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

(21) BR 102020006522-0 A2

(22) Data do Depósito: 31/03/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 20/10/2020

(54) Título: PROCESSO DE TRATAMENTO DE AÇÚCAR

(51) Int. Cl.: C13B 20/14; B01D 15/36; C13B 20/16.

(52) CPC: C13B 20/14; B01D 15/362; C13B 20/16.

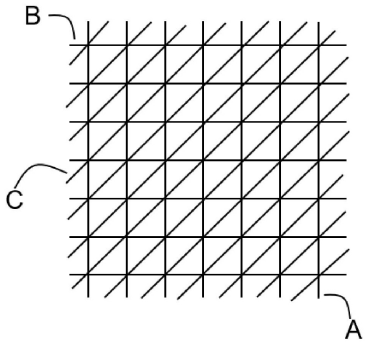
(30) Prioridade Unionista: 05/04/2019 FR 1903702.

(71) Depositante(es): NOVASEP PROCESS.

(72) Inventor(es): DAMIEN BRICHANT; ANTOINE CHARBONNEAU.

(57) Resumo: A invenção refere-se a um processo de tratamento de açúcar, compreendendo sucessivamente: uma primeira filtração frontal de um caldo açucarado para obter um primeiro filtrado; uma segunda filtração frontal do primeiro filtrado para obter um segundo filtrado; e colocar em contato o segundo filtrado com uma resina de cromatografia de troca catiônica de modo a carregar a resina catiônica bivalente e coletar um caldo açucarado atenuado, a resina sendo disposta na forma de um leito com uma altura h de 0,75 a 3 metros. A invenção também se refere a um dispositivo de tratamento de açúcar.

[Fig. 1]



PROCESSO DE TRATAMENTO DE AÇÚCAR

Campo da invenção

[001] A presente invenção refere-se a um processo de tratamento de açúcar, incluindo uma etapa de atenuação de um caldo açucarado sobre uma resina de cromatografia de troca iônica. A presente invenção refere-se igualmente a um dispositivo de tratamento de açúcar que permite notadamente a atenuação de um caldo açucarado.

Antecedentes técnicos

[002] A produção de açúcar refinado a partir da cana-de-açúcar compreende um certo número de tratamentos realizados na indústria açucareira seguidos de um certo número de tratamentos suplementares realizados em refinaria.

[003] Na indústria açucareira, as principais etapas são a extração do açúcar por moagem, isto é, a prensagem da cana ou por difusão para obter um caldo açucarado bruto, a clarificação deste caldo utilizando cal a fim de precipitar um certo número de impurezas assim como para adição de dióxido de carbono (carbonatação) ou de anidrido sulfuroso (sulfitação) de modo a precipitar a cal em excesso, a filtração ou a decantação do caldo tratado, a concentração do caldo restante e enfim a cristalização e a centrifugação do açúcar, que conduzem à obtenção do açúcar mascavo, por um lado, e de um melaço, por outro lado.

[004] Em refinaria, as principais operações às quais o açúcar mascavo é submetido são um refino (lavagem dos cristais por uma solução aquosa saturada de açúcar após centrifugação) para eliminar as impurezas situadas na superfície dos cristais, uma recolocação em solução do açúcar resultante, uma clarificação, uma descoloração e uma cristalização.

[005] No entanto, o excesso de cal precipitada, notadamente na forma

de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) ou de sulfato de cálcio ($CaSO_4$), pode causar problemas ao se acumular e se precipitar nos equipamentos assim como em tubulações ao longo do tempo. Mais precisamente, os depósitos de minerais podem ser formados no evaporador utilizado para a concentração do caldo açucarado, reduzindo a troca de calor cada vez mais e diminuindo, assim, progressivamente a sua eficácia. Assim, manter a mesma taxa de evaporação ao longo do tempo exige um aumento do consumo de vapores e/ou um aumento da superfície de aquecimento. Ademais, após um certo nível de diminuição de desempenho, o evaporador deve ser desativado para limpar os depósitos formados. Este processo de limpeza, que inclui uma série de limpezas químicas e mecânicas (operação manual), requer a abertura sistemática dos aparelhos e é considerado como perigoso, dado que as temperaturas ao redor do evaporador são elevadas, e que também é necessária a utilização de produtos químicos concentrados. Ademais, a desativação e a reinicialização de um evaporador requerem consumo adicional de líquido de arrefecimento em um caso e de vapor no outro, devido à inércia do aparelho.

[006] Existem algumas soluções de limpeza aprimoradas, entretanto elas exigem um importante investimento assim como custos operacionais elevados.

[007] A atenuação do caldo açucarado é um método que permite diminuir a quantidade de contraíons catiônicos que provocam os depósitos minerais. A técnica mais comum para atenuar o caldo açucarado baseia-se na utilização de uma resina de cromatografia de troca catiônica (antes da etapa de evaporação), por exemplo, na forma de Na^+ ou K^+ para trocar os cátions bivalentes (Ca^{2+}, Mg^{2+}) presentes no caldo açucarado por cátions monovalentes (Na^+ ou K^+) e evitar os problemas mencionados acima. Essa técnica é frequentemente combinada com uma filtração por membrana (filtração

tangencial) efetuada antes da etapa de cromatografia de troca iônica, a fim de eliminar as matérias em suspensão presentes no caldo clarificado e que podem, muito rapidamente, degradar os desempenhos e a capacidade da instalação utilizada para a cromatografia de troca iônica.

[008] Entretanto, a utilização de membranas de filtração torna a implementação dessa técnica muito onerosa.

[009] O artigo de V. Kochergin e JF Alvarez (*Ion-exchange softening of clarified juice-results of pilot trials*) no "*Agribusiness Intelligence Journal-Informa*" em 2017 descreve ensaios efetuados para atenuação de caldo de cana-de-açúcar, na implementação de uma filtração em um filtro de telas, seguida por uma troca de cátions sobre um leito de resina pouco profundo ("resina de leito raso").

[010] O documento FR 2 838 751 descreve um processo de fabricação de açúcar refinado a partir de caldo açucarado como caldo bruto de cana-de-açúcar ou de beterraba açucareira, contendo os açúcares e as impurezas, caracterizado por compreender (entre outros) uma filtração tangencial do caldo açucarado para obter um retido e um filtrado, e a atenuação do filtrado para obter um filtrado atenuado. A filtração tangencial é preferencialmente uma filtração por membrana (ultrafiltração, nanofiltração, microfiltração) e a atenuação é realizada por meio de uma resina de troca de cátions.

[011] O documento CN 103725802 descreve um processo para refinar o açúcar. Este processo compreende (entre outros) uma etapa de pré-tratamento que pode ser uma filtração por filtro de telas ou filtro de mangas, uma etapa de microfiltração por membrana, uma etapa de troca de ânions para a descoloração do caldo e uma etapa de troca de cátions para a dessalinização do caldo.

[012] O documento FR 2 732 358 descreve um processo de tratamento

de uma solução açucarada derivada da beterraba por resina de troca iônica catiônica para atenuar a solução açucarada, seguida pela regeneração da resina catiônica. Uma filtração pode preceder a etapa de troca iônica.

[013] O documento US 6,479,636 descreve um método de extração e de purificação das proteínas recombinantes de cana-de-açúcar transgênica. Este método compreende várias etapas de filtração em um filtro de telas e uma etapa de troca iônica em uma resina aniônica.

[014] O documento WO 2005/031006 descreve um processo no qual o caldo de cana-de-açúcar bruto é primeiramente refinado em várias etapas, depois convertido bioenzimaticamente em xarope invertido ou em solução concentrada de glicose e frutose refinada. As etapas de refino compreendem preferencialmente uma primeira filtração (filtração de partículas ou microfiltração) seguida de uma segunda filtração (microfiltração ou ultrafiltração) e depois pelo menos uma passagem através de uma coluna compreendendo uma resina de troca de ânions.

[015] O documento CN 102659855 se refere a um processo de produção de açúcar compreendendo (entre outras) uma etapa de filtração por filtro de prensa, uma etapa de pré-tratamento compreendendo uma filtração, uma etapa de filtração por membrana, e uma etapa de troca iônica para remover a cor dos flavonoides.

[016] Existe, portanto, uma necessidade de fornecer um processo aprimorado para o tratamento de açúcar, compreendendo uma etapa de atenuação de caldo açucarado, que permita evitar os riscos de mau funcionamento das instalações, os riscos associados à limpeza das instalações, mas também reduzir os custos econômicos e energéticos relacionados às diversas etapas do processo.

