

(12) PEDIDO INTERNACIONAL PUBLICADO SOB O TRATADO DE COOPERAÇÃO EM MATÉRIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organização Mundial da  
Propriedade Intelectual  
Secretaria Internacional



(10) Número de Publicação Internacional  
**WO 2014/019043 A2**

(43) Data de Publicação Internacional  
6 de Fevereiro de 2014 (06.02.2014) **WIPO | PCT**

(51) Classificação Internacional de Patentes :  
C12P 7/10 (2006.01)

(21) Número do Pedido Internacional :  
PCT/BR2013/000275

(22) Data do Depósito Internacional :  
31 de Julho de 2013 (31.07.2013)

(25) Língua de Depósito Internacional : Português

(26) Língua de Publicação : Português

(30) Dados Relativos à Prioridade :  
102012019280-2  
1 de Agosto de 2012 (01.08.2012) BR  
102013006389-4  
18 de Março de 2013 (18.03.2013) BR

(71) Requerente : CENTRO NACIONAL DE PESQUISA  
EM ENERGIA EM MATERIAS - CNPEM [BR/BR].

(72) Inventores : NOLASCO JUNIOR, Jonas; Rua João  
Sampaio, 1620 - São Judas, Piracicaba - SP (BR).

FREITAS AZZONI, Sindelia; Av. Washington Luis,  
2700 - Ap. 82 Bloco B, Vila Marieta - SP (BR). VAZ  
ROSSEL, Carlos Eduardo; Rua Mwenotti Arthur Grigol,  
635, Chácara Santa Margarida, Campinas - SP (BR).

(74) Mandatário : TAVARES PROPRIEDADE  
INTELECTUAL LTDA -; Av. Marechal Floriano, 45 - 6º  
- Andar, Centro - RJ (BR).

(81) Estados Designados (sem indicação contrária, para todos  
os tipos de proteção nacional existentes) : AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.

(Continua na página seguinte)

(54) Title : SIMULTANEOUS CONVERSION METHOD FOR SUGAR CANE BAGASSE USING UHTST REACTORS

(54) Título : PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTÂNEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST

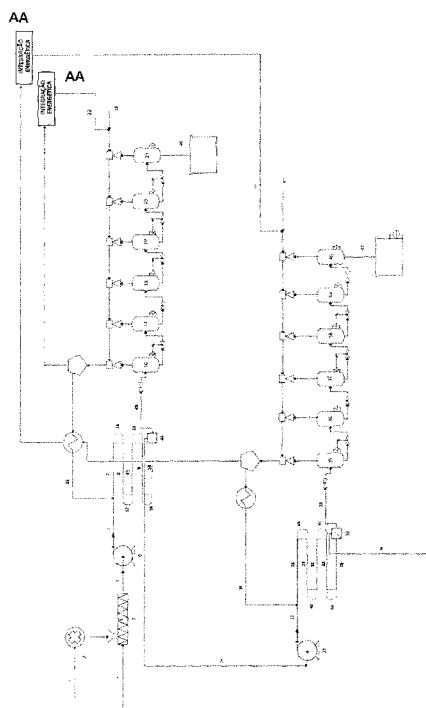


Figura 1

AA Energy integration

(57) Abstract : A method and equipment are disclosed for simultaneously converting sugar cane bagasse using continuous UHTST reactors, with superheated liquid water for the bagasse pre-treatment and hydrolysis process. The pre-treatment process disclosed comprises 2 phases that are sequentially operated in different conditions of dwelling time, temperature and pressure, optimised to maximise the preservation of the monomeric or oligomeric sugars of each of the bagasse fractions, hemicellulose and cellulose, and consequently to minimise the formation of inhibiting products. The heating and cooling systems, both before and after pre-treatment, were also designed for rapid operation, for a duration of less than a minute and a half or even of fractions of seconds.

(57) Resumo : Processo e equipamento para conversão simultânea de bagaço de cana utilizando reatores contínuos UHTST usando água líquida superaquecida para o processo de pré-tratamento e hidrólise do bagaço. O processo de pré-tratamento proposto é conduzido em 2 fases que operam sequencialmente em condições diferenciadas de tempo de residência, temperatura e pressão otimizados para máxima preservação dos açúcares monômeros ou oligômeros de cada uma das frações hemicelulose e celulose do bagaço e consequentemente, mínima formação de produtos inibidores. Os sistemas de aquecimento e resfriamento, antes e após o pré-tratamento, foram projetados para serem conduzidos também de forma rápida, com duração de menos de um minuto e meio ou ainda, frações de segundos.

