proteção podem ser mais severas neste caso.

Geração de Íons

Podem ser utilizados diversos métodos para a geração de íons adequados para os feixes de íons que podem ser usados no tratamento dos materiais celulósicos ou lignocelulósicos. Após os íons terem sido gerados, eles são tipicamente acelerados em um ou mais de diversos tipos de aceleradores, e então dirigidos para colidir sobre os materiais celulósicos ou lignocelulósicos.

10 (i) Íons de Hidrogênio

Os íons de hidrogênio podem ser gerados usando uma variedade de diferentes métodos em uma fonte de íons. Tipicamente, os íons de hidrogênio são introduzidos em uma câmara de ionização de uma fonte de íons, e os íons são produzidos suprimindo energia para as moléculas de gás. Durante a operação, tais câmaras podem produzir grandes correntes de íons, adequadas para semear um acelerador de íons a jusante.

Em algumas modalidades, os íons de hidrogênio são produzidos por meio de ionização por campo do gás de hidrogênio. Um diagrama esquemático de uma fonte de ionização por campo é mostrado na figura 10. A fonte de ionização por campo 1100 inclui uma câmara 1170 onde ocorre a ionização das moléculas de gás (por exemplo, as moléculas de gás de hidrogênio). As moléculas de gás 1150 entram na câmara 1170 por escoamento ao longo da direção 1155 no tubo de suprimento 1120. A fonte de ionização por campo 1100 inclui um eletrodo de ionização 1110. Durante a operação, um grande potencial V_E (em relação a um potencial terrestre do sistema comum) é aplicado ao eletrodo 1110. As moléculas 1150 que circulam dentro de uma região adjacente ao eletrodo 1110 são ionizadas pelo campo elétrico que resulta do potencial V_E . Também durante a operação, um potencial de extração V_X é aplicado aos extratores 1130. Os íons recentemente formados migram para os extratores 1130 sob a influência dos campos elétricos dos potenciais V_E e V_X . Na prática, os íons recentemente formados sofrem forças repulsivas em relação ao eletrodo de ionização 1110, e

forças atrativas em relação aos extratores 1130. Como resultado, alguns dos íons recentemente formados entram no tubo de descarga 1140, e propagam ao longo da direção 1165 sob a influência dos potenciais V_E e V_X .

Dependendo do sinal do potencial V_E (em relação ao potencial terrestre comum), podem ser formados íons tanto positiva quanto negativamente carregados. Por exemplo, em algumas modalidades, pode ser aplicado um potencial positivo ao eletrodo 1110 e pode ser aplicado um potencial negativo aos extratores 1130. Os íons de hidrogênio positivamente carregados (por exemplo, os prótons H^+) que são gerados na câmara 1170 são repelidos do eletrodo 1110 e vão para os extratores 1130. Como resultado, a corrente de partículas descarregada 1160 inclui íons de hidrogênio positivamente carregados que são transportados para um sistema injetor.

Em certas modalidades, pode ser aplicado um potencial negativo ao eletrodo 1110 e pode ser aplicado um potencial positivo aos extratores 1130. Os íons de hidrogênio negativamente carregados (por exemplo, os íons de hidreto H^-) que são gerados na câmara 1170 são repelidos do eletrodo 1110 e vão para os extratores 1130. A corrente de partículas descarregada 1160 inclui íons de hidrogênio negativamente carregados, os quais são então transportados para um sistema injetor.

Em algumas modalidades, os íons de hidrogênio tanto positivos quanto negativos podem ser produzidos por meio de aquecimento térmico direto do gás de hidrogênio. Por exemplo, o gás de hidrogênio pode ser dirigido para entrar em uma câmara de aquecimento que é evacuada para remover o oxigênio residual e outros gases. O gás de hidrogênio pode então ser aquecido por meio de um elemento de aquecimento, para produzir espécies iônicas. Os elementos de aquecimento adequados incluem, por exemplo, os eletrodos de descarga na forma de centelha, os filamentos de aquecimento, os espirais de aquecimento, e uma variedade de outros elementos de transferência térmica.

Em certas modalidades, quando os íons de hidrogênio forem produzidos por meio de emissão de campo ou aquecimento térmico, podem ser produzidas diversas espécies de íons de hidrogênio, incluindo as espé-

cies de íons tanto positiva quanto negativamente carregadas, e as espécies de íons individual e multiplamente carregadas. As diversas espécies de íons podem ser separadas uma da outra por meio de um ou mais separadores eletrostáticos e/ou magnéticos. A figura 11 mostra um diagrama esquemático de um separador eletrostático 1175 que está configurado para separar uma pluralidade de espécies de íons de hidrogênio uma da outra. O separador eletrostático 1175 inclui um par de eletrodos paralelos 1180, aos quais é aplicado um potencial V_s por uma fonte de voltagem (não mostrada). A corrente de partículas 1160, que se propaga na direção indicada pela seta, inclui uma variedade de espécies de íons positiva e negativamente carregadas, e individual e multiplamente carregadas. À medida que as diversas espécies de íons passam através dos eletrodos 1180, o campo elétrico entre os eletrodos desvia as trajetórias de acordo com o valor e o sinal da espécie de íons. Na figura 11, por exemplo, o campo elétrico aponta a partir do eletrodo inferior para o eletrodo superior na região entre os eletrodos 1180. Como resultado, os íons positivamente carregados são desviados ao longo de uma trajetória para cima na figura 11, e os íons negativamente carregados são desviados ao longo de uma trajetória para baixo. Os feixes de íons 1162 e 1164, cada um, correspondem às espécies de íons positivamente carregadas, com as espécies de íons no feixe de íons 1162 tendo uma maior carga positiva do que as espécies de íons no feixe 1164 (por exemplo, devido à maior carga positiva dos íons no feixe 1162, o feixe é desviado em um maior grau).

Similarmente, os feixes de íons 1166 e 1168, cada um, correspondem às espécies de íons negativamente carregadas, com as espécies de íons no feixe de íons 1168 tendo uma maior carga negativa do que as espécies de íons no feixe de íons 1166 (e, com isso, sendo desviadas em um maior grau pelo campo elétrico entre os eletrodos 1180). O feixe 1169 inclui as partículas neutras originalmente presentes na corrente de partículas 1160; as partículas neutras não são grandemente afetadas pelo campo elétrico entre os eletrodos 1180 e, portanto, passam não desviadas, através dos eletrodos. Cada uma das correntes de partículas separadas entra em um

dos tubos de distribuição 1192, 1194, 1196, 1198, e 1199, e pode ser distribuída para um sistema injetor para a aceleração subsequente das partículas, ou dirigida para ser incidente diretamente sobre o material celulósico ou lignocelulósico. Alternativamente, ou além disso, quaisquer ou todas as correntes de partículas separadas podem ser bloqueadas para impedir que as espécies de íons e/ou atômicas atinjam o material celulósico ou lignocelulósico. Como também uma outra alternativa, algumas correntes de partículas podem ser combinadas e então dirigidas para um sistema injetor e/ou dirigidas para serem incidentes diretamente sobre o material celulósico ou lignocelulósico usando técnicas conhecidas.

Em geral, os separadores de feixes de partículas podem também usar os campos magnéticos além, ou em vez, dos campos elétricos para desviar as partículas carregadas. Em algumas modalidades, os separadores de feixes de partículas incluem pares múltiplos de eletrodos, onde cada par dos eletrodos gera um campo elétrico que desvia as partículas que passam através deles. Alternativamente, ou adicionalmente, os separadores de feixes de partículas podem incluir um ou mais defletores magnéticos que são configurados para desviar as partículas carregadas de acordo com o valor e o sinal das cargas das partículas.

(ii) Íons de Gases Nobres

Os átomos de gases nobres (por exemplo, os átomos de hélio, os átomos de neônio, os átomos de argônio) formam íons positivamente carregados quando atuados por campos elétricos relativamente fortes. Os métodos para gerar os íons de gases nobres, portanto, tipicamente incluem gerar um campo elétrico de alta intensidade, e então introduzir os átomos de gases nobres na região do campo para causar a ionização pelo campo dos átomos de gás. Um diagrama esquemático de um gerador de ionização por campo para os íons de gases nobres (e também para outros tipos de íons) é mostrado na figura 12. O gerador de ionização por campo 1200 inclui um eletrodo afunilado 1220, posicionado dentro de uma câmara 1210. Uma bomba a vácuo 1250 está em comunicação de fluido com o interior da câmara 1210 por meio da entrada 1240, e reduz a pressão dos gases secundários

dentro da câmara 1210 durante a operação. Um ou mais átomos de gases nobres 1280 são admitidos na câmara 1210 via o tubo de entrada 1230.

Durante a operação, um potencial positivo relativamente alto V_T (por exemplo, positivo em relação a um terrestre externo comum) é aplicado ao eletrodo afunilado 1220. Os átomos de gases nobres 1280 que entram em uma região do espaço circundando a extremidade do eletrodo 1220 são ionizados pelo campo elétrico forte que se estende a partir da extremidade; os átomos de gases perdem um elétron para a extremidade, e formam íons de gases nobres positivamente carregados.

Os íons de gases nobres positivamente carregados são acelerados para longe da extremidade, e certa fração dos íons de gases 1290 passa através do extrator 1260 e sai da câmara 1210 para uma coluna óptica de íons que inclui a lente 1270, que adicionalmente desvia e/ou focaliza os íons.

O eletrodo 1220 é afunilado para aumentar o valor do campo elétrico local na região próxima ao ápice da extremidade. Dependendo da agudeza do cone e do valor do potencial V_T , a região do espaço na câmara 1210, dentro da qual ocorre a ionização dos átomos de gases nobres, pode ser relativa e firmemente controlada. Como resultado, um feixe relativamente bem colimado dos íons de gases nobres 1290 pode ser obtido após o extrator 1260.

Conforme discutido acima em relação aos íons de hidrogênio, o feixe resultante de íons de gases nobres 1290 pode ser transportado através de uma coluna óptica de partículas carregadas que inclui diversos elementos ópticos de partículas para desviar e/ou focalizar o feixe de íons de gases nobres. O feixe de íons de gases nobre pode também passar através de um separador eletrostático e/ou magnético, conforme discutido acima em relação à figura 11.

Os íons de gases nobres que podem ser produzidos no gerador de ionização por campo 1200 incluem os íons de hélio, os íons de neônio, os íons de argônio, e os íons de criptônio. Além disso, o gerador de ionização por campo 1200 pode ser usado para gerar íons de outras espécies químicas gasosas, incluindo o hidrogênio, o nitrogênio, e o oxigênio.

Os íons de gases nobres podem ter vantagens particulares em relação às outras espécies de íons, quando tratando o material celulósico ou lignocelulósico. Por exemplo, embora os íons de gases nobres possam reagir com os materiais celulósicos ou lignocelulósicos, os íons de gases nobres neutralizados (por exemplo, os átomos de gases nobres) que são produzidos a partir de tais reações são geralmente inertes, e não reagem adicionalmente com o material celulósico ou lignocelulósico. Ademais, os átomos de gases nobres neutros não permanecem incorporados no material celulósico ou lignocelulósico, porém, em vez disso, difundem fora do material. Os gases nobres são não-tóxicos e podem ser usados em grandes quantidades sem conseqüências adversas para a saúde humana ou o ambiente.

(iii) Íons de Carbono, Oxigênio, e Nitrogênio

Os íons de carbono, oxigênio, e nitrogênio podem tipicamente ser produzidos através de ionização por campo, em um sistema tal como a fonte de ionização por campo 1100 ou o gerador de ionização por campo 1200. Por exemplo, as moléculas de gás oxigênio e/ou os átomos de oxigênio (por exemplo, produzidos por aquecimento do gás oxigênio) podem ser introduzidos em uma câmara, onde as moléculas e/ou os átomos de oxigênio são ionizados por campo para produzir os íons de oxigênio. Dependendo do sinal do potencial aplicado ao eletrodo de ionização por campo, podem ser produzidos íons de oxigênio positiva e/ou negativamente carregados. As espécies de íons desejadas podem ser preferencialmente selecionadas dentre diversas espécies de íons e átomos e moléculas neutras por um seletor de partículas eletrostático e/ou magnético, conforme mostrado na figura 11.

Como um outro exemplo, as moléculas de gás nitrogênio podem ser introduzidas na câmara da fonte de ionização por campo 1100 ou do gerador de ionização por campo 1200, e ionizadas para formar íons de nitrogênio positiva e/ou negativamente carregados pelo campo elétrico relativamente forte dentro da câmara. As espécies de íons desejadas podem então ser separadas das outras espécies iônicas e neutras por meio de um separador eletrostático e/ou magnético, conforme mostrado na figura 11.

Para formar os íons de carbono, os átomos de carbono podem

ser supridos para a câmara da fonte de ionização por campo 1100 ou do gerador de ionização por campo 1200, onde os átomos de carbono podem ser ionizados para formar íons de carbono positiva e/ou negativamente carregados. As espécies de íons desejadas podem então ser separadas das
 5 outras espécies iônicas e neutras via um separador eletrostático e/ou magnético, conforme mostrado na figura 11. Os átomos de carbono que são supridos para a câmara da fonte de ionização por campo 1100 ou do gerador de ionização por campo 1200 podem ser produzidos por aquecimento de um alvo à base de carbono (por exemplo, um alvo de grafite) para causar a e-
 10 missão térmica dos átomos de carbono a partir do alvo. O alvo pode ser colocado em proximidade relativamente precisa à câmara, de modo que os átomos de carbono emitidos entrem na câmara diretamente após a emissão.

(iv) Íons Mais Pesados

Os íons de átomos mais pesados, tais como o sódio e o ferro
 15 podem ser produzidos via diversos métodos. Por exemplo, em algumas modalidades, os íons pesados, tais como os íons de sódio e/ou ferro, são produzidos via emissão termiônica a partir de um material-alvo que inclui o sódio e/ou o ferro, respectivamente. Os materiais-alvos adequados incluem os materiais tais como os silicatos de sódio e/ou os silicatos de ferro. Os mate-
 20 riais-alvos tipicamente incluem outros materiais inertes, tais como a alumina beta. Alguns materiais-alvos são os materiais de zeólito, e incluem canais formados neles para permitir o escape dos íons do material-alvo.

A figura 13 mostra uma fonte de emissão termiônica 1300 que inclui um elemento de aquecimento 1310 que contata um material-alvo 1330,
 25 ambos os quais estão posicionados dentro de uma câmara evacuada 1305. O elemento de aquecimento 1310 é controlado pelo controlador 1320, que regula a temperatura do elemento de aquecimento 1310 para controlar a corrente de íons gerada a partir do material-alvo 1330. Quando for fornecido calor suficiente para o material-alvo 1330, a emissão termiônica a partir do
 30 material-alvo gera uma corrente de íons 1340. Os íons 1340 podem incluir os íons positivamente carregados de materiais tais como o sódio, o ferro, e outras espécies atômicas relativamente pesadas (por exemplo, outros íons

metálicos). Os íons 1340 podem então ser colimados, focalizados, e/ou de outro modo desviados pelos eletrodos eletrostáticos e/ou magnéticos 1350, que podem também liberar os íons 1340 para um injetor.

A emissão termiônica para formar íons de espécies atômicas relativamente pesadas é também discutida, por exemplo, na Patente U.S. Nº 4.928.033, intitulada "Thermionic Ionization Source", cujos conteúdos inteiros são incorporados aqui por referência.