Sumário da invenção

[017] A invenção refere-se primeiramente a um processo de tratamento de açúcar, compreendendo sucessivamente:

- uma primeira filtração frontal de um caldo açucarado para obter um primeiro filtrado;

- uma segunda filtração frontal do primeiro filtrado para obter um segundo filtrado; e

- colocar em contato o segundo filtrado com uma resina de cromatografia de troca de cátions de modo a carregar a resina de cátions bivalentes e a coletar um caldo açucarado atenuado, a resina sendo disposta na forma de um leito com uma altura h de 0,75 a 3 metros.

[018] De acordo com certas modalidades, os cátions bivalentes compreendem, e preferencialmente consistem essencialmente em cátions Ca^{2+} e/ou cátions Mg^{2+}.

[019] De acordo com certas modalidades, o caldo açucarado tem uma concentração de partículas sólidas de 20 a 500 mg/kg, e/ou uma concentração de íons de magnésio de 100 a 500 mg/L, e/ou uma concentração de íons de cálcio de 100 a 600 mg/L.

[020] De acordo com certas modalidades, o caldo açucarado tem um teor de açúcar de 10 a 20 graus Brix, e/ou uma turbidez de 100 a 500 NTU.

[021] De acordo com certas modalidades, o caldo açucarado atenuado coletado após a etapa de colocação em contato do segundo filtrado com a resina tem um volume de 15 a 80 BV.

[022] De acordo com certas modalidades, a primeira filtração permite uma retenção de 10 a 60% em massa de partículas sólidas em relação à quantidade de partículas sólidas presentes no caldo açucarado, e/ou a primeira filtração e a segunda filtração permitem uma retenção de 30 a 70% em massa de partículas sólidas em relação à quantidade de partículas sólidas presentes

no caldo açucarado, e/ou a primeira filtração, a segunda filtração e a colocação em contato do segundo filtrado com a resina permitem uma retenção de 50 a 90% em massa de partículas sólidas em relação à quantidade de partículas sólidas presentes no caldo açucarado.

[023] De acordo com certas modalidades, o processo é um processo descontínuo ou um processo contínuo.

[024] De acordo com certas modalidades, o processo compreende as etapas de regeneração da resina carregada de cátions bivalentes, tais etapas compreendendo:

- colocar em contato a resina carregada com uma solução de regeneração;

- coletar um efluente de regeneração.

[025] De acordo com certas modalidades, a solução de regeneração é derivada dos melaços formados durante uma etapa de cristalização do açúcar, ou a solução de regeneração é derivada no todo ou em parte do caldo açucarado atenuado, adicionado ou não de hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, ou a solução de regeneração é uma solução de salmoura de regeneração que compreende um sal de cloreto, ou potássio ou sódio, ou a solução de regeneração é derivada de uma vinhaça de destilação dos melaços; ou a solução de regeneração é derivada de um refinado resultante de um tratamento por cromatografia de melaços.

[026] De acordo com certas modalidades, a colocação em contato da resina carregada com uma solução de regeneração compreende a utilização de diferentes soluções de regeneração em alternância entre dois ciclos de produção.

[027] De acordo com certas modalidades, o efluente de regeneração é utilizado para efetuar uma etapa de clarificação do caldo açucarado, em particular uma etapa de calagem, sendo a etapa de clarificação efetuada antes

da primeira filtração; ou o efluente de regeneração é utilizado para efetuar uma ou várias etapas de cristalização, sendo a(s) etapa(s) de cristalização efetuadas após o segundo filtrado ser colocado em contato com a resina.

[028] De acordo com certas modalidades, o processo compreende igualmente uma etapa de lavagem da resina carregada de cátions bivalentes, ou da resina regenerada, com uma solução de lavagem, a solução de lavagem possuindo uma direção no leito de resina inversa a uma direção do segundo filtrado no leito de resina durante a etapa de colocação em contato do segundo filtrado com a resina.

[029] De acordo com certas modalidades, a solução de lavagem é derivada do caldo açucarado atenuado ou do caldo açucarado, ou a solução de lavagem é água.

[030] De acordo com certas modalidades, no final da etapa de lavagem um efluente de lavagem é coletado, o efluente de lavagem sendo devolvido para uma etapa de clarificação do caldo açucarado, sendo a etapa de clarificação efetuada antes da primeira filtração.

[031] De acordo com certas modalidades, a etapa de colocação em contato do segundo filtrado com a resina é efetuada a uma temperatura igual ou superior a 75°C.

[032] A invenção se refere igualmente a um dispositivo de tratamento de açúcar, compreendendo:

- uma linha de fornecimento de um caldo açucarado;

- uma primeira unidade de filtração frontal alimentada pela linha de fornecimento de caldo açucarado;

- uma linha de coleta do primeiro filtrado saindo da primeira unidade de filtração frontal;

- uma segunda unidade de filtração frontal alimentada pela linha de coleta

de primeiro filtrado;

- uma linha de coleta do segundo filtrado saindo da segunda unidade de filtração frontal;

- uma unidade de cromatografia de troca iônica compreendendo uma resina catiônica alimentada pela linha de coleta do segundo filtrado, a resina tendo a forma de um leito de altura h de 0,75 a 3 metros; e

- uma linha de coleta de caldo açucarado atenuado saindo da unidade de cromatografia de troca iônica.

[033] De acordo com certas modalidades, a primeira unidade de filtração compreende um ou vários filtros de telas, cada filtro com poros com diâmetro de 50 a 200 µm, e preferencialmente de 80 a 120 µm.

[034] De acordo com certas modalidades, a primeira unidade de filtração compreende uma unidade de limpeza para pelo menos um dos filtros de telas.

[035] De acordo com certas modalidades, a segunda unidade de filtração compreende pelo menos um cesto filtrante dotado de poros com diâmetro de 20 a 100 µm, e preferencialmente de 40 a 60 µm.

[036] De acordo com certas modalidades, a unidade de cromatografia de troca iônica compreende pelo menos uma coluna, preferencialmente pelo menos 5 colunas, de preferência ainda pelo menos 10 colunas, e ainda pelo menos 15 colunas.

[037] De acordo com certas modalidades, o leito de resina tem um diâmetro de 0,25 a 6 m, e preferencialmente de 0,25 a 5 m.

[038] A presente invenção permite responder à necessidade expressa acima. Ela fornece mais particularmente um processo aprimorado de tratamento de açúcar, compreendendo uma etapa de atenuação de caldo açucarado, permitindo evitar os riscos de mau funcionamento das instalações, os riscos relacionados à limpeza das instalações, mas também diminuir os

custos econômicos e energéticos relacionados às diferentes etapas do processo.

[039] Isto é realizado graças a um processo de tratamento de açúcar compreendendo as etapas sucessivas de uma primeira filtração frontal, uma segunda filtração frontal e uma etapa de cromatografia de troca iônica em uma resina catiônica. As duas etapas sucessivas de filtração frontal permitem proteger a resina de cromatografia de troca iônica e a unidade de cromatografia de troca iônica dos problemas de degradação de desempenho e de capacidade, separando partículas sólidas que se encontram em suspensão no caldo açucarado e que arriscam se acumular na unidade de cromatografia de troca iônica. Isto permite eficácia aprimorada da etapa de atenuação sem danificar a unidade de cromatografia de troca iônica. As duas etapas de filtração permitem então suavizar as variações das partículas sólidas presentes no produto e limitar o número de partículas sólidas fibrosas acumuladas na unidade de cromatografia de troca iônica. Assim, vantajosamente, no final da segunda filtração, de 30 a 70% em massa de partículas presentes no caldo açucarado são retidas pelos filtros, e ao final da etapa de cromatografia de troca iônica, de 50 a 90% em massa de partículas presentes no caldo açucarado são retidas pelos filtros e pela resina. Assim, este processo permite não somente proteger a resina de cromatografia de troca iônica e a unidade de cromatografia de troca iônica, mas também evitar os depósitos formados nas instalações, notadamente no evaporador durante a concentração do caldo, e limitar todos os inconvenientes relacionados à limpeza e à desativação recorrente dessas instalações.

[040] Ademais, a primeira filtração frontal e a segunda filtração frontal são efetuadas, preferencialmente, nas unidades de filtração desprovidas de membranas do tipo cerâmicas ou de outro mineral (inox, por exemplo), o que

permite reduzir o custo dessas etapas do processo.

