



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

(11) PI 0603403-9 B1

(22) Data do Depósito: 24/08/2006

(45) Data de Concessão: 06/02/2018



(54) Título: SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE

(51) Int.Cl.: F04D 15/00

(73) Titular(es): PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS

(72) Inventor(es): ENIO VON HAEHLING LIMA; GUILHERME VASCONCELLOS MARTINS; JOSÉ LUIZ DE SENA PAZ; EUDIFRAN COELHO CAETANO; MURILLO TERROSO ROMEIRO

**SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO
AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA
AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE**

Campo da invenção

5 A presente invenção refere-se a um sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle, o qual tem por objetivo ajustar automaticamente uma bomba centrífuga ao seu ponto ótimo de operação, com conseqüente redução da potência requerida pela bomba e dos esforços mecânicos exercidos sobre ela.

10 O sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle pode ser adaptado, a custos competitivos, à maioria dos sistemas de bombeio de instalações industriais, em especial aqueles regulados por válvula de controle a qual restringe o fluxo na descarga da bomba. Apresenta especial aplicação nos processos nos quais o controle da vazão, unicamente pela variação de rotação, torna-se inviável ou pouco preciso.

Fundamentos da invenção

20 Existem inúmeras bombas centrífugas em sistemas industriais que, por força de projeto, trabalham numa faixa de operação muito abaixo do ponto de melhor eficiência, conhecido pelos especialistas pela sua sigla na língua inglesa **BEP** - Best Efficiency Point, quer seja durante as partidas das unidades, quer seja ao longo do seu funcionamento. A conseqüência desse regime inadequado de operação é um aumento excessivo de vibração com conseqüente desgaste prematuro das bombas.

25 A vazão de uma bomba centrífuga, instalada em uma planta de processo industrial, é usualmente controlada pela abertura ou fechamento de uma válvula de controle, situada à jusante da bomba. Assim, se a vazão diminui, um sensor de vazão detecta essa variação e envia um sinal

30

a um controlador, o qual envia um outro sinal para que a válvula de controle seja aberta. No caso inverso, quando a vazão aumenta, a válvula de controle recebe um sinal para fechar.

Na maioria das situações de operação, a válvula de controle trabalha restringindo o fluxo na descarga da bomba. Ao receber toda a energia gerada pelo impelidor da bomba, em rotação nominal, mas sem conseguir escoar, em função do fechamento da válvula de controle a jusante da bomba, o fluido toma direções aleatórias dentro da voluta da bomba e até mesmo muda de estado. Este fenômeno, também conhecido como recirculação interna, provoca grandes esforços, choques de pressão e desgaste nos componentes da bomba, em especial nos selos mecânicos e rolamentos.

Com o objetivo de reduzir o desgaste excessivo causado por um regime inadequado de operação, as normas 610 e 682 do American Petroleum Institute preconizam o reforço no projeto das bombas habilitando-as a resistir melhor à sobrecarga. Algumas indústrias tentam limitar as variáveis de processo visando a reduzir a grande defasagem entre as condições de operação e aquelas ideais para o funcionamento das bombas.

O desafio, portanto, é idealizar um novo sistema de controle capaz de fazer uma bomba centrífuga operar, de forma automática, sempre nas regiões de melhor eficiência, com conseqüente redução do consumo de energia e, principalmente, dos esforços mecânicos nos seus componentes.

Esta invenção fundamenta-se, portanto, na aplicação de um tipo de controle capaz de atuar, de forma automática, na rotação de uma bomba, simultaneamente com uma válvula de controle, de modo a manter a bomba funcionando sempre próxima à região da melhor eficiência.

Técnica relacionada

Já existem no mercado, há alguns anos, bombas centrífugas acionadas por motores elétricos com rotação variável. A variação de

rotação destas bombas implica a variação da vazão e da pressão, o que permite o controle de parâmetros em um processo industrial.