Em certas modalidades, os íons relativamente pesados, tais como os íons de sódio e/ou os íons de ferro, podem ser produzidos por descarga de micro-ondas. A figura 14 mostra um diagrama esquemático de uma fonte de descarga de micro-ondas 1400 que produz íons a partir de átomos relativamente pesados, tais como o sódio e o ferro. A fonte de descarga 1400 inclui um gerador de campo de micro-ondas 1410, um tubo de guia de ondas 1420, um concentrador de campo 1430, e uma câmara de ionização 1490. Durante a operação, o gerador de campo 1410 produz um campo de micro-ondas que se propaga através do guia de ondas 1420 e do concentrador 1430; o concentrador 1430 aumenta a intensidade do campo confinando espacialmente o campo, conforme mostrado na figura 14. O campo de micro-ondas entra na câmara de ionização 1490. Em uma primeira região dentro da câmara 1490, uma solenoide 1470 produz um campo magnético forte 1480 em uma região do espaço que também inclui o campo de micro-ondas. A fonte 1440 libera os átomos 1450 para esta região do espaço. O campo de micro-ondas concentrado ioniza os átomos 1450, e o campo magnético 1480 gerado pela solenoide 1470 confina os átomos ionizados para formar um plasma localizado. Uma parte do plasma sai da câmara 1490 como íons 1460. Os íons 1460 podem então ser desviados e/ou focalizados por um ou mais elementos eletrostáticos e/ou magnéticos, e liberados para um injetor.

Os átomos 1450 de materiais tais como o sódio e/ou o ferro podem ser gerados por emissão térmica a partir de um material-alvo, por exemplo. Os materiais-alvos adequados incluem os materiais tais como os silicatos e outros sais estáveis, incluindo os materiais à base de zeólitos. Os materiais-alvos adequados podem também incluir os metais (por exemplo, o

ferro), os quais podem ser revestidos sobre um material de base inerte, tal como um material de vidro.

As fontes de descarga de micro-ondas são também discutidas, por exemplo, nas seguintes Patentes U.S.: Patente U.S. Nº 4.409.520, intitulada "Microwave Discharge Ion Source", e Patente U.S. Nº 6.396.211, intitulada "Microwave Discharge Type Electrostatic Accelerator Having Upstream and Downstream Acceleration Electrodes". Os conteúdos inteiros de cada uma das patentes precedentes são incorporados neste documento por referência.

10 Fontes de Feixes de Partículas

As fontes de feixes de partículas que geram feixes para uso na irradiação de material celulósico ou lignocelulósico tipicamente incluem três grupos de componentes: um injetor, o qual gera ou recebe íons e introduz os íons em um acelerador; um acelerador, o qual recebe os íons do injetor e aumenta a energia cinética dos íons; e elementos de acoplamento de saída, que manipulam o feixe de íons acelerados.

(i) Injetores

Os injetores podem incluir, por exemplo, quaisquer das fontes de íons discutidas nas seções precedentes acima, as quais fornecem uma corrente de íons para a aceleração subsequente. Os injetores podem também incluir diversos tipos de elementos ópticos de partículas eletrostáticos e/ou magnéticos, incluindo as lentes, os defletores, os colimadores, os filtros, e outros tais elementos. Estes elementos podem ser usados para condicionar o feixe de íons antes de entrar no acelerador, ou seja, estes elementos podem ser usados para controlar as características de propagação dos íons que entram no acelerador. Os injetores podem também incluir os elementos eletrostáticos e/ou magnéticos pré-aceleradores que aceleram as partículas carregadas até um limite de energia selecionado, antes de entrar no acelerador. Um exemplo de um injetor é mostrado em Iwata, Y. e outros.

30 (ii) Aceleradores

Um tipo de acelerador que pode ser usado para acelerar os íons produzidos usando as fontes discutidas acima é um Dynamitron® (disponível,

por exemplo, da Radiation Dynamics Inc., agora uma unidade da IBA, Louvain-la-Neuve, Bélgica). Um diagrama esquemático de um acelerador Dynamitron[®] 1500 é mostrado na figura 6 e discutido acima.

Um outro tipo de acelerador que pode ser usado para acelerar os íons, para o tratamento de material de base celulósica ou lignocelulósica, é um acelerador Rhodotron[®] (disponível, por exemplo, da IBA, Louvain-la-Neuve, Bélgica). Em geral, os aceleradores do tipo Rhodotron incluem uma única cavidade de recirculação, através da qual os íons que estão sendo acelerados fazem múltiplas passagens. Como resultado, os aceleradores Rhodotron[®] podem ser operados no modo contínuo, em correntes de íons contínuas relativamente altas.

A figura 15 mostra um diagrama esquemático de um acelerador Rhodotron[®] 1700. O acelerador 1700 inclui um injetor 1710, o qual introduz íons acelerados na cavidade de recirculação 1720. Uma fonte de campo elétrico 1730 está posicionada dentro de uma câmara interna 1740 da cavidade 1720, e gera um campo elétrico radial oscilante. A frequência de oscilação do campo radial é selecionada para correlacionar-se com o tempo de trânsito dos íons injetados através de uma passagem da cavidade de recirculação 1720. Por exemplo, um íon positivamente carregado é injetado na cavidade 1720 pelo injetor 1710 quando o campo elétrico radial na cavidade tiver amplitude zero. À medida que o íon se propaga para a câmara 1740, a amplitude do campo radial na câmara 1740 aumenta até um valor máximo, e então diminui novamente. O campo radial aponta para dentro na direção da câmara 1740, e o íon é acelerado pelo campo radial. O íon passa através de um furo na parede da câmara interna 1740, cruza o centro geométrico da cavidade 1720, e passa para fora através de um outro furo na parede da câmara interna 1740. Quando o íon estiver posicionado na entrada da cavidade 1720, a amplitude do campo elétrico dentro da cavidade 1720 terá sido reduzida para zero (ou quase zero). À medida que o íon sai da câmara interna 1740, a amplitude do campo elétrico na cavidade 1720 começa a aumentar novamente, porém o campo está agora orientado radialmente para fora. O valor do campo durante a segunda metade da passagem do íon através da

cavidade 1720 novamente atinge um máximo e então começa a diminuir. Como resultado, o íon positivo é novamente acelerado pelo campo elétrico à medida que o íon completa a segunda metade de uma primeira passagem através da cavidade 1720.

5 Ao atingir a parede da cavidade 1720, o valor do campo elétrico na cavidade 1720 é zero (ou quase zero) e o íon passa através de uma abertura na parede e encontra um dos ímãs de desvio de feixes 1750. Os ímãs de desvio de feixes essencialmente invertem a trajetória do íon, conforme mostrado na figura 15, dirigindo o íon para entrar novamente na cavi-
10 dade 1720 através de uma outra abertura na parede da câmara. Quando o íon entrar novamente na cavidade 1720, o campo elétrico nela começa a aumentar em amplitude novamente, porém está agora mais uma vez orientado radialmente para dentro. As segundas e subsequentes passagens do íon através da cavidade 1720 seguem um padrão similar, de modo que a
15 orientação do campo elétrico sempre se correlaciona com a direção do movimento do íon, e o íon é acelerado em cada passagem (e cada meia passagem) através da cavidade 1720.

Conforme mostrado na figura 15, após seis passagens através da cavidade 1720, o íon acelerado é acoplado fora da cavidade 1720 como
20 uma parte do feixe de íons acelerado 1760. O feixe de íons acelerado passa através de um ou mais elementos ópticos de partículas eletrostáticos e/ou magnéticos 1770, que podem incluir as lentes, os colimadores, os defletores de feixes, os filtros, e outros elementos ópticos. Por exemplo, sob o controle de uma unidade lógica externa, os elementos 1770 podem incluir um defletor
25 eletrostático e/ou magnético que varre o feixe acelerado 1760 através de uma região planar bidimensional, orientada perpendicular à direção de propagação do feixe 1760.

Os íons que são injetados na cavidade 1720 são acelerados em cada passagem através da cavidade 1720. Em geral, portanto, para obter
30 feixes acelerados tendo diferentes energias de íons médias, o acelerador 1700 pode incluir mais do que um acoplamento de saída. Por exemplo, em algumas modalidades, um ou mais dos ímãs de desvio 1750 podem ser mo-

dificados para permitir que uma parte dos íons que atingem os ímas seja acoplada fora do acelerador 1700, e uma parte dos íons seja retornada para a câmara 1700, cada feixe correspondendo a uma energia de íons média que está relacionada ao número de passagens através da cavidade 1720 para os íons no feixe.

O acelerador 1700 inclui 5 ímas de desvio 1750, e os íons injetados na cavidade 1720 fazem 6 passagens através da cavidade. Em geral, entretanto, o acelerador 1700 pode incluir qualquer número de ímas de desvio, e os íons injetados na cavidade 1720 podem fazer qualquer número correspondente de passagens através da cavidade. Por exemplo, em algumas modalidades, o acelerador 1700 pode incluir pelo menos 6 ímas de desvio e os íons podem fazer pelo menos 7 passagens através da cavidade (por exemplo, pelo menos 7 ímas de desvio e 8 passagens através da cavidade, pelo menos 8 ímas de desvio e 9 passagens através da cavidade, pelo menos 9 ímas de desvio e 10 passagens através da cavidade, pelo menos 10 ímas de desvio e 11 passagens através da cavidade).

Tipicamente, o campo elétrico gerado pela fonte de campo 1730 proporciona um ganho de uma única passagem através da cavidade de cerca de 1 MeV para um íon injetado. Em geral, entretanto, são possíveis maiores ganhos de uma única passagem proporcionando um campo elétrico de maior amplitude dentro da cavidade 1720. Em algumas modalidades, por exemplo, o ganho de uma única passagem através da cavidade é cerca de 1,2 MeV ou mais (por exemplo, 1,3 MeV ou mais, 1,4 MeV ou mais, 1,5 MeV ou mais, 1,6 MeV ou mais, 1,8 MeV ou mais, 2,0 MeV ou mais, 2,5 MeV ou mais).

O ganho de uma única passagem através da cavidade também depende do valor da carga carregada pelo íon injetado. Por exemplo, os íons contendo múltiplas cargas sofrerão um ganho de uma única passagem através da cavidade maior do que os íons contendo cargas individuais, para o mesmo campo elétrico dentro da cavidade. Como resultado, o ganho de uma única passagem através da cavidade do acelerador 1700 pode ser adicionalmente aumentado injetando íons tendo múltiplas cargas.

Na descrição precedente do acelerador 1700, um íon positivamente carregado foi injetado na cavidade 1720. O acelerador 1700 pode também acelerar os íons negativamente carregados. Para fazer isto, os íons negativamente carregados são injetados de modo que a direção de suas trajetórias esteja fora de fase com a direção do campo elétrico radial. Ou seja, os íons negativamente carregados são injetados de modo que, em cada meia passagem através da cavidade 1720, a direção da trajetória de cada íon seja oposta à direção do campo elétrico radial. Atingir isto envolve simplesmente ajustar o tempo no qual os íons negativamente carregados são injetados na cavidade 1720. Desse modo, o acelerador 1700 é capaz de simultaneamente acelerar os íons tendo a mesma massa aproximada, porém cargas opostas. De modo mais geral, o acelerador 1700 é capaz de acelerar simultaneamente diferentes tipos de íons tanto positiva quanto negativamente carregados (e tanto individual quanto multiplamente carregados), desde que os tempos de trânsito dos íons através da cavidade 1720 sejam relativamente similares. Em algumas modalidades, o acelerador 1700 pode incluir acoplamentos de saída múltiplos, proporcionando diferentes tipos de feixes de íons acelerados tendo energias similares ou diferentes.

Outros tipos de aceleradores podem também ser usados para acelerar os íons para a irradiação do material celulósico ou lignocelulósico. Por exemplo, em algumas modalidades, os íons podem ser acelerados até energias médias relativamente altas em aceleradores à base de ciclotron e/ou sincrotron. A construção e a operação de tais aceleradores são bastante conhecidas na técnica. Como um outro exemplo, em algumas modalidades, as fontes de íons do tipo Penning podem ser usadas para gerar e/ou acelerar os íons para o tratamento do material de base celulósica ou lignocelulósica. O projeto das fontes do tipo Penning é discutido na seção 7.2.1 de Prelec (1997).

Os aceleradores estáticos e/ou dinâmicos de diversos tipos podem também, em geral, ser usados para acelerar os íons. Os aceleradores estáticos tipicamente incluem uma pluralidade de lentes eletrostáticas que são mantidas em diferentes voltagens de CC. Por seleção dos valores apro-

priados das voltagens aplicadas a cada um dos elementos de lente, os íons introduzidos no acelerador podem ser acelerados até uma energia final selecionada. A figura 16 mostra um diagrama esquemático simplificado de um acelerador estático 1800, que é configurado para acelerar os íons para tratar o material celulósico ou lignocelulósico 1835. O acelerador 1800 inclui uma fonte de íons 1810 que produz íons e introduz os íons em uma coluna de íons 1820. A coluna de íons 1820 inclui uma pluralidade de lentes eletrostáticas 1825, que aceleram os íons gerados pela fonte de íons 1810 para produzir um feixe de íons 1815. As voltagens de CC são aplicadas às lentes 1825; os potenciais das lentes permanecem aproximadamente constantes durante a operação. Geralmente, o potencial elétrico dentro de cada lente é constante, e os íons do feixe de íons 1815 são acelerados nos espaços entre as diversas lentes 1825. A coluna de íons 1820 também inclui uma lente de desvio 1830 e uma lente de colimação 1832. Estas duas lentes operam para dirigir o feixe de íons 1815 para uma posição selecionada sobre o material celulósico ou lignocelulósico 1835, e para focalizar o feixe de íons 1815 sobre o material celulósico ou lignocelulósico.

Embora a figura 16 mostre uma modalidade particular de um acelerador estático, muitas outras variações são possíveis e adequadas para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Em algumas modalidades, por exemplo, as posições relativas da lente de desvio 1830 e da lente de colimação 1832 ao longo da coluna de íons 1820 podem ser trocadas. Podem também estar presentes lentes eletrostáticas adicionais na coluna de íons 1820, e a coluna de íons 1820 pode adicionalmente incluir elementos ópticos magnetostáticos. Em certas modalidades, uma ampla variedade de elementos adicionais pode estar presente na coluna de íons 1820, incluindo os defletores (por exemplo, os defletores de quadrupolos, hexapolos, e/ou octopolos), os elementos de filtração, tais como as aberturas para remover espécies indesejadas (por exemplo, neutras e/ou certas espécies iônicas) do feixe de íons 1815, os extratores (por exemplo, para estabelecer um perfil espacial para o feixe de íons 1815), e outros elementos eletrostáticos e/ou magnetostáticos.

Os aceleradores lineares dinâmicos - frequentemente referidos como LINACS (aceleradores lineares) - podem também ser usados para gerar um feixe de íons, que pode ser usado para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Tipicamente, os aceleradores lineares dinâmicos incluem

5 uma coluna de íons com uma série linear de cavidades de radiofrequência, cada uma das quais produz um campo de radiofrequência (RF) oscilante, intenso, que é regulado para coincidir com a injeção e a propagação de íons na coluna de íons. Como um exemplo, os dispositivos, tais como os clistrônios podem ser usados para gerar os campos de RF nas cavidades. Corre-

10 lacionando as oscilações de campo com os tempos de injeção dos íons, as cavidades de RF podem acelerar os íons até altas energias, sem ter de manter os potenciais de pico por longos períodos de tempo. Como resultado, os LINACS tipicamente não têm as mesmas exigências de proteção que os aceleradores de CC, e são tipicamente de comprimento mais curto. Os LI-

15 NACS tipicamente operam em frequências de 3 GHz (banda S, tipicamente limitada à energia relativamente baixa) e 1 GHz (banda L, capaz de operação de energia significativamente maior). Os LINACS típicos têm um comprimento total de 2-4 metros.