WO 2014/019043 A2



(84) **Estados Designados** (*sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção regional existentes*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasiático (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), Europeu (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicado:**

— *sem relatório de pesquisa internacional; será republicado após receção do mesmo (Regra 48.2(g))*

“PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTÂNEA DO  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST”

CAMPO DE APLICAÇÃO

Conversão da biomassa, preferencialmente, bagaço de cana,  
5 para liberação de monômeros e oligômeros de glicose para produção de  
biocombustíveis e biossíntese em geral. A presente invenção está relacionada ao  
processo completo utilizando reatores contínuos UHTST e sistemas de aquecimento e  
resfriamento para a conversão de bagaço de cana em suas unidades estruturais de  
açúcares, sejam elas monoméricas ou oligoméricas.

10 ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A desconstrução do bagaço de cana-de-açúcar, por exemplo,  
por processos de hidrólise, é de difícil execução devido à íntima associação que existe  
entre os três componentes poliméricos majoritários da biomassa, ou seja, devido ao  
seu alto grau de associação. Por esse motivo, vários processos de pré-tratamento  
15 estão sendo estudados e, dentre os mais promissores, se encontram o de explosão a  
vapor ou aqueles que utilizam água como reagente (RAMOS, 2003; GÁMES et al.,  
2006; CUNHA 2001; PITARELO, 2007).

Para se conhecer o estado da técnica da tecnologia de  
explosão a vapor e outros processos utilizando água como reagente do pré-  
20 tratamento, levantamentos foram realizados:

Na patente ES8706829 a biomassa é tratada com vapor de  
água à 200-250°C em um reator hermeticamente fechado durante 2-20 minutos, que  
após o tratamento, a temperatura do sistema é diminuída gradativamente, até atingir a  
ambiente. No entanto notou-se que o rompimento abrupto das fibras, o que não  
25 ocorria nesse processo, gerava melhores resultados para tratamentos posteriores.

Já em 1928 foi patenteado um aparato de explosão a vapor da  
madeira, US1,655,618. O relatório descreve condições de alta pressão e temperatura  
com uma conseguinte rápida despressurização. A partir daí, vários outros estudos  
foram realizados para melhorar esse tipo de processo.

30 As patentes CA1096374 e CA141376 descrevem o reator de  
pré-tratamento e o processo de explosão a vapor da matéria lignocelulósica, no qual  
em 60 segundos eleva-se a pressão na faixa de 28,1-49,2 kg/cm<sup>2</sup> em temperatura de  
180-240°C, que posteriormente tem uma rápida despressurização e abaixamento da  
temperatura, por ser exposto ao ar atmosférico. Ainda no último documento há a etapa  
35 de produção de glicose pela impregnação da celulose com solução ácida.

O documento US2002164730 protege um processo bastante

completo de produção de etanol, que inclui o pré-tratamento por explosão à vapor, de biomassa oriunda de resíduos agrícolas, em condições de baixas temperaturas (200-220°C), altas pressões e maiores tempos de tratamento (5 à 10 minutos). Os inventores alegam que essas condições dão origem à melhores taxas de recuperação da glicose.

A patente depositada no Brasil de número PI0801352 traz um equipamento de explosão a vapor, principalmente da madeira. Nele uma centrífuga auxilia o aumento da pressão no reator, o que diminui o consumo energético, por que menos vapor é adicionado ao sistema para que haja elevada pressão.

Ainda no depósito US20120111514 há a descrição de um processo que não necessita da presença de catalisadores ácidos no tratamento por explosão a vapor do bagaço, pois o próprio ácido acético gerado durante o pré-tratamento, através da degradação da glicose, auxilia a reação. São condições específicas de temperatura (170-220°C), pressão (100-320 psig) e tempo (5 a 90 minutos) que permitem a retirada do catalisador. Como etapa adicional há a existência de uma purga que remove compostos solúveis em água e químicos voláteis.

O documento US 6,419,788 conduz um processo de explosão a vapor da matéria lignocelulósica, principalmente madeira, em condições já conhecidas, mas que é posteriormente tratada com água quente em pH alcalino (8-13) que contém oxigênio dissolvido. A água de lavagem retira lignina, hemicelulose e inibidores da etapa de hidrólise.

Há também uma variedade de patentes (US 5,125,977, US 5,424,417, US 5,503,996, US 5,705,369, PI9005762, WO2000019004, US20100276093, CA1267407 e CA1282777) que utilizam a explosão à vapor do bagaço para a produção de outros produtos, que não o etanol, como por exemplo papel. Na maioria dos processos descritos em referidos documentos durante ou após a explosão do material o mesmo é tratado com soluções alcalinas, para gerar a polpa que dará origem ao papel.

Dos processos que envolvem a utilização de água quente, uma das novidades é a presença do resfriamento rápido, que diminui a quantidade de inibidores no processo e preserva os açúcares extraídos, com relação aos tratamentos por explosão a vapor. Há diversas anterioridades referentes ao processo UHTST em biomassas e celulose sintética, no entanto, não foram encontrados equipamentos em escala industrial que realizassem tal atividade, no pré-tratamento e hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar.