O documento de patente **US 6.464.464B2** apresenta um sistema de controle de bomba centrífuga, por variação de rotação, em função de um conjunto de sensores, sistema esse o qual permite controlar a pressão ou vazão de descarga da bomba. Entretanto, esta aplicação está restrita a sistemas que utilizam bombas centrífugas cujas curvas características pressão (altura manométrica) versus vazão, possuem inclinação suficiente ao longo de toda a faixa de operação do processo. Esta condição se faz necessária para permitir o controle preciso da vazão por intermédio da variação de rotação.

Nos casos nos quais as curvas do sistema são muito planas, ou seja, de inclinação insuficiente, e as curvas das bombas também são curvas muito planas, o controle do processo através da variação de rotação é impreciso e inseguro para as bombas. Impreciso porque pequenas variações de rotação corresponderão a grandes variações de vazão e inseguro porque uma pequena redução de rotação pode levar uma bomba a operar com vazão nula, em função da carga estática do sistema, condição esta extremamente prejudicial para a bomba.

A outra situação na qual é inviável o controle do processo unicamente pela variação da rotação é em sistemas com carga estática negativa, ou seja, a coluna estática, por si só, é capaz de manter um fluxo mínimo, que independe da rotação da bomba, o que inviabiliza o controle exclusivamente pela variação de rotação. Nestes casos, de carga estática negativa, a bomba é utilizada apenas para complementar a vazão requerida pelo processo.

Não se conhecem, no estado da técnica, sistemas de controle que utilizam a variação de rotação, associada a válvulas de controle a jusante de bombas centrífugas, com o objetivo da obtenção de um efeito novo e altamente desejável que é o funcionamento da bomba, de forma

automática, na região de melhor eficiência.

O sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle, objeto da presente invenção, tem como objetivo criar um novo conceito de controle automático, preciso e confiável, com aplicação em processos envolvendo bombas centrífugas em geral, e em especial, para aqueles com as características anteriormente citadas, quais sejam:

- processos com curvas dos sistemas de bombeio acentuadamente planas nas regiões de trabalho, com ou sem carga estática elevada; simultaneamente com bombas com curvas características acentuadamente planas nas regiões de trabalho; ou
- sistemas de bombeio com cargas estáticas negativas.

Sumário da invenção

A presente invenção refere-se a um sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle, aplicado aos sistemas de bombeio os quais se utilizam desse tipo de bomba. O controle de rotação é utilizado em conjunto com o controle por válvula de controle, para corrigir as variações do ponto de operação da bomba, para que esta opere na região de melhor rendimento. O sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle pode ser aplicado a instalações industriais novas (projetos) ou em instalações industriais já em operação, que utilizem sistemas de controle unicamente por válvula de controle, com a implementação de algumas pequenas modificações.

Breve descrição dos desenhos

A invenção será agora apresentada mais detalhadamente, em conjunto com os desenhos abaixo relacionados, os quais, meramente a título de exemplo, acompanham o presente relatório, do qual é parte integrante, e nos quais:

A Figura 1 apresenta o esquema da concretização preferida para o sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle, objeto da presente invenção.

5 A Figura 2 apresenta um gráfico de pressão (altura manométrica) *versus* vazão, para um sistema de bombeio típico, para melhor compreensão da atuação do sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle.

10 **Descrição detalhada da concretização preferida da invenção**

A Figura 1 apresenta a concretização preferida para o sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bombas centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1). Nesta concretização o sistema de controle de processo por meio da
15 variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) compreende um transmissor de vazão (2), uma válvula de controle (3), um controlador de vazão (4), um transmissor de temperatura (5), um controlador de posição (6), um regulador de rotação (7) e uma pluralidade de cabos de instrumentação
20 (8). Na Figura 1 também estão representados: uma bomba centrífuga (9), acionada por um motor elétrico (10), e uma pluralidade de tubos (11), componentes de um sistema de bombeio típico de uma instalação industrial, os quais são parte do sistema controlado e não fazem parte da presente invenção. O transmissor de vazão (2) tem por finalidade
25 transmitir um sinal, representativo da vazão do sistema, a um controlador de vazão (4) e o transmissor de temperatura (5) tem por função transmitir um sinal representativo da temperatura do fluido bombeado, ao controlador de vazão (4). O controlador de vazão (4) recebe o sinal do transmissor de vazão (2), compara-o com um ponto de ajuste, previamente
30 estabelecido, e produz um sinal para ajuste da abertura de uma válvula de