[041] Vantajosamente ainda, a lavagem da resina carregada de cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) com uma solução de lavagem, a solução de lavagem com uma direção no leito de resina inversa à direção do segundo filtrado no leito de resina (durante a produção do caldo açucarado atenuado), essa lavagem é igualmente chamada de retrolavagem, possibilita expulsar as partículas sólidas retidas na unidade de cromatografia de troca iônica. Mais precisamente, essas partículas retidas acumulam-se preferencialmente perto da entrada (por exemplo, na parte superior) da unidade de cromatografia de troca iônica. Durante a etapa de lavagem, e graças à direção da solução de lavagem (por exemplo, da parte inferior à parte superior da unidade) e ao fluxo da solução de lavagem, uma expansão do leito de resina na unidade de cromatografia de troca iônica pode ser obtida. As partículas sólidas presentes na unidade geralmente têm uma densidade inferior à densidade da resina, e podem ser expulsas da unidade sem provocar a saída das partículas de resina. Assim, a resina doravante essencialmente desprovida de partículas sólidas pode ser regenerada e reutilizada.

Breve descrição das figuras

[042] [Fig. 1] representa esquematicamente uma grade cartesiana compreendendo uma primeira série de fios (A), uma segunda série de fios (B), e uma terceira série de fios (C).

[043] [Fig. 2] representa esquematicamente as diferentes etapas do processo de acordo com a invenção, em certas modalidades.

Descrição detalhada

[044] A invenção é agora descrita em mais detalhes e de modo não limitante na descrição a seguir.

[045] A invenção se refere a um dispositivo assim como a um processo

para o tratamento de açúcar, que permite eliminar as partículas sólidas encontradas em suspensão em um caldo açucarado assim como cátions bivalentes tais como os íons de cálcio Ca^{2+} e/ou os íons de magnésio Mg^{2+} presentes no caldo açucarado. Mais particularmente, este processo visa purificar e notadamente atenuar um caldo açucarado.

Caldo açucarado

[046] Por "caldo açucarado", entende-se um fluxo líquido contendo açúcares e impurezas, notadamente as partículas sólidas em suspensão e os cátions Ca^{2+} e/ou Mg^{2+}. Preferencialmente, as partículas sólidas em suspensão compreendem o bagaço e frações finas de bagaço chamadas "bagacilhos". Por "bagaço", entende-se as partículas sólidas fibrosas em suspensão provenientes da extração do caldo açucarado e por "bagacilhos", entende-se as partículas sólidas fibrosas finas suspensas provenientes da extração do caldo açucarado.

[047] O caldo açucarado é derivado vantajosamente da cana-de-açúcar. Pode ter sido submetido a uma ou várias etapas de pré-tratamento chamadas clarificação, tais como etapas de centrifugação, filtração, carbonatação, floculação, decantação, sulfitação e/ou calagem.

[048] Por "atenuação", entende-se a diminuição da dureza do caldo açucarado devido à presença de íons bivalentes, notadamente Ca^{2+} e/ou Mg^{2+}. Assim, durante a atenuação do caldo açucarado, os íons Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} são eliminados e substituídos por cátions monovalentes tais como os íons de sódio (Na^{+}) ou de potássio (K^{+}).

[049] Os íons Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} podem estar presentes naturalmente no caldo açucarado e/ou provir de uma ou de várias etapas de pré-tratamento como as mencionadas acima.

[050] Vantajosamente, o caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado compreende os íons Ca^{2+} a uma concentração de 100 a 800

mg/L, e preferencialmente de 100 a 600 mg/L. Por exemplo, essa concentração em íons Ca^{2+} pode ser de 100 a 150 mg/L; ou de 150 a 200 mg/L; ou de 200 a 250 mg/L; ou 250 a 300 mg/L; ou de 300 a 350 mg/L; ou de 350 a 400 mg/L; ou de 400 a 450 mg/L; ou de 450 a 500 mg/L; ou de 500 a 550 mg/L; ou de 550 a 600 mg/L; ou de 600 a 650 mg/L; ou de 650 a 700 mg/L; ou de 700 a 750 mg/L; ou de 750 a 800 mg/L. A concentração de íons Ca^{2+} pode ser medida utilizando a norma ICUMSA GS7-19.

[051] Vantajosamente, o caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado compreende os íons Mg^{2+} a uma concentração de 100 a 800 mg/L, e preferencialmente de 100 a 500 mg/L. Por exemplo, essa concentração em íons Mg^{2+} pode ser de 100 a 150 mg/L; ou de 150 a 200 mg/L; ou de 200 a 250 mg/L; ou de 250 a 300 mg/L; ou de 300 a 350 mg/L; ou de 350 a 400 mg/L; ou de 400 a 450 mg/L; ou de 450 a 500 mg/L; ou de 500 a 550 mg/L; ou de 550 a 600 mg/L; ou de 600 a 650 mg/L; ou de 650 a 700 mg/L; ou de 700 a 750 mg/L; ou de 750 a 800 mg/L. A concentração de íons Mg^{2+} pode ser medida usando a norma ICUMSA GS7-19.

[052] De acordo com certas modalidades, o caldo açucarado compreende os cátions bivalentes Ca^{2+}.

[053] De acordo com outras modalidades, o caldo açucarado compreende os cátions bivalentes Mg^{2+}.

[054] Alternativamente e vantajosamente, o caldo açucarado compreende os cátions bivalentes Ca^{2+} e Mg^{2+}.

[055] Vantajosamente, o caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado compreende partículas sólidas a uma concentração de 10 a 800 mg/kg, e preferencialmente de 20 a 500 mg/kg. Por exemplo, essa concentração de partículas sólidas pode ser de 10 a 50 mg/kg; ou de 50 a 100 mg/kg; ou de 100 a 150 mg/kg; ou de 150 a 200 mg/kg; ou de 200 a 250 mg/kg;

ou de 250 a 300 mg/kg; ou de 300 a 350 mg/kg; ou de 350 a 400 mg/kg; ou de 400 a 450 mg/kg; ou de 450 a 500 mg/kg; ou de 500 a 550 mg/kg; ou de 550 a 600 mg/kg; ou de 600 a 650 mg/kg; ou de 650 a 700 mg/kg; ou de 700 a 750 mg/kg; ou de 750 a 800 mg/kg. A concentração de partículas sólidas pode ser medida usando a norma NF T90-105 e substituindo o filtro de 0,45 µm tal como recomendado na norma por um filtro de 8 µm.

[056] O caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado pode igualmente ter um teor em açúcares de 10 a 30 graus Brix, e preferencialmente de 10 a 20 graus Brix. Assim, o caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado pode ter um teor de açúcares de 10 a 12; ou de 12 a 14; ou de 14 a 16; ou de 16 a 18; ou de 18 a 20; ou de 20 a 22; ou de 22 a 24; ou de 24 a 26; ou de 26 a 28; ou de 28 a 30 graus Brix. Os graus Brix podem ser medidos usando a norma ICUMSA GS7-31.

[057] Além disso, o caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado pode ter uma turbidez de 100 a 800 NTU, e preferencialmente de 100 a 500 NTU (NTU = Unidade de Turbidez Nefelométrica). Por "turbidez" entende-se o teor de materiais leves suspensos em um líquido. É uma grandeza que mede a natureza mais ou menos turva do líquido. A turbidez do caldo açucarado pode ser medida utilizando a norma ICUMSA GS7-21. Assim, a turbidez do caldo açucarado ao qual o processo da invenção é aplicado pode ser de 100 a 150 NTU; ou de 150 a 200 NTU; ou de 200 a 250 NTU; ou de 250 a 300 NTU; ou de 300 a 350 NTU; ou de 350 a 400 NTU; ou de 400 a 450 NTU; ou de 450 a 500 NTU; ou de 500 a 550 NTU; ou de 550 a 600 NTU; ou de 600 a 650 NTU; ou de 650 a 700 NTU; ou de 700 a 750 NTU; ou de 750 a 800 NTU.

Dispositivo de tratamento de açúcar

[058] O dispositivo de acordo com a invenção compreende, em primeiro lugar, uma linha de alimentação de um caldo açucarado que está ligada por um

lado a uma primeira unidade de filtração frontal. Por outro lado, essa linha de alimentação pode estar ligada a (derivada de) uma unidade de clarificação, ou uma unidade de carbonatação, ou uma unidade de decantação, ou uma unidade de floculação, ou uma unidade de centrifugação, ou uma unidade de filtração, ou um reservatório compreendendo o caldo açucarado a ser purificado. Assim, a linha de alimentação permite transferir (e assim alimentar) o caldo açucarado a ser purificado na primeira unidade de filtração frontal.

[059] Por "filtração frontal", entende-se uma filtração que é realizada essencialmente perpendicularmente à superfície do filtro. Assim, todo material retido pelo filtro acumula-se em sua superfície. Ao contrário, a "filtração tangencial" consiste em fazer o fluido passar tangencialmente pela superfície do filtro.