Sasaki et al., 2003, surgiu com um estudo da degradação do

bagaço de cana-de-açúcar, por tratamento hidrotérmico. Segundo os autores esse tipo de fracionamento da biomassa era “mais limpo”, com relação aos outros tratamentos existentes, pois o solvente utilizado era água. O experimento foi conduzido em escala laboratorial, em que bagaço alimentava um tubo de aço e se misturava a água introduzida através de duas bombas de HPLC. As condições experimentais eram de temperaturas de 200-230°C, para extração da hemicelulose e lignina e 230-280°C para retirada da celulose, em uma pressão de 15MPa. A fase líquida era rapidamente resfriada e analisada. O processo permitiu que aproximadamente 90% da biomassa fosse solubilizada. Nota-se, portanto, que desde o ano da publicação do artigo, estudos eram conduzidos com relação a esse tipo de tratamento. O estudo não faz menção aos tempos de residência nem a recuperação e preservação dos açúcares.

Posteriormente em 2004, Sasaki et al., surgiu com um novo artigo sobre a conversão de celulose sintética, através da utilização de água supercrítica a temperatura de 320-400°C, pressão de 25MPa e tempos de residência entre 0,02-13,1 segundos. Água destilada alimentava uma bomba de HPLC, que era pré-aquecida e posteriormente se misturava a celulose, as quais eram introduzidas no reator. Após a reação, a mistura era rapidamente resfriada a 60°C. Os reatores utilizados nesse experimento possuíam de 0,03 a 5,27 cm<sup>3</sup> e o substrato utilizado era celulose pura, ou seja, estava longe das condições encontradas na indústria.

Os documentos WO2012060767 e JP2003212888 tem o intuito de separar celulose e/ou oligossacarídeos da biomassa sólida, com água em condições severas, como por exemplo, temperaturas maiores do que 250°C e tempos de residência de 1,5 e 1,0 segundo respectivamente e as fases extraídas são rapidamente resfriadas. O primeiro processo apresenta uma descrição de possível equipamento a ser empregado, no entanto, não trás o desenho do sistema, sendo que os experimentos ocorrem em escala laboratorial, utilizando como biomassa o pinho e rendimentos de 35% de recuperação de glicose. No segundo caso é mostrado um diagrama com a configuração necessária para se realizar o processo, no entanto, os exemplos disponibilizados envolvem a degradação de celulose cristalina, situação que não representa as condições encontradas na indústria.

E ainda a PI0706024, descreve processo e equipamento de hidrólise da biomassa, previamente triturada e colocada em contato com água, opcionalmente contendo etanol (2 a 10%) em condições de alta temperatura (140-180°C e 240-280°C para degradação da hemicelulose e celulose, respectivamente) e pressão em um número de reatores de pressão de 4+n ou 3+n, em que os diversos processos de aquecimento, resfriamento, entre outros, podem ocorrer

simultaneamente. A etapa de resfriamento se dá pela evaporação da água. O processo pode economizar até 60% de energia com um rendimento de sacarídeos de aproximadamente 40%. Nesse caso um equipamento para o tratamento da biomassa é esquematizado, no entanto, muito se difere daquele que se pretende proteger e  
5 ainda não traz um sistema de resfriamento rápido da mistura.

A patente CN101613377 esquematiza um sistema de degradação da biomassa através do pré-tratamento e hidrólise da mesma, principalmente madeira, em reatores com água em condições supercríticas (350-400°C), primeiramente, e subcríticas (200-300°C), em sequência. Em ambas as  
10 situações os respectivos resfriadores (100-200°C e 15-50°C), de cada reator, abaixam a temperatura do sistema. No presente caso não há discussão quanto ao tempo de residência da biomassa no reator e ainda foca na desestruturação da biomassa para retirada de glicose e não de xilose/glicose.

O documento JP2009261275 traz um sistema de pré-  
15 aquecimento, reação e resfriamento, através da utilização de três reatores para cada etapa, os quais, segundo os inventores, permitem haver uma diminuição de temperatura não tão abrupta em cada unidade, o que diminui os seus custos. Na primeira etapa, a mistura biomassa e água são pré-aquecidos a 70-120°C, com vapor reciclado da etapa de resfriamento, e é transportada para a segunda etapa, onde  
20 ocorre o tratamento com água quente a 140-200°C para extração das C5 ou a 240-280°C para extração da celulose. Nos três últimos tanques ocorre a diminuição da temperatura para 140-180°C, por evaporação. A biomassa e solução são separadas e a matéria sólida pode retornar novamente para o sistema. É obtido um rendimento de sacarídeos de aproximadamente 40%. A patente descreve um processo que levará,  
25 pelo menos, 1 minuto para cada etapa ocorrer e não apresenta um equipamento específico para separação da fase sólida e líquida.

