



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

(11) (21) **PI 0306125-6 A**



(22) Data de Depósito: 03/12/2003
(43) Data de Publicação: 16/08/2005
(RPI 1806)

(51) Int. Cl.⁷:
C08G 63/80
C08G 63/18

(54) Título: **SISTEMA COMPACTO DE SSP PARA PET PÓS CONSUMO E PROCESSO PARA RECICLAGEM DE PET UTILIZANDO DITO SISTEMA**

(71) Depositante(s): Universidade Federal de São Carlos (BR/SP)

(72) Inventor(es): Sati Manrich, Marco Antonio Alves de Andrade

(74) Procurador: Mauricio Saab

(57) Resumo: "SISTEMA COMPACTO DE SSP PARA PET PÓS CONSUMO E PROCESSO PARA RECICLAGEM DE PET UTILIZANDO DITO SISTEMA". É descrito um sistema compacto de SSP para PET pós consumo que compreende um reator (10) para efetuar reação de pós condensação de PET em presença de um gás inerte, o reator (10) estando conectado em certas etapas do processo a um desumidificador (20) de ar, com o gás inerte circulando desse reator (10) para o desumidificador (20) em circuito fechado. Alternativamente o reator (10) de SSP está ligado a um dispositivo (13) de redução de pressão. A invenção diz respeito ainda ao processo para reciclagem de PET utilizando o sistema descrito que compreende cristalização do PET em flocos durante 0,5-3 horas a 150-210°C no reator (10), a cristalização sendo seguida de etapas onde o reator (10) está ligado ao desumidificador (20), a saber, secagem durante 3-4 horas a 150-200°C e pós-condensação durante 2-20 horas a 200-250°C.



SISTEMA COMPACTO DE SSP PARA PET PÓS CONSUMO E PROCESSO PARA RECICLAGEM DE PET UTILIZANDO DITO SISTEMA

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção diz respeito a um sistema compacto de SSP (Solid State Polymerization) para PET [poli (tereftalato de etileno)] pós consumo. Mais especificamente, a presente invenção diz respeito a um sistema compacto de SSP que compreende um reator de SSP para efetuar reação de pós condensação de PET em presença de um gás inerte, o reator estando conectado em certas etapas do processo a um desumidificador de ar, com o gás inerte circulando desse reator para o desumidificador em circuito fechado. Alternativamente o reator de SSP está ligado a um dispositivo de redução de pressão. A invenção diz respeito ainda a um processo para reciclagem de PET utilizando o sistema descrito que compreende cristalização do PET em flocos durante 0,5-3 horas a 150-210°C no reator, a cristalização sendo seguida de etapas onde o reator está ligado ao desumidificador, a saber, secagem durante 3-4 horas a 150-200°C e pós-condensação durante 2-20 horas a 200-250°C.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

A indústria de transformação produz sem dúvida muitos produtos úteis para a vida moderna, no entanto, a disposição dos resíduos gerados toma hoje proporções alarmantes no que diz respeito à agressão ao meio ambiente, aterros sanitários e meios hídricos.

Se as fibras de PET não têm se mostrado muito interessantes do ponto de vista da reciclagem, o mesmo não se pode dizer das garrafas de PET, lançadas no mercado por volta de 1977. O grande volume desses materiais bem como a facilidade de coleta é um incentivo à reciclagem desse tipo de material.

A reciclagem de PET a partir de garrafas da indústria de refrigerantes leva, na sua grande maioria, à confecção de fibras para compor diversos artigos. O re-processamento utilizado na reciclagem causa redução de viscosidade (viscosidade intrínseca entre 0,58 e 0,67 dl/g, chamada viscosidade grau fibra) quando a viscosidade intrínseca (chamada viscosidade grau garrafa) útil para a produção de garrafas está entre 0,8 e 0,84 dl/g.

Como se sabe dos especialistas, os poliésteres são geralmente preparados em dois estágios. No primeiro ou estágio de esterificação o diácido é feito reagir com um diol a pressões e temperaturas elevadas, com água sendo produzida como sub produto. No segundo estágio ou de policondensação, a reação é efetuada até que a viscosidade intrínseca do fundido atinja entre 0,20 até 0,80 dl/g. O fundido é então solidificado por resfriamento e peletizado ou granulado. Os "pellets" são então submetidos a uma reação de polimerização no estado sólido onde vácuo é aplicado a uma temperatura abaixo do ponto de fusão do polímero parcialmente formado ou pré-polímero. Alternativamente, a polimerização no estado sólido pode ser efetuada removendo sub produtos, isto é, glicol etilênico e água, passando um gás inerte através dos "pellets" ou grânulos. A polimerização no estado sólido é continuada até atingir viscosidade intrínseca entre 0,55 até 1,0 dl/g, às vezes 1,2 dl/g.

O processo de polimerização no estado sólido, levando a materiais com viscosidade intrínseca grau garrafa é amplamente usado na produção de PET virgem e atualmente vem ganhando espaço no setor de PET reciclado. Praticamente a totalidade dos processos industriais de SSP utiliza o PET sob forma de grânulos cristalizados.

A literatura de patentes ensina muitos processos de polimerização no estado sólido para aumentar o peso molecular de poliésteres como PET.

Assim, a patente US 4.161.578 ensina um processo para a produção contínua de PET de alto peso molecular por policondensação no estado sólido a partir de um PET granulado seco com viscosidade inicial de pelo menos 0,4 dl/g. O processo compreende cristalizar o polímero a uma temperatura na faixa de 180-220°C sob movimento forçado em atmosfera de gás inerte durante um tempo de residência desde 0,25 até menos de 1,5 horas, até que o polímero atinja densidade de 1,385 g/cm³ e teor de umidade de menos de 0,02 por cento em peso, e o produto cristalizado é descarregado a uma temperatura de pelo menos 180°C. O granulado cristalizado é introduzido continuamente sob vedação a um reator contínuo de leito fixo e policondensado em contracorrente com um gás inerte à temperatura na faixa de 210-235°C para atingir temperatura reacional na faixa entre 200-230°C, a qual é superior à

temperatura de cristalização. É alegado que se a cristalização é efetuada em um aparelho com agitação elevada e do tipo de alta transferência de calor, a cristalização pode ser completada em cerca de 0,25 horas. O granulado deve se deslocar através do reator de leito fixo a uma velocidade superficial mínima de 0,25 pés/hora. O gás inerte preferido é Nitrogênio, que flui em contracorrente ao polímero a fim de remover todos os produtos de reação do reator do estado sólido. A razão em peso de nitrogênio para granulado pode estar na faixa de 0,25 a 3,5, de preferência cerca de 0,5 a 1,5.

