



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

(21) BR 102019015247-8 A2



(22) Data do Depósito: 24/07/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 24/12/2019

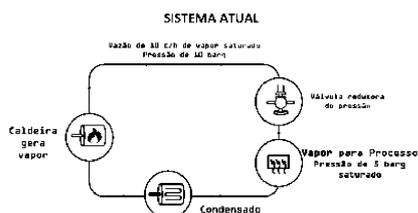
(54) **Título:** SISTEMA E MÉTODO DE CONTROLE DE PRESSÃO COM REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO UTILIZANDO TURBINA REDUTORA DE PRESSÃO

(51) **Int. Cl.:** F01K 1/00; F01K 27/00.

(71) **Depositante(es):** COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL; COMPANHIA PIRATININGA DE FORÇA E LUZ; COMPANHIA JAGUARI DE ENERGIA ? CJEE; RGE SUL DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A.; PROSUMIR APROVEITAMENTO ENERGÉTICO LTDA.

(72) **Inventor(es):** JULIO CESAR DA SILVA FREITAS VIEIRA; ANDRÉ LUIS RIBEIRO THOMAZONI.

(57) **Resumo:** A presente invenção se refere a um sistema e método para o reaproveitamento energético em sistemas com vapor vinculados a processos industriais, utilizando turbinas a vapor para rebaixamento de pressão e/ ou substituição de válvulas redutoras de pressão. Como característica principal do depósito, o controle para manter a pressão de saída do vapor do sistema da turbina fixa, operação similar de uma válvula redutora, variando a potência de energia elétrica reaproveitada (e outros parâmetros) em função da variação de pressões e vazão de vapor solicitadas pelo processo industrial.



**“SISTEMA E MÉTODO DE CONTROLE DE PRESSÃO COM REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO UTILIZANDO TURBINA REDUTORA DE PRESSÃO”**

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção se refere a um sistema e método de controle de pressão utilizando turbinas redutoras de pressão com reaproveitamento energético. A presente invenção se situa nos campos da Engenharia Mecânica, mais especificamente no campo voltado ao estudo de turbinas hidráulicas, a gás e a vapor.

Antecedentes da Invenção

[0002] Atualmente, alguns clientes industriais e de poder público com uso extensivo em energia, com ênfase em sistemas térmicos com vapor, como petroquímicas, papel e celulose, siderúrgicas, termelétricas, alimentos, comércios, hotéis e hospitais possuem desperdícios de energia relevantes, causando a ineficiência do processo, aumento de custos operacionais e diminuição da competitividade. Uma grande fonte de desperdício de energia são os processos de redução de pressão em fluidos de processo. O vapor produzido por caldeiras, é um dos principais fluidos utilizados em sistemas térmicos. O rebaixamento de pressão do vapor em processos é uma operação comum e necessária para o funcionamento do sistema. Estas reduções de pressão, que atualmente são realizadas por válvulas redutoras, geram uma grande perda de energia na forma de calor (perda de carga). Para solucionar este problema, é proposto um sistema e método de controle de pressão que emprega uma Turbina Redutora de Pressão (TRP), um turbo-gerador a vapor compacto e desenvolvido especificamente para controlar a pressão, que

executa a mesma função operacional da válvula e tem o benefício de aproveitar o desperdício de energia para a geração de energia elétrica (diferença de entalpia entre a entrada e saída do vapor da TRP), promovendo a geração de energia renovável, eficiência energética, sustentabilidade, conhecimento do processo e redução de custo operacional.

[0003] De acordo com a EPE, 2014, estima-se que no Brasil é desperdiçado cerca de U\$ 3,8 bi/ano em processos que envolvem calor. Segundo a ABESCO, 2016, o mercado brasileiro de eficiência energética tem um potencial estimado de negócios que pode superar R\$ 60 bi. No Brasil, aproximadamente 20% das indústrias utilizam sistemas térmicos com vapor, ou seja, mais de 70.000 mil indústrias. Destas indústrias, a maioria possui mais de uma válvula redutora em seu processo. Em nível mundial, nenhuma empresa destina-se apenas na substituição de válvulas redutoras pela TRP, atuando neste nicho de mercado que exige o conhecimento de turbinas e processos industriais.

[0004] Atualmente, grandes fabricantes têm como foco a fabricação de grandes equipamentos para geração de energia, com potências acima de 1 MW. Não foi mapeado empresas com foco exclusivo em aproveitamento energético, mais precisamente em substituição por válvulas redutoras de pressão. Estes fabricantes poderiam entrar no mercado de TRP, mas para isto seria necessária toda uma mudança de foco e planejamento estratégico, uma vez que seria necessário desenvolver um projeto de produto específico para controlar a pressão, os requisitos de projeto seriam totalmente diferentes (nova carteira de clientes) e também seria

necessário alterar suas estruturas produtivas de poucos equipamentos de grande porte para diversos equipamentos de pequeno porte.

[0005] A Nível mundial, é conhecida a turbina a parafuso helicoidal desenvolvida pela empresa chinesa HD, que opera exclusivamente com vapor e substituindo válvulas redutoras, possuindo uma solução dedicada para redução e controle de pressão. Este modelo de turbina é utilizado em diversas aplicações como, líquidos contaminados, vapores contaminados, ar quente, vapor saturado, gás natural e etc. No entanto, processos industriais que utilizam a válvula redutora, em sua maioria apresentam variações nas vazões de vapor, variação da pressão na entrada e necessitam de controle da pressão de saída, situações que a turbina a parafuso não atende satisfatoriamente.