O processo CA2750754 apresenta um tratamento hidrotérmico em que água e biomassa são extrudadas em contracorrente e a fase líquida é enviada para uma unidade de hidrólise enzimática, enquanto a fase sólida é resfriada com  
30 água líquida em menor temperatura, para parar a degradação da hemicelulose, e que posteriormente também é enviada a unidade de hidrólise enzimática. O processo envolve uma etapa de separação da fase sólida e líquida, para ambas extrações e uma de recuperação da água do processo, para economia energética. Nesse sistema o reator está em posição vertical, o que pode causar perdas de matéria, já que o  
35 bagaço, por exemplo, é uma biomassa leve, tornando difícil o controle de sua ascensão. Ainda o processo demora minutos para ocorrer, por exemplo, na primeira

etapa de pré-tratamento, a extrusão ocorre de 3-10 minutos.

O processo WO2011091044 reivindica um processo de tratamento da biomassa lignocelulósica onde, em um primeiro reator de pré-tratamento, água quente e matéria celulósica são colocadas em contato na  
5 temperatura de 180-260°C, pressão de 50-110 bar e no tempo de 1-10 min. Após essa etapa a separação líquido/sólido ocorre e xilose em solução é resfriada. A outra fase é submetida a hidrólise em condições de 275-450 °C de temperatura, 200-250 bar de pressão e 1-45 s de tempo de residência. Os produtos são separados e resfriados. Nas duas etapas de alimentação pode haver adição de CO<sub>2</sub>, assim como em ambas  
10 as etapas de resfriamento ácido pode ser opcionalmente inserido. A recuperação da celulose da biomassa chega a rendimentos de 60%, com conversões para glicose de até 90%. O processo se assemelha com muitos outros apresentados aqui, com exceção da adição de CO<sub>2</sub> e água em condições supercríticas, e ácido no início do experimento, no entanto o documento não apresenta um equipamento próprio para a  
15 realização do processo. As condições da tecnologia encarecem o processo, que justificam sua utilização para produção de produtos de alto valor agregado.

O conceito de processo UHTST também pode ser aplicado aos caldos utilizados na fermentação para obtenção de etanol e é largamente utilizado na indústria de alimentos porem com finalidade de inativar termicamente contaminantes e  
20 ao mesmo tempo preservar o máximo de nutrientes.

Fica claro, portanto, que o conceito de tratamento UHTST é bastante estudado e almejado para a indústria, no entanto, nenhum equipamento capaz de trazer os resultados esperados foi efetivamente introduzido no mercado, para conversão de biomassa.

## 25 SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção descreve o processo para conversão de bagaço de cana utilizando reatores contínuos UHTST usando água líquida superaquecida para o processo de pré-tratamento e hidrólise do bagaço. O processo de pré-tratamento proposto é conduzido em 2 fases que operam sequencialmente em  
30 condições diferenciadas de tempo de residência, temperatura e pressão otimizados para máxima preservação dos açúcares monoméricos ou oligoméricos de cada uma das frações hemicelulose e celulose do bagaço e conseqüentemente, mínima formação de produtos inibidores. Os sistemas de aquecimento e resfriamento, antes e após o pré-tratamento, foram projetados para serem conduzidos igualmente de forma  
35 rápida, com duração de menos de um minuto e meio ou ainda, frações de segundos.

A faixa de temperatura é ampla chegando até a 350°C

dependendo do uso ou não de produtos químicos capazes de criar sinergia com o tratamento térmico. Os tempos de residência efetivos durante o pré-tratamento são inferiores a 1 minuto podendo chegar a frações de segundos. Todo o processo envolvendo a reação, o resfriamento e a transferência para as etapas subsequentes é conduzido de forma asséptica, mediante o não contato da matéria com ar exterior para evitar contaminação. O consumo de vapor de processo é inferior a 20kg/TC enquanto o consumo de água é inferior a 4kg/kg de bagaço tratado, sendo que com este consumo de água a concentração da fração C-5 proveniente da hidrólise da hemicelulose é 75,5g/L enquanto a concentração da fração C-6 proveniente da hidrólise da celulose é 120g/L. O sistema de resfriamento evaporativo adotado confere regeneração térmica, concentração e resfriamento rápido a fim de preservar os açúcares liberados.

Um inconveniente da técnica anterior é que os processos de pré-tratamento geram hidrolisados com baixa concentração (< 20g/L) e são intensivos em energia para concentração nos níveis obtidos por essa tecnologia.

Outro inconveniente da técnica anterior, superado pela presente invenção, é que os módulos utilizados para o pré-tratamento não apresentam uma boa dinâmica de transferência de matéria quando se pretende aumentar o tempo de residência da biomassa no reator, não possuindo, igualmente em sua maioria, uma flexibilidade tão variada de ditos tempos de residência.

#### DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

O processo aqui descrito utiliza água superaquecida numa faixa de temperatura e pressão de 280°C/ 64,5barg a 350°C/161,5barg sem uso de produtos químicos, ácidos ou enzimas, realizado em 2 fases.

A água superaquecida nas condições desse projeto apresenta ótimas propriedades, como alta capacidade de solvatação, inclusive de substâncias orgânicas, alta reatividade e muito baixa viscosidade.