Conforme ensinado na Fig. 1 da patente US 4.373.975, em processos convencionais, o prepolímero é inicialmente alimentado a uma tremonha (1), de onde o prepolímero) é alimentado ao cristalizador (2) onde o prepolímero é aquecido a cerca de 160°C e cristalizado para prevenir aderência na última parte do processo. O polímero cristalizado entra então no secador (3) onde a gravidade impele o polímero para baixo e entra em contato em contra-corrente com uma corrente de ar quente desumidificado. Um desumidificador (19) e um aquecedor de ar (4) são necessários para respectivamente reduzir o ponto do orvalho do ar até abaixo de -34°C e para aquecer o ar até cerca de 160°C antes de entrar no fundo do secador. O tempo de residência do poliéster no secador (3) é de cerca de 2,5 horas, o que permite redução do teor de umidade até abaixo de 0,005% (m/m). O poliéster seco deixa o secador (3) a cerca de 160°C e entra no pré-aquecedor (5) onde a temperatura é de cerca de 220°C que é aproximadamente a temperatura do reator. O tempo de residência do poliéster no pré-aquecedor é de cerca de 30 minutos. O poliéster pré-aquecido então entra no reator (6) para polimerização no estado sólido pelo topo. O polímero é impulsionado para baixo pela força da gravidade ou por meios mecânicos enquanto uma corrente de gás inerte quente passa na direção para cima para varrer os sub produtos de reação, incluindo etileno glicol, água e acetaldeído. O reator é equipado com uma camisa (7) para circulação de óleo aquecido. A temperatura do reator é controlada pela temperatura de entrada do poliéster, pela temperatura do nitrogênio ou gás inerte e pela temperatura do óleo da camisa (7) a cerca de 220°C. O produto com viscosidade intrínseca (V.I.) suficientemente elevada é descarregado pelo fundo do reator para um resfriador (8) onde é resfriado. O gás nitrogênio que deixa o topo do reator está

a cerca de 220°C e está contaminado com sub produtos de reação. Este é então resfriado e purificado no sistema (9) ou sistema de purificação de ar e é reciclado para o fundo do reator. O gás reciclado pode ser alimentado a um aquecedor (10) e mecanismo de sopro de ar (20) antes de entrar no fundo do reator.

Já a tecnologia objeto da patente US 4.374.975, ilustrada na Fig. 2 desse documento, ensina uma tremonha (11) de alimentação após a qual o pré-polímero é aquecido e cristalizado em um cristalizador convencional (12), mas deixa o cristalizador a uma temperatura mais elevada de cerca de 170°C até 180°C. A temperatura de adesão da resina após cristalização estando por volta de 230°C, a resina deixa o cristalizador a uma temperatura inferior a sua temperatura de adesão amorfa, a fim de evitar adesão. O poliéster cristalizado entra então na zona reacional (13) do reator de leito móvel pelo topo e desce pela força gravitacional. Uma corrente de gás quente entra na zona reacional pelo fundo a uma temperatura constante ligeiramente superior àquela do processo convencional, 225°C em vez de 220°C. O gás quente então passa para cima através do poliéster localizado na zona do reator de leito móvel. Já que o polímero e o nitrogênio entram na zona reacional em temperaturas bastante diferentes, haverá uma troca de calor extensiva entre o polímero e o gás. A temperatura do poliéster aumenta à medida que ele se desloca para baixo no reator e a temperatura do gás se reduz à medida que ele se desloca para cima. O poliéster deixará o fundo da zona reacional a uma temperatura ligeiramente inferior à temperatura de entrada do nitrogênio, a ou a cerca de 220°C. O nitrogênio deixará o topo da zona reacional a uma temperatura ligeiramente superior do que a temperatura de entrada do poliéster que deve ser de aproximadamente 185°C. O óleo quente na camisa (14) da zona reacional fornece calor ao pré-polímero através da parede da zona reacional de leito móvel.

Um gás inerte serve para remover os produtos reacionais indesejáveis do reator de SSP. Nitrogênio é particularmente adequado para esta finalidade particularmente porque ele contribui para a economia geral do processo devido a seu baixo custo. Por razões econômicas, de preferência o gás inerte é reciclado. De preferência o nitrogênio reciclado tem teor de água inferior a 250

mg/kg N₂, teor de etileno glicol inferior a 10 mg/kg N₂, e teor de acetaldeído inferior a 100 mg/kg N₂. Teores elevados de oxigênio e acetaldeído são indesejáveis já que podem causar descoloração do produto final.

5 O gás inerte pode opcionalmente ser reciclado usando um sistema convencional de limpeza (16). O gás reciclado é então alimentado a um aquecedor (17) antes de entrar num dispositivo de sopragem (18) após o que o gás entra no reator (14). De preferência o gás reciclado entra no dispositivo (18) antes de entrar no aquecedor (17) e o gás reciclado entra então no reator (14).

10 Apesar das melhorias da técnica, ainda há necessidade de um sistema para polimerização no estado sólido de PET pós-consumo, em batelada, que seja compacto e de fácil implementação, utilizando somente um reator como único vaso para cristalização, secagem e pós-condensação, tal sistema e o processo de reciclagem de PET a ele associado sendo descrito e reivindicado
15 no presente pedido.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

De um modo geral, a presente invenção trata de um sistema compacto para polimerização de PET pós consumo no estado sólido que compreende um reator e um desumidificador, a cristalização durante 0,5-3 horas a 150-210°C
20 sendo efetuada no reator isolado enquanto a secagem do PET durante 3-4 horas e a 150-200°C e a pós-condensação durante 2-20 horas e 200-250°C são efetuadas no reator acoplado ao desumidificador, que retira gases subprodutos de reação e seca os mesmos. A reação de pós condensação é efetuada em presença de um gás inerte aquecido que circula em sistema
25 fechado no circuito reator-desumidificador.

Alternativamente a reação pode compreender pressão reduzida.

A invenção trata ainda do processo de reciclagem de PET pós consumo efetuado com auxílio do sistema compacto descrito.

A invenção provê pois um sistema compacto para polimerização de PET
30 pós consumo no estado sólido que envolve um reator e um desumidificador que circula um gás inerte quente em circuito fechado no sistema compacto.

A invenção provê ainda um processo de reciclagem de PET pós consumo efetuado com auxílio do sistema compacto descrito, envolvendo cristalização e pós condensação a quente e em presença de gás inerte.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

5 A FIGURA 1 anexa é um esquema simplificado de uma modalidade do sistema compacto de polimerização no estado sólido conforme a invenção.

A FIGURA 2 anexa é um esquema simplificado de uma outra modalidade do sistema compacto da invenção utilizando pressão reduzida.

10 As FIGURAS 3A e 3B anexas são vistas em corte do reator de polimerização no estado sólido utilizado na invenção.

AS FIGURAS 4A e 4B anexas são detalhes da parte interna do reator de polimerização no estado sólido usado na invenção.

15 A FIGURA 5 anexa é um gráfico que ilustra o aumento de Viscosidade Intrínseca (V.I.) de PET pós-consumo utilizando como gás inerte N_2 à vazão de 0,5 a 3,0 m^3/h , a 200 a 250°C.