Um diagrama esquemático de um acelerador linear dinâmico

20 1850 (por exemplo, um LINAC) é mostrado na figura 17. O LINAC 1850 inclui uma fonte de íons 1810 e uma coluna de íons 1855 que inclui três cavidades de aceleração 1860, um defletor 1865, e uma lente de focalização 1870. O defletor 1865 e a lente de focalização 1870 funcionam para direcionar e focalizar o feixe de íons 1815 para o material celulósico ou lignoceluló-

25 sico 1835 após a aceleração, conforme discutido acima. As cavidades de aceleração 1860 são formadas de um material condutivo, tal como o cobre, e funcionam como um guia de ondas para os íons acelerados. Os clistrônios 1862, conectados a cada uma das cavidades 1860, geram os campos de RF dinâmicos que aceleram os íons dentro das cavidades. Os clistrônios 1862

30 são configurados individualmente para produzir campos de RF que, juntos, aceleram os íons no feixe de íons 1815 até uma energia selecionada, final, antes de serem incidentes sobre o material celulósico ou lignocelulósico

1835.

Conforme discutido acima em relação aos aceleradores estáticos, muitas variações do acelerador dinâmico 1850 são possíveis e podem ser usadas para produzir um feixe de íons para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Por exemplo, em algumas modalidades, podem também estar presentes lentes eletrostáticas adicionais na coluna de íons 1855, e a coluna de íons 1855 pode adicionalmente incluir elementos ópticos magnetostáticos. Em certas modalidades, uma ampla variedade de elementos adicionais pode estar presente na coluna de íons 1855, incluindo os defletores (por exemplo, os defletores de quadrupolos, hexapolos, e/ou octopolos), os elementos de filtração, tais como as aberturas para remover espécies indesejadas (por exemplo, neutras e/ou certas espécies iônicas) do feixe de íons 1815, os extratores (por exemplo, para estabelecer um perfil espacial para o feixe de íons 1815), e outros elementos eletrostáticos e/ou magnetostáticos.

Além dos aceleradores estáticos e dinâmicos específicos discutidos acima, os outros sistemas de aceleradores adequados incluem, por exemplo: os sistemas do tipo transformador de núcleo isolado (ICT) de CC, disponíveis da Nissin High Voltage, Japão; os LINACS de banda S, disponíveis da L3-PSD (EUA), da Linac Systems (França), da Mevex (Canadá), e da Mitsubishi Heavy Industries (Japão); os LINACS de banda L, disponíveis da Iotron Industries (Canadá); e os aceleradores à base de ILU, disponíveis da Budker Laboratories (Rússia).

Em algumas modalidades, os aceleradores à base de van de Graaff podem ser usados para produzir e/ou acelerar os íons para o tratamento subsequente do material celulósico ou lignocelulósico. A figura 18 mostra uma modalidade de um acelerador de van de Graaff 1900 que inclui um eletrodo de revestimento esférico 1902 e uma correia isolante 1906 que recircula entre o eletrodo 1902 e uma base 1904 do acelerador 1900. Durante a operação, a correia isolante 1906 desloca-se sobre as polias 1910 e 1908 na direção mostrada pela seta 1918, e carrega a carga para o eletrodo 1902. A carga é removida da correia 1906 e transferida para o eletrodo 1902, de modo que o valor do potencial elétrico sobre o eletrodo 1902 au-

menta até o eletrodo 1902 ser descarregado por uma centelha (ou, alternativamente, até a corrente de carregamento ser balanceada por uma corrente de carga).

A polia 1910 está aterrada, conforme mostrado na figura 18.

5 Uma descarga por efeito corona é mantida entre uma série de pontos ou um fio fino sobre um lado da correia 1906. O fio 1914 é configurado para manter a descarga por efeito corona no acelerador 1900. O fio 1914 é mantido em um potencial positivo, de modo que a correia 1906 intercepta os íons positivos que se movem a partir do fio 1914 até a polia 1910. À medida que a correia 1906 se move na direção da seta 1918, as cargas interceptadas são carregadas para o eletrodo 1902, onde elas são removidas da correia 1906 por um ponto de agulha 1916 e transferidas para o eletrodo 1902. Como resultado, as cargas positivas se acumulam sobre a superfície do eletrodo 1902; estas cargas podem ser descarregadas da superfície do eletrodo 1902 e usadas para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Em algumas modalidades, o acelerador 1900 pode ser configurado para proporcionar íons negativamente carregados por operação do fio 1914 e do ponto de agulha 1916 em um potencial negativo em relação à polia aterrada 1910.

20 Em geral, o acelerador 1900 pode ser configurado para proporcionar uma ampla variedade de tipos diferentes de cargas positivas e negativas para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Os tipos ilustrativos de cargas incluem os elétrons, os prótons, os íons de hidrogênio, os íons de carbono, os íons de oxigênio, os íons de halogênio, os íons de metais, e outros tipos de íons.

25 Em certas modalidades, os aceleradores em conjunto (incluindo os aceleradores em conjunto dobrados) podem ser usados para gerar feixes de íons para o tratamento de material celulósico ou lignocelulósico. Um exemplo de um acelerador em conjunto dobrado 1950 é mostrado na figura 19. O acelerador 1950 inclui uma coluna de aceleração 1954, um separador de cargas 1956, um defletor de feixes 1958, e uma fonte de íons 1952.

Durante a operação, a fonte de íons 1952 produz um feixe 1960 de íons negativamente carregados, que é dirigido para entrar no acelerador

1950 através do compartimento de entrada 1964. Em geral, a fonte de íons 1952 pode ser qualquer tipo de fonte de íons que produza íons negativamente carregados. Por exemplo, as fontes de íons adequadas incluem uma fonte de íons negativos por fonte de desintegração de cézio (SNICS), uma fonte de íons de troca de carga de RF, ou uma fonte de íons de volume toroidal (TORVIS). Cada uma das fontes de íons ilustrativas precedentes está disponível, por exemplo, da National Electrostatics Corporation (Middleton, WI).

Uma vez dentro do acelerador 1950, os íons negativos no feixe 1960 são acelerados pela coluna de aceleração 1954. Tipicamente, a coluna de aceleração 1954 inclui uma pluralidade de elementos aceleradores, tais como as lentes eletrostáticas. A diferença de potencial aplicado na coluna 1954 para acelerar os íons negativos pode ser gerada usando diversos tipos de dispositivos. Por exemplo, em algumas modalidades (por exemplo, os aceleradores Pelletron[®]), o potencial é gerado usando um dispositivo de carga Pelletron[®]. Os dispositivos Pelletron[®] incluem uma correia carregadora de cargas que é formada a partir de uma pluralidade de ligações de cadeias ou pelotas de metais (por exemplo, o aço) que são ligadas por ponte por conectores isolantes (por exemplo, formados a partir de um material, tal como o náilon). Durante a operação, a correia recircula entre um par de polias, uma das quais é mantida como o potencial terrestre. À medida que a correia se move entre a polia aterrada e a polia oposta (por exemplo, a polia terminal), as pelotas de metal são carregadas positivamente por indução. Ao atingir a polia terminal, a carga positiva que se acumulou sobre a correia é removida, e as pelotas são negativamente carregadas à medida que elas deixam a polia terminal e retornam para a polia aterrada.

O dispositivo Pelletron[®] gera um grande potencial positivo dentro da coluna 1954 que é usado para acelerar os íons negativos do feixe 1960. Após sofrer a aceleração na coluna 1954, o feixe 1960 passa através do separador de cargas 1956. O separador de cargas 1956 pode ser implementado como uma folha de metal fina e/ou um tubo contendo um gás que separa os elétrons dos íons negativos, por exemplo. Os íons negativamente carregados são, com isso, convertidos em íons positivamente carregados, que

saem do separador de cargas 1956. As trajetórias dos íons positivamente carregados que saem são alteradas de modo que os íons positivamente carregados desloquem-se de volta através da coluna de aceleração 1954, sofrendo uma segunda aceleração na coluna antes de saírem como feixe de íons positivamente carregados 1962 do compartimento de saída 1966. O feixe de íons positivamente carregados 1962 pode, então, ser usado para tratar o material celulósico ou lignocelulósico de acordo com os diversos métodos divulgados neste documento.

Devido à geometria dobrada do acelerador 1950, os íons são acelerados até uma energia cinética que corresponde a duas vezes a diferença de potencial gerada pelo dispositivo de carga Pelletron®. Por exemplo, em um acelerador Pelletron® de 2 MV, os íons de hidreto que são introduzidos pela fonte de íons 1952 serão acelerados até uma energia intermediária de 2 MeV, durante a primeira passagem através da coluna 1954, convertidos em íons positivos (por exemplo, prótons), e acelerados até uma energia final de 4 MeV, durante a segunda passagem através da coluna 1954.

Em certas modalidades, a coluna 1954 pode incluir elementos além do, ou como alternativas ao, dispositivo de carga Pelletron®. Por exemplo, a coluna 1954 pode incluir elementos aceleradores estáticos (por exemplo, eletrodos de CC) e/ou cavidades de aceleração dinâmica (por exemplo, as cavidades do tipo LINAC com geradores de campo de RF de pulso para a aceleração das partículas). Os potenciais aplicados aos diversos dispositivos de aceleração são selecionados para acelerar os íons negativamente carregados do feixe 1960.

Os aceleradores em conjunto ilustrativos, incluindo os aceleradores tanto dobrados quanto não dobrados, estão disponíveis da National Electrostatics Corporation (Middleton, WI), por exemplo.

Em algumas modalidades, as combinações de dois ou mais dos diversos tipos de aceleradores podem ser usadas para produzir feixes de íons que sejam adequados para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Por exemplo, um acelerador em conjunto dobrado pode ser usado em combinação com um acelerador linear, um acelerador Rhodotron®, um Dy-

namitron[®], um acelerador estático, ou qualquer outro tipo de acelerador, para produzir os feixes de íons. Os aceleradores podem ser usados em série, com o feixe de íons de saída de um tipo de acelerador dirigido para entrar em um outro tipo de acelerador, para a aceleração adicional. Alternativamente, podem ser usados múltiplos aceleradores em paralelo para gerar múltiplos feixes de íons. Em certas modalidades, os múltiplos aceleradores do mesmo tipo podem ser usados em paralelo e/ou em série para gerar feixes de íons acelerados.

Em algumas modalidades, podem ser usados múltiplos aceleradores similares e/ou diferentes para gerar os feixes de íons tendo diferentes composições. Por exemplo, um primeiro acelerador pode ser usado para gerar um tipo de feixe de íons, enquanto um segundo acelerador pode ser usado para gerar um segundo tipo de feixe de íons. Os dois feixes de íons podem então, cada um, ser adicionalmente acelerados em um outro acelerador, ou podem ser usados para tratar o material celulósico ou lignocelulósico.

Ademais, em certas modalidades, um único acelerador pode ser usado para gerar múltiplos feixes de íons para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Por exemplo, quaisquer dos aceleradores discutidos neste documento (e outros tipos de aceleradores também) podem ser modificados para produzir múltiplos feixes de íons de saída por subdivisão de uma corrente de íons inicial introduzida no acelerador a partir de uma fonte de íons. Alternativamente, ou além disso, qualquer um feixe de íons produzido por quaisquer dos aceleradores divulgados neste documento pode incluir somente um único tipo de íon, ou múltiplos tipos diferentes de íons.

Em geral, onde forem usados múltiplos aceleradores diferentes para produzir um ou mais feixes de íons para o tratamento de material celulósico ou lignocelulósico, os múltiplos aceleradores diferentes podem estar posicionados em qualquer ordem em relação um ao outro. Isto proporciona maior flexibilidade na produção de um ou mais feixes de íons, cada um dos quais tem propriedades cuidadosamente selecionadas para tratar o material celulósico ou lignocelulósico (por exemplo, para tratar os diferentes compo-

nentes no material celulósico ou lignocelulósico).

Os aceleradores de íons divulgados neste documento podem também ser usados em combinação com quaisquer das outras etapas de tratamento divulgadas aqui. Por exemplo, em algumas modalidades, os elétrons e os íons podem ser usados em combinação para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Os elétrons e os íons podem ser produzidos e/ou acelerados separadamente, e usados para tratar o material celulósico ou lignocelulósico sequencialmente (em qualquer ordem) e/ou simultaneamente. Em certas modalidades, os feixes de elétrons e íons podem ser produzidos em um acelerador comum e usados para tratar o material celulósico ou lignocelulósico. Por exemplo, muitos dos aceleradores de íons divulgados neste documento podem ser configurados para produzir feixes de elétrons como uma alternativa aos, ou além dos, feixes de íons. Por exemplo, os aceleradores Dynamitron[®], os aceleradores Rhodotron[®], e os LINACs podem ser configurados para produzir feixes de elétrons para o tratamento de material celulósico ou lignocelulósico.

Ademais, o tratamento do material celulósico ou lignocelulósico com os feixes de íons pode ser combinado com outras técnicas, tais como a sonicação. Em geral, o tratamento à base de sonicação pode ocorrer antes, durante, ou após o tratamento à base de íons. Outros tratamentos, tais como o tratamento de feixe de elétrons, podem também ocorrer em qualquer combinação e/ou ordem com o tratamento ultrassônico e o tratamento de feixe de íons.

Aditivos do Papel

Quaisquer dos muitos aditivos e revestimentos usados na indústria de fabricação de papel podem ser adicionados ou aplicados aos materiais fibrosos, papéis, ou quaisquer outros materiais e produtos descritos neste documento. Os aditivos incluem as cargas, tais como o carbonato de cálcio, os pigmentos plásticos, a grafita, a wollastonita, a mica, o vidro, a fibra de vidro, a sílica, e o talco; os retardadores de chama inorgânicos, tais como o tri-hidrato de alumina ou o hidróxido de magnésio; os retardadores de chama orgânicos, tais como os compostos orgânicos clorados ou bromados;

as fibras de carbono; e as fibras ou os pós de metais (por exemplo, o alumínio, o aço inoxidável). Estes aditivos podem reforçar, aumentar, ou alterar as propriedades elétricas ou mecânicas, as propriedades de compatibilidade, ou outras propriedades. Os outros aditivos incluem o amido, a lignina, as
 5 fragrâncias, os agentes de acoplamento, os antioxidantes, os agentes de opacificação, os estabilizadores térmicos, os colorantes, tais como os corantes e os pigmentos, os polímeros, por exemplo, os polímeros degradáveis, os fotoestabilizadores, e os biocidas. Os polímeros degradáveis representativos incluem os poli(hidróxi ácidos), por exemplo, os polilactídeos, os poliglicólidos e os copolímeros de ácido láctico e ácido glicólico, o poli(ácido hidroxibutírico), o poli(ácido hidroxivalérico), a poli[lactídeo-co-(ε-caprolactona)], a poli[glicolídeo-co-(ε-caprolactona)], os policarbonatos, os
 10 poli(aminoácidos), os poli(hidroxialcanoatos), os polianidridos, os poliortoésteres e as misturas destes polímeros.

15 Quando os aditivos forem incluídos, eles podem estar presentes em quantidades, calculadas em uma base de peso seco, de abaixo de cerca de 1 por cento até tão altas quanto cerca de 80 por cento, com base no peso total do material fibroso. Mais tipicamente, as quantidades variam de entre cerca de 0,5 por cento a cerca de 50 por cento em peso, por exemplo de
 20 cerca de 0,5 por cento a cerca de 5 por cento, 10 por cento, 20 por cento, 30 por cento ou mais, por exemplo, 40 por cento.

Quaisquer aditivos descritos neste documento podem ser encapsulados, por exemplo, secados por pulverização ou microencapsulados, por exemplo, para proteger os aditivos do calor ou da umidade durante o
 25 manuseio.

Os revestimentos adequados incluem quaisquer dos muitos revestimentos usados na indústria de papel para proporcionar características de superfície específicas, incluindo as características de desempenho requeridas para as aplicações particulares de impressão.