O processo foi projetado para ocorrer em 2 fases onde os reatores foram projetados para, separadamente, extrair e hidrolisar a hemicelulose liberando os açúcares de 5 átomos de carbono e hidrolisar a celulose liberando os açúcares de 6 átomos de carbono. Ambas as etapas do processo são conduzidas com o conceito UHTST, siglas em inglês que significam Ultra High Temperature Short Time, processos térmicos ultrarrápidos que são conduzidos a temperaturas elevadas. Essa classe de processo é largamente utilizada na indústria de alimentos em processos de esterilização e pasteurização com o objetivo mútuo de eliminar contaminantes microbiológicos e de preservar os nutrientes do alimento. No caso do pré-tratamento

do bagaço as etapas de aquecimento e resfriamento também são extremamente rápidas para evitar que os açúcares sofram reações de degradação térmica, preservando-os, dessa forma evitando a liberação de ácidos orgânicos e outros produtos inibidores para as etapas subsequentes do processo.

5 Os caldos hidrolisados são enviados para vasos de resfriamento evaporativos o que garante resfriamento instantâneo à temperaturas seguras para evitar tais reações de degradação térmica. Os vasos de resfriamento evaporativo garantem ainda regeneração térmica e concentração do caldo hidrolisado e são dimensionados para mínimo arraste de açúcares. Quantidade ótima de água  
10 superaquecida para o processo de pré-tratamento pode ser utilizada sem preocupação com diluição excessiva dos açúcares nos caldos hidrolisados resultantes, pois a água adicionada será removida durante o resfriamento evaporativo e reutilizada como vapor.

Os reatores utilizados são módulos de tubos conectáveis que permitem, em conjunto com variação da rotação da bomba, variar o tempo de  
15 residência no pré-tratamento numa ampla faixa conforme a necessidade de otimização. Por apresentar altas pressões, a descompressão na saída do 2º conjunto de reator confere desestruturação mecânica da biomassa com consequente aumento de sua superfície específica, o que contribui para aumentar a eficiência da reação enzimática subsequente em caso dessa reação ser necessária.

20 As etapas do processo de pré-tratamento e hidrólise da hemicelulose e celulose foram projetadas para ocorrer em reatores separados extraindo também separadamente os caldos hidrolisados ricos em C-5 e C-6 com o objetivo de conferir mais flexibilidade ao processo subsequente. Com esta configuração essas correntes podem ser processadas em separado ou previamente  
25 misturadas para processamento conjunto dependendo da tecnologia disponível, que não é objeto desta invenção.

O sistema da presente invenção, portanto, traz as vantagens de máxima superfície específica para a reação enzimática em conjunto com uma máxima remoção da hemicelulose, máxima preservação da celulose (>99%), máxima  
30 preservação das pentoses (>99%) e mínima produção de produtos inibidores.

#### DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Figura 1 – Sistema de PRÉ-TRATAMENTO UHTST E  
CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA nas configurações de extração das C-5, C-6 sem utilização de enzimas.

35 Figura 2 – Esquema de montagem dos reatores individual, para cada etapa do processo.

### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Bagaço (1) é alimentado a um moinho (2) em que é processado, aqui vale ressaltar que processado caracteriza a redução e uniformização de sua distribuição granulométrica. Dito bagaço (1) tratado é descarregado num transportador helicoidal (3) onde recebe pequena quantidade de água quente (4) para entumescimento e formação do lodo de bagaço (5), tornando o bagaço bombeável. O transportador helicoidal descarrega esse lodo de bagaço (5) na sucção da bomba (6) que irá alimentar o primeiro módulo de reatores formado por conjunto de tubos de espera (7, 8, 9, 10) conectáveis em painel através das conexões (11, 12, 13, 14) projetados para atingir tempos de residência dentro da faixa de 0,5 segundo a 80 segundos. Os ditos tubos permitem que, caso a reação não ocorra por completo em um determinado tempo de residência, previamente estipulado, a matéria-prima, preferencialmente bagaço, ainda possa permanecer por mais tempo em contato com água quente. Água superaquecida a 250-300°C e 40-90barg (15) alimenta esse primeiro módulo em co-corrente com o lodo de bagaço. Ao final da secção tubular do tubo de saída (10) o lodo (43) encontra uma tela perfurada de 400 a 600 mesh (44) que será responsável pela separação da hemicelulose liquefeita (licor rico em açúcares C-5) do sólido lignocelulósico. O licor rico em açúcares C-5 (45) é enviado a um conjunto de resfriadores evaporativos (16-21) cuja função é promover resfriamento instantâneo, em que instantâneo se refere ao resfriamento realizado preferencialmente em milésimos de segundos; concentração do licor; e regeneração térmica e de água. Isso pode ser conseguido utilizando vários estágios em série. Aqui é mostrado um conjunto com 6 estágios. A temperatura de resfriamento irá variar conforme o número de estágios utilizados no sistema. Quanto maior o número de estágios maior será a regeneração térmica. Ao final do resfriamento o licor de saída (46) será rico em C-5. Ademais a corrente (22) pode idealmente ser usada em integração energética em processos paralelos como, por exemplo, a planta de produção de açúcar e etanol 1G. A corrente (23) representa água de reposição para o processo.