[060] A primeira unidade de filtração frontal pode compreender um ou mais filtros de tela, ou seja, filtros compreendendo uma grade de malha para ordenar e reter as partículas sólidas. A grade de malha pode ser constituída de fios que são preferencialmente soldados entre si.

[061] De acordo com certas modalidades, a grade de malha pode compreender uma primeira série de fios que são paralelos uns aos outros.

[062] De acordo com outras modalidades, a grade de malha pode compreender a primeira série de fios e uma segunda série de fios que são paralelos entre si e perpendiculares aos fios da primeira série.

[063] De acordo com outras modalidades, e fazendo referência à figura 1, a grade de malha pode compreender a primeira série de fios (A), a segunda série de fios (B), e uma terceira série de fios (C) que são paralelos uns aos outros e apresentam um ângulo superior a 0° e inferior a 90° em relação aos fios da primeira série (A). Este ângulo pode, por exemplo, ser de 0 a 10°; ou de 10 a 20°; ou de 20 a 30°; ou de 30 a 40°; ou de 40 a 50°; ou de 50 a 60°; ou de

60 a 70°; ou de 70 a 80°; ou de 80 a 90°. Preferencialmente, esse ângulo é de 30 a 60°, e ainda preferencialmente esse ângulo é de cerca de 45°.

[064] Esta malha preferencial e particular permite impedir as partículas sólidas fibrosas (bagaço) de se enroscarem na grade da malha de uma maneira difícil de limpar.

[065] Preferencialmente, a primeira unidade de filtração frontal compreende pelo menos 5 filtros de tela, preferencialmente pelo menos 10 filtros de tela, preferencialmente pelo menos 15 filtros de tela, e ainda preferencialmente pelo menos 20 filtros de tela. Assim, a primeira unidade de filtração frontal pode, por exemplo, compreender de 1 a 5 filtros; ou de 5 a 10 filtros; ou de 10 a 15 filtros; ou de 15 a 20 filtros; ou de 20 a 25 filtros; ou de 25 a 30 filtros; ou mais de 30 filtros. Preferencialmente, estes filtros são dispostos em paralelo. Ainda preferencialmente, estes filtros são dispostos de acordo com uma superfície geral cilíndrica na primeira unidade de filtração.

[066] Cada filtro pode ter uma superfície de filtração de 1 a 5 m^2 e, preferencialmente, de 1,5 a 3 m^2. Assim, a superfície total de filtração da primeira unidade de filtração frontal pode ser de 1 a 150 m^2, e preferencialmente de 15 a 50 m^2.

[067] Ademais, cada filtro (ou mais particularmente a superfície de filtração de cada filtro) possui poros (aberturas da grade de malha) permitindo a retenção de partículas sólidas de um lado e a passagem do caldo açucarado do outro lado (primeiro filtrado). Quando os poros não têm uma abertura circular, entende-se por "diâmetro" dos poros a distância máxima entre dois pontos que se encontram em um plano paralelo à abertura. Por exemplo, para poros com uma abertura retangular ou quadrada, o diâmetro designa a diagonal de cada abertura. O mesmo vale para os poros de uma grade que compreende uma malha perpendicular combinada com uma malha diagonal,

tal como descrito acima.

[068] Os poros dos filtros da primeira unidade de filtração têm vantajosamente um diâmetro superior aos poros dos filtros da segunda unidade de filtração.

[069] Assim, os poros de cada filtro da primeira unidade de filtração podem ter um diâmetro de 50 a 80 µm; ou de 80 a 100 µm; ou de 100 a 120 µm; ou de 120 a 140 µm; ou de 140 a 160 µm; ou de 160 a 180 µm; ou de 180 a 200 µm. Um diâmetro de poro de cerca de 100 µm é particularmente adequado.

[070] De acordo com certas modalidades, os filtros incluídos na primeira unidade de filtração têm todos os poros do mesmo diâmetro.

[071] De acordo com outras modalidades, os filtros incluídos na primeira unidade de filtração têm poros com um diâmetro diferente, um do outro.

[072] Preferencialmente, a primeira unidade de filtração é desprovida de filtros de membrana (os filtros de membrana são geralmente usados para efetuar uma filtração tangencial).

[073] A primeira unidade de filtração pode compreender uma unidade de limpeza para pelo menos um dos filtros. Essa unidade de limpeza permite assim a limpeza de pelo menos um filtro quando os filtros restantes continuam em operação. Mais particularmente, a pressão é medida para cada um dos filtros ao longo da filtração. Quando a pressão de um filtro atinge um limite (filtro obstruído), uma válvula rotativa permite o direcionamento do fluxo do caldo açucarado do filtro obstruído para um filtro limpo. O filtro obstruído pode ser limpo enquanto a filtração continua. A limpeza do filtro pode, por exemplo, ser efetuada com uma solução de limpeza que tem uma direção inversa à direção do fluxo do caldo açucarado a ser purificado. Esta solução de limpeza pode ser água quente e/ou uma solução aquosa compreendendo

hidróxido de sódio (3-5% em massa).

[074] De acordo com certas modalidades, a primeira unidade de filtração permite a utilização simultânea de pelo menos dois filtros para a filtração do caldo açucarado.

[075] De acordo com certas modalidades, a primeira unidade de filtração permite a limpeza simultânea de pelo menos dois filtros.

[076] De acordo com certas modalidades, a primeira unidade de filtração do caldo açucarado permite o uso simultâneo de pelo menos dois filtros para a filtração e, ao mesmo tempo, a limpeza simultânea de pelo menos dois filtros e em seguida permite alternar de modo a utilizar os filtros previamente limpos para a filtração do caldo açucarado e, ao mesmo tempo, a limpeza dos filtros usados anteriormente para a filtração.

[077] De acordo com certas modalidades, o fluxo do caldo açucarado por filtro pode ser de 50 a 150 m^3/h, e preferencialmente de 70 a 110 m^3/h.

[078] O dispositivo da invenção compreende igualmente uma linha de coleta que permite a coleta do primeiro filtrado obtido na saída da primeira unidade de filtração. A linha de coleta de primeiro filtrado alimenta uma segunda unidade de filtração frontal com o primeiro filtrado.

[079] A segunda unidade de filtração frontal pode compreender pelo menos um filtro (compartimento) sendo composto por cestos filtrantes ou telas. De acordo com certas modalidades, a segunda unidade de filtração frontal pode compreender pelo menos dois filtros, e preferencialmente pelo menos quatro filtros.

[080] Cada cesto filtrante incluído no filtro (compartimento) pode ter poros (abertura da grade de malha) permitindo a retenção de partículas sólidas de um lado e a passagem do caldo açucarado do outro lado (segundo filtrado).

[081] Assim, os poros de cada cesto filtrante da segunda unidade de

filtração podem ter um diâmetro de 20 a 30 µm; ou de 30 a 40 µm; ou de 40 a 50 µm; ou de 50 a 60 µm; ou de 60 a 80 µm; ou de 80 a 100 µm. Um diâmetro de poros de cerca de 50 µm é particularmente adequado.

[082] De acordo com certas modalidades, os cestos filtrantes incluídos na segunda unidade de filtração têm todos os poros do mesmo diâmetro.

[083] De acordo com outras modalidades, os cestos filtrantes incluídos na segunda unidade de filtração têm poros com um diâmetro diferente, um do outro.

[084] Preferencialmente, a segunda unidade de filtração é desprovida de filtros de membrana (os filtros de membrana são habitualmente utilizados para efetuar uma filtração tangencial).

[085] O dispositivo da invenção compreende igualmente uma linha de coleta que permite a coleta do segundo filtrado obtido na saída da segunda unidade de filtração. A linha de coleta de segundo filtrado alimenta uma unidade de cromatografia de troca iônica com o segundo filtrado.

[086] A unidade de cromatografia de troca iônica compreende uma resina de cromatografia de troca de cátions. Preferencialmente, consiste em uma resina de troca catiônica forte, na forma de Na^+ e/ou K^+. A resina se encontra na forma de um leito compacto na unidade de cromatografia de troca iônica com uma altura de leito superior àquela definida pelo nome de "leito raso". Com efeito, as alturas do leito são da ordem de 0,5 m no "leito raso" e a distribuição do produto através da resina é realizada por meio de um distribuidor muito complexo chamado "fractal". As colunas da invenção preferencialmente não comportam um distribuidor de fluido no alto da coluna, na melhor das hipóteses o princípio de distribuição do caldo açucarado da invenção se encontra em um vertedouro simples posicionado no alto da coluna. Por "vertedouro" entende-se uma estrutura que compreende uma

única entrada e saída para o fluido (aqui o segundo filtrado) de modo a trazer o fluido para a coluna cromatográfica. Assim, as colunas da invenção preferencialmente não compreendem um distribuidor de fluido compreendendo uma pluralidade de orifícios (ou saídas) para a distribuição do fluido na coluna.

