



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

(11) PI 0924372-0 B1



(22) Data do Depósito: 22/12/2009

(45) Data de Concessão: 06/10/2020

(54) Título: SISTEMA PARA OTIMIZAR CONTROLE DE UM DIGESTOR DE POLPA CONTÍNUO E MÉTODO PARA OTIMIZAÇÃO ONLINE DE UM DIGESTOR DE POLPA CONTÍNUO.

(51) Int.Cl.: G05B 13/02; G06F 15/18; G06F 17/17; D21C 7/12; D21H 15/00.

(30) Prioridade Unionista: 13/02/2009 IN 317/CHE/2009.

(73) Titular(es): ABB SCHWEIZ AG.

(72) Inventor(es): SHRIKANT BHAT; BABJI BUDDHI SRINIVASA; PRASANNA PATHATH.

(86) Pedido PCT: PCT IB2009007841 de 22/12/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/092429 de 19/08/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 15/08/2011

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DIGESTÃO CONTÍNUO. A invenção refere-se a um método para otimização do processo de digestão contínuo que visa controlar o processo de deslignificação em um digestor de polpa contínuo de um modo ótimo para tipos diferentes de polpa tomando o cuidado com as perturbações do processo e incertezas do modelo. Isto é alcançado personalizando um modelo matemático genérico para o processo de digestão contínuo que executa na aplicação de software em um meio eletrônico dedicado. O modelo é periodicamente atualizado com base na informação em-linha e usado com um componente de otimização da planta envolvendo otimização multiobjetiva para avaliar os pontos de ajuste ótimos para os controladores. A invenção refere-se também a um sistema para controle da otimização de um digestor de polpa contínuo.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"SISTEMA PARA OTIMIZAR CONTROLE DE UM DIGESTOR DE POLPA CONTÍNUO E MÉTODO PARA OTIMIZAÇÃO ONLINE DE UM DIGESTOR DE POLPA CONTÍNUO"**.

CAMPO DA INVENÇÃO:

[001] A presente invenção refere-se, em geral, à otimização do digestor de polpa contínuo em indústria de pasta e papel. Mais especificamente, o sistema e método propostos pela presente invenção visam controlar o processo de deslignificação em um digestor de polpa contínuo de um ótimo modo para tipos de polpa diferentes tomando o cuidado com as perturbações do processo e incertezas do modelo.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA:

[002] Digestores de polpa contínuos na indústria de pasta e papel são usados para cozimento de lascas de madeira para produzir polpa, que por sua vez é usada para a fabricação de papel. A meta do cozimento é remover o componente de lignina presente nas lascas de madeira. Lignina é um composto complexo presente na madeira e atua como um material de ligação para as fibras de celulose. Lascas de madeira junto com o licor de cozimento são alimentadas continuamente no topo do digestor e as lascas de madeira cozidas são removidas como produto de polpa do fundo da unidade do digestor. Na configuração de vaso dual, o processo de impregnação é realizado em um vaso separado seguido por outro vaso consistindo em seções superior, inferior e de lavagem. Em geral, o processo de cozimento envolve remoção da lignina das lascas de madeira pelo licor de cozimento. Durante o cozimento no digestor de polpa contínuo, as lascas fluem sempre de cima para baixo, enquanto o fluxo do licor de cozimento ou é concorrente ou contracorrente para várias seções envolvidas. O calor requerido para cozimento é fornecido aquecendo o licor de cozimento tirando e recirculando-o de volta. Parte do licor após extração dos compo-

nentes de madeira é tirada para outro processamento. Por causa da natureza complexa deste processo, o digestor de polpa contínuo é caracterizado por comportamento altamente não linear. Este, além de fatores tais como presença de tempo morto longo, interações fortes entre as variáveis do processo, e alterações não mensuráveis nas características das lascas de madeira, torna o controle do digestor muito difícil.