O material lignocelulósico (24) proveniente da tela perfurada (44) segue para a sucção da bomba (25) que alimenta o segundo módulo de reatores. O segundo módulo de reatores também é formado por conjunto de tubos de espera conectáveis (26-29) conectáveis em painel através das conexões (48 a 51), projetado para atingir tempos de residência dentro da faixa de 0,5 segundo a 80 segundos. Água superaquecida (30) a 300-370°C e 90-220 barg alimenta o segundo módulo em co-corrente com o lodo lignocelulósico (24). Ao final da secção tubular do tubo de saída (29) o lodo (31) lignocelulósico encontra uma tela perfurada de 400-600 mesh (32) que

será responsável pela separação do licor rico em açúcares C-6 (33), do material sólido insolúvel rico em lignina lignocelulósico (34). O licor rico em açúcares C-6 (33) é enviado a um sistema de resfriadores evaporativos (35-40) cuja função é promover resfriamento instantâneo, em que instantâneo se refere a milésimos de segundo, concentração do licor e regeneração térmica e de água. Isso pode ser conseguido utilizando vários estágios em série. Quanto maior o número de estágios maior será a regeneração térmica. Aqui é mostrado um conjunto com 6 estágios. Ao final do resfriamento o licor de saída (47) será rico em C-6. Ademais a corrente (41) pode idealmente ser usada em integração energética em processos paralelos como, por exemplo, a planta de produção de açúcar e etanol 1G. A corrente (42) representa água de reposição para o processo.

O reator é projetado com módulos com tempos de espera de 1,5s, 4s, 12s e 40s. Esses módulos podem ser usados combinados ou separados e variando-se a vazão de alimentação do reator se consegue a ampla faixa de tempos de tratamento que vão de 0,5 a 80 segundos.

A Figura 2 representa cada módulo que é formado por conjunto de reatores em forma de tubos de espera com diferentes tempos de residência, os quais podem ser facilmente configurados através da escolha de conexões em painel, onde estão disponibilizadas as entradas (52, 53, 54, 55) e saídas (56, 57, 58, 59) de cada reator. Adicionalmente o reator tubular apresenta excelentes características para reações envolvendo sólidos porque possibilita limpeza fácil e não há consumo de energia na mistura.

#### EXEMPLO 1

40 kg de Bagaço cru com 50% de umidade/ 80 kg de água (1) é alimentado a um moinho (2) e é processado até atingir granulometria menor que 1 mm. Dito bagaço é descarregado num transportador helicoidal (3) onde recebe pequena quantidade de água quente (4) a aproximadamente 100°C. O transportador helicoidal descarrega esse lodo de bagaço (5) na sucção da bomba (6) que irá alimentar o primeiro módulo de reatores formado por conjunto de tubos de espera (7, 8, 9 e 10) com tempo de residência de 0,5 a 80 segundos. 80 kg de água superaquecida a 300°C e 88barg (15) alimenta esse primeiro módulo em co-corrente com o lodo de bagaço. Ao final da seção tubular do tubo de saída (10) o lodo encontra uma tela perfurada de 400 mesh (44) que será responsável pela separação da hemicelulose liquefeita (licor rico em açúcares C-5) do sólido lignocelulósico. O licor rico em açúcares C-5 (43) é enviado ao um conjunto de 6 resfriadores evaporativos (16 a 21) cuja função é promover resfriamento instantâneo a 70-80°C e 75,7g/L em

milésimos de segundos. Adicionalmente a corrente (22) disponibiliza 38 kg de água a 286°C. A corrente (23) representa 42 kg de água de reposição para o processo. O licor na saída do ultimo estágio (45) apresenta concentração de açúcares C-5 na ordem de 75,4 g/L e temperatura de 80°C.

5 O material lignocelulósico (24) proveniente da tela perfurada segue para a sucção da bomba (25) que alimenta o segundo módulo de reatores (26, 27, 28, 29) com tempo de residência de 0,5 a 80 segundos. 80kg de água superaquecida (30) a 350°C e 170barg alimenta o segundo módulo em co-corrente com o lodo lignocelulósico (24). Ao final da secção tubular do tubo de saída (31) o lodo  
10 lignocelulósico encontra uma tela perfurada de 400 mesh (32) que será responsável pela separação do licor rico em açúcares C-6 (33), do material sólido insolúvel rico em lignina lignocelulósico (34). O licor rico em açúcares C-6 é enviado ao um conjunto de 6 resfriadores evaporativos (35 a 40) cuja função é promover resfriamento instantâneo a 65-80°C e 119,5g/l em milésimos de segundo, concentração do licor e regeneração  
15 térmica e de água. A corrente (41) disponibiliza 46 kg de água a 300°C. A corrente (42) representa 34 kg de água de reposição para o processo. O licor na saída do ultimo estágio (46) apresenta concentração de açúcares C-6 da ordem de 119,5 g/L e 75°C.