[0006] A Geração Distribuída (GD), caracterizada por gerações de pequeno porte, tipicamente inferior a 30 MW (GAS RESEARCH INSTITUTE,1999) vem ganhando destaque na sociedade contemporânea, na qual os desperdícios energéticos são cada vez menos tolerados. Dentro da GD existe um grande potencial de aproveitamento energético para geração elétrica em escala classificada como micro (abaixo de 75 kW) e mini (entre 75 kW e 1 MW). Em muitos casos, esses aproveitamentos são inviabilizados por questões econômicas, mas atualmente vários países buscam incentivar sua utilização. No Brasil, por exemplo, foi aprovada pela ANEEL a resolução normativa nº 482/2012 e 687/2015.

[0007] Poucos estudos foram encontrados durante o período de desenvolvimento do sistema de controle utilizando

a turbina redutora de pressão, relacionadas a utilização de turbinas a vapor substituindo válvulas.

[0008] O artigo intitulado: "*The Role of Distributed Generation in Competitive Energy Markets*", em Distributed Generation Forum, Chicago, 1999, descreve a regra da geração distribuída nos mercados de energia atual e emergentes. A discussão foca nos seguintes tópicos: tecnologias de geração distribuída, aplicações para geração distribuída, benefícios da geração distribuída, reestruturação da indústria elétrica e responsabilidades e perspectivas dos interessados.

[0009] O artigo intitulado "ANÁLISE EXERGÉTICA DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO VISANDO COGERAÇÃO", por Geraldo Augusto Camplina França e Lis Nunes Soares, publicado em *Science & Engineering Journal*, 2005, desenvolve análises energética e exergética de válvulas redutoras de pressão de uma indústria de celulose, visando o emprego da cogeração. Como resultados são apresentadas comparações entre as avaliações das eficiências energéticas e exergéticas dos processos analisados, bem como uma análise preliminar de viabilidade técnica e econômica da cogeração. O estudo de FRANÇA e SOARES, 2005 abordou esta aplicação, mas de uma maneira pontual em uma grande indústria, não mapeando todo o mercado potencial e não identificando fabricantes exclusivos para a aplicação do método e sistema da presente invenção.

[0010] Não foram encontradas no estado da técnica soluções para aproveitamento térmico através da substituição de válvulas redutoras de pressão por turbinas redutoras de

pressão utilizando um sistema de controle de pressão conforme descrito pela presente invenção.

#### Sumário da Invenção

[0011] Devido à característica da TRP de aproveitar o desperdício térmico para geração de energia renovável e eficiência energética, sua instalação é simplificada, uma vez que as indústrias já possuem todo o sistema térmico com vapor, sendo necessária apenas a instalação da TRP, permitindo que o retorno de investimento da aplicação da TRP fique entre 1 e 4 anos, dependendo da potência do equipamento, regime operacional da indústria e custo médio da energia elétrica.

[0012] Uma concretização preferida da presente invenção se refere a um sistema de controle de pressão com sistema de turbina a vapor que compreende:

válvulas de admissão de vapor para uma turbina redutora de pressão controladas por um atuador acionado por um sinal de um controlador lógico programável;

válvulas redutoras de pressão que podem ser utilizadas em série ou paralelo com a TRP, visando maximizar o aproveitamento energético (Como exemplo de aplicações pode-se citar a válvula redutora disposta interligando as tubulações de entrada e saída para situações operacionais extremas, como vazões de vapor de pico que possuem baixa ocorrência; na saída da TRP para maximizar a geração de energia elétrica, entre estágios e etc).

sensores de pressão e temperatura do vapor dispostos respectivamente na entrada e saída da turbina redutora de pressão fornecendo dados ao controlador lógico programável;

sensores de rotação, vazão e vibração da turbina redutora de pressão fornecendo dados ao controlador lógico programável;

em que o controlador lógico programável recebe dados dos sensores de pressão, temperatura e vazão, comparando-os com valores desejados e emitindo sinais de comando para um atuador das válvulas de admissão de vapor e/ou para um controlador de exportação de energia;

em que o controlador de exportação de energia seleciona a potência elétrica para a exportação para a rede elétrica, de acordo com o *setpoint* de pressão de saída desejada, ou seja, se for necessário aumentar a pressão de saída, o controlador de exportação irá receber um sinal do CLP para aumentar a potência exportada e irá retornar para o CLP um sinal para abrir a válvula de admissão da turbina. Para diminuir a pressão de saída, o procedimento é o contrário.;

em que a turbina Redutora de Pressão (TRP) consiste em um turbo-gerador a vapor controlando a pressão do vapor, executando a mesma função operacional de uma válvula redutora de pressão e utilizando a perda de carga para a geração de energia elétrica com base na diferença de entalpia entre a entrada e saída do vapor.