[087] O leito de resina tem uma altura de 0,75 a 3 m, preferencialmente 1 a 3 m e ainda preferencialmente de 1 a 2 m. Por exemplo, o leito de resina pode ter uma altura de 0,75 a 1 m; ou de 1 a 1,5 m; ou de 1,5 a 2 m; ou de 2 a 2,5 m; ou de 2,5 a 3 m.

[088] O leito de resina igualmente pode ter um diâmetro de 0,25 a 6 m, preferencialmente 0,25 a 5 m e ainda preferencialmente 0,25 a 4,5 m. Por exemplo, o leito de resina pode ter um diâmetro de 0,25 a 0,5 m; ou de 0,5 a 1 m; ou de 1 a 1,5 m; ou de 1,5 a 2 m; ou de 2 a 2,5 m; ou de 2,5 a 3 m; ou de 3 a 3,5 m; ou de 3,5 a 4 m; ou de 4 a 4,5 m; ou de 4,5 a 5 m; ou de 5 a 5,5 m; ou de 5,5 a 6 m. No caso em que o leito de resina não possua uma forma cilíndrica com seção circular, o diâmetro refere-se à dimensão máxima do leito de resina em uma seção perpendicular ao seu eixo principal (eixo de escoamento dos fluxos). Por exemplo, para uma seção retangular ou quadrada, o diâmetro designa a diagonal. Alternativamente, o leito de resina pode ter uma forma tronco-cônica. Por "tronco-cônica" entende-se um leito de resina na forma de um tronco de cone cuja parte superior foi truncada por um plano. Neste caso, o diâmetro entende-se pelo diâmetro da base maior do leito de resina.

[089] A unidade de cromatografia de troca iônica pode compreender pelo menos uma coluna, preferencialmente pelo menos 5 colunas, preferencialmente ainda pelo menos 10 colunas, e ainda preferencialmente pelo menos 15 colunas. Assim, no caso em que várias colunas sejam utilizadas, cada coluna compreende um leito de resina.

[090] O volume de leito de resina por coluna pode ser de 15 a 40 m^3, e preferencialmente de 20 a 35 m^3.

[091] O volume total de leito de resina (isto é, o volume de leito de resina incluído em todas as colunas da unidade de cromatografia de troca iônica) pode ser de 15 a 500 m^3, e preferencialmente de 15 a 450 m^3.

[092] Cada coluna pode ter uma altura de 2 a 10 m e preferencialmente de 3 a 4 m. Por "altura da coluna", entende-se aqui a altura da virola interna da coluna.

[093] Ademais, cada coluna pode ter um diâmetro de 0,25 a 6 m, preferencialmente de 0,25 a 5 m e ainda preferencialmente 0,25 a 4,5 m.

[094] Por "diâmetro da coluna", entende-se aqui o diâmetro externo da coluna. No caso de uma coluna que não é cilíndrica em seção circular, o diâmetro refere-se à dimensão máxima da coluna em uma seção perpendicular ao seu eixo principal. Por exemplo, para uma seção retangular ou quadrada, o diâmetro designa a diagonal. No caso de uma coluna tronco-cônica, o diâmetro é entendido como o diâmetro da base grande da coluna.

[095] De acordo com certas modalidades, a altura da coluna (altura da virola) pode ser superior à altura do leito de resina em pelo menos 2 m, e preferencialmente pelo menos 1,5 m. Esta característica é importante para a implementação de uma etapa de retrolavagem da resina que permitirá a expansão da resina na(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica, conforme descrito abaixo.

[096] Assim, como mencionado acima, a unidade de cromatografia de troca iônica pode compreender um sistema cromatográfico de troca iônica de coluna única, ou um sistema cromatográfico de troca iônica de múltiplas colunas.

[097] Quando a unidade de cromatografia de troca iônica compreende

várias colunas, essas colunas podem ser dispostas em série entre si.

[098] Alternativamente e vantajosamente, quando a unidade de cromatografia de troca iônica compreende várias colunas, elas podem ser dispostas em paralelo uma com a outra. Nesse caso, pelo menos duas colunas podem ser usadas simultaneamente para a produção de caldo açucarado atenuado. De acordo com certas modalidades, uma parte dessas colunas pode ser usada para a produção de caldo açucarado atenuado, enquanto outra parte dessas colunas pode sofrer simultaneamente etapas de lavagem e/ou etapas de regeneração.

[099] O dispositivo da invenção compreende, em seguida, uma linha de coleta de caldo açucarado atenuado na saída da unidade de cromatografia de troca iônica. A linha de coleta de caldo açucarado atenuado pode, por exemplo, transferir o caldo açucarado atenuado para uma unidade de evaporação ou um reservatório que permite armazenar ou recuperar o caldo açucarado atenuado.

Processo de tratamento de açúcar

[0100] Como mencionado acima, a invenção também se refere a um processo de tratamento de açúcar. Preferencialmente, este processo é implementado no dispositivo descrito acima. Este processo é descrito com referência à figura 2.

[0101] O processo da invenção compreende sucessivamente:

- uma primeira etapa da filtração frontal 1a (ou primeira filtração frontal 1a) do caldo açucarado para obter um primeiro filtrado;

- uma segunda etapa de filtração frontal 1b (ou segunda filtração frontal 1b) do primeiro filtrado para obter um segundo filtrado; e

- uma etapa de colocação em contato do segundo filtrado com uma resina de cromatografia de troca de cátions 2 de modo a carregar a resina de cátions bivalentes e a coletar um caldo açucarado atenuado.

[0102] Como descrito acima, o caldo açucarado pode ser derivado da moagem (ou de difusão) 3 da cana-de-açúcar.

[0103] A montante das etapas mencionadas acima, o processo pode igualmente compreender uma ou mais etapas, tais como a sulfitação 4, a carbonatação 5, a clarificação 6, a floculação 7 e/ou a decantação 8.

[0104] A jusante das etapas mencionadas acima, o processo pode compreender uma ou mais etapas tais como a evaporação 9 e/ou a cristalização 10.

[0105] Assim, o caldo açucarado é submetido a uma primeira filtração frontal 1a, de modo a obter um primeiro filtrado. As partículas sólidas, notadamente as partículas sólidas fibrosas, são retidas no filtro. Assim, essas partículas são separadas do caldo açucarado e são retidas no filtro ou filtros usado(s) para a primeira filtração 1a.

[0106] A primeira filtração frontal 1a pode ser realizada a uma temperatura de 75 a 98°C.

[0107] De acordo com certas modalidades, essa primeira filtração frontal 1a permite a retenção de 10 a 60% em massa das partículas sólidas inicialmente encontradas no caldo açucarado.

[0108] O primeiro filtrado compreende, por sua vez, o caldo açucarado compreendendo partículas sólidas que passaram pelo(s) filtro(s) utilizado(s) para a primeira filtração 1a, assim como os íons Ca^{2+} e/ou Mg^{2+}.

[0109] O primeiro filtrado é submetido então a uma segunda filtração 1b, de modo a fornecer um segundo filtrado. As partículas sólidas, notadamente as partículas sólidas fibrosas, são retidas no filtro. Assim, essas partículas são separadas do caldo açucarado e são retidas no filtro ou filtros utilizado(s) para a segunda filtração 1b.

[0110] A segunda filtração frontal 1b pode ser efetuada a uma

temperatura de 75 a 98°C.

[0111] De acordo com certas modalidades, o conjunto da primeira e segunda filtrações frontais 1a, 1b permitem a retenção de 30 a 70% em massa das partículas inicialmente encontradas no caldo açucarado.

[0112] O segundo filtrado compreende o caldo açucarado compreendendo partículas sólidas que passaram pelo filtro utilizado para a segunda filtração 1b, assim como os íons Ca^{2+} e/ou Mg^{2+}.

[0113] De acordo com certas modalidades, as partículas sólidas incluídas no segundo filtrado incluem partículas finas de bagaço.

[0114] Posteriormente, o segundo filtrado é colocado em contato com a resina de troca de cátions 2 tal como descrito acima. A colocação em contato do segundo filtrado com a resina 2 permite a adsorção dos cátions bivalentes Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} na referida resina. Assim, os cátions bivalentes Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} presentes no segundo filtrado são trocados e substituídos pelos íons monovalentes Na^{+} e/ou K^{+} inicialmente presentes na resina. Preferencialmente, a vazão do caldo açucarado na unidade de cromatografia de troca iônica é de 5 a 20 BV/h, e preferencialmente de 5 a 15 BV/h ("BV" corresponde aos equivalentes de volume do leito de resina de uma coluna).