controle (3), o que permite o controle da vazão do sistema. O sinal do transmissor de temperatura (5) é utilizado para compensar o sinal de vazão em função da temperatura do fluido. O controlador de posição (6) recebe o sinal de posição de abertura da válvula de controle (3), enviado
5 pelo controlador de vazão (4) e, em função desse sinal, envia um sinal de controle de rotação para o regulador de rotação (7). O regulador de rotação (7) atua no motor elétrico (10) de modo a manter a rotação da bomba centrífuga (9) num valor tal que mantenha a abertura da válvula de controle (3) numa faixa pré-determinada, de acordo com as características
10 da bomba (9) e da válvula de controle (3). Os cabos de instrumentação (8) têm por função a transmissão dos sinais de controle e monitoração entre os diversos componentes do sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bombas centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1).

15 O gráfico da Figura 2 permite visualizar o efeito da atuação do sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1). Supõe-se que a bomba esteja operando na rotação (n_1) e a abertura da válvula de controle (3) posicione a curva do sistema em (a_3).
20 Dessa forma, o ponto de operação é (p_1) o qual corresponde à vazão (q_1). Se a variação das condições do processo faz a vazão diminuir e o sistema passa a operar no ponto (p_2), o controlador de vazão (4) envia um sinal para abrir a válvula de controle (3) o que provoca o restabelecimento da vazão desejada. De modo inverso, se a variação das condições do
25 processo faz a vazão aumentar e o sistema passa a operar no ponto (p_3), o controlador de vazão (4) envia um sinal para fechar a válvula de controle (3). No modo mais usual para o controle da bomba, o controlador de vazão (4), abre e fecha a válvula de controle, o que faz com que a curva do sistema varie e assuma diversos padrões que variam, por exemplo, de
30 (a_1) a (a_4). O sistema de controle de processo por meio da variação

12

automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1), objeto da presente invenção, atua também na rotação do motor elétrico (10) da bomba centrífuga (9), o que faz com que a curva da bomba varie, por exemplo, entre as curvas (n1) e (n4). Isso

5 permite restringir a faixa de abertura e fechamento da válvula de controle (3), para controlar o sistema, o que permite a operação da bomba em regiões mais adequadas, que causem menos esforços em seus componentes. Em função das características de cada sistema controlado e dos equipamentos utilizados, pode ser estabelecida uma região de melhor

10 eficiência para operação da bomba centrífuga (9), delimitada entre uma faixa de abertura da válvula de controle (3) e uma faixa de variação de rotação da bomba centrífuga (9). Na Figura 2 essa faixa está delimitada entre as curvas (a2) e (a3) e as curvas (n1) e (n4). O sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba

15 centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) é ajustado para atuar da seguinte forma: enquanto a válvula de controle estiver posicionada numa faixa pré-estabelecida, a bomba centrífuga (9) permanece em operação, em rotação constante, e a vazão é regulada pela variação de posição da válvula de controle (3). A partir do momento que a

20 válvula de controle (3) recebe um sinal de posição para operar fora da faixa pré-estabelecida, o controle de rotação atua do seguinte modo: se a válvula de controle (3) fecha além da faixa, o controlador de posição (6) envia um sinal para o regulador de rotação (7) diminuir a rotação do motor elétrico (10) da bomba centrífuga (9), até que o posicionamento da válvula

25 de controle (3) retorne para a faixa pré-estabelecida. Se a válvula de controle (3) abre além da faixa pré-estabelecida, o controlador de posição (6) envia um sinal para aumentar a rotação do motor elétrico (10) da bomba centrífuga (9), até que a válvula de controle (3) retorne para a faixa pré-estabelecida.