30 Conforme mencionado acima, podem ser incluídas diversas cargas no papel. Por exemplo, as cargas inorgânicas, tais como o carbonato de cálcio (por exemplo, o carbonato de cálcio precipitado ou o carbonato de

cálcio natural), a argila aragonita, as argilas ortorrômicas, a argila calcita, as argilas romboédricas, a argila caulim, a argila bentonita, o fosfato de di-cálcio, o fosfato de tricálcio, o pirofosfato de cálcio, o metafosfato de sódio insolúvel, o carbonato de cálcio precipitado, o ortofosfato de magnésio, o fosfato de trimagnésio, as hidroxiapatitas, as apatitas sintéticas, a alumina, o xerogel de sílica, os complexos de aluminossilicato de metal, os silicatos de sódio alumínio, o silicato de zircônio, o dióxido de silício ou as combinações dos aditivos inorgânicos podem ser usadas. As cargas podem ter, por exemplo, um tamanho de partícula de mais do que 1 micron, por exemplo, mais do que 2, 5, 10, ou 25 micra ou até mais do que 35 micra.

As cargas na escala de nanômetro podem também ser usadas sozinhas, ou em combinação com os materiais fibrosos de qualquer tamanho e/ou formato. As cargas podem estar na forma de, por exemplo, partículas, placas ou fibras. Por exemplo, as argilas no tamanho de nanômetro, os nanotubos de silício e carbono, e os nanofios de silício e carbono podem ser usados. As cargas podem ter uma dimensão transversal menor do que 1000 nm, por exemplo, menor do que 900, 800, 750, 600, 500, 350, 300, 250, 200, ou 100 nm, ou mesmo menor do que 50 nm.

Em algumas modalidades, a nanoargila é uma montmorilonita. Tais argilas estão disponíveis da Nanocor, Inc. e da Southern Clay products, e foram descritas nas Patentes U.S. Nºs 6.849.680 e 6.737.464. As argilas podem ser tratadas na superfície antes de misturar em, por exemplo, uma resina ou um material fibroso. Por exemplo, a argila pode ser tratada na superfície de modo que a sua superfície seja de natureza iônica, por exemplo, catiônica ou aniônica.

As cargas agregadas ou aglomeradas na escala de nanômetro, ou as cargas na escala de nanômetro que estão agrupadas em estruturas supramoleculares, por exemplo, estruturas supramoleculares autoagrupadas, podem também ser usadas. As cargas agregadas ou supramoleculares podem ser de estrutura aberta ou fechada, e podem ter uma variedade de formatos, por exemplo, gaiola, tubo ou esféricas.

Teor de Lignina

O papel pode conter lignina, por exemplo, até 1, 2, 3, 4, 5, 7,5, 10, 15, 20, ou mesmo 25% em peso de lignina.

Este teor de lignina pode ser o resultado da lignina presente no(s) material(is) lignocelulósico(s) usado(s) para a fabricação do papel. Alternativamente, ou além disso, a lignina pode ser adicionada ao papel como um aditivo, conforme mencionado acima. Neste caso, a lignina pode ser adicionada como um sólido, por exemplo, como um pó ou outro material particulado, ou pode ser dissolvida ou dispersa e adicionada na forma líquida. Neste último caso, a lignina pode ser dissolvida em solvente ou um sistema de solventes. O solvente ou o sistema de solventes pode estar na forma de uma fase única ou duas ou mais fases. Os sistemas de solventes para os materiais celulósicos e lignocelulósicos incluem os sistemas de DMSO-sal. Tais sistemas incluem, por exemplo, o DMSO em combinação com um sal de lítio, magnésio, potássio, sódio ou zinco. Os sais de lítio incluem o LiCl, o LiBr, o LiI, o perclorato de lítio e o nitrato de lítio. Os sais de magnésio incluem o nitrato de magnésio e o cloreto de magnésio. Os sais de potássio incluem o iodeto e o nitrato de potássio. Os exemplos de sais de sódio incluem o iodeto e o nitrato de sódio. Os exemplos de sais de zinco incluem o cloreto e o nitrato de zinco. Qualquer sal pode ser anidro ou hidratado. As cargas típicas do sal no DMSO são entre cerca de 1 e cerca de 50 por cento, por exemplo, entre cerca de 2 e 25, entre cerca de 3 e 15 ou entre cerca de 4 e 12,5 por cento em peso.

Em alguns casos, a lignina reticulará no papel durante a irradiação, intensificando adicionalmente as propriedades físicas do papel.

25 Tipos de Papel

O papel é frequentemente caracterizado pelo peso. O peso atribuído a um papel é o peso de uma resma, 500 folhas, de "tamanhos básicos" variados, antes de o papel ser cortado no tamanho como vendido para os compradores finais. Por exemplo, uma resma de papel de 9,07 kg (20 lb), 21,59 x 27,94 cm (8½ x 11") pesa 2,27 quilogramas (5 libras), porque foi cortado a partir de uma folha maior em quatro pedaços. Nos Estados Unidos, o papel de impressão é geralmente 9,07 kg (20 lb), 10,89 kg (24 lb), ou 14,51

kg (32 lb), no máximo. O papel rígido ("cover stock") é geralmente 30,84 kg (68 lb), e 49,90 kg (110 lb) ou mais.

Na Europa, o peso é expresso em gramas por metro quadrado (g/m^2 ou somente g). O papel de impressão é geralmente entre 60 g e 120 g.

5 Algo mais pesado do que 160 g é considerado papel rígido. O peso de uma resma, portanto, depende das dimensões do papel, por exemplo, uma resma de tamanho A4 (210 mm x 297 mm) (aproximadamente 8,27" x 11,7") pesa 2,5 quilogramas (aprox. 5,5 libras).

10 A massa específica do papel varia de 250 kg/m^3 (16 lb/ft^3) para o papel de seda a 1500 kg/m^3 (94 lb/ft^3) para algum papel especial. Em alguns casos, a massa específica do papel de impressão é cerca de 800 kg/m^3 (50 lb/ft^3).

Os processos descritos neste documento são adequados para uso com todos estes tipos de papel, bem como outros tipos de papel, tais como o papelão ondulado, o papelão, e outros produtos de papel. Os processos descritos neste documento podem ser usados para tratar o papel que é usado, por exemplo, em quaisquer das seguintes aplicações: como estam-
 15 pas; como papel-moeda, cédulas, títulos de crédito, cheques, e similares; em livros, revistas, jornais, e cultura; para embalar, por exemplo, papelão, papelão ondulado, bolsas de papel, envelopes, papel de seda, caixas; em produtos do-
 20 mésticos, tais como papel higiênico, lenços de papel, papéis-toalha, lixa, guardanapos, papel tipo favo de mel, usado como um material de núcleo em materiais compósitos; cartolina; roupa descartável; e em diversos usos industriais, incluindo lixa de esmeril, lixa, mata-borrão, papel de tornassol, papel indicador
 25 universal, cromatografia em papel, separadores de bateria, e dielétricos de capacitores. O papel pode ser de uma única, ou de múltiplas camadas.

O papel pode ser feito de qualquer tipo desejado de fibra, incluindo a fibra derivada de madeira e papel reciclado, bem como a fibra derivada de outras fontes. Os materiais de fibras vegetais, tais como o algodão, o
 30 cânhamo, o linho, e o arroz, podem ser usados sozinhos ou em combinação um com o outro ou com fibras derivadas de madeira. As outras fontes de fibra que não são de madeira incluem, porém não estão limitadas à cana de

açúcar, bagaço, palha, bambu, kenaf, juta, fibra de linho, e algodão. Uma ampla variedade de fibras sintéticas, tais como o polipropileno e o polietileno, bem como outros ingredientes, tais como as cargas inorgânicas, pode ser incorporada no papel como um meio para conferir as propriedades físicas desejáveis. Pode ser desejável incluir estas fibras que não são de madeira no papel usado em aplicação especial, tal como para o papel-moeda, o papel de carta delicado, o papel cuchê e outras aplicações que requeiram características particulares de resistência ou estética.

O papel pode ser irradiado antes ou após a impressão. A radiação pode ser usada para marcar o papel, por exemplo, por aumento do número de grupos ácidos carboxílico na área irradiada. Isto pode ser útil, por exemplo, na marcação do dinheiro em circulação.

Água de Processo

Nos processos divulgados neste documento, toda a vez que a água for usada em qualquer processo, ela pode ser a água servida, por exemplo, a água servida municipal, ou a água de esgoto. Em algumas modalidades, a água servida ou de esgoto é esterilizada antes do uso. A esterilização pode ser efetuada por qualquer técnica desejada, por exemplo, através de esterilização por irradiação, vapor, ou substância química.

Exemplos

Os exemplos a seguir não são pretendidos para limitar a invenção descrita nas reivindicações.

Exemplo 1 - Métodos de Determinar o Peso Molecular dos Materiais Celulósicos e Lignocelulósicos por Cromatografia de Permeação em Gel

Este exemplo ilustra como o peso molecular é determinado para os materiais discutidos aqui. Os materiais celulósicos e lignocelulósicos para a análise foram tratados como se segue:

Um trilha de 680,39 quilogramas (1500 libras) de placa Kraft branca branqueada, tendo uma densidade aparente de $480,56 \text{ kg/m}^3$ (30 lb/ft^3), foi obtido da International Paper. O material foi dobrado plano, e então alimentado para um desfibrador Flinch Baugh 3 hp em uma taxa de aproximadamente 6,80 a 9,07 kg (15 a 20 libras) por hora. O desfibrador foi equi-

pado com duas lâminas rotativas de 30,48 centímetros (12 polegadas), duas lâminas fixas e uma tela de descarga de 0,762 centímetro (0,30 polegada). O espaço entre as lâminas rotativas e fixas foi ajustado para 0,254 centímetro (0,10 polegada). O produto do desfibrador era parecido com confete (conforme acima). O material semelhante a um confete foi alimentado para um cortador com lâmina cortante rotativo Munson, Modelo SC30. A tela de descarga tinha aberturas de 0,3175 centímetro (1/8 polegada). O espaço entre as lâminas rotativas e fixas foi ajustado para aproximadamente 0,0508 centímetro (0,020 polegada). O cortador com lâmina cortante rotativo cortou os pedaços semelhantes a confete através das bordas da lâmina cortante. O material resultante do primeiro corte foi alimentado de volta para a mesma instalação e a tela foi substituída por uma tela de 0,159 centímetro (1/16 polegada). Este material foi cortado. O material resultante do segundo corte foi alimentado de volta para a mesma instalação e a tela foi substituída por uma tela de 0,079 centímetro (1/32 polegada). Este material foi cortado. O material fibroso resultante tinha uma área de superfície de BET de 1,6897 m²/g +/- 0,0155 m²/g, uma porosidade de 87,7163 por cento e uma densidade aparente [a 3,65 kPa (0,53 psia)] de 0,1448 g/mL. Um comprimento médio das fibras foi 0,824 mm e uma largura média das fibras foi 0,0262 mm, dando um L/D médio de 32:1.

Os materiais de amostra apresentados nas Tabelas 1 e 2 a seguir incluem o papel Kraft (P), a palha de trigo (WS), a alfafa (A), e o capim switchgrass (SG). O número "132" da ID da Amostra refere-se ao tamanho de partícula do material após o corte através de uma tela de 0,079 centímetro (1/32 polegada). O número após o hífen refere-se à dosagem de radiação (MRad) e o "US" refere-se ao tratamento ultrassônico. Por exemplo, uma ID da amostra "P132-10" refere-se ao papel Kraft que foi cortado até um tamanho de partícula de malha 132 e foi irradiado com 10 MRad.

Tabela 1. Peso Molecular Médio de Pico do Papel Kraft Irradiado

Fonte da Amostra	ID da Amostra	Dosagem ¹ (MRad)	Ultrassom ²	PM Médio ± Desvio Padrão
Papel Kraft	P132	0	Não	32853±10006

Fonte da Amostra	ID da Amostra	Dosagem ¹ (MRad)	Ultrassom ²	PM Médio ± Desvio Padrão
	P132-10	10	"	61398 ± 2468**
	P132-100	100	"	8444 ± 580
	P132-181	181	"	6668 ± 77
	P132-US	0	Sim	3095 ± 1013

** As doses baixas de irradiação parecem aumentar o peso molecular de alguns materiais

¹Taxa de Dosagem = 1 MRad/hora

5 ²Tratamento por 30 minutos com ultrassom a 20 kHz usando uma buzina de 1000 W sob condições de recirculação com o material disperso em água

Tabela 2. Peso Molecular Médio de Pico dos Materiais Irradiados

ID da Amostra	Nº do Pico	Dosagem ¹ (MRad)	Ultrassom ²	PM Médio ± Desvio Padrão
WS132	1	0	Não	1407411 ± 175191
	2	"	"	39145 ± 3425
	3	"	"	2886 ± 177
WS132-10*	1	10	"	26040 ± 3240
WS132-100*	1	100	"	23620 ± 453
A132	1	0	"	1604886 ± 151701
	2	"	"	37525 ± 3751
	3	"	"	2853 ± 490
A132-10*	1	10	"	50853 ± 1665
	2	"	"	2461 ± 17
A132-100*	1	100	"	38291 ± 2235
	2	"	"	2487 ± 15
SG132	1	0	"	1557360 ± 83693
	2	"	"	42594 ± 4414
	3	"	"	3268 ± 249
SG132-10*	1	10	"	60888 ± 9131
SG132-100*	1	100	"	22345 ± 3797
SG132-10-US	1	10	Sim	86086 ± 43518
	2	"	"	2247 ± 468
SG132-100-US	1	100	"	4696 ± 1465

*Os picos coalescem após o tratamento

**As doses baixas de radiação parecem aumentar o peso molecular de alguns materiais

¹Taxa de Dosagem = 1 MRad/hora

²Tratamento por 30 minutos com ultrassom a 20 kHz usando uma buzina de 1000 W sob condições de recirculação com o material disperso em água.

A Cromatografia de Permeação em Gel (GPC) é usada para determinar a distribuição de pesos moleculares dos polímeros. Durante a análise por GPC, uma solução da amostra de polímero é passada através de uma coluna recheada com um gel poroso que captura as moléculas pequenas. A amostra é separada com base no tamanho molecular, com as moléculas maiores eluindo imediatamente após as moléculas menores. O tempo de retenção de cada componente é mais frequentemente detectado por índice refrativo (RI), difusão de luz evaporativa (ELS), ou ultravioleta (UV), e comparado a uma curva de calibração. O dado resultante é então usado para calcular a distribuição de pesos moleculares para a amostra.

A distribuição de pesos moleculares, em vez de um único peso molecular, é usada para caracterizar os polímeros sintéticos. Para caracterizar esta distribuição, são utilizadas médias estatísticas. As mais comuns destas médias são o "peso molecular médio numérico" (M_n) e o "peso molecular médio ponderal" (M_w). Os métodos de calcular estes valores são descritos na técnica, por exemplo, no Exemplo 9 do WO 2008/073186.

O índice de polidispersidade ou PI é definido como a razão de M_w/M_n . Quando maior o PI, mais ampla ou mais dispersa a distribuição. O menor valor que um PI pode ser é 1. Isto representa uma amostra monodispersa; ou seja, um polímero com todas as moléculas na distribuição sendo o mesmo peso molecular.

O valor de peso molecular de pico (M_p) é um outro descritor definido como o modo da distribuição de pesos moleculares. Ele significa o peso molecular que é mais abundante na distribuição. Este valor também dá discernimento para a distribuição de pesos moleculares.