[0013] De acordo com uma concretização da presente invenção, o sistema possui uma segunda opção de controle, Figura 7, com a utilização de inversores de frequência em substituição a controladores de exportação de energia. Esta opção é utilizada para turbinas operando sem redutor de velocidade, com geradores acoplados diretamente da turbina, operando com rotações acima de 3600 RPM, que compreende:

válvulas de admissão de vapor para uma turbina redutora de pressão controladas por um atuador acionado por um sinal de um controlador lógico programável;

válvulas redutora de pressão podem ser utilizadas em série ou paralelo com a TRP, visando maximizar o aproveitamento energético.

sensores de pressão e temperatura do vapor dispostos, respectivamente na entrada e saída da turbina redutora de pressão, fornecendo dados ao controlador lógico programável;

sensores de rotação, vazão e vibração da turbina redutora de pressão fornecendo dados ao controlador lógico programável;

em que o controlador lógico programável recebe dados dos sensores de pressão, temperatura e vazão, comparando-os com valores desejados e emitindo sinais de comando para um atuador das válvulas de admissão de vapor;

em que o Inversor de frequência recebe um *setpoint* para manter a rotação da turbina constante e por consequência aumenta ou diminui a energia exportada a rede elétrica, em que a turbina Redutora de Pressão (TRP) consiste em um turbo-gerador a vapor controlando a pressão do vapor, executando a mesma função operacional de uma válvula redutora de pressão e utilizando a perda de carga para a geração de energia elétrica com base na diferença de entalpia entre a entrada e saída do vapor.

[0014] De acordo com uma concretização da presente invenção, o sistema de controle de pressão compreende ainda válvulas dispostas entre dois ou mais estágios de rebaixamento de pressão, sendo controladas pelo atuador.

[0015] De acordo com uma concretização alternativa da presente invenção, o sistema de controle ainda compreende um sistema complementar tendo pelo menos uma válvula redutora de pressão para operar em conjunto com a turbina, que pode ser posicionada em paralelo ou em série com a Turbina. Esta válvula pode ser alocada na entrada da turbina, na saída da turbina, entre estágios e interligando a entrada e a saída da turbina.

[0016] A presente invenção refere-se ainda a um método de controle de pressão com sistema de turbina a vapor que compreende:

- detectar um valor de pressão medido nos terminais de saída da turbina através de um sensor de pressão;

- comparar o valor de pressão medido na saída com um valor de pressão desejado na saída através de um controlador (CLP);

- ajustar através de um controlador de exportação de energia em comunicação com o controlador (CLP) um valor de potência exportada com base na diferença de pressão obtida pelo controlador CLP;

- enviar através do controlador de exportação de energia um sinal para o controlador CLP, que por sua vez envia um sinal para um atuador acoplado à válvula de entrada de vapor da turbina e caso necessário a válvulas de regulagem vapor entre estágios da turbina, se adequando ao sinal do controlador CLP e à pressão desejada na saída; e

- manter através do controlador de exportação de energia a rotação da turbina constante através da alteração das fases de exportação de energia.

- Para a opção de controle com inversor de frequência, a CLP atua diretamente na válvula de admissão da turbina;

- Utilizar sistemas auxiliares a turbina, com a presença de válvulas redutoras de pressão de pequeno porte para compensar vazões de vapor de pico (que possuem baixa ocorrência) e vazões anormais ao sistema;

[0017] De acordo com uma concretização da presente invenção, é fornecido um método em que a etapa de detectar um valor medido na saída da turbina compreende ainda detectar a temperatura ou vazão do vapor.

[0018] O sistema e método de controle utilizando turbina redutora de pressão da presente invenção é uma solução focada no nicho de aproveitamento energético térmico pouco explorado, com potências abaixo de 990 kW (pequenas turbinas a vapor, micro e mini geração) e substituindo válvulas redutoras em processos que já possuem vapor, em clientes industriais e de poder público. Ela é uma alternativa da geração distribuída e de projetos de eficiência energética.

[0019] Um dos benefícios da utilização do sistema e método de controla utilizando uma turbina redutora de pressão consiste no fato de que aproveita a infraestrutura de vapor já existente para cogeração, causa a redução de custos operacionais/ energia e permite que seja alcançada uma eficiência energética de 5% a 20% do consumo de energia elétrica. Além disso, por se tratar de uma geração de energia renovável, contribui para a meta de emissão de CO<sub>2</sub>.

Breve Descrição das Figuras

[0020] Os objetivos e vantagens da presente invenção se tornarão mais claros através da descrição detalhada a seguir de uma concretização preferida, mas não limitativa da invenção, tendo em vista as figuras anexas, em que:

[0021] A figura 1 ilustra um diagrama básico de um sistema redutor de pressão do estado da técnica que utiliza válvula redutora de pressão;

[0022] A figura 2 ilustra um diagrama básico de um sistema de controle de pressão que utiliza uma turbina redutora de pressão, de acordo com a concretização preferida da presente invenção;

[0023] A figura 3 ilustra uma vista em perspectiva de uma turbina redutora de pressão contendo um estágio de redução de pressão;

[0024] A figura 4 ilustra uma vista em perspectiva de uma turbina redutora de pressão contendo dois estágios de redução de pressão; e

[0025] A figura 5 ilustra um diagrama de blocos com os componentes do sistema de controle de pressão, de acordo com a concretização preferida da presente invenção.

[0026] A figura 6 ilustra uma concretização alternativa em que o sistema de controle de pressão que compreende ainda um sistema complementar tendo pelo menos uma válvula redutora de pressão de pequeno porte.

#### Descrição Detalhada da Invenção

[0027] A figura 1 ilustra um diagrama básico de um sistema redutor de pressão do estado da técnica que utiliza válvula redutora de pressão. Conforme ilustrado na figura 1, o sistema de redução de pressão do estado da técnica é

disposto na saída da caldeira que gera vapor. Na ilustração da figura 1, é apresentada uma caldeira que gera uma vazão de 10 t/h de vapor saturado com pressão de 10 barg. Este vapor saturado com pressão de 10 barg alimenta a válvula redutora de pressão, que o transforma em um vapor saturado para o processo com pressão de 5 barg. Contudo, o uso da válvula redutora de pressão gera grande perda de calor, e deste modo, de energia que poderia ser reaproveitada para o processo.