[003] O sistema de digestor tem parâmetros de processo tais como estados de modelo com uma concentração particular de um ou mais componentes na fase sólida, líquida e gasosa, temperaturas, pressões, taxas de fluxo do licor branco e licor de lavagem, as taxas e temperaturas do fluxo de recirculação, a taxa do fluxo do vapor nos permutadores de calor, álcali efetivo e álcali ativo do licor branco e licor de lavagem, etc.; parâmetros de qualidade tais como número capa, consistência, resistência da polpa, álcali efetivo e álcali ativo dos fluxos de extração, etc.; parâmetros de desempenho tais como eficiência de energia, rendimento, consumo de estoque e custo de funcionamento, etc.; e parâmetros de modelo tais como coeficientes da taxa de reação, fatores de efetividade, coeficiente de difusão e de transferência de calor. Todos estes parâmetros, isto é, parâmetros de processo, parâmetros de qualidade, parâmetros de desempenho e parâmetros de modelo são coletivamente referidos como parâmetros do digestor daqui em diante.

[004] Prática usual na indústria é especificamente controlar o número capa da polpa na saída de fundo ou linha de sopro do digestor manipulando a temperatura dos fluxos do licor de cozimento circulante em seções diferentes e as taxas de fluxo do licor branco de composição e licor de lavagem para seções diferentes do digestor. Os pontos de ajuste para temperaturas e taxas de fluxo do licor branco/licor de lavagem são ajustados com base na experiência do operador em uma

maneira ad-hoc. Porém, recentemente, estratégias de controle prognóstico de modelo de multivariáveis são também propostas para melhorar o controle do digestor. Algumas das patentes e publicações relacionadas para o controle dos processos no digestor são listadas abaixo.

[005] Patente US No. 5.301.102 descreve o uso de modelos de resposta de etapa e medições periódicas do número capa e álcali efetivo do licor de cozimento para controlar o número capa da polpa produzida de um digestor Kamyr.

[006] Publicação US No.20050034824 usa um método com base em analisadores online, compensador de tempo morto, desacopladores e uma tabela de pesquisa (similar às regras de lógica difusa) do efeito das várias variáveis manipuladas nos parâmetros de qualidade e desempenho do digestor para alcançar o desempenho desejado do digestor.

[007] Patente US No.6.447.639 diz respeito à aplicação de calor e espectrometria de mobilidade de íon para calcular a quantidade de licor de cozimento adicionado com base na determinação online das características das lascas sendo alimentadas no digestor de polpa.

[008] Patente US No.4.752.357 descreve um método para determinar o grau de cozimento ao qual a polpa esteve no processo de digestão. Isto é muito útil para estabelecer ação de controle prognóstico apropriado.

[009] Outros métodos da técnica anterior relatados na literatura tratam de aplicação das técnicas tais como controle prognóstico de modelo utilizando modelos lineares e não lineares, controle inferencial, e otimização das condições operacionais para produzir polpa de número capa desejado do digestor de polpa contínuo.

[0010] Modelos de simulação de digestor de polpa contínuo de diferentes complexidades foram também relatados para aplicações dife-

rentes tais como monitoramento e controle. Recentemente, Padhiyar et al., (2006) propuseram algumas estratégias que visam controlar o perfil do número capa em várias zonas de cozimento do digestor em vez de apenas controlá-lo na linha de sopro. Isto facilitará a rejeição de perturbação do processo mais rápida uma vez que a ação corretiva será iniciada muito mais cedo que as consequências sendo manifestadas no número capa na linha de sopro. Uma tal estratégia de controle distribuída também assegurará operação transiente mais rápida e eficiente durante a alteração do tipo. Porém, a estratégia é limitada à proposta de usar o perfil de número capa e não se estende também ao ensinamento dos meios para atribuir ótimos pontos de ajuste para os vários controladores. Como debatido mais cedo, atribuir pontos de ajuste é usualmente com base na experiência do operador.

[0011] Para resumir, as abordagens relatadas na técnica anterior estão principalmente focalizadas em controlar o número capa apenas na seção de linha de sopro e ainda melhorias em controlar o perfil de várias propriedades importantes como número capa e rendimento ao longo do comprimento do digestor também.