A FIGURA 6 anexa é um gráfico que ilustra o aumento de Viscosidade Intrínseca (V.I.) de PET pós-consumo utilizando como gás inerte CO_2 à vazão de 0,5 a 3,0 m^3/h , a 200 a 250°C.

20 A FIGURA 7 anexa é um gráfico que ilustra o aumento de Viscosidade Intrínseca (V.I.) de PET pós-consumo utilizando pressão absoluta de 30 a 0,2 mmHg, a 200 a 250°C.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

25 O sistema compacto da presente invenção se aplica na recuperação das propriedades mecânicas do PET reciclado, ou seja, recuperação da viscosidade intrínseca ou massa molar, através de processos de cristalização, secagem e polimerização no estado sólido nos "flakes" de PET. Isto é feito com fluxo de gás inerte (N_2/CO_2) ou vácuo sob temperatura.

30 O sistema compacto será usado em empresas ligadas à reciclagem de PET e/ou fabricação de fios têxteis (reforços internos de pneus) e embalagens (injeção de pré-forma, sopro de garrafas).

O processo consiste em cristalizar/secar e pós condensar o PET reciclado na forma de "flakes" em um reator projetado com sistema de aquecimento/ agitação adequado, adaptado a um equipamento tipo

desumidificador que opera continuamente aquecendo e recuperando o gás inerte (N_2/CO_2) usado na reação de SSP no PET. O equipamento desumidificador é usado atualmente só para secagem de PET.

5 Tipicamente as viscosidades intrínsecas do material de partida PET reciclado estão entre 0,60 e 0,72 dl/g. Após o processo da invenção a viscosidade intrínseca atinge 0,85 dl/g ou mais.

O material PET reciclado pode ser qualquer PET reciclado, como aquele oriundo de garrafas de refrigerante, sem estar limitado a este.

10 O aparelho desumidificador é um aparelho utilizado na secagem de polímeros através do ar atmosférico. O aparelho desumidificador é constituído de um soprador que circula o ar, um aquecedor que aquece o ar com controle automático de temperatura e um conjunto de peneiras moleculares para regeneração do ar atmosférico.

A invenção será descrita a seguir com referência às Figuras anexas.

15 O sistema compacto conforme uma modalidade da invenção para a polimerização de PET no estado sólido compreende, conforme a Figura 1, um reator (10) para SSP conectado a um desumidificador de ar (20). Um desumidificador típico opera com circuito fechado para o gás inerte, dutos (11) e (12) respectivamente de entrada e saída. O sistema compacto dispensa
20 reciclagem dos gases sub produtos da reação ou do gás inerte.

O sistema descrito na Figura 1 é utilizado na pós condensação do PET "flakes" para os testes utilizando gases de fluxo N_2 (nitrogênio) e CO_2 (gás carbônico); os testes são realizados separadamente e em regime de batelada.

25 Para melhor compreensão, o funcionamento do sistema da Figura 1 está descrito detalhadamente abaixo.

O desumidificador (20) fornece o gás aquecido à temperatura desejada com o controle sendo feito automaticamente (temperatura de 200 a 250°C tanto para o gás N_2 como para o gás CO_2) e vazão entre 3 e 100 m^3/h , tipicamente entre 0,5 e 3 m^3/h , que circula em sistema fechado saindo pelo duto de saída
30 (12) e retornando ao desumidificador (20) pelo duto de entrada (11).

A fração de fluxo de gás desejada para o reator (10) é obtida com auxílio do dispositivo denominado "direcionador de fluxo" (21) que retira parte da vazão do circuito do desumidificador (20) e direciona a mesma para o reator

(10) pelo duto de entrada (14) na vazão de 0,5 a 3,0 m³/h, sai pelo duto de saída (15) do reator (10) e retorna ao desumidificador (20). O direcionador de fluxo (21) é uma válvula.

5 A entrada e a saída de PET pós-consumo (19) e (18), respectivamente, referem-se à alimentação e descarga do reator (10), que opera em regime de batelada.

O reator (10) possui um sistema de agitação (conjunto de pás, eixo e distribuidor de gás) que promovem uma perfeita movimentação interna dos “flakes”.

10 As Figuras 4A e 4B apresentam detalhes do sistema de agitação do reator (10).

Para o aquecimento do corpo do reator (10) é usado um conjunto de resistências elétricas (não representadas), tipo cerâmica, dotadas de controle automático. Alternativamente outros sistemas de aquecimento disponíveis
15 comercialmente podem ser usados, como óleos mineral ou sintético.

A entrada (22) consiste em um sistema de reposição de gás (N₂ e CO₂) para repor perdas de gases durante o processo.

A Figura 2 ilustra esquematicamente uma outra modalidade da invenção em que um reator (10) de SSP é ligado a uma bomba de vácuo (13) para
20 efetuar a reação de pós condensação sob pressão reduzida.

O sistema descrito na Figura 2 é utilizado na pós condensação do PET “flakes” para o teste com pressão reduzida (vácuo) e realizado em regime de batelada.

O funcionamento desse sistema será detalhado a seguir.

25 Quando o processo de SSP para PET pós consumo é efetuado conforme o sistema da Figura 2 a pressão utilizada (absoluta) está entre 0,1 e 50 mmHg com uma pressão típica (absoluta) entre 0,2 e 30 mm Hg. Conforme essa modalidade, flocos de PET com V.I. mais baixa são introduzidos no reator (10) via a entrada (19) no topo do reator (10) e vácuo é feito no reator (10). O
30 reator (10) é aquecido com auxílio de resistências elétricas tipo cerâmica (não representadas). Com auxílio de uma bomba (13), através da saída (15) do reator (10) são retirados os gases sub produtos da reação, e após o tempo de

residência determinado para atingir o nível de V.I. desejado, os flocos de PET são retirados do reator (10) via a saída (18) no fundo do reator (10).

A bomba de vácuo (13) produz condições de pressão reduzida (vácuo) para promover a reação de pós condensação no PET "flakes". A entrada (19) e a saída (18) referem-se à alimentação e descarga do PET "flakes" do reator, respectivamente.

As Figuras 3, 4A e 4B ilustram o reator (10) útil para pós condensação de PET por SSP e detalhes para a realização da invenção.

Como já citado nas figuras 1 e 2, o reator de SSP visto nas Figuras 3A e 3B, geralmente designado pelo numeral (10), é utilizado nos testes de SSP do PET "flakes" com gases (N₂ e CO₂) e pressão reduzida (vácuo) e será descrito com detalhes.

A Figura 3A ilustra uma seção transversal do reator (10).

Conforme a Figura 3B, o reator (10) é de forma tubular e compreende, além das entradas (14) e (19) e saídas (15) e (18) já mencionadas: eixo de agitação (24), conjunto de pás (16) e distribuidor de gás inerte (17).

O conjunto de pás (16) compreende entre 3 e 6 pares de pás (16) afixadas simetricamente ao eixo (24). Um número preferido de pares de pás (16) é 4. O tamanho das pás é tal que ocupa praticamente toda a seção transversal do reator (10) e melhora a mistura da massa reacional de PET.