A maior parte das medições da GPC é feita em relação a um

padrão de polímero diferente. A exatidão dos resultados depende de quão rigorosamente as características do polímero que está sendo analisado correlacionam-se com aquelas do padrão usado. O erro esperado na reprodutibilidade entre as diferentes séries de determinações, calibradas separadamente, é cerca de 5-10% e é característico para a precisão limitada das determinações por GPC. Portanto, os resultados da GPC são mais úteis quando for feita uma comparação entre a distribuição de pesos moleculares de diferentes amostras durante a mesma série de determinações.

As amostras lignocelulósicas requereram a preparação da amostra antes da análise por GPC. Primeiro, uma solução saturada (8,4% em peso) de cloreto de lítio (LiCl) foi preparada em dimetil acetamida (DMAc). Aproximadamente 100 mg da amostra foram adicionados a aproximadamente 10 g de uma solução de LiCl/DMAc saturada, recentemente preparada, e a mistura foi aquecida até aproximadamente 150°C-170°C, com agitação, por 1 hora. As soluções resultantes eram, em geral, de cor amarela-clara a escura. A temperatura das soluções foi diminuída até aproximadamente 100°C e aqueceu-se por umas 2 horas adicionais. A temperatura das soluções foi então diminuída para aproximadamente 50°C e a solução de amostra foi aquecida por aproximadamente 48 a 60 horas. Importante, as amostras irradiadas a 100 MRad foram mais facilmente solubilizadas em comparação com o seu equivalente não tratado. Adicionalmente, as amostras cortadas (indicadas pelo número 132) tiveram pesos moleculares médios ligeiramente menores, comparadas às amostras não cortadas.

As soluções das amostras resultantes foram diluídas 1:1 usando DMAc como solvente e foram filtradas através de um filtro de PTFE de 0,45 µm. As soluções das amostras filtradas foram então analisadas por GPC. O peso molecular médio de pico (Mp) das amostras, como determinado por Cromatografia de Permeação em Gel (GPC), é resumido nas Tabelas 1 e 2, acima. Cada amostra foi preparada em duplicata e cada preparação da amostra foi analisada em duplicata (duas injeções) para um total de quatro injeções por amostra. Os padrões de poliestireno EasiCal® PS1A e PS1B foram usados para gerar uma curva de calibração para a escala de pesos

moleculares de cerca de 580 a 7.500.00 Dáltons. As condições da análise por GPC são descritas na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3. Condições da Análise por GPC

Instrumento:	Waters Alliance GPC 2000
Colunas (3):	Plgel 10 μ Mixed-B S/N's: 10M-MB-148-83; 10M-MB-148-84; 10M-MB-174-129
Fase Móvel (solvente):	0,5% de LiCl em DMAc (1,0 mL/min.)
Temperatura da Coluna/Detector:	70°C
Temperatura do Injetor:	70°C
Tamanho do Ciclo da Amostra:	323,5 μ L

Exemplo 2 - Feixe de Elétrons Processando Amostras de Papelão

- 5 As amostras de papelão marrom de 0,127 centímetro (0,050 polegada) de espessura foram tratadas com um feixe de elétrons, usando um acelerador contínuo de ondas Rhodotron[®] TT200 em uma caverna, liberando elétrons a 5 MeV, em potência de saída de 80 kW. A Tabela 4 descreve os parâmetros nominais para o TT200. A Tabela 5 apresenta as doses nominais (em MRad) e as doses reais (em kGy) distribuídas para as amostras.
- 10

Tabela 4. Parâmetros para o Rhodotron[®] TT 200

Feixe	
Feixe Produzido:	Elétrons acelerados
Energia do feixe:	Nominal (máxima): 10 MeV (+0 keV–250 keV)
Dispersão de energia a 10 MeV:	Largura total no semimáximo (FWHM) 300 keV
Potência do feixe a 10 MeV:	Faixa de Operação Garantida 1 a 80 kW
Consumo de Energia	
Condição de espera ("stand-by") (vácuo e esfriamento ligados):	<15 kW
Na potência do feixe de 50 kW:	<210 kW
Na potência do feixe de 80 kW:	<260 kW
Sistema de RF	
Frequência:	107,5 $\pm$ 1 MHz
Tipo de tetrodo:	Thomson TH781
Buzina de Varredura	
Comprimento de Varredura Nominal (medido a 25-35 cm a partir da janela):	120 cm

Faixa de Varredura:	De 30% a 100% do Comprimento de Varredura Nominal
Frequência de Varredura Nominal (no comprimento de varredura máx.):	100 Hz $\pm$ 5%
Uniformidade da Varredura (através de 90% do Comprimento de Varredura Nominal)	$\pm$ 5%

Tabela 5. Dosagens Distribuídas para as Amostras

Dosagem Total (MRad) (Número Associado com a ID da Amostra)	Dose Distribuída (kgy) ¹
1	9,9
3	29,0
5	50,4
7	69,2
10	100,0
15	150,3
20	198,3
30	330,9
50	529,0
70	695,9
100	993,6

¹Para o exemplo, 9,9 kgy foram distribuídos em 11 segundos em uma corrente de feixe de 5 mA e uma velocidade de linha de 393,192 cm (12,9 pés)/minuto. O tempo de esfriamento entre os tratamentos de 1 MRad foi cerca de 2 minutos.

As amostras de papelão tratadas abaixo de 7 MRad eram mais duras ao toque do que os controles não tratados, porém, fora isso, pareciam visivelmente idênticas aos controles. As amostras tratadas em torno de 10 MRad eram de dureza comparável aos controles, ao toque, enquanto que aquelas tratadas com doses maiores eram mais flexíveis sob manipulação. A degradação extensa do material era visivelmente aparente para as amostras tratadas acima de 50 Mrad.

OUTRAS MODALIDADES

É para ser entendido que, embora a invenção tenha sido descrita em conjunção com a sua descrição detalhada, a descrição precedente é pretendida para ilustrar e não limitar o escopo da invenção, que é definida

pelo escopo das reivindicações em anexo. Os outros aspectos, vantagens, e modificações estão dentro do escopo das reivindicações que se seguem.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de produzir um material celulósico ou lignocelulósico para uso na fabricação de papel, caracterizado pelo fato de que compreende:

5 tratar uma matéria-prima seca celulósica ou lignocelulósica, tendo um primeiro peso molecular médio, com uma dose de radiação ionizante maior do que 5 Mrad, para reduzir o peso molecular médio da matéria-prima até um nível predeterminado selecionado para tornar a matéria-prima tratada adequada para uso como, ou na formação de, uma polpa para uso em um
10 processo de fabricação do papel.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que adicionalmente compreende submeter a matéria-prima tratada a um processo de polpação.

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado
15 pelo fato de que adicionalmente compreende submeter a matéria-prima tratada a um processo de desintegração mecânica e/ou aplicar energia acústica à matéria-prima tratada.

4. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a matéria-prima compreende cavacos de
20 madeira.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a dose de radiação ionizante é de 5 a 100 MRad.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a
25 5, caracterizado pelo fato de que o tratamento compreende irradiar com radiação gama ou radiação de feixe de elétrons.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o tratamento compreende irradiar com radiação de feixe de elétrons e onde os elétrons no feixe de elétrons têm uma energia de pelo menos 0,25 MeV.
30