[0012] O controle do perfil tem que ser feito otimamente para assegurar vários objetivos da planta tais como qualidade e desempenho superiores, e os processos são controlados online para satisfazer os requerimentos conforme desejado. Porém, o controle do perfil necessita ser endereçado em um ou mais níveis durante o processo de digestão contínuo correspondendo a uma ou mais seções envolvidas no mesmo durante o dito processo. O problema de otimização e de controle com mais de um parâmetro de qualidade ou parâmetro de desempenho ou parâmetro de processo necessita ter um meio para lidar com as complexidades do processo da planta, formulação do problema de otimização e intercâmbios envolvidos em lidar com os requerimentos contraditórios. Este aspecto não foi uma parte da técnica ante-

rior e é o tópico desta invenção.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO:

[0013] O objetivo principal da presente invenção é a otimização do digestor de polpa contínuo com respeito aos vários parâmetros do digestor.

[0014] Ainda outro objetivo da presente invenção é fornecer um método para fornecer ótimos perfis de ponto de ajuste para um ou mais parâmetros do digestor ao longo do comprimento do digestor com base nos dados da planta de tempo real.

[0015] Ainda outro objetivo da presente invenção é avaliar o perfil de solução ótimo multiobjetivo para o digestor de polpa contínuo.

[0016] Ainda outro objetivo da presente invenção é avaliar a otimização objetiva simples para chegar a pontos de ajuste ótimos.

[0017] Ainda outro objetivo da presente invenção é atualizar os parâmetros do modelo utilizando o componente de estimação de parâmetro.

[0018] Ainda outro objetivo da presente invenção é prover a solução desejada da otimização multiobjetiva como uma suposição inicial para o problema de otimização objetiva simples para assegurar operações multiobjetivas online.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO:

[0019] Consequentemente, a presente invenção diz respeito à otimização dos parâmetros do digestor de polpa contínuo avaliando os perfis ótimos de ponto de ajuste para os parâmetros do digestor ao longo de seções múltiplas do digestor. Um problema de otimização objetiva simples é formulado utilizando os resultados da otimização multiobjetiva com base nos requerimentos de qualidade desejados. O problema de otimização objetiva simples assim formado envolve otimização de um dos objetos e a restrição de igualdade nos outros objetos correspondendo à solução ótima multiobjetiva selecionada.

[0020] O modelo de digestor é continuamente atualizado utilizando os dados online e resultados de laboratório. O modelo atualizado é usado para periodicamente realizar otimização objetiva simples para atualizar o perfil ótimo dos pontos de ajuste. Para um desvio significativo nas predições do modelo, a otimização multiobjetiva é também repetida para chegar em soluções multiobjetivas ótimas atualizadas.

[0021] No primeiro aspecto da invenção, um sistema para otimizar o controle de um digestor de polpa contínuo é apresentado. O sistema compreende:

- a) um componente de modelo do processo com um modelo do processo de pelo menos uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo;

- b) um componente de estimação de parâmetro para fornecer estimativas de um ou mais parâmetros do digestor para pelo menos uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo;

- c) um componente de otimização da planta para executar computações para otimização do um ou mais parâmetros do digestor utilizando o componente de modelo do processo e o componente de estimação de parâmetro do digestor de polpa contínuo, o dito componente de otimização da planta ainda compreende uma função objetiva da planta para executar otimização online dos parâmetros do digestor formulados da pluralidade de funções objetivas de parâmetro; e

- d) um ou mais controladores para regular os parâmetros do digestor em pelo menos uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo e fornecidos com ponto de ajuste pelo componente de otimização da planta.

[0022] Em uma modalidade da presente invenção, o componente de estimação de parâmetro compreende um ou mais módulos tais como:

- a) um módulo de predição para fornecer estimativa de um

ou mais parâmetros do digestor consistindo em parâmetros de modelo, parâmetros de processo, parâmetros de qualidade e de desempenho utilizando métodos tais como medição online, dados de análise de laboratório, formulação matemática e suas combinações;

b) um módulo de atualização para atualizar um componente de modelo do processo com base na significação da diferença entre as estimativas de um ou mais parâmetros do digestor e os dados medidos obtidos utilizando métodos tais como medições online, dados de análise de laboratório e sua combinação;

c) um módulo de acionador para acionar um solucionador de otimização para computar a função objetiva da planta e funções objetivas de parâmetro;

d) um módulo de suporte de interface para suportar uma interface de meta da planta para fornecer consequência e informação de estado incluindo informação de trajetória da planta para ajudar na escolha de uma função objetiva adequada da planta.