[0115] De acordo com certas modalidades, esta etapa pode ser efetuada pela circulação do segundo filtrado na unidade de cromatografia de troca iônica em uma direção de baixo para cima na(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica.

[0116] De acordo com modalidades preferenciais, esta etapa pode ser realizada circulando o segundo filtrado na unidade de cromatografia de troca iônica em uma direção de cima para baixo na(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica.

[0117] Esta etapa pode ser efetuada a uma temperatura de 75 a 98°C.

[0118] No final da etapa de colocar a resina em contato com o segundo filtrado 2, é obtido um caldo açucarado atenuado enquanto a resina é doravante carregada com cátions bivalentes.

[0119] O caldo açucarado atenuado obtido no final da etapa de colocação em contato da resina com o segundo filtrado 2 pode ter um volume de 15 a 80 BV, e preferencialmente de 20 a 50 BV.

[0120] De acordo com certas modalidades, o conjunto da primeira filtração frontal 1a, da segunda filtração frontal 1b e da colocação em contato do segundo filtrado com a resina 2 permitem a retenção de 50 a 90% em massa das partículas inicialmente encontradas no caldo açucarado.

[0121] Vantajosamente, o caldo açucarado atenuado pode ter uma concentração de íons Ca^{2+} de 5 a 150 mg/L, e preferencialmente 20 a 120 mg/L. Assim, essa concentração pode ser de 5 a 10 mg/L; ou de 10 a 15 mg/L; ou 15 a 20 mg/L; ou de 20 a 25 mg/L; ou de 25 a 30 mg/L; ou de 30 a 35 mg/L; ou de 35 a 40 mg/L; ou de 40 a 45 mg/L; ou de 45 a 50 mg/L; ou de 50 a 55 mg/L; ou de 55 a 60 mg/L; ou de 60 a 65 mg/L; ou de 65 a 70 mg/L; ou de 70 a 75 mg/L; ou de 75 a 80 mg/L; ou de 80 a 85 mg/L; ou de 85 a 90 mg/L; ou de 90 a 95 mg/L; ou de 95 a 100 mg/L; ou de 100 a 105 mg/L; ou de 105 a 110 mg/L; ou de 110 a 115 mg/L; ou de 115 a 120 mg/L; ou de 120 a 125 mg/L; ou de 125 a 130 mg/L; ou de 130 a 135 mg/L; ou de 135 a 140 mg/L; ou de 140 a 145 mg/L; ou de 145 a 150 mg/L.

[0122] Vantajosamente, o caldo açucarado atenuado pode ter uma concentração de íons Mg^{2+} de 5 a 150 mg/L, e preferencialmente de 20 a 120 mg/L. Assim, essa concentração pode ser de 5 a 10 mg/L; ou de 10 a 15 mg/L; ou de 15 a 20 mg/L; ou de 20 a 25 mg/L; ou de 25 a 30 mg/L; ou de 30 a 35 mg/L; ou de 35 a 40 mg/L; ou de 40 a 45 mg/L; ou de 45 a 50 mg/L; ou de 50 a 55 mg/L; ou de 55 a 60 mg/L; ou de 60 a 65 mg/L; ou de 65 a 70 mg/L; ou de 70

a 75 mg/L; ou de 75 a 80 mg/L; ou de 80 a 85 mg/L; ou de 85 a 90 mg/L; ou de 90 a 95 mg/L; ou de 95 a 100 mg/L; ou de 100 a 105 mg/L; ou de 105 a 110 mg/L; ou de 110 a 115 mg/L; ou de 115 a 120 mg/L; ou de 120 a 125 mg/L; ou de 125 a 130 mg/L; ou de 130 a 135 mg/L; ou de 135 a 140 mg/L; ou de 140 a 145 mg/L; ou de 145 a 150 mg/L.

[0123] Vantajosamente, o caldo açucarado atenuado pode ter uma concentração de partículas sólidas de 1 a 100 mg/kg, e preferencialmente de 1 a 50 mg/kg. Assim, esta concentração pode ser de 1 a 5 mg/kg; ou de 5 a 10 mg/kg; ou de 10 a 15 mg/kg; ou de 15 a 20 mg/kg; ou de 20 a 25 mg/kg; ou de 25 a 30 mg/kg; ou de 30 a 35 mg/kg; ou de 35 a 40 mg/kg; ou de 40 a 45 mg/kg; ou de 45 a 50 mg/kg; ou de 50 a 55 mg/kg; ou de 55 a 60 mg/kg; ou de 60 a 65 mg/kg; ou de 65 a 70 mg/kg; ou de 70 a 75 mg/kg; ou de 75 a 80 mg/kg; ou de 80 a 85 mg/kg; ou de 85 a 90 mg/kg; ou de 90 a 95 mg/kg; ou de 95 a 100 mg/kg.

[0124] O caldo açucarado pode, em seguida, ser evaporado 9 para reduzir a quantidade de água contida no caldo açucarado atenuado. Assim, a etapa de evaporação 9 permite obter um caldo açucarado atenuado chamado "xarope".

[0125] Em seguida, o xarope pode sofrer uma ou mais cristalizações 10 para fornecer açúcar cristalizado. Assim, pelo menos uma cristalização 10 pode ser realizada durante a qual o xarope é evaporado de modo a ser saturado com açúcares e de modo que os cristais comecem a se formar. No final da primeira cristalização 10, os cristais podem ser recuperados e o que resta do xarope pode sofrer outras cristalizações 10 sequenciais, de modo a fornecer diferentes graus de cristais de açúcar. No final das cristalizações 10 sequenciais, o que resta do xarope é chamado de "melaço" e pode ser usado pela indústria agroalimentar, pela perfumaria e pela farmácia galênica, na produção de biocombustíveis ou mesmo para a regeneração da resina, conforme descrito

abaixo (seta 12).

[0126] A resina carregada compreende, neste estado, uma quantidade de caldo açucarado restante na unidade de cromatografia de troca iônica (por exemplo, na(s) coluna(s) cromatográfica(s) de troca iônica). Ademais, a unidade de cromatografia de troca iônica pode compreender partículas sólidas (por exemplo, partículas com diâmetro inferior a 50 µm), notadamente partículas finas de bagaço, acumuladas na parte superior do leito de resina.

[0127] O processo de acordo com a invenção pode igualmente prover etapas de regeneração da resina carregada.

[0128] No entanto, antes de continuar com a regeneração da resina, pelo menos uma etapa de lavagem pode ser efetuada de modo a eliminar as partículas sólidas restantes na unidade de cromatografia de troca iônica.

[0129] Vantajosamente, essa lavagem pode ser realizada injetando a solução de lavagem de baixo para cima na(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica (assim durante a etapa de lavagem, a solução de lavagem na unidade de cromatografia de troca iônica tem uma direção inversa à do segundo filtrado durante a produção do caldo açucarado). A solução de lavagem pode ter uma vazão de 10 a 20 BV/h.

[0130] Assim, durante esta etapa, devido à direção da solução de lavagem (preferencialmente de baixo para cima) e à vazão da solução de lavagem, o leito de resina pode sofrer uma expansão na unidade de cromatografia de troca iônica. Por exemplo, durante esta etapa, a expansão do leito de resina pode ser de pelo menos 50% em relação à altura inicial do leito. A resina pode, por exemplo, assumir a forma de um leito fluidizado. Como explicado acima, visto que as partículas sólidas restantes na unidade têm uma densidade menor que a densidade da resina, elas podem ser expulsas sem provocar a saída das partículas de resina.

[0131] A solução de lavagem pode ser uma solução aquosa.

[0132] De acordo com certas modalidades, a solução de lavagem é água.

[0133] De acordo com outras modalidades preferenciais, a solução de lavagem é derivada do caldo açucarado atenuado tal como descrito acima.

[0134] De acordo com outras modalidades preferenciais, a solução de lavagem é derivada do caldo açucarado tal como descrito acima.

[0135] Diferentes soluções de lavagem podem ser usadas sequencialmente.

[0136] A etapa de lavagem pode ser realizada notadamente a uma temperatura de 75 a 98°C.

[0137] Alternativamente, esta etapa de lavagem pode ser realizada após a etapa de regeneração descrita abaixo ou após uma etapa final de enxágue.

[0138] No final da etapa de lavagem, um efluente de lavagem pode ser recuperado. Este efluente é uma solução aquosa açucarada e pode, por exemplo, ser devolvido à etapa 6 de clarificação (seta 11).