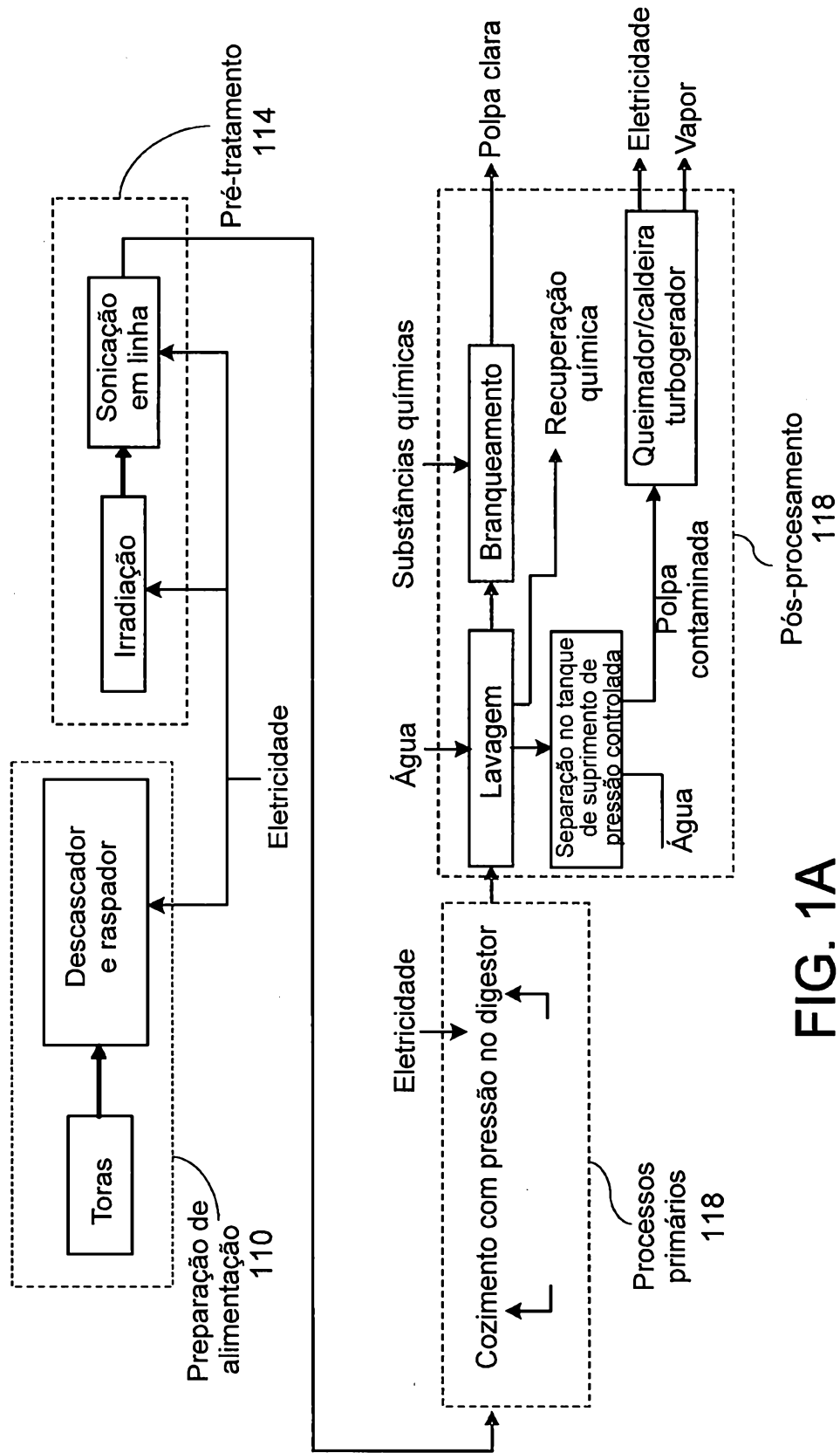


FIG. 1A

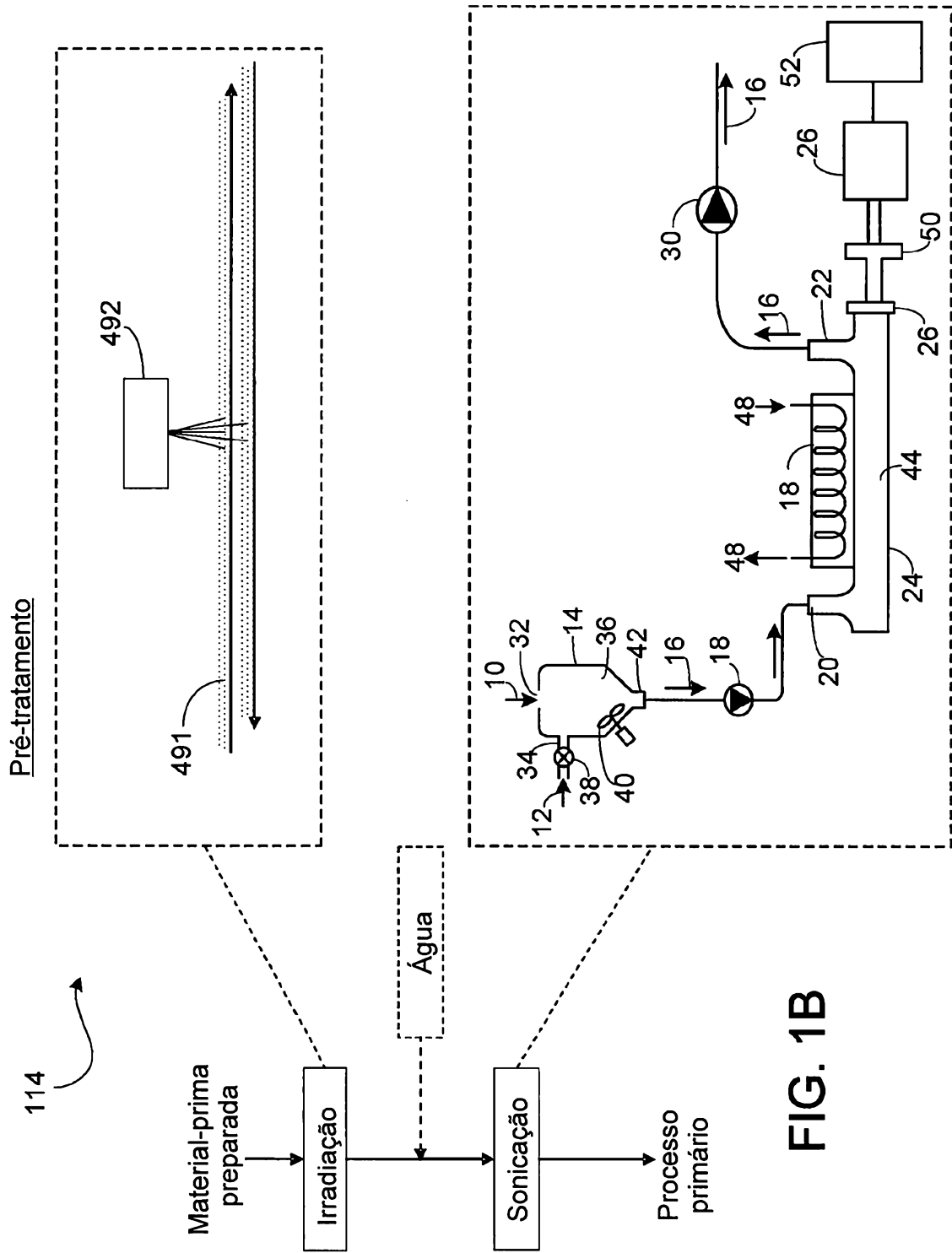


FIG. 1B

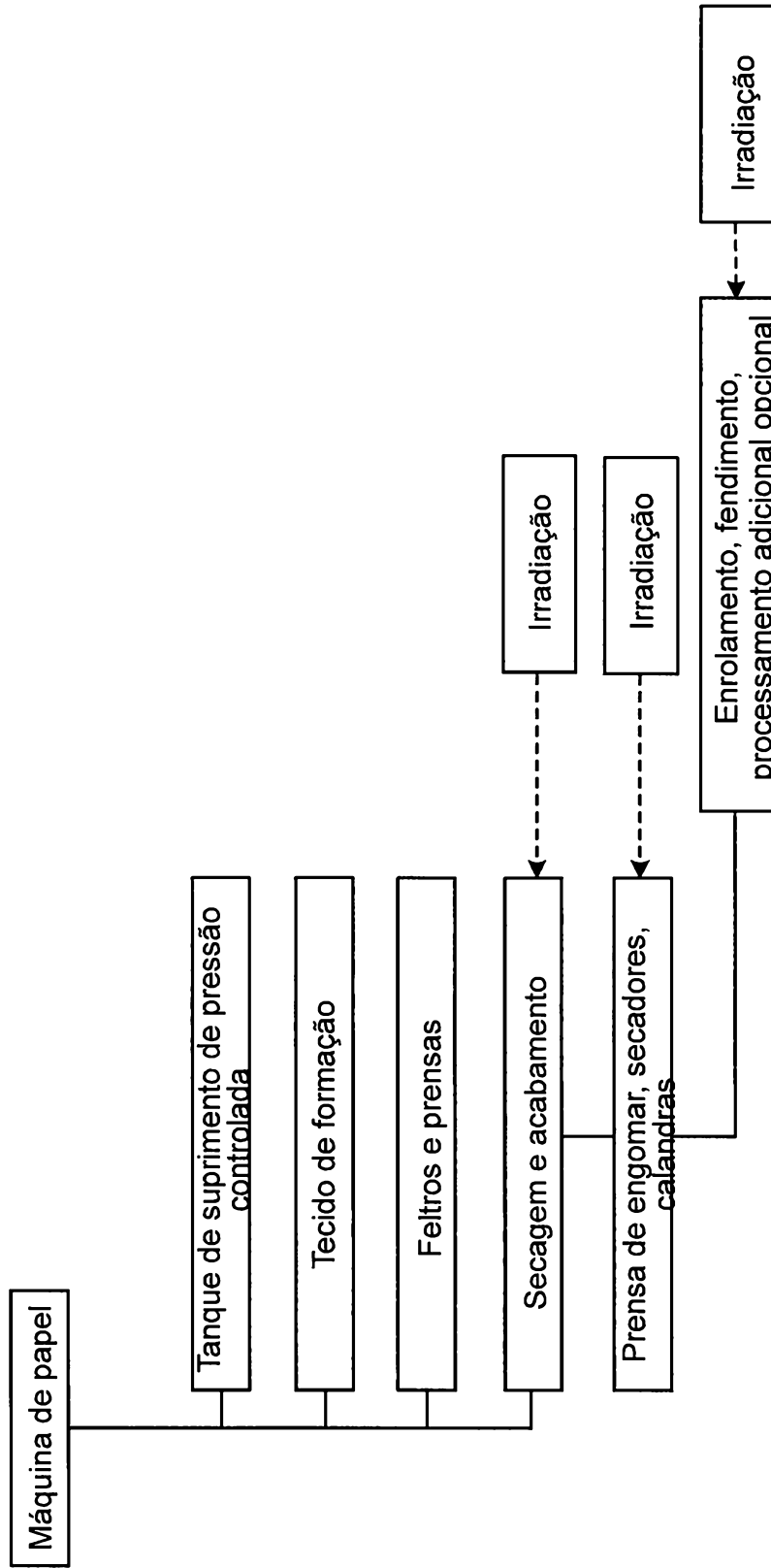


FIG. 2

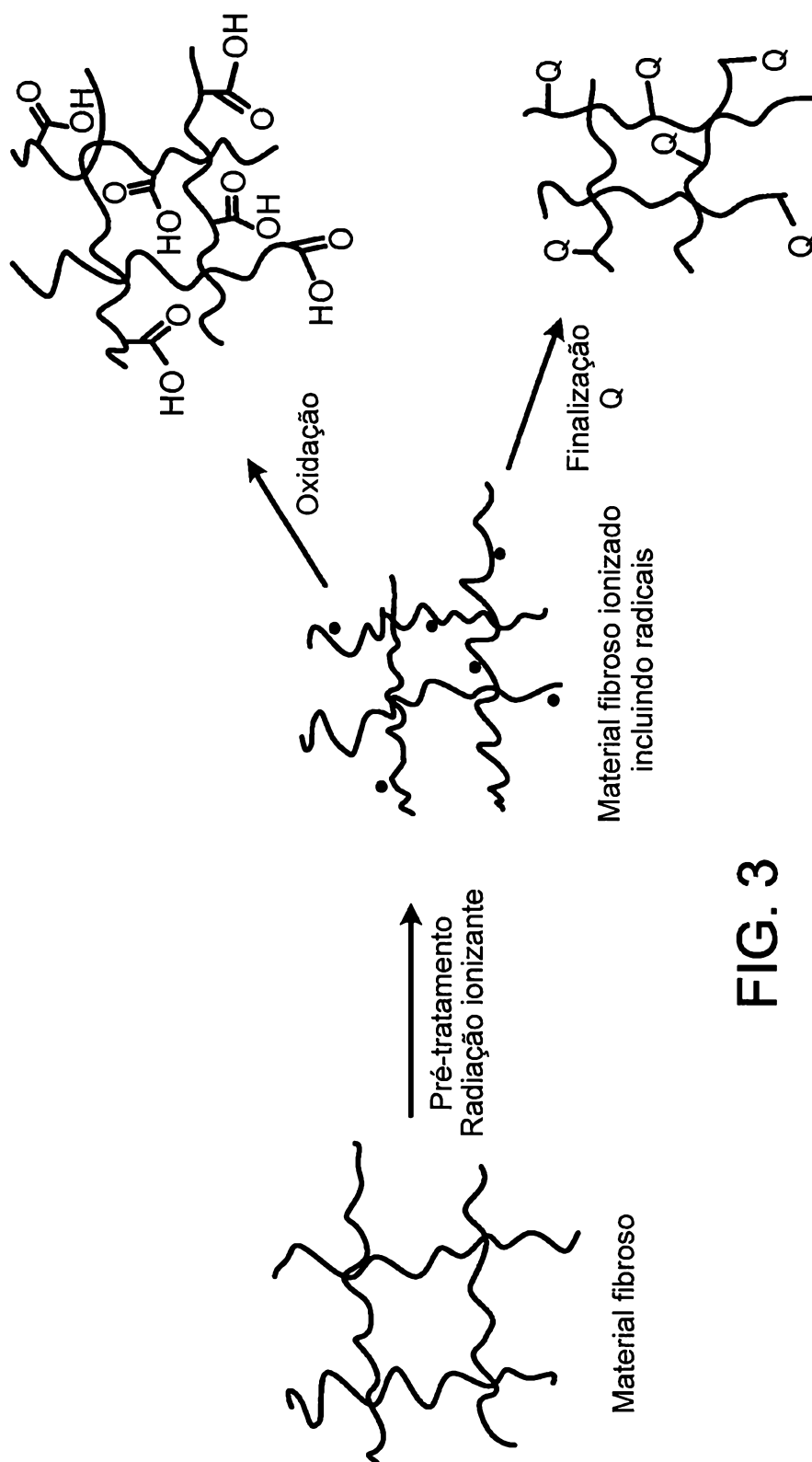


FIG. 3

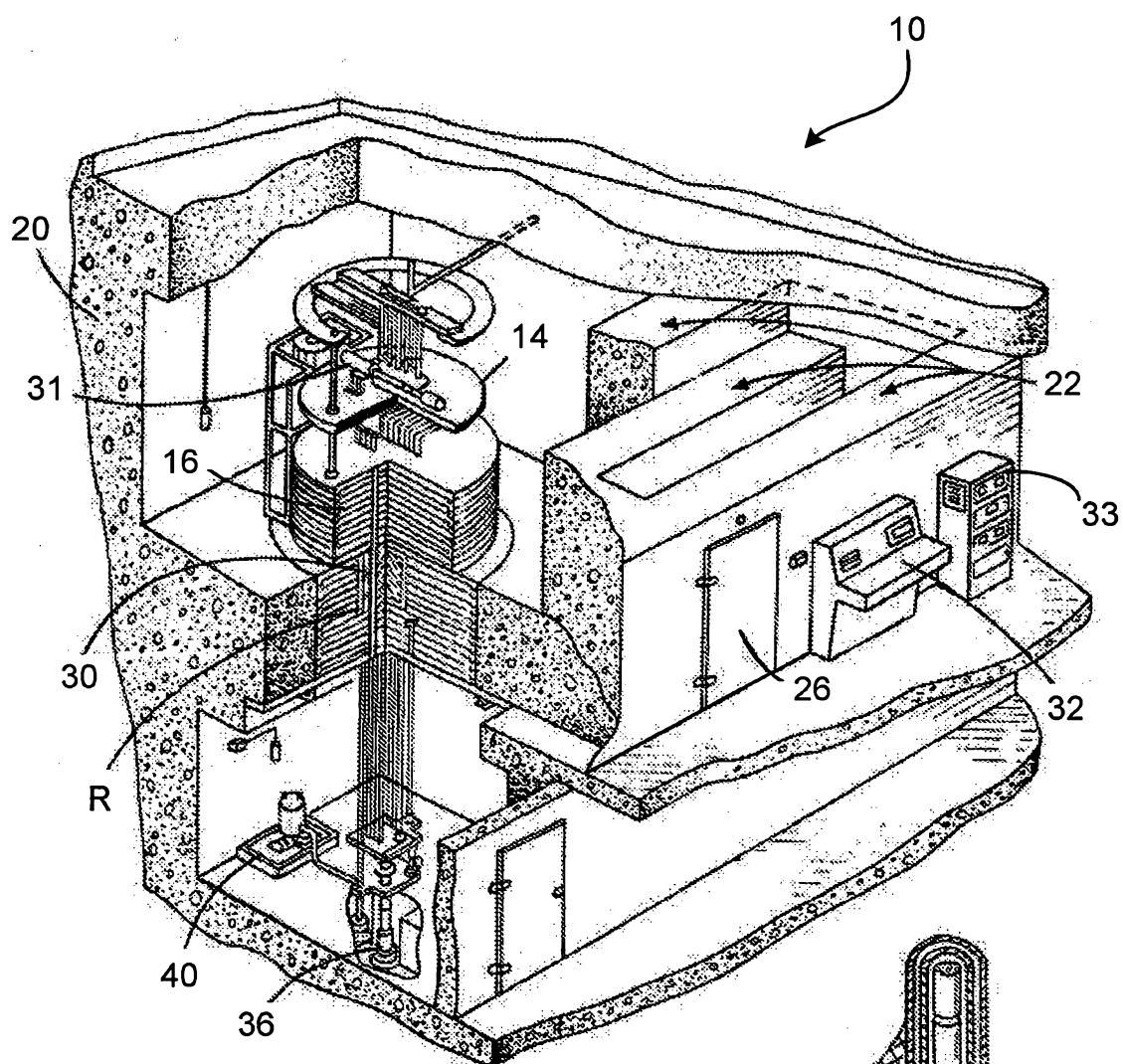


FIG. 4

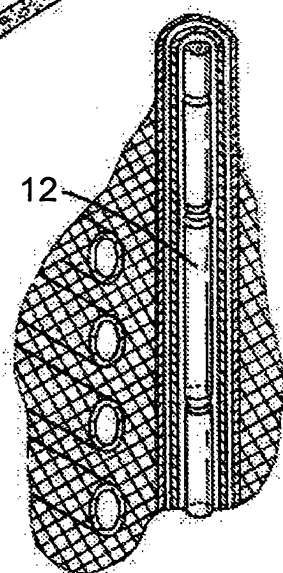
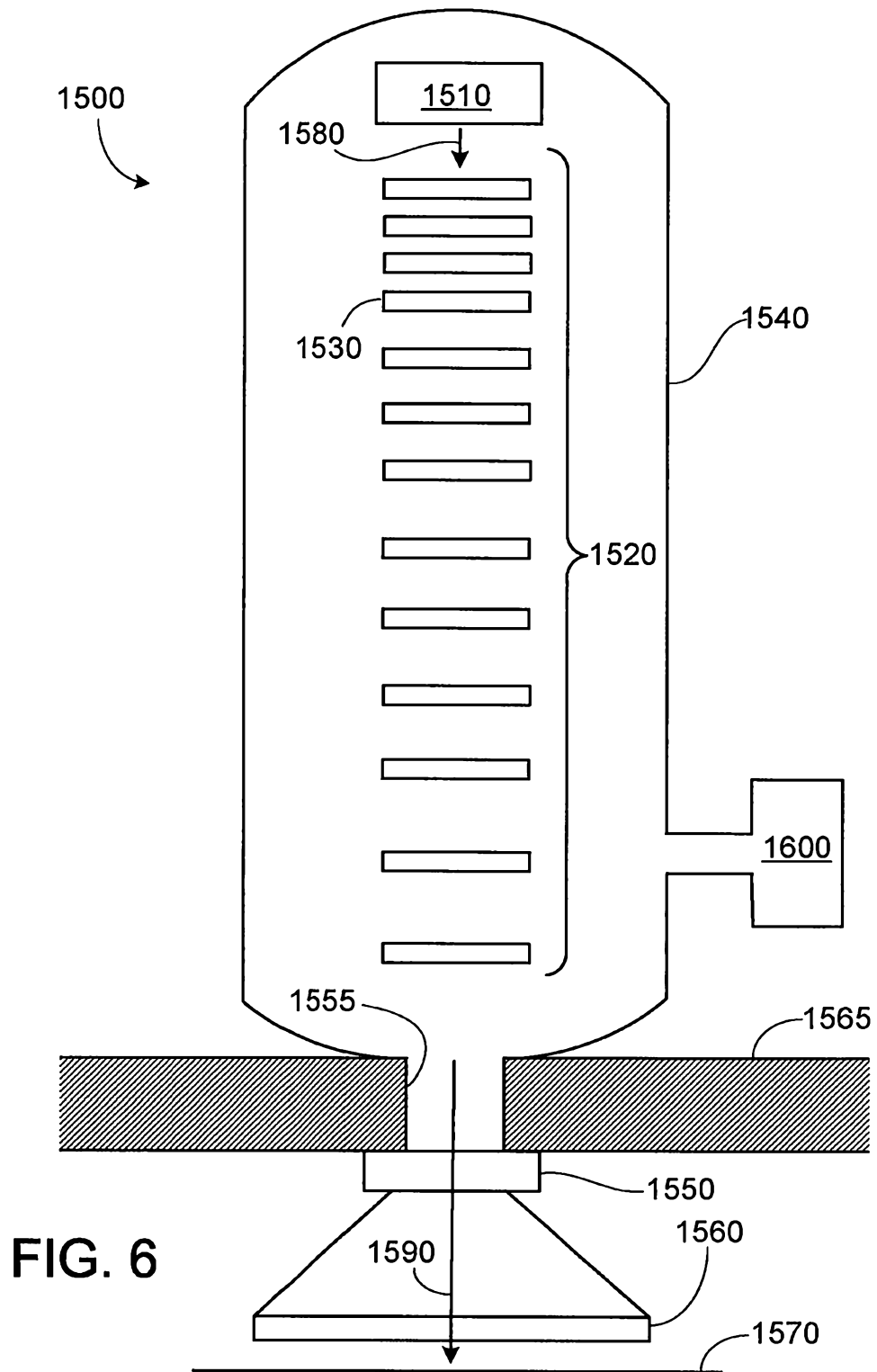