[0028] A figura 2 ilustra um diagrama básico de um sistema de controle de pressão que utiliza uma turbina redutora de pressão, de acordo com a concretização preferida da presente invenção. Conforme ilustrado na figura 2, o sistema de controle de pressão é disposto na saída da caldeira que gera vapor. Na ilustração da figura 2, é apresentada uma caldeira que gera uma vazão de 10 t/h de vapor saturado com pressão de 10 barg. Este vapor saturado com pressão de 10 barg alimenta a turbina redutora de pressão, que o transforma em um vapor saturado para o processo com pressão de 5 barg. A diferença com relação ao uso da válvula redutora de pressão consiste no fato de que não há perda de calor neste sistema. O calor que seria desperdiçado é reaproveitado ao converter a energia mecânica em energia elétrica para realimentar o a planta ou a rede elétrica.

[0029] A figura 3 ilustra uma vista em perspectiva de uma turbina redutora de pressão exemplar contendo um estágio de redução de pressão, a ser utilizada no sistema de controle de pressão.

[0030] A figura 4 ilustra uma vista em perspectiva de uma turbina redutora de pressão exemplar contendo dois estágios de redução de pressão, a ser utilizada no sistema de controle de pressão.

[0031] Portanto, a turbina redutora de pressão pode conter um ou mais estágios de rebaixamento de pressão, de acordo com requisitos e/ou demanda da planta onde encontra-se instalada.

[0032] A figura 5 ilustra um diagrama de blocos com os componentes do sistema de controle de pressão, de acordo com a concretização preferida da presente invenção.

[0033] Conforme já conhecido em processos industriais, a caldeira 10 gera vapor saturado ou superaquecido. Este vapor saturado é conduzido até a entrada da turbina redutora de pressão através de dutos e válvulas 11 que são controladas por um atuador 12. Na entrada da turbina redutora de pressão 13 estão dispostos sensores de pressão 14 e temperatura 15 que fornecem dados sobre a pressão e temperatura do vapor saturado a um controlador lógico programável (CLP) 16 capaz de controlar o atuador 12 para abertura e fechamento da válvula de fornecimento de vapor 11 para a turbina redutora de pressão 13. Desta forma, a vazão de vapor fornecida à turbina é controlada.

[0034] De forma similar à entrada, sensores de pressão 17 e temperatura 18 são dispostos na saída da turbina 13. Os dados detectados pelos sensores de pressão 17 e temperatura 18 na saída da turbina são fornecidos ao controlador lógico programável 16, que compara os valores

detectados pelos sensores da saída da turbina com valores desejáveis.

[0035] O controlador lógico programável 16 é ligado a um controlador de exportação de energia (DEIF) 19 conectado à entrada de fornecimento de energia para a planta ou à rede elétrica 20. No caso de os valores detectados pelos sensores 17, 18 na saída da turbina serem diferentes dos valores desejáveis, o controlador lógico programável 16 envia um sinal para o controlador de exportação de energia (DEIF) 19 que reduz ou aumenta o valor de potência exportada para se adequar à pressão de vapor necessária. Para controlar a potência, o controlador de exportação de energia 19 envia um sinal para o controlador lógico programável 16, que por sua vez, envia um sinal para um atuador 12 que aciona a válvula 11 de entrada de vapor da turbina, aumentando ou diminuindo a vazão de vapor que passa pela turbina, que resulta em uma potência elétrica reaproveitada maior ou menor, se adequando ao sinal do controlador lógico programável e a pressão desejada na saída. Além do controlador de exportação de energia 19 controlar o atuador 12 e válvula 11 de admissão de vapor, ele é responsável por manter a rotação da turbina 13 constante através da alteração das fases de exportação de energia.

[0036] Além dos sensores de pressão e temperatura, o sistema de controle da presente invenção também compreende sensores de rotação, vazão e vibração para medir estes parâmetros da turbina redutora de pressão. Os dados coletados por estes sensores são enviados ao controlador lógico

programável 16 e utilizados no controle de exportação de energia.

[0037] A turbina redutora de pressão é ligada a um gerador 21 de energia elétrica trifásico conhecido no estado da técnica, capaz de gerar energia elétrica a partir da energia mecânica que se estabelece na turbina devido à diferença de entalpia do vapor na entrada e na saída do vapor em função da vazão de vapor na saída da turbina redutora de pressão 13.

[0038] Em uma concretização alternativa, um gerador é ligado diretamente no eixo da turbina (alta rotação). O gerador de alta rotação podendo operar acima de 3600 RPM. A tensão é retificada e enviada para o inversor de frequência grid tie (similar ao da energia solar). Uma válvula de turbina é disposta de modo a controlar a pressão de saída através do sinal do CLP Simens. Por fim, um inversor de frequência varia a potência exportada para manter a rotação da turbina constante.

[0039] A figura 6 ilustra um sistema de controle de pressão que compreende ainda um sistema complementar tendo pelo menos uma válvula redutora de pressão de pequeno porte 22 para situações operacionais extremas.

[0040] Além dos componentes mencionados na descrição acima, é evidente que uma pessoa versada na técnica pode requerer a utilização de outros componentes tais como: módulo de relé direcional de potência, disjuntores, redutores de velocidade com mancais casquilhos com lubrificação forçada, sistema de lubrificação à óleo completo, painéis elétricos bem como proteção para os mesmos e softwares de interface

gráfica do usuário capazes de permitir o gerenciamento dos componentes do sistema de controle de pressão.