[0139] Como mencionado acima, o processo de tratamento de açúcar de acordo com a invenção prevê igualmente etapas de regeneração da resina carregada de cátions bivalentes. A regeneração compreende, em primeiro lugar, colocar a resina carregada em contato com uma solução de regeneração. No final da regeneração, a resina de troca iônica é regenerada e se obtém um fluxo de solução aquosa coletado no final da regeneração, chamado "efluente de regeneração".

[0140] De acordo com certas modalidades, a solução de regeneração pode ser derivada, no todo ou em parte, dos melaços formados após uma etapa de cristalização 10 ou após várias etapas de cristalização 10 sequenciais tal como descrito acima (seta 12). Mais particularmente, os melaços formados durante a cristalização 10 do açúcar (uma vez que provêm do caldo açucarado

atenuado) compreendem íons monovalentes de Na^+ e/ou K^+, em concentrações mais altas que no suco açucarado atenuado. Assim, durante sua passagem pela unidade de cromatografia de troca iônica e seu contato com a resina carregada, os íons monovalentes Na^+ e/ou K^+ são trocados com os íons bivalentes Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} da resina carregada. A resina é assim regenerada, enquanto o efluente de regeneração compreende os melaços carregados com íons bivalentes Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} que podem ser usados e integrados às etapas de cristalização 10 de um processo de produção de açúcar (seta 13). Alternativamente, estes melaços carregados com Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} podem ser utilizados para a produção de etanol. Essas modalidades permitem a regeneração da resina sem o uso de produtos químicos, tais como o cloreto de sódio.

[0141] De acordo com outras modalidades, a solução de regeneração pode ser derivada, no todo ou em parte, do caldo açucarado atenuado produzido (seta 14). Assim, o hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH) pode ser adicionado em pelo menos uma parte do caldo açucarado atenuado para formar a solução de regeneração. Esta solução pode então passar através da unidade de cromatografia de troca iônica e, então, da resina carregada de modo a trocar os íons monovalentes Na^+ e/ou K^+ da solução de regeneração com os íons bivalentes Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} da resina carregada. Nesse caso, o efluente de regeneração pode compreender um composto solúvel em água chamado "sacarato de cálcio" formado devido à complexação dos íons Ca^{2+} com sacarose. Este efluente de regeneração pode ser utilizado posteriormente na etapa de clarificação 6 (seta 15), em particular na etapa de calagem, o que permite utilizar menos produtos químicos tais como a cal para a clarificação do caldo açucarado. Assim, em vez de usar apenas uma solução de leite de cal, a mistura de leite de cal e sacarato de

cálcio pode ser misturada com o caldo açucarado para precipitar as impurezas e depois separá-las em um decantador. A razão de cálcio apresentada respectivamente pelo leite de cal e pelo sacarato de cálcio assim formado na mistura é de 100:0 a 50:50. Preferencialmente, essa razão é de 100:0 a 80:20.

[0142] De acordo com outras modalidades, a solução de regeneração pode ser uma solução aquosa de cloreto de sódio aqui referida como "salmoura de regeneração".

[0143] De acordo com outras modalidades, a solução de regeneração pode ser uma solução aquosa compreendendo hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio.

[0144] De acordo com outras modalidades, a solução de regeneração pode ser derivada de uma vinhaça de destilação resultante do melaço mencionado acima. De fato, os íons monovalentes Na^+ e/ou K^+ presentes no melaço estão igualmente presentes na vinhaça de destilação e em quantidades próximas. Esta vinhaça deve primeiro ser clarificada, por exemplo, com o uso de uma centrífuga de separação rápida.

[0145] De acordo com outras modalidades, a solução de regeneração pode ser derivada de um refinado resultante de um tratamento por cromatografia dos melaços, e mais particularmente de um refinado obtido após uma etapa de retirada do açúcar do melaço mencionado acima por cromatografia. De fato, os íons monovalentes Na^+ e/ou K^+ presentes no melaço estão igualmente presentes no refinado e em quantidades próximas.

[0146] De acordo com certas modalidades, a regeneração da resina é efetuada usando a mesma solução de regeneração durante todo o período de regeneração.

[0147] De acordo com outras modalidades, a regeneração da resina é efetuada utilizando mais de uma solução de regeneração durante a

regeneração, isto é, a solução de regeneração é modificada durante o processo de regeneração. Por exemplo, no mesmo processo de regeneração, uma solução de regeneração compreendendo melaços pode alternar com uma solução de regeneração compreendendo caldo açucarado atenuado e NaOH ou com uma solução de regeneração compreendendo salmoura de regeneração.

[0148] Vantajosamente, a regeneração da resina pode ser realizada injetando a solução de regeneração de baixo para cima na(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica (assim, durante a etapa de regeneração, a solução de regeneração na unidade de troca iônica tem uma direção inversa à do segundo filtrado durante a produção do caldo açucarado atenuado). A solução de regeneração pode ter uma vazão de 1 a 10 BV/h, e preferencialmente de 2 a 5 BV/h.

[0149] Alternativamente, a regeneração da resina pode ser efetuada injetando a solução de regeneração de cima para baixo na(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica (assim, durante a etapa de regeneração, a solução de regeneração na unidade de cromatografia de troca iônica tem uma direção idêntica à do segundo filtrado durante a produção do caldo açucarado atenuado). A solução de regeneração pode ter uma vazão de 1 a 10 BV/h, e preferencialmente de 2 a 5 BV/h.

[0150] De acordo com certas modalidades, quando o processo da invenção é implementado no dispositivo descrito acima, e mais particularmente quando a etapa de colocar o segundo filtrado em contato com a resina 2 é implementada em várias colunas de cromatografia de troca iônica, uma parte dessas colunas pode ser utilizada para a produção de caldo açucarado atenuado enquanto outra parte dessas colunas pode ser usada para a regeneração da resina carregada. Em outros termos, uma primeira parte das colunas é utilizada inicialmente para a produção de caldo açucarado atenuado.

Depois de um certo tempo, uma segunda parte das colunas retoma a produção de caldo açucarado atenuado enquanto a primeira parte das colunas é doravante usada para a regeneração da resina carregada.

[0151] Por exemplo, se a unidade de cromatografia de troca iônica compreende de 15 a 20 colunas de cromatografia de troca iônica, de 5 a 10 colunas podem ser utilizadas para a produção de caldo açucarado atenuado, enquanto de 10 a 15 colunas podem ser usadas para a regeneração da resina.

[0152] O processo de acordo com a invenção pode igualmente compreender uma etapa final de enxágue após a regeneração da resina carregada, usando uma solução de enxágue. Preferencialmente, a solução de enxágue é caldo açucarado atenuado. De acordo com outras modalidades, a solução de enxágue é água. Assim, o enxágue pode ser realizado injetando a solução de enxágue de cima para baixo da(s) coluna(s) de cromatografia de troca iônica (assim, durante a etapa de enxágue, a solução de enxágue injetada na unidade de cromatografia de troca iônica tem a mesma direção que a do segundo filtrado durante a produção de caldo açucarado atenuado).

[0153] O processo de acordo com a invenção pode ser um processo contínuo.

[0154] Alternativamente, o processo de acordo com a invenção pode ser um processo descontínuo (em lote).

[0155] Pode ser igualmente mencionado um sistema de múltiplas colunas, tal como descrito no documento WO 2007/144522.

[0156] O processo de acordo com a invenção permite obter caldo açucarado atenuado com um grau de atenuação superior a 80%. Por "grau de atenuação" entende-se a razão entre a dureza do caldo açucarado atenuado (na saída da unidade de troca iônica) e a dureza do caldo açucarado na entrada da unidade de cromatografia de troca iônica, a dureza correspondente à

concentração total de cátions Ca^{2+} e Mg^{2+}.

[0157] Os valores de concentração e de razões de concentração descritos no presente pedido correspondem a valores médios ao longo de um tempo de produção.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de tratamento de açúcar, **caracterizado** pelo fato de que compreende sucessivamente:

- uma primeira filtração frontal (1a) de um caldo açucarado para obter um primeiro filtrado;

- uma segunda filtração frontal (1b) do primeiro filtrado para obter um segundo filtrado; e

- colocar em contato o segundo filtrado com uma resina de cromatografia de troca catiônica (2) de modo a carregar a resina com cátions bivalentes e a coletar um caldo açucarado atenuado, a resina sendo disposta na forma de um leito de altura h de 0,75 a 3 metros.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os cátions bivalentes compreendem, e preferencialmente consistem essencialmente em cátions Ca^{2+} e/ou cátions Mg^{2+}.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que o caldo açucarado tem uma concentração de partículas sólidas de 20 a 500 mg/kg, e/ou uma concentração de íons de magnésio de 100 a 500 mg/L, e/ou uma concentração de íons de cálcio de 100 a 600 mg/L.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de que o caldo açucarado tem um teor de açúcar de 10 a 20 graus Brix, e/ou uma turbidez de 100 a 500 NTU.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de que o caldo açucarado atenuado coletado após a etapa de colocar em contato o segundo filtrado com a resina (2) tem um volume de 15 a 80 BV.