Alternativamente o conjunto de pás compreende 3 pás (16) afixadas simetricamente ao eixo (24).

O distribuidor (17) é colocado no fundo do reator (10) de cada lado do eixo (24) e é disposto de modo a formar um ângulo entre 60 e 100° com a parede do reator (10) para otimizar a vazão do gás inerte.

A alimentação do PET "flakes" é feita pela entrada (19) na parte superior do reator (10) e a descarga ao final do processo é feita pela saída (18) na base do reator (10).

Nas Figuras 4A e 4B são mostrados em detalhe respectivamente a pá de agitação (16) e o distribuidor de gases (17).

As pás de agitação (16) como podem ser vistas na Figura 4A possuem um dispositivo (23) de ajuste de ângulo que permite otimizar a agitação e transporte nos "flakes".

Assim que o gás entra no reator (10) através da entrada (14) na base do reator (10), incide sobre o dispositivo (17) que distribui o fluxo de gás uniformemente no reator (10), permitindo um contato perfeito entre o gás e os "flakes", removendo assim os subprodutos da reação.

5 O distribuidor de gases (17) consiste em peça metálica na forma de cone com n furos com diâmetro entre 0,2 e 2,0 mm por furo. O distribuidor (17) atua também como suporte do eixo de agitação (24), absorvendo as trepidações desse eixo (24).

10 O processo de SSP aplicado ao PET pós-consumo conforme a modalidade da Figura 1 compreende as seguintes etapas:

- a) Cristalização de PET (0,5 a 3 horas), temperaturas entre 150-210°C, sistema operando com reator (10);
- b) Secagem de PET (3 a 4 horas), temperaturas entre 150 –200°C, sistema operando com reator (10) e desumidificador (20);
- 15 c) Pós condensação do PET (2 a 20 horas) temperaturas entre 200-250°C, sistema operando com reator (10) e desumidificador (20).

Já o processo de SSP aplicado ao PET pós-consumo conforme a modalidade da Figura 2 compreende as seguintes etapas:

- a) cristalização de PET no reator (10) durante 0,5 a 3 horas, a temperaturas 20 entre 150 e 210°C;
- b) Secagem de PET no reator (10) acoplado a uma bomba de vácuo (13) durante 3 a 4 horas, a temperaturas entre 150-200°C;
- c) pós condensação de PET no reator (10) acoplado a uma bomba de vácuo (13) durante 2 a 20 horas, a temperaturas entre 200- 250°C.

25 A invenção será a seguir ilustrada pelos seguintes Exemplos, que não devem ser considerados limitativos.

Em todos os Exemplos, a V.I. foi determinada em um solvente misto 60/40 fenol/tetracloroetano a 30°C.

EXEMPLO 1

30 Este Exemplo ilustra a variação de viscosidade intrínseca para uma polimerização no estado sólido de flocos ("flakes") de PET pós consumo utilizando nitrogênio como gás inerte, a uma vazão de 0,5 a 3,0 m³/h, a uma temperatura de 200 a 250°C na etapa de pós condensação. O PET pós

consumo apresentava V.I. inicial de 0,70 dl/g (peso molecular numérico médio $M_n = 23.000$ a 24.000 g/mol, grau de polimerização $x_n = 123-124$). A Figura 5 ilustra este Exemplo. Após 16 horas de reação, a V.I. havia atingido 0,80 dl/g (peso molecular numérico médio $M_n = 28.000$ a 29.000 g/mol, grau de polimerização $x_n = 146-148$).

EXEMPLO 2

Este Exemplo ilustra a variação de viscosidade intrínseca para uma polimerização no estado sólido de flocos ("flakes") de PET pós consumo utilizando CO_2 como gás inerte, a uma vazão de 0,5 a $3,0$ m³/h, a uma temperatura de 200 a $250^\circ C$ na etapa de pós condensação. Verifica-se que após 8 horas de pós-condensação já é atingida uma V.I. de 0,85 dl/g (peso molecular numérico médio $M_n = 30.000$ a 31.000 g/mol, grau de polimerização $x_n = 160-162$). A Figura 6 ilustra este Exemplo.

EXEMPLO 3

Este Exemplo ilustra a variação de viscosidade intrínseca para uma polimerização no estado sólido de flocos ("flakes") de PET pós consumo utilizando vácuo de 30 a $0,2$ mm Hg e 200 a $250^\circ C$ na etapa de pós condensação. A Figura 7 ilustra este Exemplo. Verifica-se que após 14 horas de pós condensação é possível atingir V.I. de 0,85 dl/g ou mais (peso molecular numérico médio $M_n = 30.000$ g/mol ou maior, grau de polimerização $x_n = 160$ ou maior).

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA COMPACTO DE SSP PARA PET PÓS CONSUMO, caracterizado por que compreende um reator (10) de SSP conectado a um desumidificador (20), com gás inerte aquecido a temperaturas entre 200 e 250°C circulando em circuito fechado no sistema compacto, e onde:
 - a) O reator (10) é de forma tubular e dotado de entrada (19) e saída (18) para PET pós consumo, entrada (14) e saída (15) para gás inerte;
 - b) O desumidificador (20) é dotado de entrada (11) e saída (12) para gás inerte, além de entrada (22) para gás inerte de reposição;
 - c) A vazão de gás inerte circulando no sistema é regulada por dispositivo (21) de controle de fluxo que retira parte da vazão do circuito do desumidificador (20) via a saída (12) e direciona a mesma para o reator (10) pelo duto de entrada (14) na vazão de 3 a 100 m³/h, sai pelo duto de saída (15) do reator (10) e retorna ao desumidificador (20) via a entrada (12).
2. Sistema compacto de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que o gás inerte é nitrogênio.
3. Sistema compacto de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que o gás inerte é gás carbônico.
4. Sistema compacto de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que a vazão de gás inerte é entre 0,5 e 3,0 m³/h.
5. Sistema compacto de SSP para PET pós-consumo, caracterizado por que compreende um reator (10) conectado a uma bomba (13) de vácuo, e onde:
 - a) o reator (10) aquecido a temperaturas entre 200 e 250°C é dotado de entrada (19) e saída (18) para PET pós consumo, e saída (15) para sub produtos gasosos de reação;
 - b) a bomba (13) de vácuo opera a pressão absoluta entre 0,1 e 50 mmHg e retira os sub produtos da reação de SSP via a saída (15).