[0041] A seguir são listados os tópicos de variações que podem ocorrer em relação ao descrito básico acima:

a) Sistemas com gerador de alta rotação (alta frequência) e utilização de inversor de frequência grid Tie (o mesmo equipamento da energia solar). Nesta situação, o inversor faz o papel do controlador de exportação de energia;

b) Turbinas que podem operar com inversor de frequência e variação na rotação da turbina;

c) Turbina com dois estágios e controle de vapor somente no 1º estágio;

d) Turbina com dois estágios e controle de vapor nos 2 estágios;

e) Sistema de turbina com válvula redutora de pressão, para atuador em condições de operação de vapor no processo com picos de funcionamento ou estabilizar o sistema;

[0042] De acordo com a concretização da presente invenção, a temperatura da turbina redutora de pressão é entre 150°C e 400°C.

[0043] De acordo com a concretização da presente invenção, a pressão máxima da turbina redutora de pressão é entre 1,5 e 30 barg.

[0044] De acordo com a concretização da presente invenção, a faixa de potência da turbina redutora de pressão está normalmente compreendida entre 3 kW e 990 kW.

#### **TESTE DE FUNCIONALIDADE**

[0045] Para ser mensurada a eficiência da turbina redutora de pressão são necessárias as seguintes

informações, que serão obtidas através de sensores instalados no sistema e controladores:

[0046] Após inicialização da turbina redutora de pressão, o equipamento é mantido em operação por no mínimo 3 horas para estabilização de todos os processos transientes do equipamento (atingir o regime permanente). Cada levantamento de dados contém informações de no mínimo uma hora, buscando uma etapa constante (estável) do processo produtivo. Estes procedimentos são realizados em diferentes fases do processo produtivo visando o levantamento dos cenários de eficiência da turbina redutora de pressão em função da variação do processo (variação de vazão e pressão de vapor);

- Medição de pressão de vapor na entrada da TRP;
- Medição da temperatura de vapor na entrada da TRP;
- Medição de pressão de vapor na saída da TRP;
- Medição da temperatura de vapor na saída da TRP;
- Medição da rotação da TRP;
- Medição da vibração;
- Medição da vazão de vapor;
- Cálculos termodinâmicos são realizados para determinar a energia disponível para aproveitamento energético e cálculo da eficiência;

$$\eta_{global} = \frac{Pot_{elétrica}}{(h_1 - h_{2s}) * \dot{Q}} \quad (1)$$

Onde:

Pot. elétrica= Potência elétrica gerada e medida no controlador exportador energia [kW] - indicador de eficiência energética (válvulas não geram energia);

$h_1$ = Entalpia (Propriedade termodinâmica tabelada) do vapor na entrada da turbina, em função de  $T_1$  (temperatura de entrada) e  $P_1$  (pressão de entrada), considerando título 100% -- [kJ/kg];

$h_2$ = Entalpia (Propriedade termodinâmica tabelada) de saída, considerando  $P_2$  (pressão de saída da TRP) e  $s_1 = s_2$  (sistema isentrópico) -- [kJ/kg];

$\dot{Q}$  = Vazão de vapor na saída da TRP [kg/s]

O denominador da equação acima  $(h_1 - h_2) \cdot \dot{Q}$  representa a energia que não é aproveitada pela válvula redutora e que está disponível para aproveitamento na TRP. Como a válvula redutora não gera nenhuma energia, toda energia exportada e registrada no controlador de exportação (Potência elétrica) será o benefício da TRP frente a válvula.

- Medição da energia elétrica exportada: Controlador de exportação de energia;

- Comparação do cálculo da energia disponível com a energia elétrica exportada para determinação da eficiência da turbina redutora de pressão.

[0047] Embora a presente invenção tenha sido descrita em conexão com uma concretização preferencial, deve ser entendido que não se pretende limitar a invenção àquela concretização particular. Ao contrário, pretende-se cobrir todas as alternativas, modificações e equivalentes possíveis dentro do espírito e do escopo da invenção, conforme definido pelas reivindicações em anexo.

### REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de controle de pressão utilizando turbina redutora de pressão (13) **caracterizado pelo** fato de que compreende:

válvulas (11) de admissão de vapor para uma turbina redutora de pressão (13) tendo pelo menos um estágio de rebaixamento de pressão controladas por um atuador (12) acionado por um sinal de um controlador lógico programável (16);

sensores de pressão (14, 17) e temperatura (15, 18) do vapor dispostos respectivamente na entrada e saída da turbina redutora de pressão fornecendo dados ao controlador lógico programável (16);

sensores de rotação, vazão e vibração da turbina redutora de pressão (13) fornecendo dados ao controlador lógico programável (16);

em que o controlador lógico programável (16) recebe dados dos sensores de pressão, temperatura e vazão, comparando-os com valores desejados e emitindo sinais de comando para um atuador (12) das válvulas (11) de admissão de vapor e para um controlador de exportação de energia (19);

em que o controlador de exportação de energia fornece potência elétrica para a entrada de alimentação do sistema de controle ou rede elétrica;

em que a turbina redutora de pressão (TRP) (13) consiste em um turbo-gerador a vapor controlando a pressão do vapor, executando a mesma função operacional de uma válvula redutora de pressão e utilizando a perda de carga para a geração de

energia elétrica com base na diferença de entalpia entre a entrada e saída do vapor.

2. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que compreende ainda válvulas dispostas entre dois ou mais estágios de rebaixamento de pressão, sendo controladas pelo atuador (12).

3. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que compreende ainda um sistema complementar tendo pelo menos uma válvula redutora de pressão para atuar em paralelo ou em série com a turbina, visando maximizar o reaproveitamento energético (22).

4. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que compreende uma segunda opção de controle, em que o controlador de exportação de energia é substituível por um inversor de frequência, em turbinas operando sem redutor de velocidade, com geradores operando com rotações acima de 3600 RPM.

5. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a temperatura máxima da turbina redutora de pressão é entre 150°C e 400°C.

6. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a pressão máxima da turbina redutora de pressão é entre 1,5 e 30 barg.

7. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a faixa de potência da turbina redutora de pressão compreende o intervalo entre 3 kW e 990 kW.

8. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a turbina redutora de

pressão é disposta em paralelo ou em série com uma válvula redutora de pressão.

9. Método de controle de pressão em um sistema de controle de pressão conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8 **caracterizado pelo** fato de que compreende as etapas de:

- detectar um valor de pressão medido nos terminais de saída da turbina através de um sensor de pressão (17);

- comparar o valor de pressão medido na saída com um valor de pressão desejado na saída através de um controlador (CLP) (16);

- ajustar através de um controlador de exportação de energia (19) em comunicação com o controlador (CLP) (16) um valor de potência exportada com base na diferença de pressão obtida pelo controlador CLP;

- enviar através do controlador de exportação de energia (19) um sinal para o controlador CLP (16), que por sua vez envia um sinal para um atuador (12) acoplado à válvula de entrada (11) de vapor da turbina (13), se adequando ao sinal do controlador CLP (16) e à pressão desejada na saída; e

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo** fato de que a etapa de detectar um valor medido na saída da turbina compreende ainda detectar a temperatura ou vazão do vapor.