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de que a primeira filtração (1a) permite uma retenção

de 10 a 60% em massa de partículas sólidas em relação à quantidade de partículas sólidas presentes no caldo açucarado; e/ou a primeira filtração (1a) e a segunda filtração (1b) permitem uma retenção de 30 a 70% em massa de partículas sólidas em relação à quantidade de partículas sólidas presentes no caldo açucarado; e/ou a primeira filtração (1a), a segunda filtração (1b) e a colocação em contato do segundo filtrado com a resina (2) permitem uma retenção de 50 a 90% em massa de partículas sólidas em relação à quantidade de partículas sólidas presentes no caldo açucarado.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de ser um processo descontínuo ou um processo contínuo.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado** pelo fato de que compreende as etapas de regeneração da resina carregada de cátions bivalentes, estas etapas compreendendo:

colocar em contato a resina carregada com uma solução de regeneração;

coletar um efluente de regeneração.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que a solução de regeneração é derivada dos melaços formados durante uma etapa de cristalização (10) do açúcar, ou a solução de regeneração é derivada totalmente ou em parte do caldo açucarado atenuado, com ou sem adição de hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, ou a solução de regeneração é uma solução de salmoura de regeneração que compreende um sal de cloreto, ou potássio ou sódio, ou a solução de regeneração é derivada de uma vinhaça de destilação dos melaços; ou a solução de regeneração é derivada de um refinado resultante de um tratamento dos melaços por cromatografia.

10. Processo de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizado** pelo fato de que a colocação em contato da resina carregada com uma solução de

regeneração compreende o uso de diferentes soluções de regeneração alternadas entre dois ciclos de produção.

11. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, **caracterizado** pelo fato de que o efluente de regeneração é utilizado para realizar uma etapa de clarificação (6) do caldo açucarado, em particular uma etapa de calagem, a etapa de clarificação (6) sendo realizada antes da primeira filtração (1a); ou na qual o efluente de regeneração é usado para realizar uma ou mais etapas de cristalização (10), sendo a(s) etapa(s) de cristalização (10) realizada(s) após a colocação em contato do segundo filtrado com a resina (2).

12. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado** pelo fato de que compreende igualmente uma etapa de lavagem da resina carregada com cátions bivalentes, ou da resina regenerada, com uma solução de lavagem, tendo a solução de lavagem uma direção no leito de resina inversa a uma direção do segundo filtrado no leito de resina durante a etapa de colocação em contato do segundo filtrado com a resina (2).

13. Processo de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que a solução de lavagem é derivada do caldo açucarado atenuado ou do caldo açucarado, ou a solução de lavagem é água.

14. Processo de acordo a reivindicação 12 ou 13, **caracterizado** pelo fato de que no final da etapa de lavagem um efluente de lavagem é coletado, sendo o efluente de lavagem devolvido a uma etapa de clarificação (6) do caldo açucarado, a etapa de clarificação (6) sendo realizada antes da primeira filtração (1a).

15. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de colocar em contato o segundo filtrado com a resina (2) é realizada a uma temperatura igual ou superior a 75°C.

16. Dispositivo de tratamento de açúcar, **caracterizado** pelo fato de que

compreende:

- uma linha de alimentação de caldo açucarado;

- uma primeira unidade de filtração frontal alimentada pela linha de alimentação de caldo açucarado;

- uma linha de coleta de primeiro filtrado na saída da primeira unidade de filtração frontal;

- uma segunda unidade de filtração frontal alimentada pela linha de coleta de primeiro filtrado;

- uma linha de coleta de segundo filtrado na saída da segunda unidade de filtração frontal;

- uma unidade de cromatografia de troca iônica compreendendo uma resina catiônica alimentada pela linha de coleta de segundo filtrado, a resina tendo a forma de um leito com altura h de 0,75 a 3 metros; e

- uma linha de coleta de caldo açucarado atenuado na saída da unidade de cromatografia de troca iônica.

17. Dispositivo de acordo com a reivindicação 16, **caracterizado** pelo fato de que a primeira unidade de filtração compreende um ou mais filtros de tela, cada filtro com poros com diâmetro de 50 a 200 µm, e preferencialmente de 80 a 120 µm.

18. Dispositivo de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que a primeira unidade de filtração compreende uma unidade de limpeza para pelo menos um dos filtros de tela.

19. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 a 18, **caracterizado** pelo fato de que a segunda unidade de filtração compreende pelo menos um cesto filtrante com poros com um diâmetro de 20 a 100 µm, e preferencialmente de 40 a 60 µm.

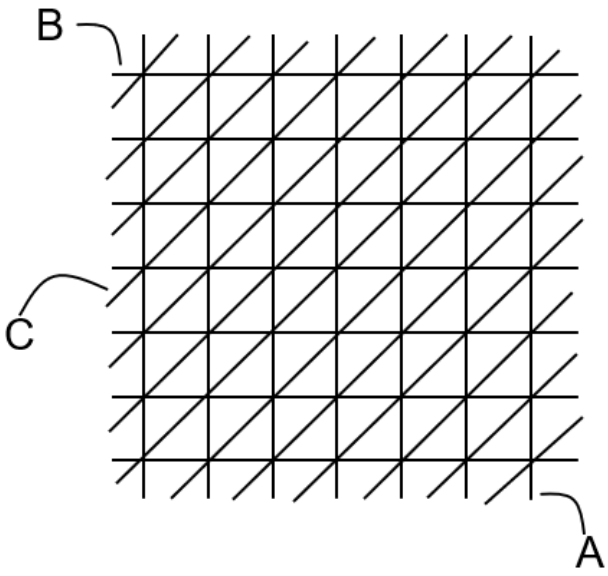
20. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 a 19,

caracterizado pelo fato de que a unidade de cromatografia de troca iônica compreende pelo menos uma coluna, preferencialmente pelo menos 5 colunas, preferencialmente ainda pelo menos 10 colunas, e ainda preferencialmente pelo menos 15 colunas.

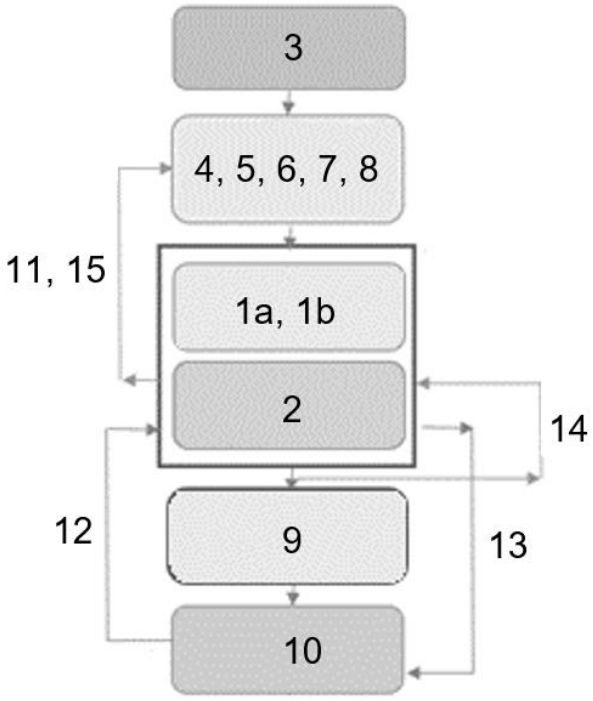
21. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 a 20, **caracterizado** pelo fato de que o leito de resina tem um diâmetro de 0,25 a 6 m, e preferencialmente de 0,25 a 5 m.

22. Invenção de produto, processo, sistema, kit ou uso, **caracterizada** pelo fato de que compreende um ou mais elementos descritos no presente pedido de patente.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



RESUMO

PROCESSO DE TRATAMENTO DE AÇÚCAR

A invenção refere-se a um processo de tratamento de açúcar, compreendendo sucessivamente: uma primeira filtração frontal de um caldo açucarado para obter um primeiro filtrado; uma segunda filtração frontal do primeiro filtrado para obter um segundo filtrado; e colocar em contato o segundo filtrado com uma resina de cromatografia de troca catiônica de modo a carregar a resina catiônica bivalente e coletar um caldo açucarado atenuado, a resina sendo disposta na forma de um leito com uma altura h de 0,75 a 3 metros.

A invenção também se refere a um dispositivo de tratamento de açúcar.