6. Sistema compacto de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por que a bomba (13) opera com pressão absoluta entre 0,2 e 30 mmHg.
7. Sistema compacto de acordo com as reivindicações 1 e 5, caracterizado por que o reator (10) é um reator tubular que compreende adicionalmente:
- 5 a) sistema de aquecimento;
- b) eixo de agitação (24);
- c) conjunto de pás (16) de agitação fixado ao eixo (24);
- d) distribuidor (17) de gases dotado de n furos.
- 10 8. Sistema compacto de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por que o sistema de aquecimento compreende resistências elétricas.
9. Sistema compacto de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por que o sistema de aquecimento compreende um óleo mineral ou sintético.
- 15 10. Sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por que cada pá (16) é afixada ao longo do eixo (24) simetricamente a uma outra pá (16), formando um conjunto.
11. Sistema de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por que há entre 3 e 6 conjuntos de pás (16).
- 20 12. Sistema de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por que há 4 conjuntos de pás (16).
13. Sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por que alternativamente o conjunto de pás (16) compreende 3 pás colocadas simetricamente ao eixo de agitação (24).
- 25 14. Sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por que o distribuidor (17) de gás é colocado no fundo do reator (10) de cada lado do eixo (24) e é disposto de modo a formar um ângulo entre 60 e 100° com a parede do reator (10) para otimizar a vazão do gás inerte.
- 30 15. Sistema de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por que adicionalmente o distribuidor (17) é dotado de n furos com diâmetro entre 0,2 e 2 mm.

16. Processo para reciclagem de PET com auxílio do sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que compreende as seguintes etapas:
- 5 a) Cristalizar PET reciclado com V.I. reduzida no reator (10) durante 0,5 a 3 horas e temperaturas entre 150-210°C;
- b) Secar PET durante 3 a 4 horas e temperaturas entre 150 –200°C, o reator (10) estando acoplado ao desumidificador (20);
- c) Pós condensar PET durante 2 a 20 horas, a temperaturas entre 200-250°C, o reator (10) estando acoplado ao desumidificador (20); e
- 10 d) recuperar PET com V.I. aumentada.
17. Processo de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por que as etapas b) e c) são efetuadas com circulação de gás inerte em circuito fechado.
18. Processo de acordo com as reivindicações 16 e 17, caracterizado por que adicionalmente a vazão de gás inerte circulando no sistema é regulada por dispositivo (21) de controle de fluxo que retira parte da vazão do circuito do desumidificador (20) e direciona a mesma para o reator (10) pelo duto de entrada (14) na vazão de 3 a 100 m³/h, sai pelo duto de saída (15) do reator (10) e retorna ao desumidificador (20).
- 15
19. Processo de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por que a vazão de gás inerte está entre 0,5 e 3,0 m³/h.
- 20
20. Processo de acordo com as reivindicações 17 e 18, caracterizado por que o gás inerte é nitrogênio.
21. Processo de acordo com as reivindicações 17 e 18, caracterizado por que o gás inerte é gás carbônico.
- 25
22. Processo para reciclagem de PET com auxílio do sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que compreende as seguintes etapas:
- a) cristalizar PET de V.I. reduzida no reator (10) durante 0,5 a 3 horas, a
- 30 temperaturas entre 150 e 210°C ;
- b) Secar PET no reator (10) acoplado a uma bomba de vácuo (13). durante 3 a 4 horas, a temperaturas entre 150 e 200°C;

- c) pós condensar PET no reator (10) durante 2 a 20 horas, a temperaturas entre 200 e 250°C, o reator (10) estando acoplado a uma bomba de vácuo (13); e
- c) recuperar PET com V.l. aumentada.