30 Convém mencionar que o transmissor de vazão (2), a válvula de

13

controle (3), o controlador de vazão (4) e o transmissor de temperatura (5) são componentes típicos de um sistema de controle de vazão convencional, em sistemas de bombeio de instalações industriais. O caráter inovador do sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) é associar um sistema convencional de controle de vazão por válvula de controle (3) com o controle da rotação do motor elétrico (10) da bomba centrífuga (9), por intermédio de um controlador de posição (6) e um regulador de rotação (7). Isso permite que o sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) seja utilizado em sistemas de bombeio de instalações industriais já em operação, bastando que sejam instalados mais dois componentes, quais sejam, um controlador de posição (6) e um regulador de rotação (7). É evidente que o sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) pode ser empregado também em projetos de novas instalações industriais. 14

Entre algumas vantagens da utilização do sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) podem ser citadas: o aumento da confiabilidade do sistema de bombeio como um todo, em especial da bomba centrífuga (9), o aumento do tempo entre paradas para reparo da bomba centrífuga (9), com conseqüente redução do gasto de mão-de-obra e de estoques de sobressalentes, a redução do consumo de energia e a redução da emissão de ruído.

Os elementos que integram o sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1), objeto da presente invenção, empregam materiais, componentes, instrumentos e equipamentos

conhecidos no estado da técnica. Por consequência, os equipamentos podem utilizar tecnologia analógica ou digital e empregar componentes conhecidos no estado da técnica, tais como placas de circuito impresso, microprocessadores, placas conversoras e placas de memória. Os

5 controladores podem ser implementados por componentes discretos ou por intermédio de software, por exemplo, em um sistema digital de controle distribuído. Todavia, o arranjo agora proposto constitui um conjunto novo e inovador.

13

10 Cabe ressaltar que o número de componentes e seu posicionamento relativo no sistema de controle de processo por meio da variação automática de rotação de bomba centrífuga associada ao posicionamento de válvula de controle (1) não podem ser considerados como limitantes da presente invenção, e são apresentados com o intuito de mostrar a viabilidade de sua concretização.

15 A invenção foi aqui descrita em relação a sua concretização preferida, não estando, porém, a ela limitada. Assim, a presente invenção está apenas limitada ao conteúdo das reivindicações que seguem, as quais a definem em todo seu conteúdo.

REIVINDICAÇÕES**1. SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE, caracterizado**

5 **por** compreender os seguintes componentes:

- um transmissor de vazão (2) o qual tem por função transmitir um sinal, representativo da vazão do fluido bombeado, a um controlador de vazão (4);

10 - um transmissor de temperatura (5) o qual tem por função transmitir um sinal representativo da temperatura do fluido bombeado, a um controlador de vazão (4), para compensar o sinal de vazão em função da temperatura do fluido;

15 - um controlador de vazão (4) o qual tem por função receber o sinal do transmissor de vazão (2), compará-lo a um ponto de ajuste, previamente estabelecido, e produzir um sinal para ajuste da abertura de uma válvula de controle (3), o que permite o controle da vazão do sistema;

20 - um controlador de posição (6) o qual tem por função receber o sinal de posição, enviado pelo controlador de vazão (4) para a válvula de controle (3), e enviar um sinal de controle de rotação para um regulador de rotação (7);

- um regulador de rotação (7), o qual tem a função de manter a rotação de uma bomba no valor pré-estabelecido pelo controlador de posição;

25 - uma pluralidade de cabos de instrumentação (8) os quais têm por função a transmissão dos sinais de controle e monitoração.

2. SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE, de acordo com a

30 reivindicação 1, **caracterizado por** utilizar um único controlador programável, para realizar as funções do controlador de vazão (4) e do

16

controlador de posição (6).

3. SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE, de acordo com a

5 reivindicação 1, caracterizado por utilizar um único transmissor para realizar as funções do transmissor de vazão (2) e do transmissor de temperatura (5).

4. SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA

10 **AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE,** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar um único controlador programável, pra realizar as funções do controlador de posição (6) e do regulador de rotação (7).