O consumo de vapor do processo é 0,1 kg de vapor/kg de  
20 bagaço pré-tratado o que resulta em 24 kg de vapor/TC. Esse baixo consumo de vapor pode ser absorvido pelas unidades processadoras de cana de açúcar sem grandes esforços de otimização energética nas unidades. O uso do resfriamento evaporativo múltiplo efeito em conjunto com a integração energética dos módulos 1 e 2, proporciona consumo de vapor nulo, no primeiro módulo. Esse fato resulta em  
25 possibilidades adicionais de otimização energética quando na implantação de um processo de conversão de biomassa em unidades processadoras de cana de açúcar, já que essas duas correntes ricas em energia podem ser utilizadas no processo das unidades processadoras e contribuir para a redução do consumo de vapor de processo global. O consumo total de água é 3,8 kg de água/kg de bagaço pré-tratado,  
30 sendo 2,1 kg/kg no primeiro módulo e 1,7 kg/kg no segundo módulo.

### REIVINDICAÇÕES

1. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST caracterizado por conter um transportador (3), em que dito transportador será alimentado com biomassa processada e água superaquecida; Bomba de Sucção (6 e 25) que será alimentada com lodo de bagaço; Tubos de Espera Conectáveis (7, 8, 9, 10, 26, 27, 28 e 29) alimentados por dita bomba de sucção, em que ditos tubos permitem tempo de residência entre 0,5 a 80 segundos; Tela Perfurada (44 e 32), em que ditas Telas tem Perfuração de 400-600 Mesh, preferencialmente de 400 Mesh e em que separam licor dos sólido, provindos de ditos tubos conectáveis; Conjunto de pelo menos 2 Resfriadores Evaporativos, preferencialmente de 6 Resfriadores Evaporativos, (16, 17, 18, 19, 20 e 21) (35, 36, 37, 38, 39 e 40) para cada etapa do processo, em que ditos resfriadores compreendem reciclo de vapor para o processo, resfriamento e concentração do licor, em que dita cada etapa compreende 2 etapas, em que uma etapa compreende recuperação dos açúcares C-5 e em que outra etapa compreende a recuperação dos açúcares C-6.

2. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com reivindicação 1, caracterizado por biomassa processada compreender bagaço de cana-de-açúcar com distribuição granulométrica reduzida e uniformizada por moinho (2).

3. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado pelo bagaço de cana-de-açúcar que alimentará o moinho (2) ser bagaço cru com 50% de umidade.

4. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo transportador (3), ser preferencialmente do tipo helicoidal.

5. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela bomba de sucção (6) e (25), receber lodo de matéria lignocelulósica do transportador (3) e de tela perfurada (44), respectivamente.

6. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos tubos de espera conectáveis (7, 8, 9 e 10),

receberem lodo de matéria lignocelulósica e água superaquecida em condições de 300°C e 88barg

7. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos tubos de espera conectáveis (26, 27, 28 e 29),  
5 receberem lodo de matéria lignocelulósica e água superaquecida em condições de 350°C e 170barg.

8. PROCESSO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos resfriadores evaporativos (16, 17, 18, 19, 20, 21,  
10 35, 36, 37, 38, 39 e 40), compreenderem resfriamento instantâneo, em que dito resfriamento instantâneo ocorre preferencialmente em milésimos de segundos.

9. EQUIPAMENTO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, caracterizado por conter um transportador (3); Bomba de Sucção (6 e 25); Tubos de Espera Conectáveis (7, 8, 9, 10, 26, 27, 28 e 29); Tela Perfurada (44 e 32); Conjunto de pelo menos 2 Resfriadores Evaporativos, preferencialmente de 6 Resfriadores Evaporativos, (17, 18, 19, 20, 21) (35, 36, 37, 38, 39 e 40).  
15

10. EQUIPAMENTO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo transportador (3), ser preferencialmente do tipo helicoidal.  
20

11. EQUIPAMENTO PARA CONVERSÃO SIMULTANEA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO REATORES UHTST, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelos resfriadores evaporativos (16, 17, 18, 19, 20, 21,  
25 35, 36, 37, 38, 39 e 40), compreenderem resfriamento instantâneo.