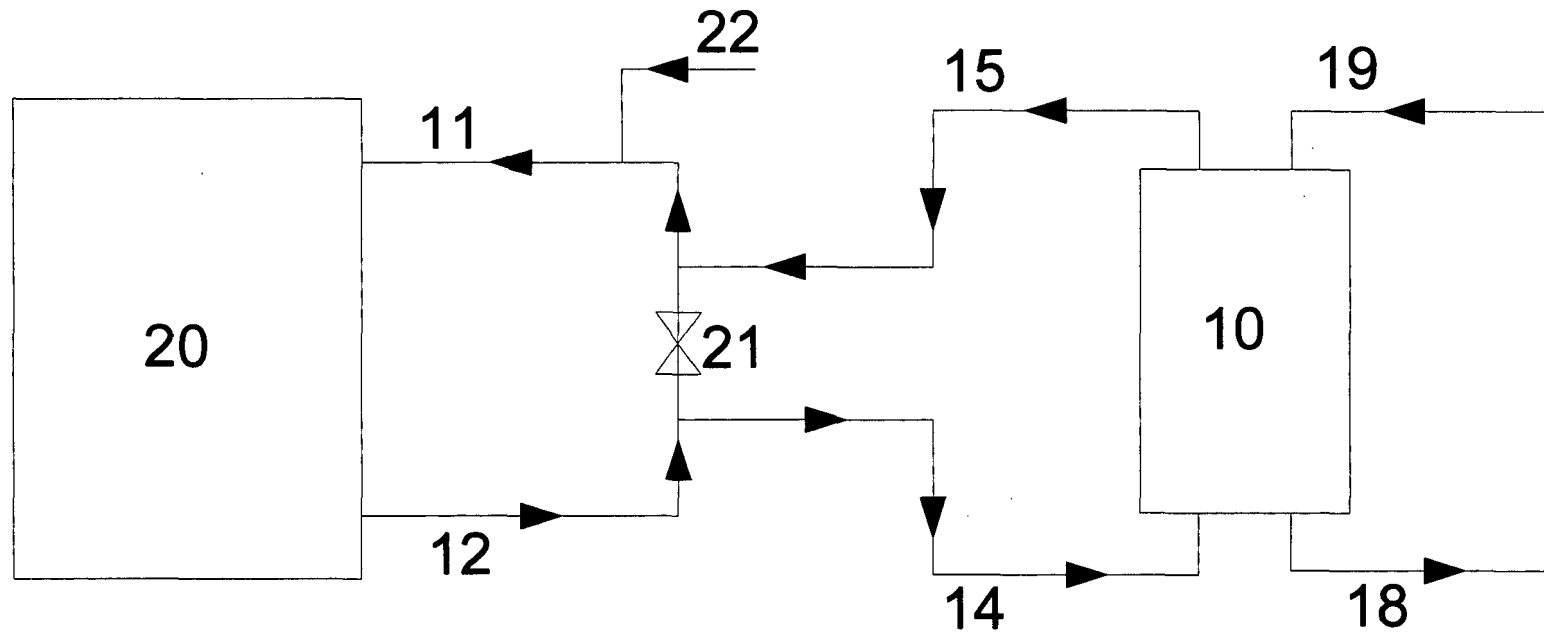


FIGURA 1



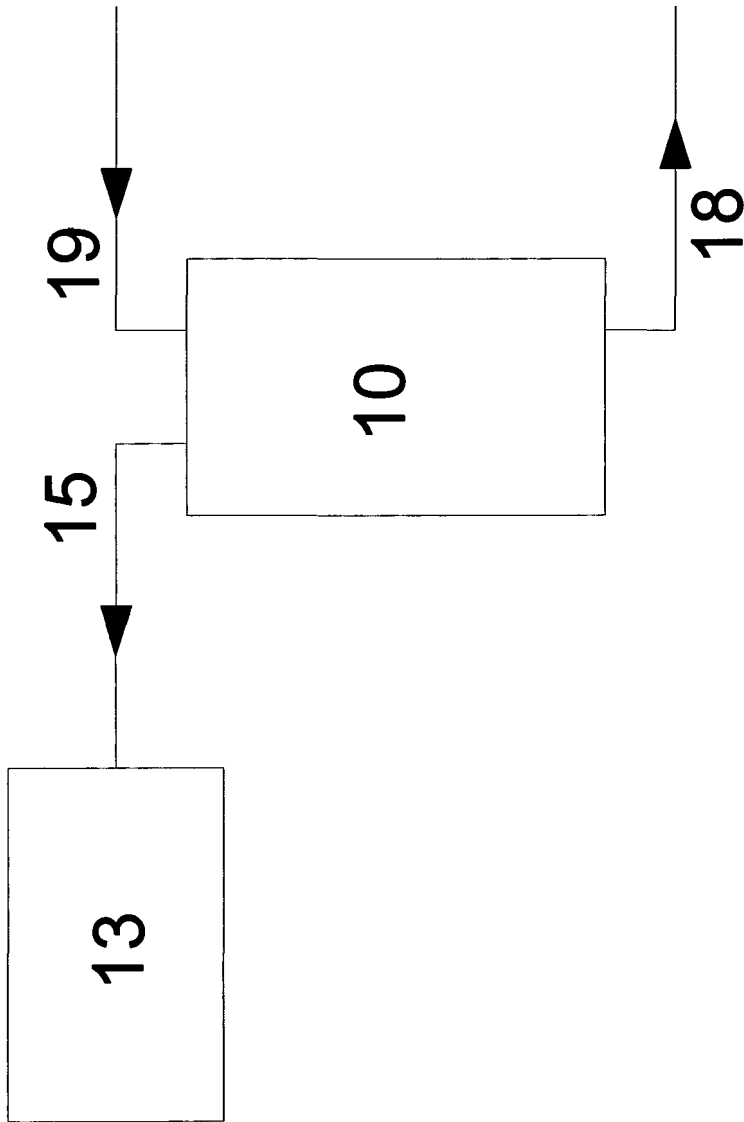


FIGURA 2

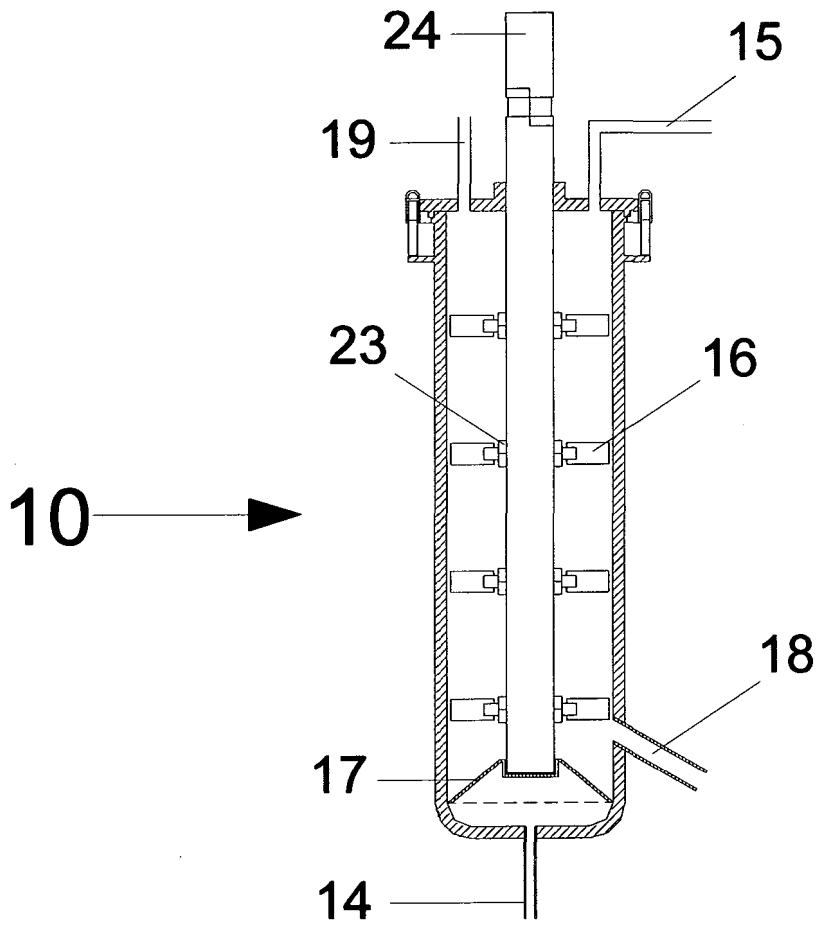
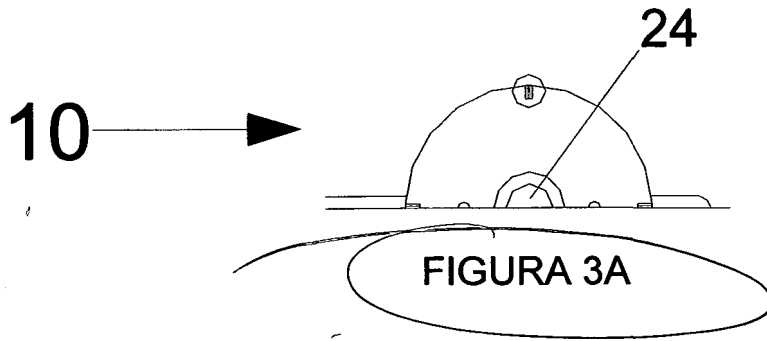