FIG. 5



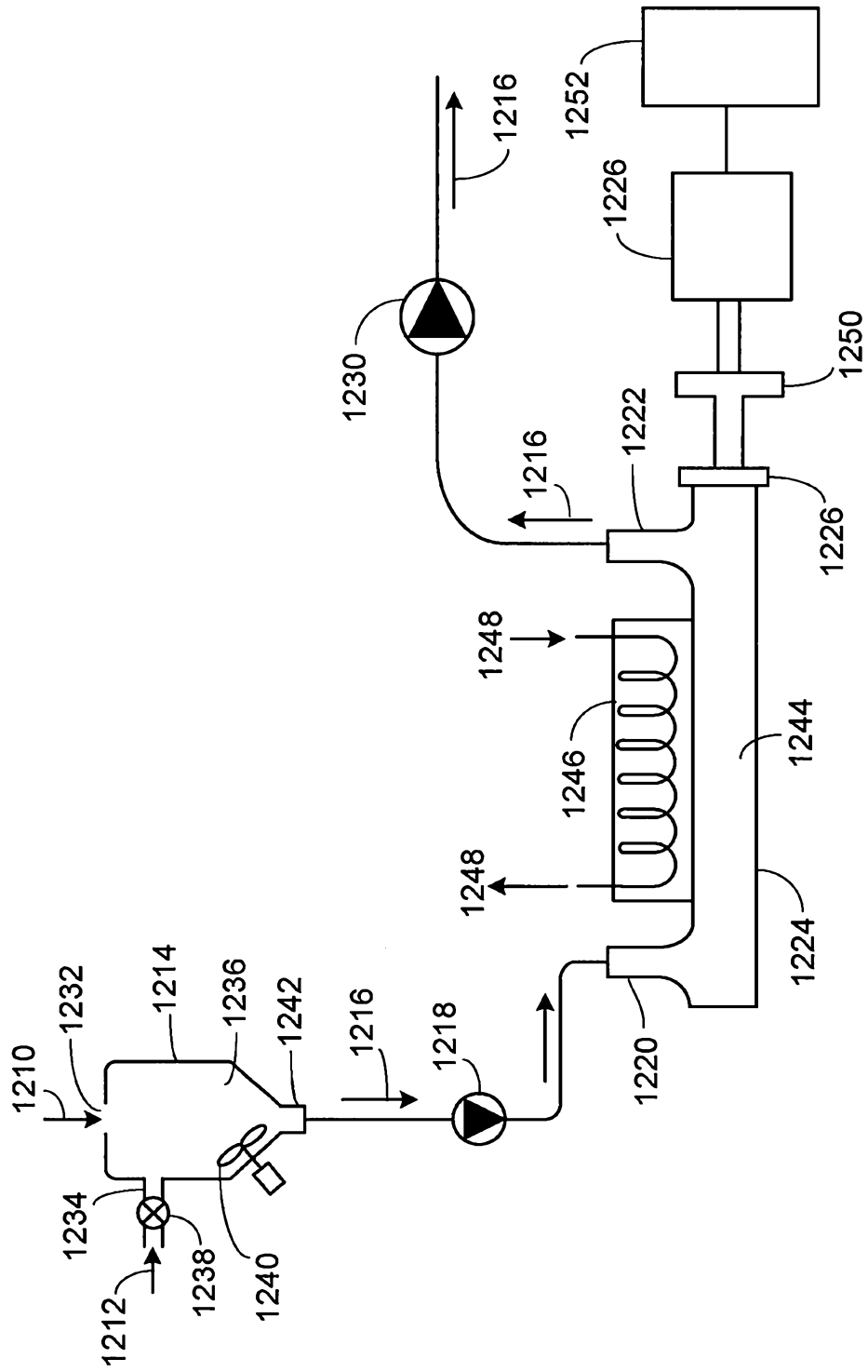


FIG. 7

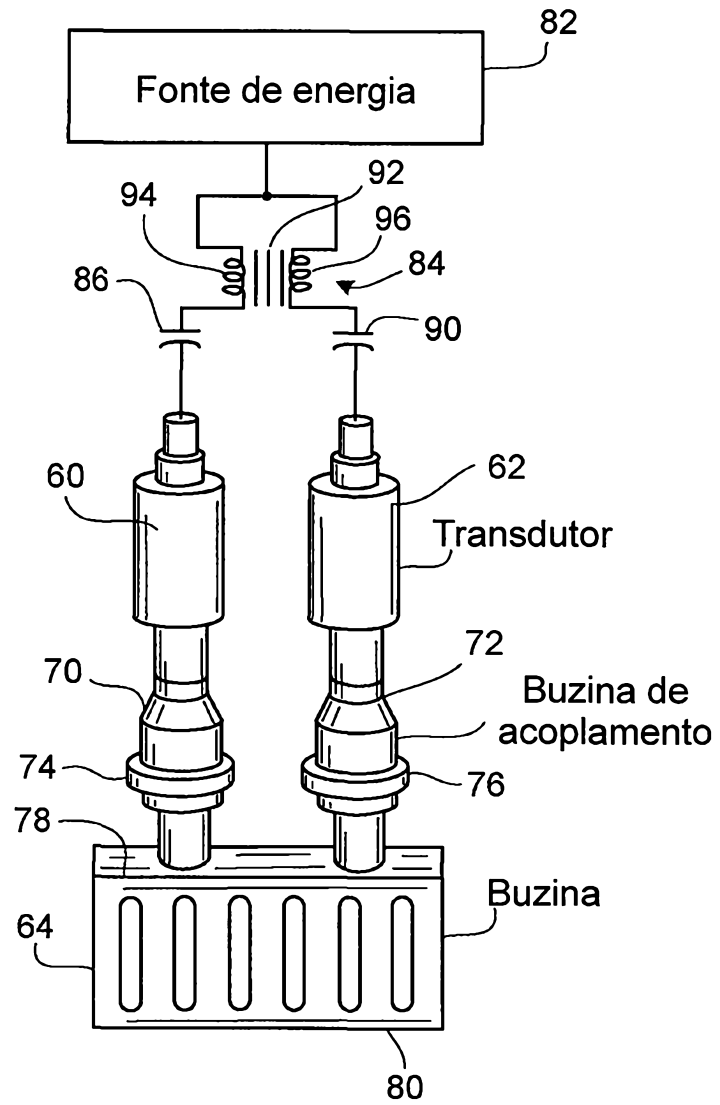


FIG. 8

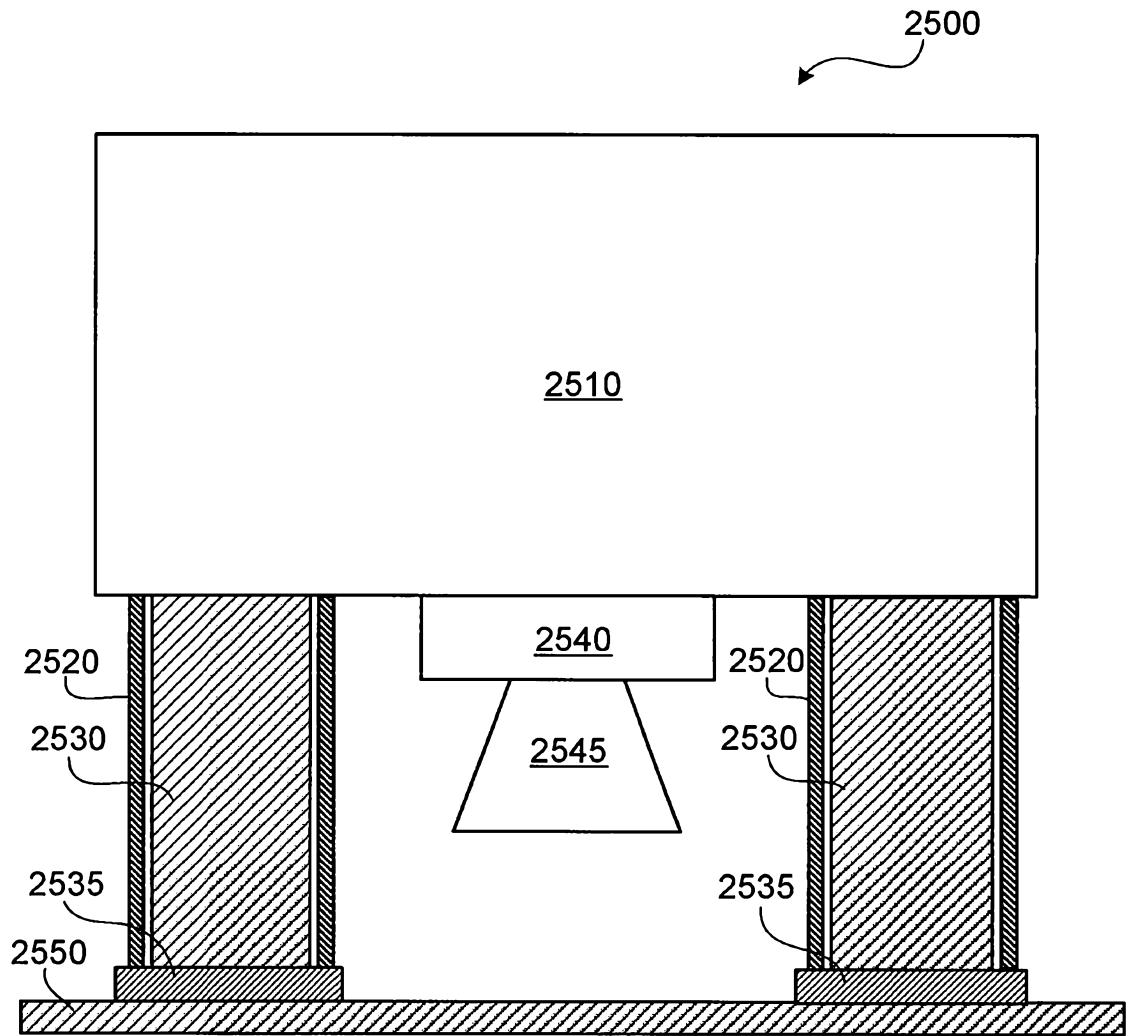
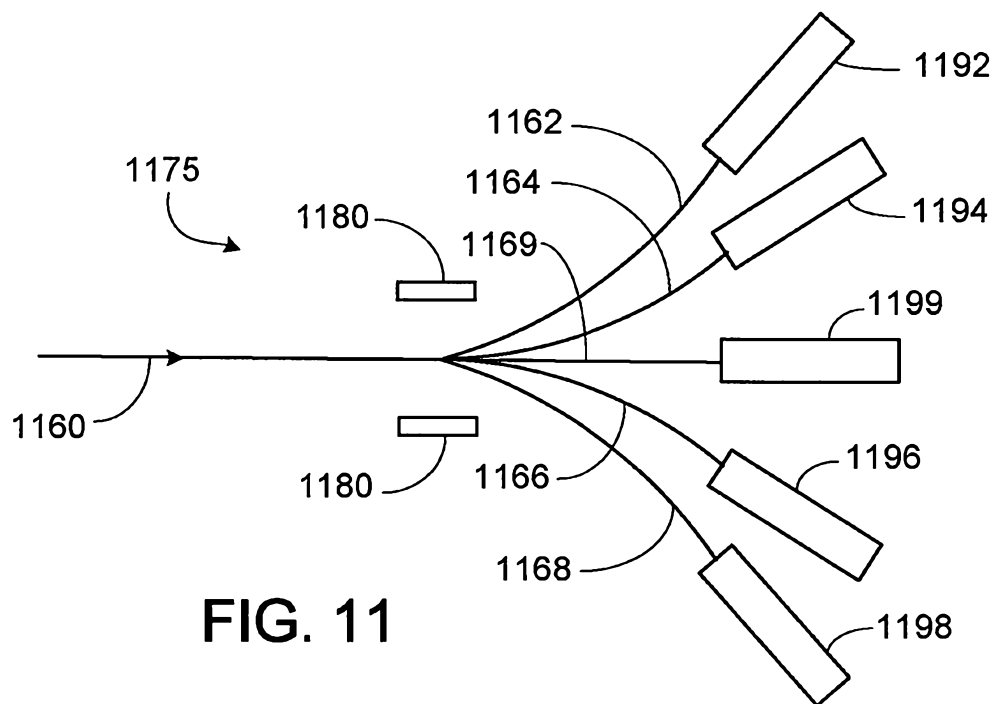
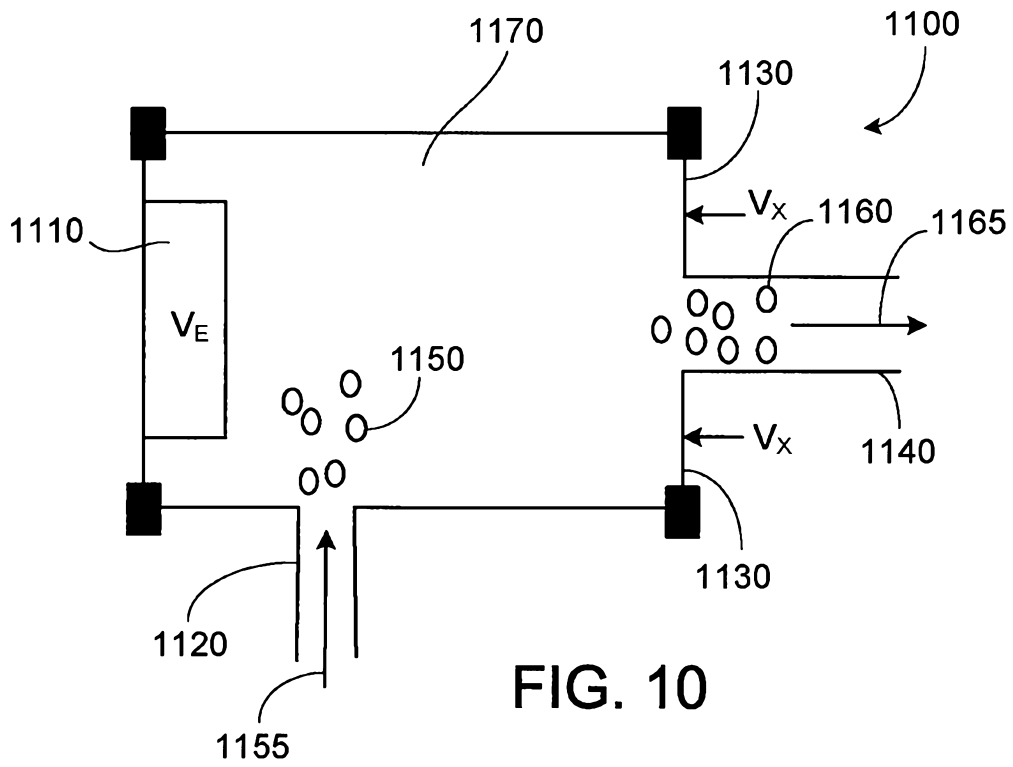