5. SISTEMA DE CONTROLE DE PROCESSO POR MEIO DA VARIAÇÃO

15 **AUTOMÁTICA DE ROTAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA ASSOCIADA AO POSICIONAMENTO DE VÁLVULA DE CONTROLE,** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar um sistema digital de controle distribuído para realizar as funções do controlador de vazão (4), do controlador de posição (6) e do regulador de rotação (7).

11

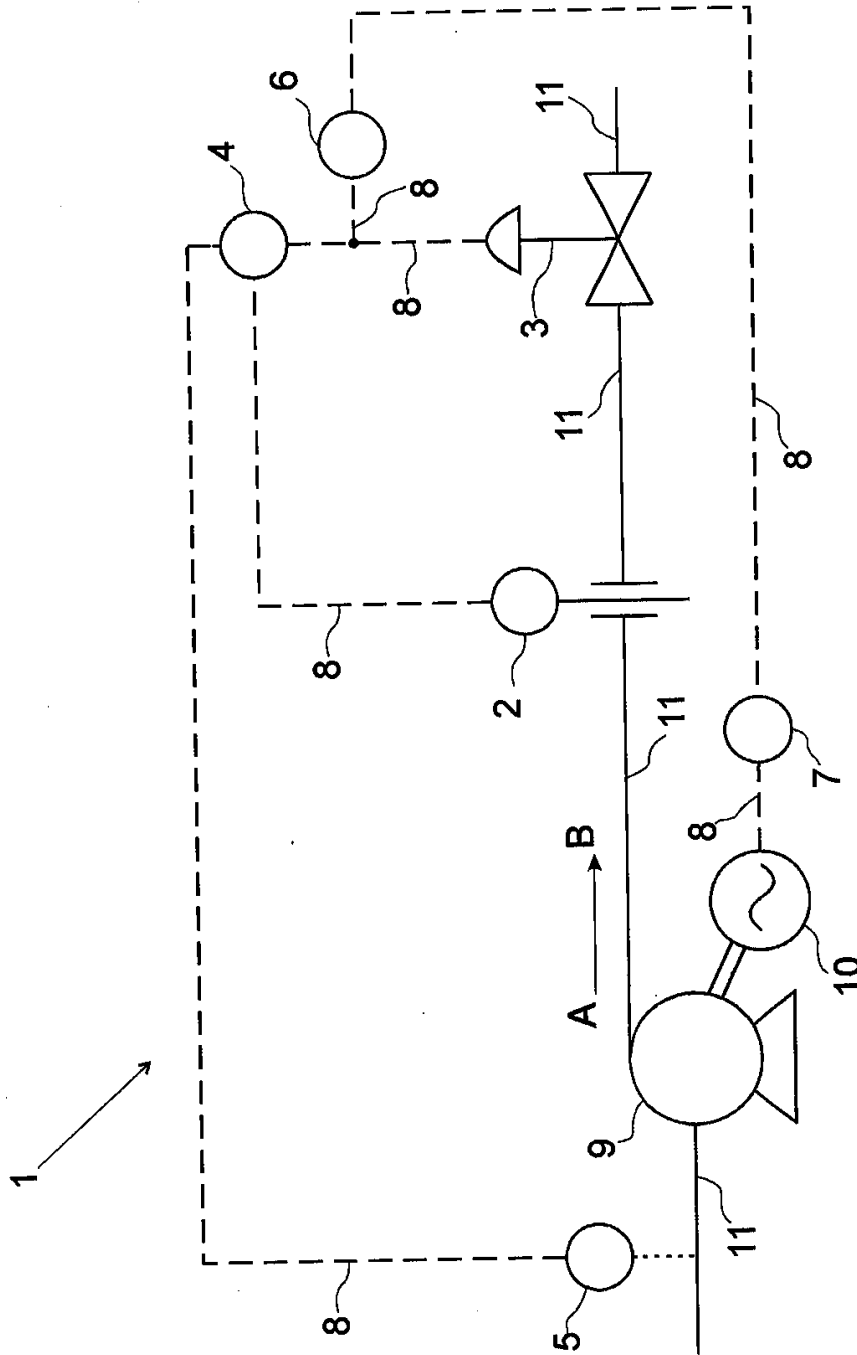


FIG. 1

18

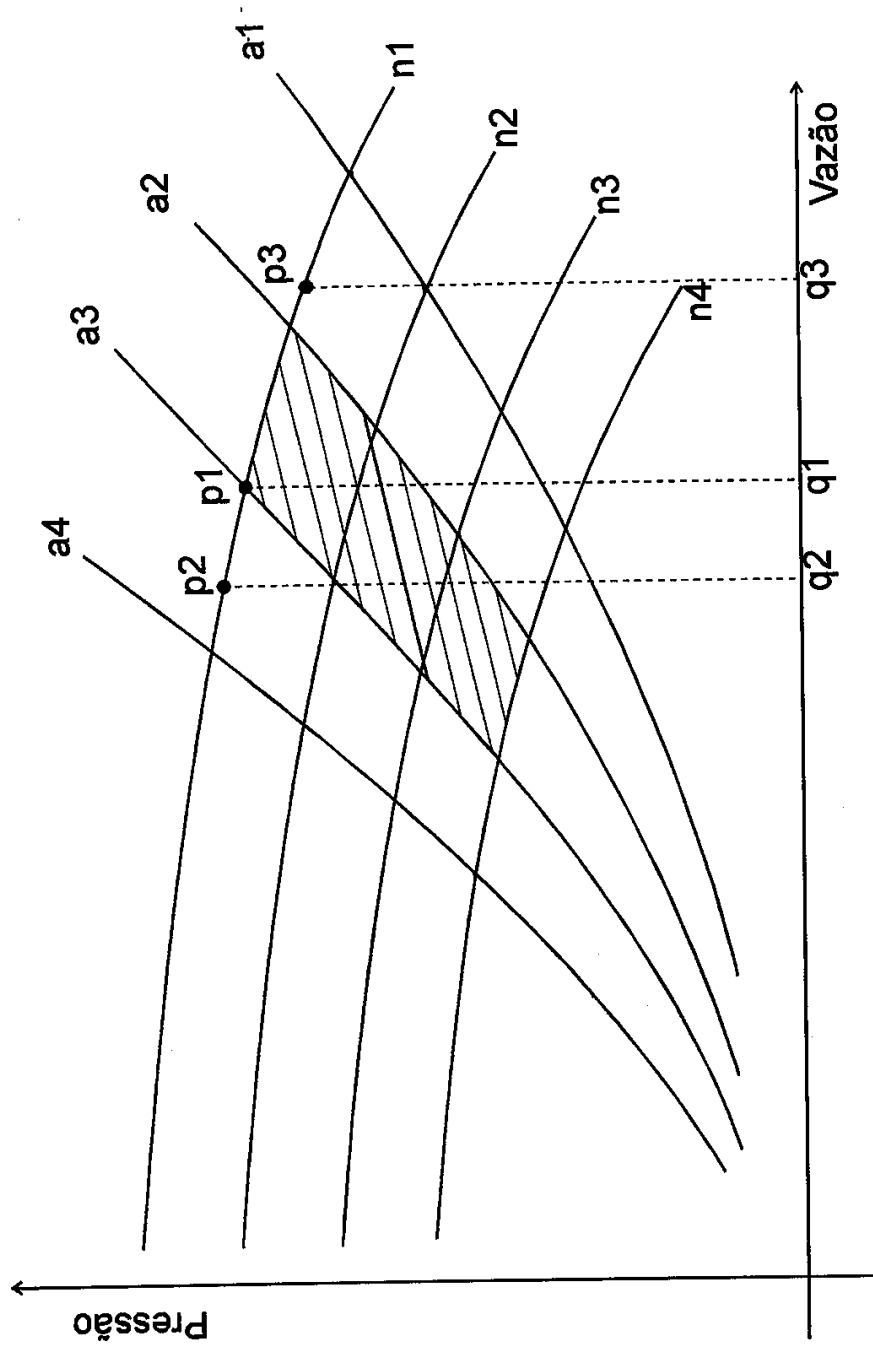


FIG. 2

12