FIGURA 3B

FIGURA 3

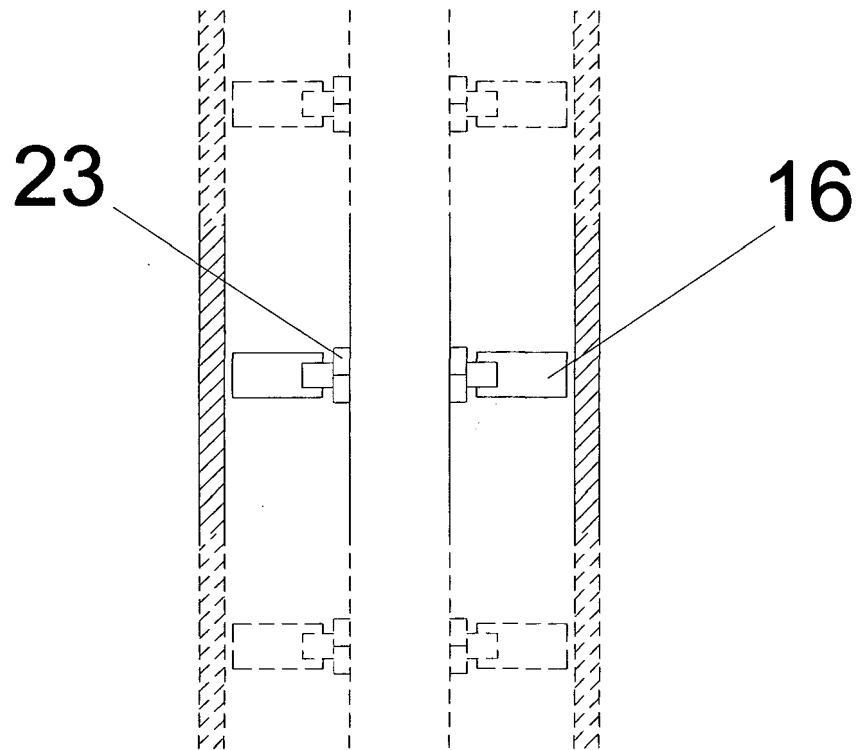


FIGURA 4A

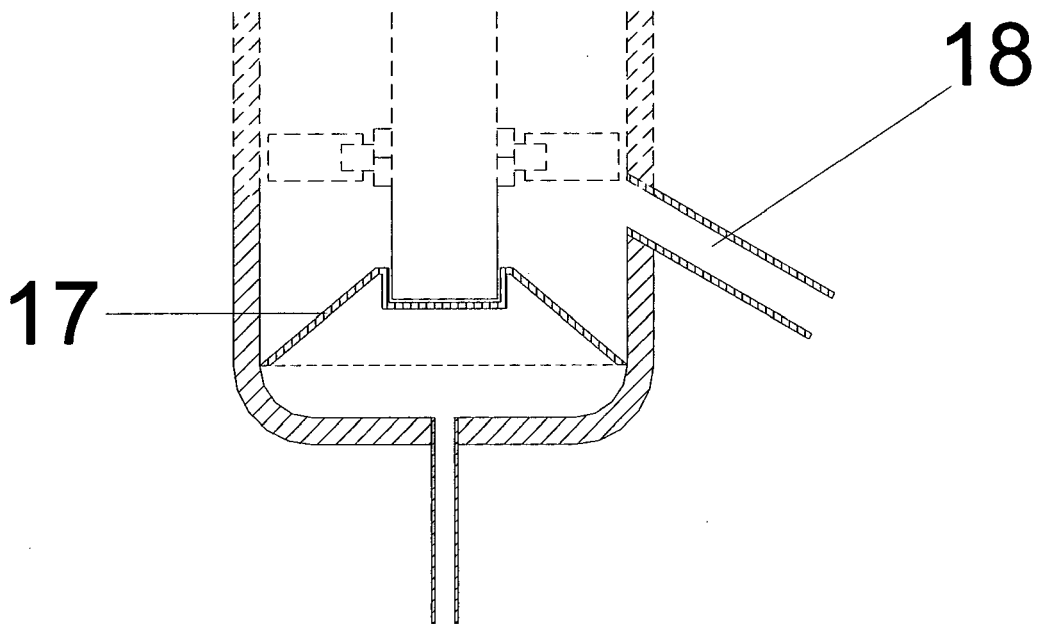


FIGURA 4B

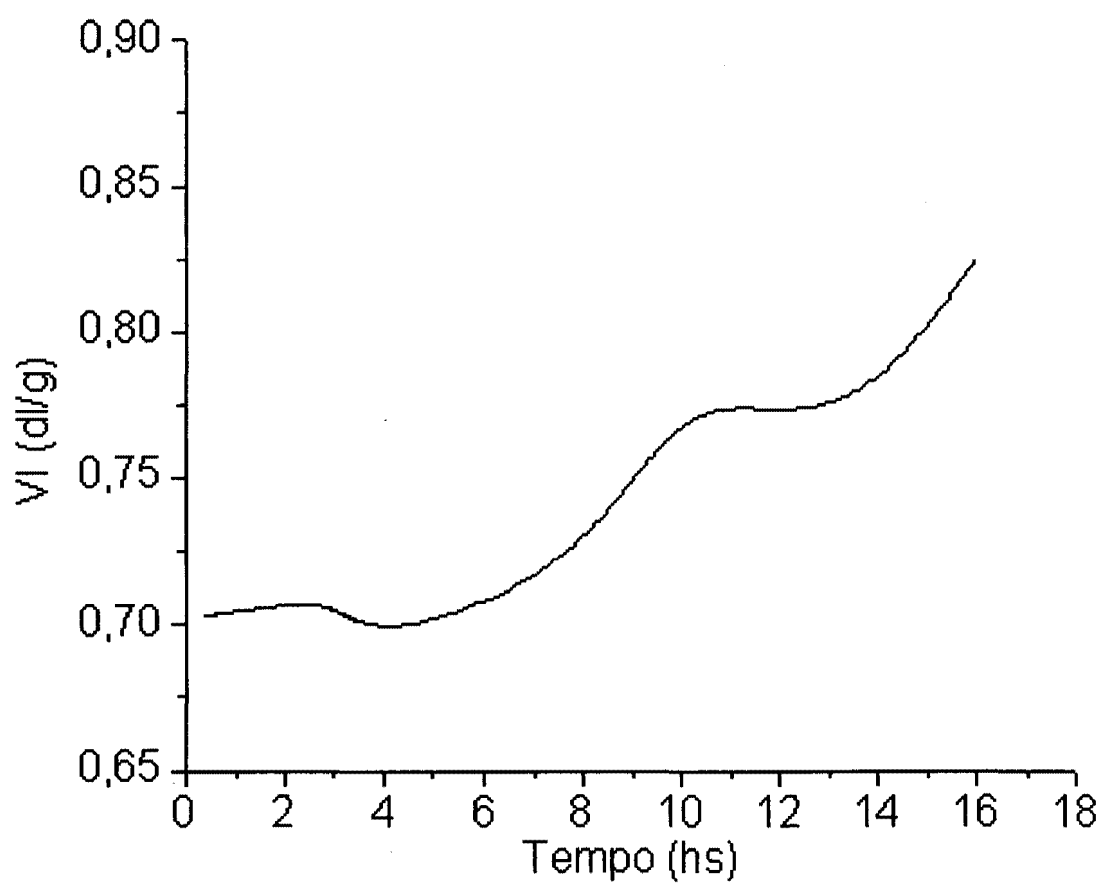


FIGURA 5

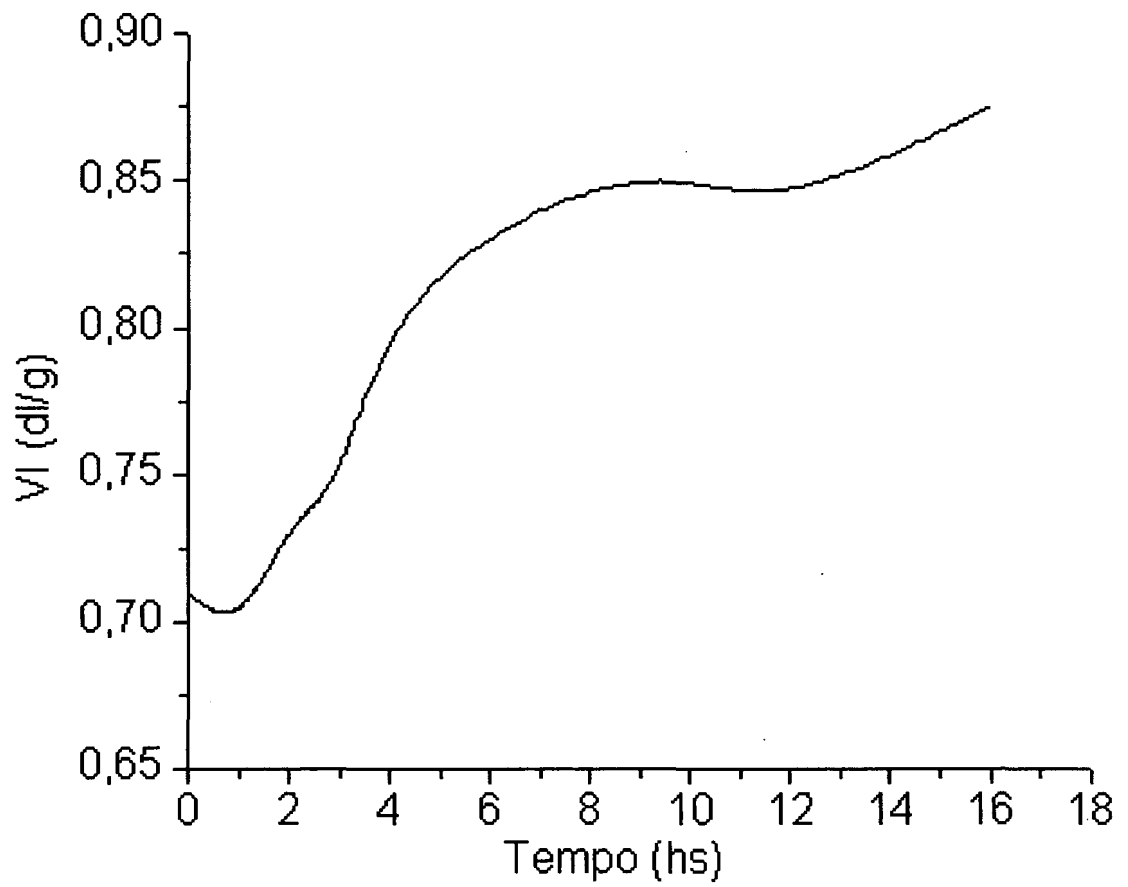


FIGURA 6

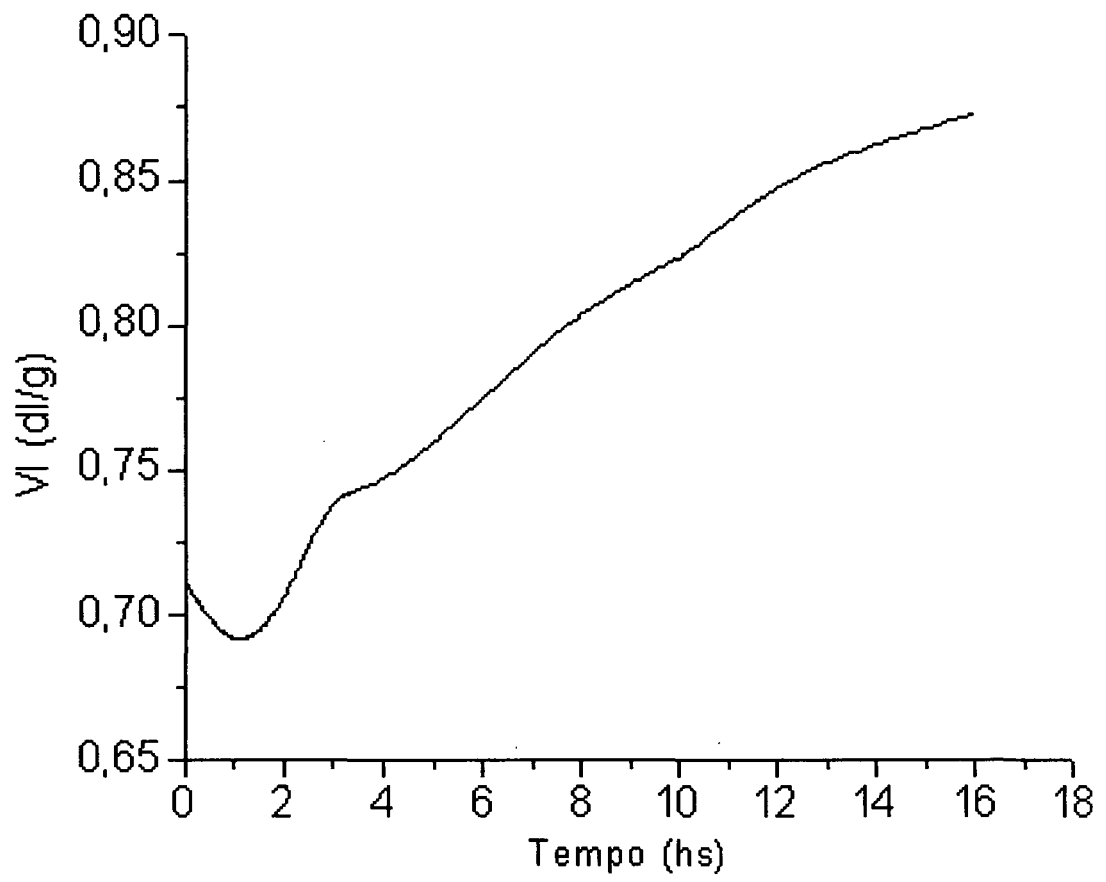


FIGURA 7

RESUMO

SISTEMA COMPACTO DE SSP PARA PET PÓS CONSUMO E PROCESSO PARA RECICLAGEM DE PET UTILIZANDO DITO SISTEMA

É descrito um sistema compacto de SSP para PET pós consumo que
5 compreende um reator (10) para efetuar reação de pós condensação de PET em presença de um gás inerte, o reator (10) estando conectado em certas etapas do processo a um desumidificador (20) de ar, com o gás inerte circulando desse reator (10) para o desumidificador (20) em circuito fechado. Alternativamente o reator (10) de SSP está ligado a um dispositivo (13)
10 de redução de pressão. A invenção diz respeito ainda ao processo para reciclagem de PET utilizando o sistema descrito que compreende cristalização do PET em flocos durante 0,5-3 horas a 150-210°C no reator (10), a cristalização sendo seguida de etapas onde o reator (10) está ligado ao desumidificador (20), a saber, secagem durante 3-4 horas a 150-200°C e pós-
15 condensação durante 2-20 horas a 200-250°C.