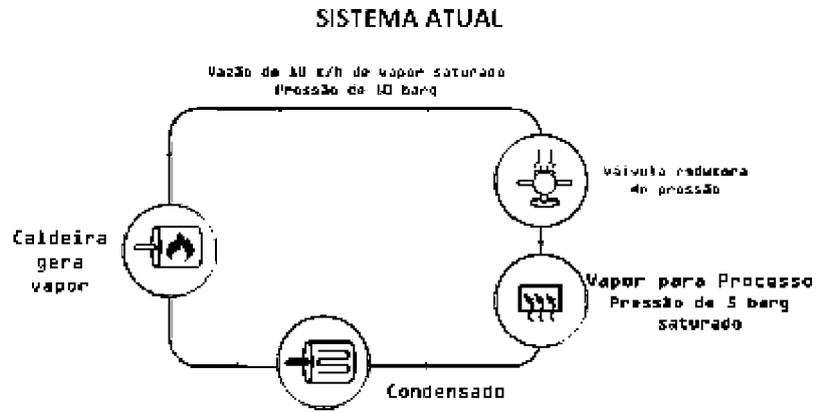


FIGURA 1

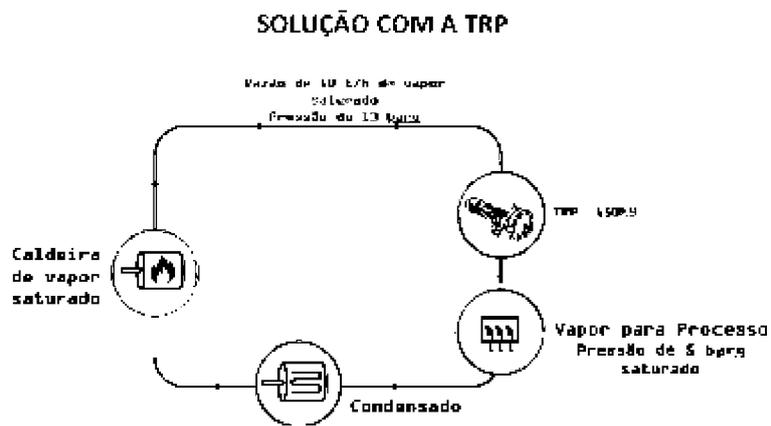


FIGURA 2

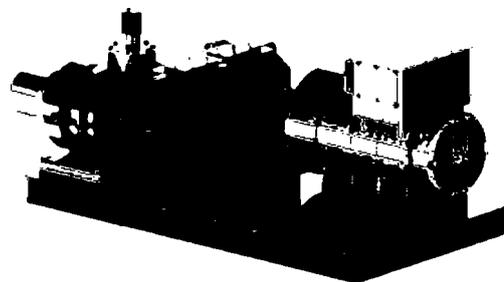


FIGURA 3

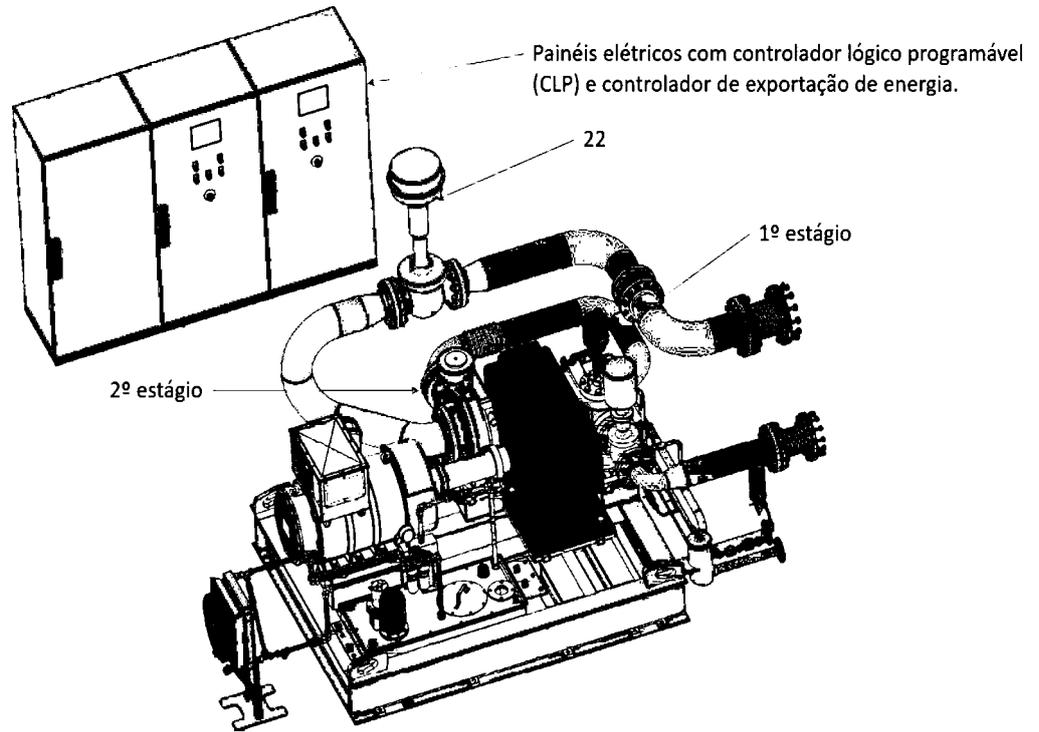


FIGURA 4

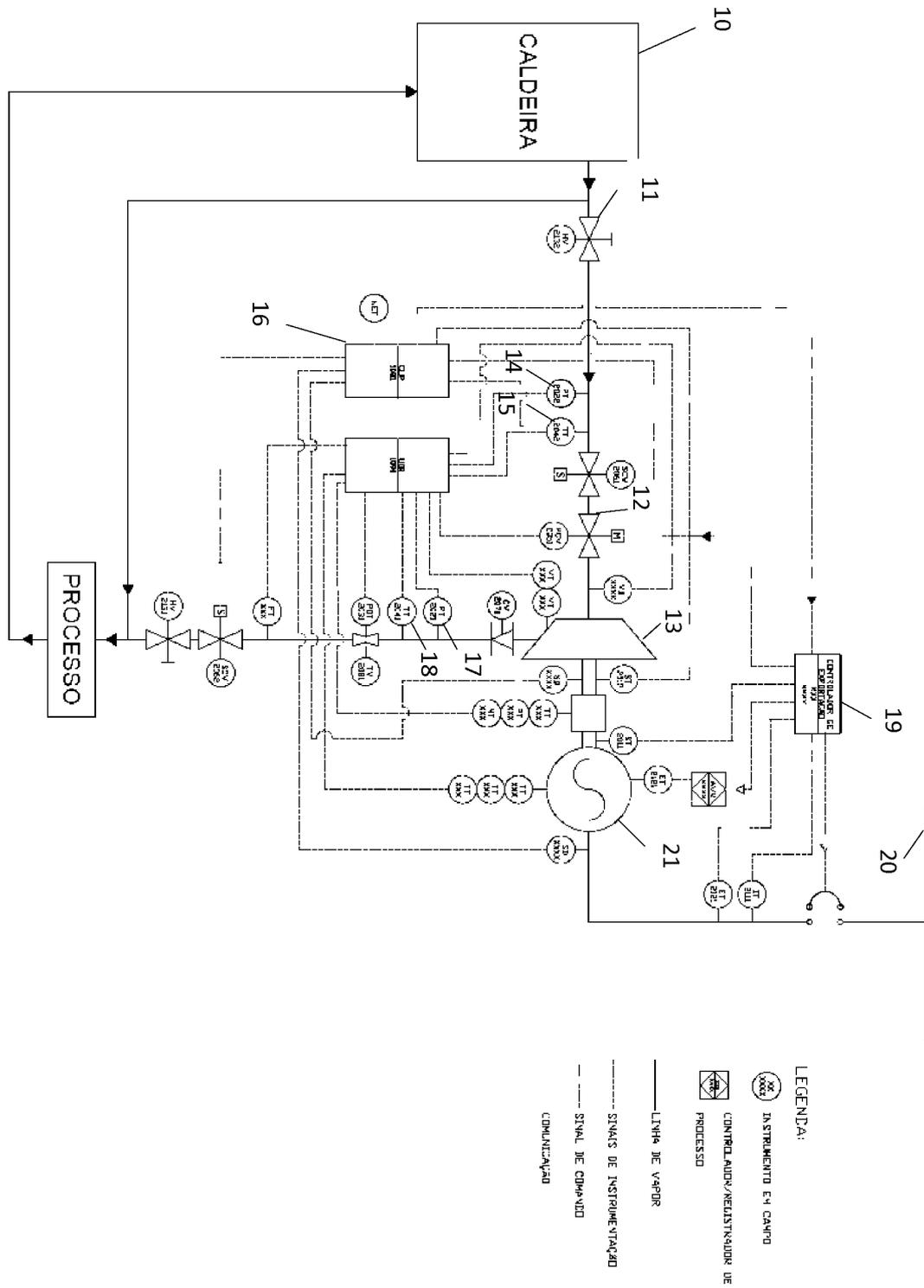


FIGURA 5

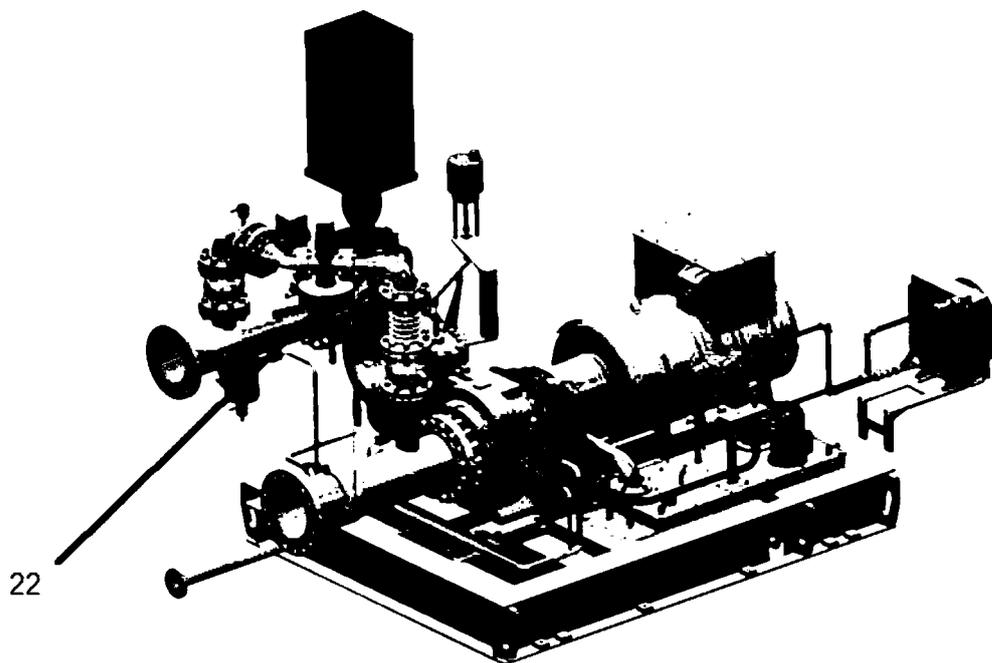


FIGURA 6

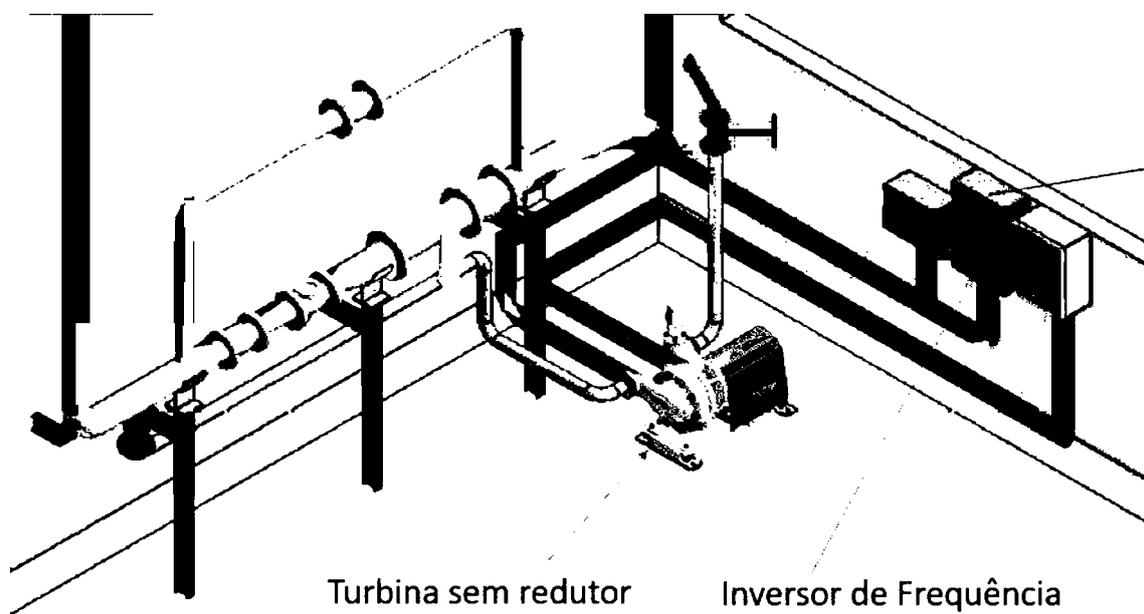


FIGURA 7

## RESUMO

**“SISTEMA E MÉTODO DE CONTROLE DE PRESSÃO COM REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO UTILIZANDO TURBINA REDUTORA DE PRESSÃO”**

A presente invenção se refere a um sistema e método para o reaproveitamento energético em sistemas com vapor vinculados a processos industriais, utilizando turbinas a vapor para rebaixamento de pressão e/ ou substituição de válvulas redutoras de pressão. Como característica principal do depósito, o controle para manter a pressão de saída do vapor do sistema da turbina fixa, operação similar de uma válvula redutora, variando a potência de energia elétrica reaproveitada (e outros parâmetros) em função da variação de pressões e vazão de vapor solicitadas pelo processo industrial.