FIG. 9



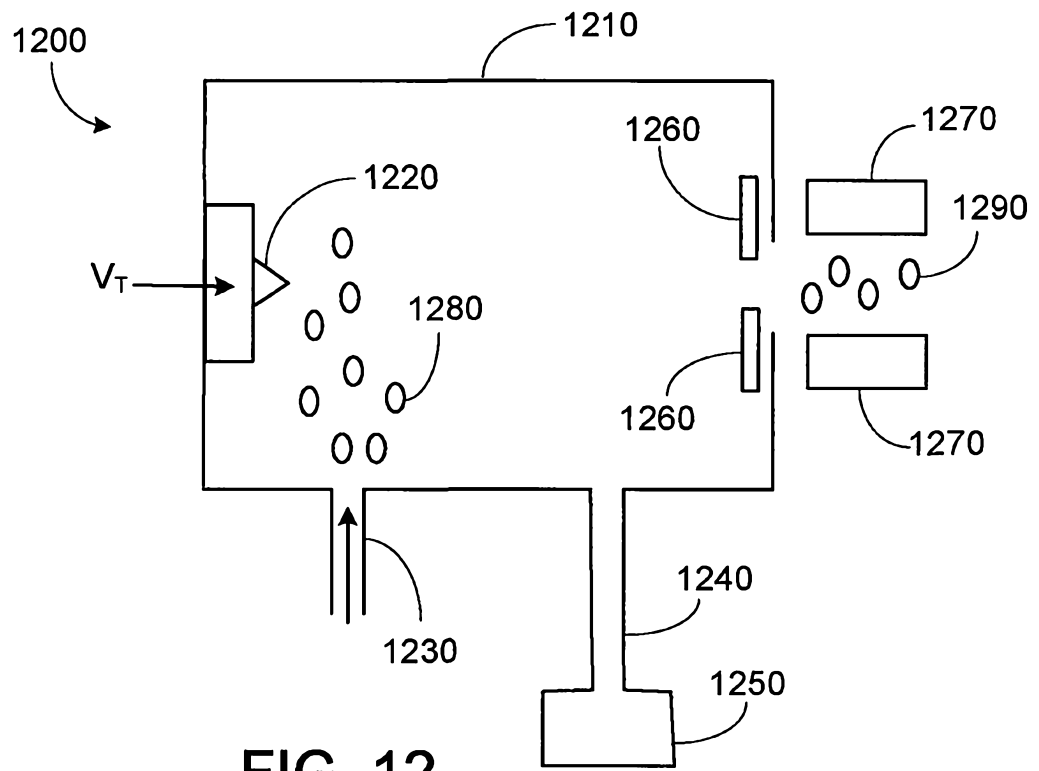


FIG. 12

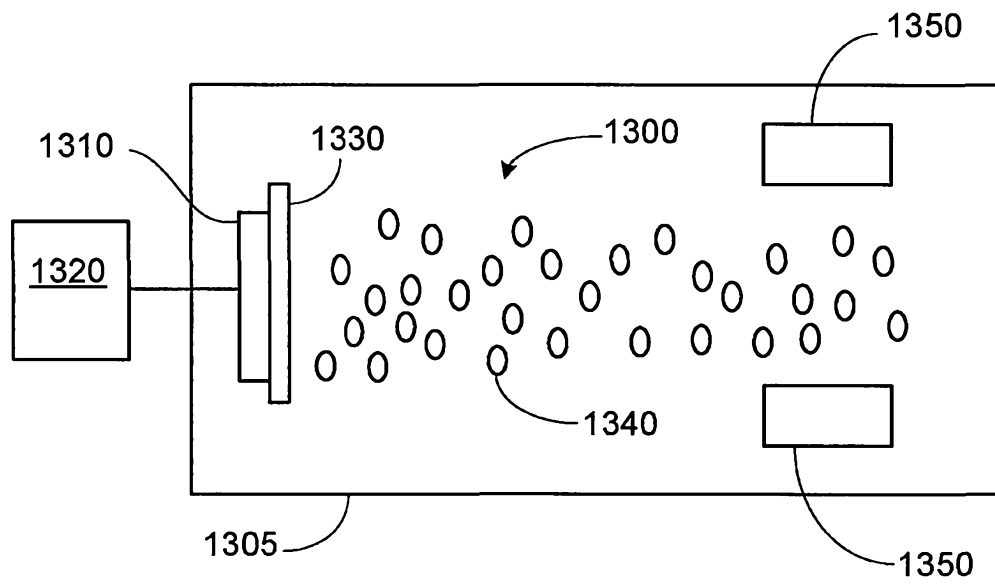


FIG. 13

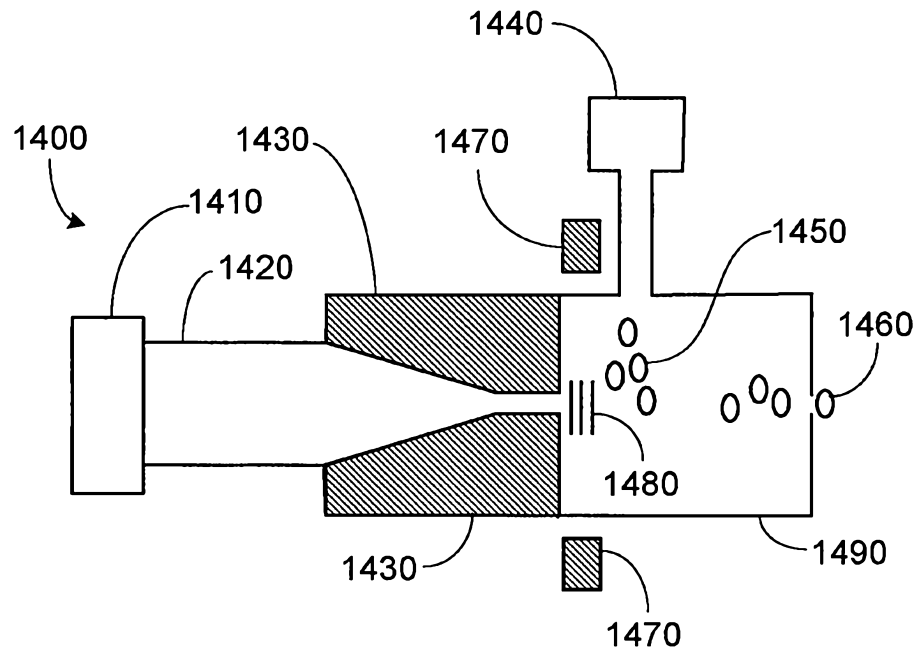


FIG. 14

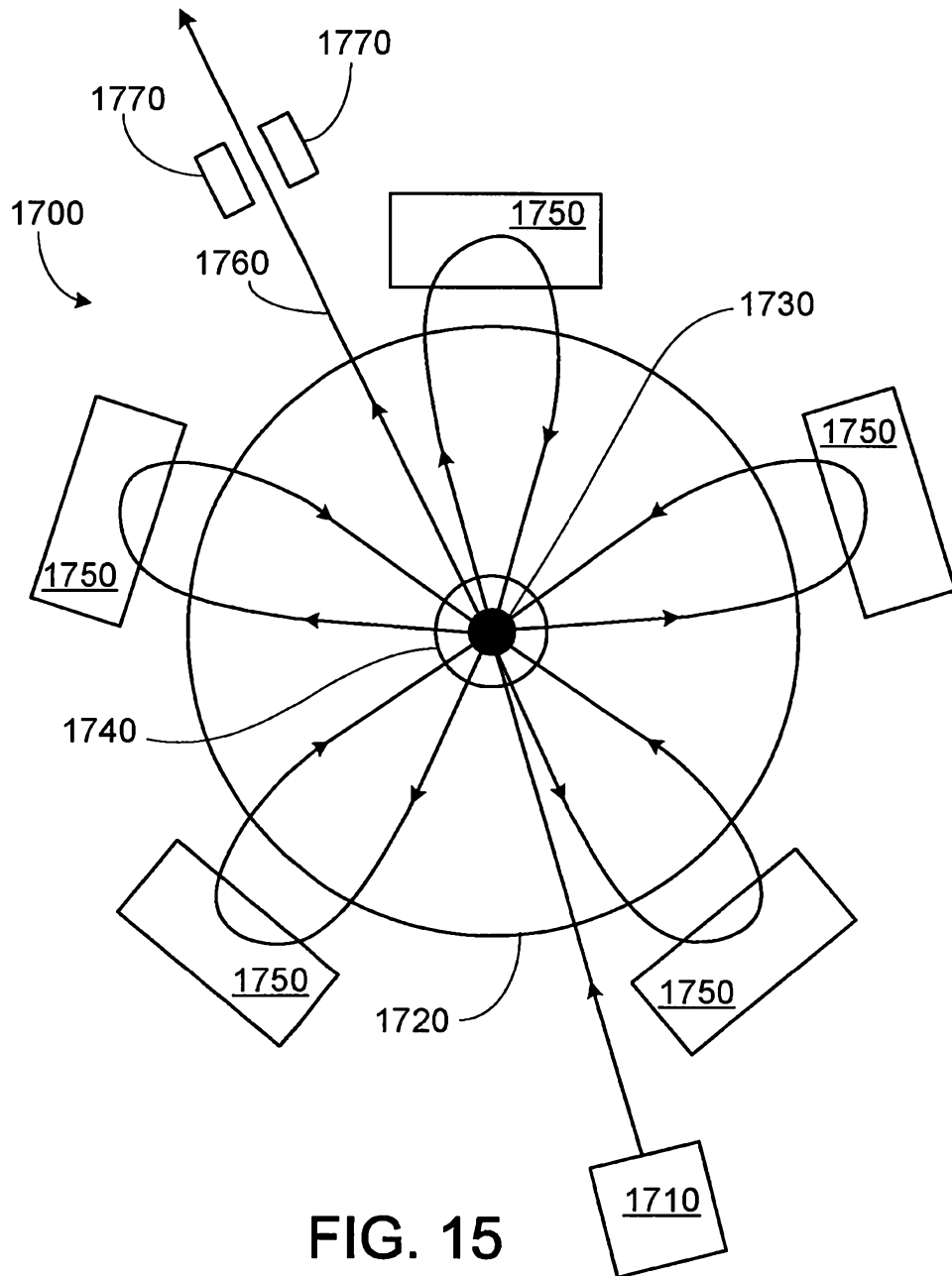
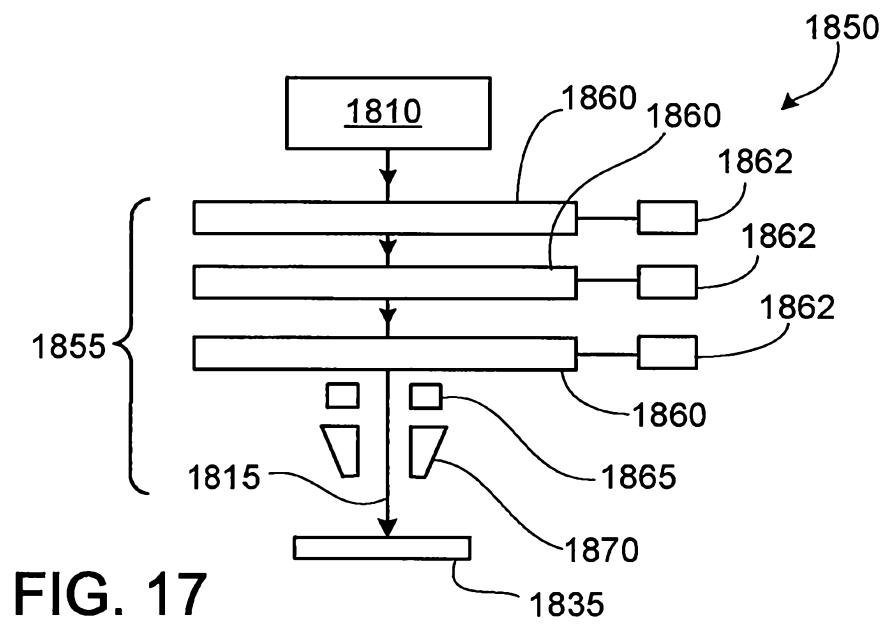
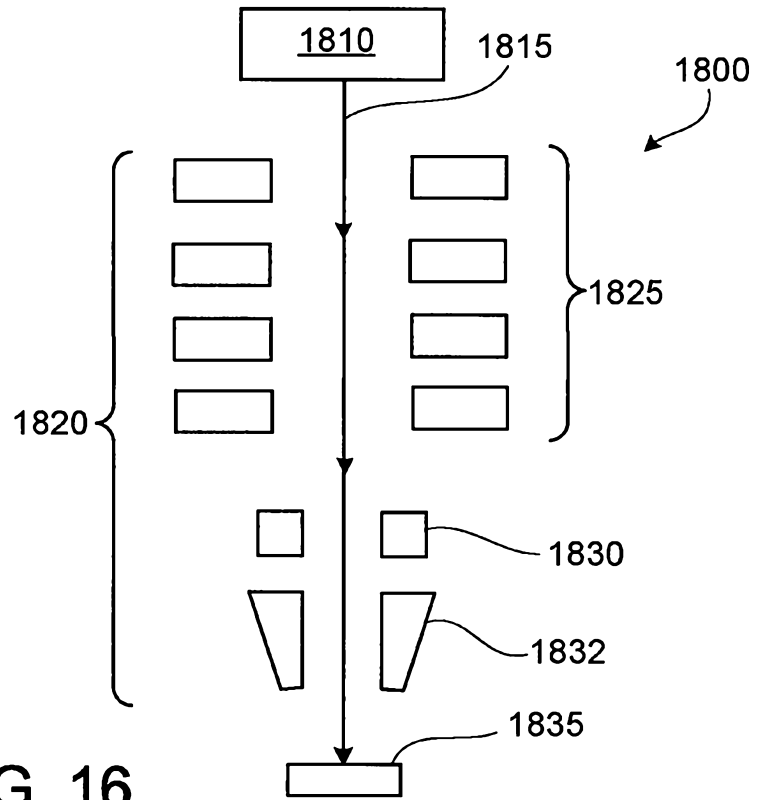


FIG. 15



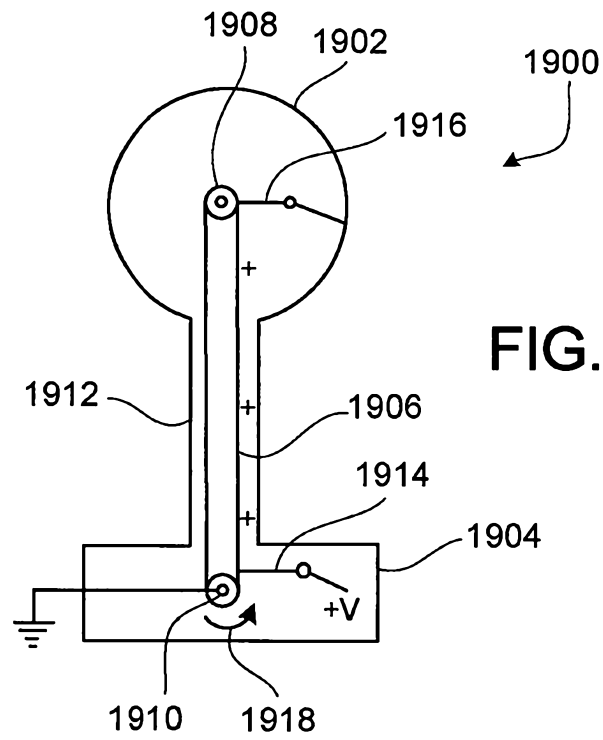


FIG. 18

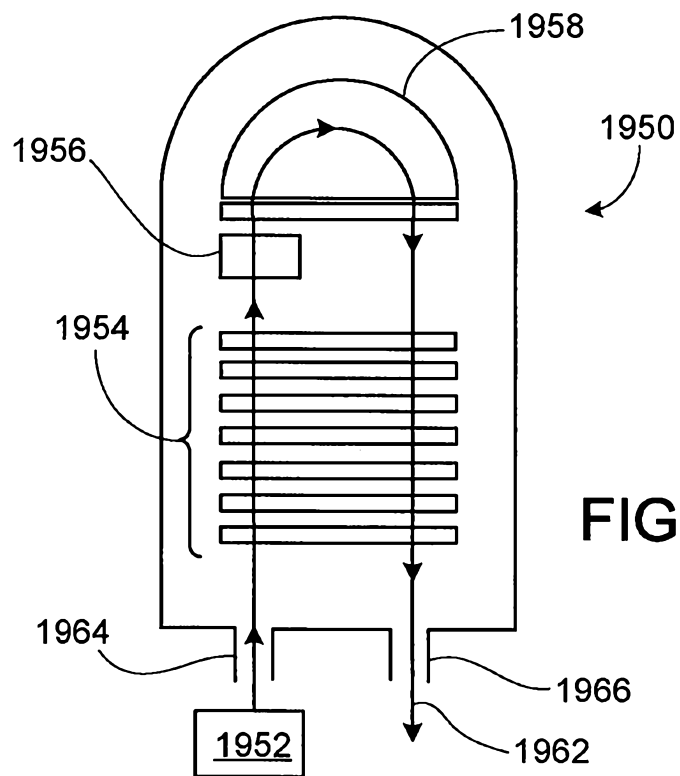


FIG. 19