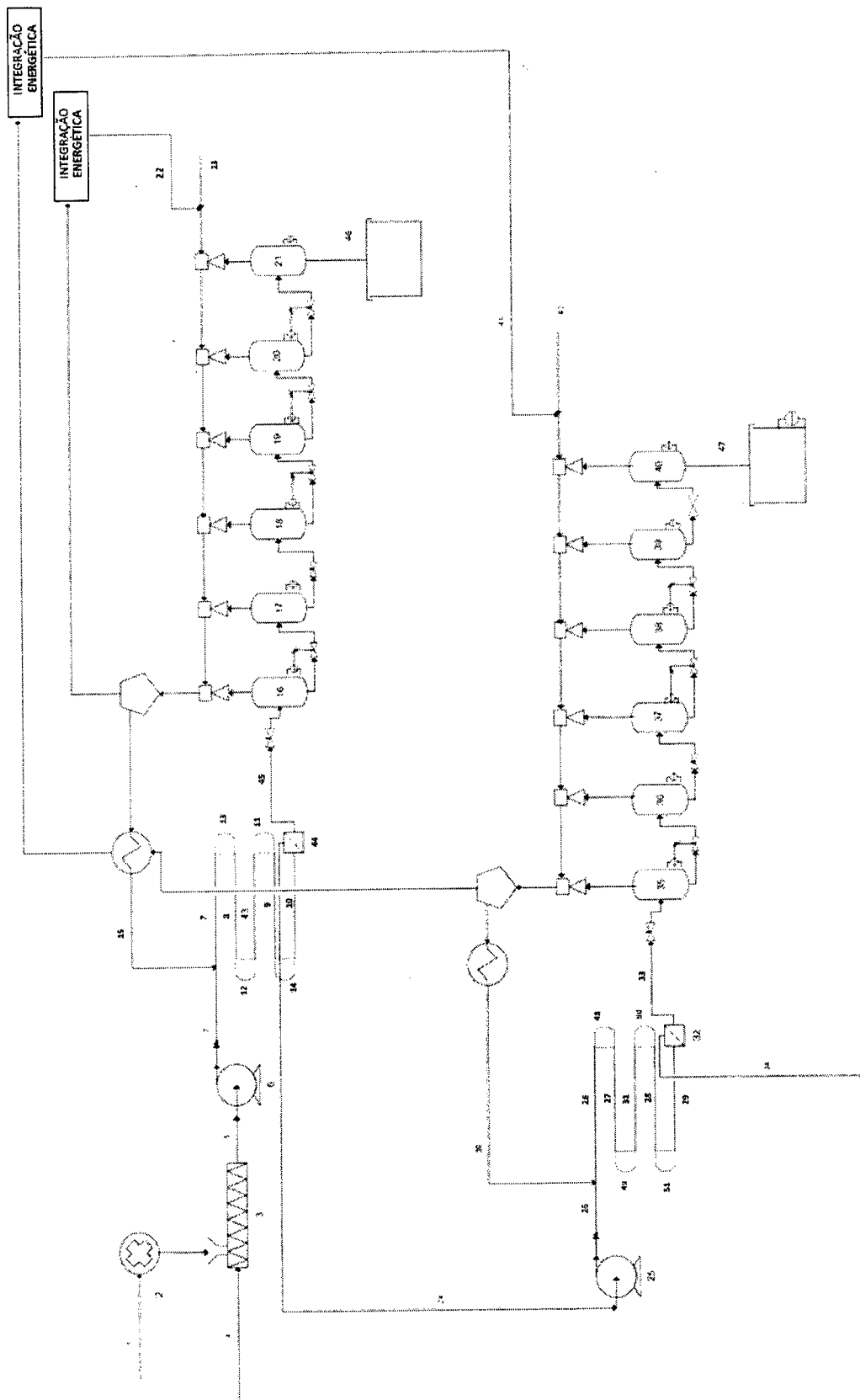


Figura 1

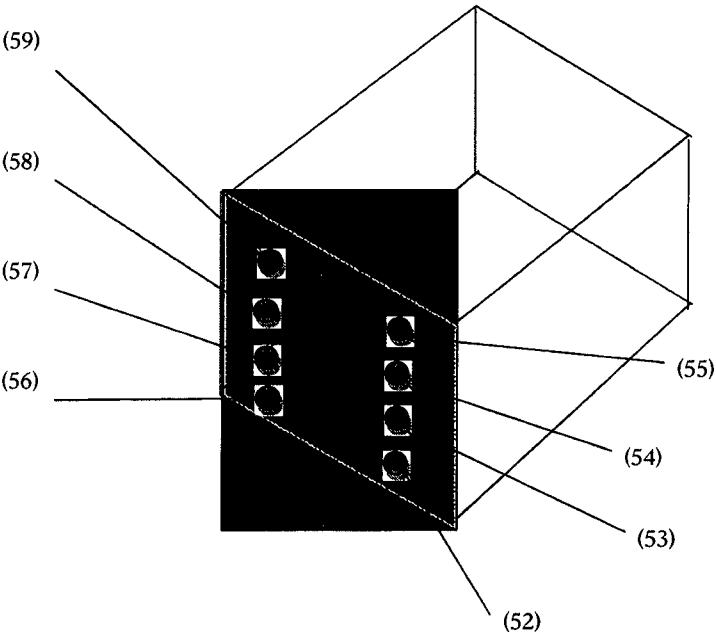


Figura 2