[0023] Em outra modalidade da presente invenção, o componente de estimação de parâmetro do sistema para otimizar o controle de um digestor de polpa contínuo é uma parte integrante do componente de modelo do processo ou é uma parte integrante do componente de otimização da planta.

[0024] Em ainda outra modalidade da presente invenção, o sistema para otimizar o controle de um digestor de polpa contínuo tem um componente de otimização da planta com pelo menos uma função objetiva da planta.

[0025] Em ainda outra modalidade da presente invenção, uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo é formada de um ou muitas combinações das zonas tais como zona de impregnação, zona de cozimento superior, zona de cozimento inferior, zona de lavagem do digestor de polpa contínuo e em que a uma das muitas seções está

contida em uma ou mais unidades.

[0026] Em ainda outra modalidade da presente invenção, o componente de otimização da planta tem uma interface de meta da planta usada em uma ou fases múltiplas da operação da planta para obter informação de preferência utilizando uma interface do usuário ou utilizando uma interface de software para obter dados de configuração ou utilizando um sistema com base em regra para buscar e analisar a informação tal como informação de prioridade para otimização do um ou mais parâmetros do digestor, faixa desejada e ponto operacional.

[0027] No segundo aspecto da invenção um método para otimização objetiva de parâmetro é apresentado. O método compreende as etapas de:

a) Fornecer um modelo de processo de pelo menos uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo por um componente de modelo do processo;

b) Obter estimativas de um ou mais parâmetros do digestor para pelo menos uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo por um componente de estimação de parâmetro;

c) Obter dados medidos utilizando meios tais como medições online, dados de análise de laboratório ou sua combinação;

d) Obter a diferença entre as ditas estimativas dos parâmetros do digestor e os ditos dados medidos obtidos utilizando métodos tais como medições online, dados de análise de laboratório e sua combinação;

e) Obter os parâmetros de digestor otimizados com otimização objetiva dos parâmetros e/ou otimização objetiva da planta com base na dita diferença; e

f) Regular os parâmetros do digestor por um ou mais controladores em pelo menos uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo utilizando os ditos parâmetros de digestor otimizados

como pontos de ajuste para controle otimizado do digestor de polpa contínuo.

[0028] Em outra modalidade da presente invenção, a otimização objetiva da planta compreende:

- a) Selecionar uma função objetiva da planta de uma pluralidade de funções objetivas de parâmetro através da informação de preferência obtida de uma interface de meta da planta;
- b) Obter um modelo do processo e parâmetros dos digestores de um componente de estimação de parâmetro;
- c) Obter a informação de restrição e limite para a pluralidade de funções objetivas de parâmetro com exceção da função objetiva da planta selecionada definida utilizando a interface de meta da planta;
- d) Otimizar a função objetiva da planta sob restrições impostas pelo modelo do processo ou as ditas restrições e limites da interface de meta da planta ou ambas as restrições impostas pelo modelo do processo e as restrições e limites da interface de meta da planta manipulando os parâmetros do digestor para adquirir valores ótimos da função objetiva da planta.

[0029] De acordo com outra modalidade da presente invenção, a otimização objetiva de parâmetro compreende:

- a) Obter um modelo de processo e parâmetros do digestor de um componente de estimação de parâmetro;
- b) Prover restrições e limites para o parâmetro de digestor utilizando uma interface de meta da planta;
- c) Definir uma ou mais funções objetivas de parâmetro com parâmetros do digestor do dito componente de estimação de parâmetro e as ditas restrições e limites da interface de meta da planta;
- d) Otimizar a uma ou mais funções objetivas de parâmetro sob restrições impostas pelo modelo de processo ou as ditas restri-

ções e limites da interface de meta da planta ou ambas as restrições impostas pelo modelo de processo e as restrições e limites da interface de meta da planta manipulando os parâmetros do digestor para adquirir um ou mais valores ótimos das funções objetivas de parâmetro.

[0030] Em ainda outra modalidade da presente invenção, a etapa de obter parâmetros de digestor otimizados ainda compreende atualizar adequadamente o componente de modelo do processo, e/ou acionar adequadamente o componente de otimização de parâmetro e/ou componente de otimização de planta executando otimização online dos ditos parâmetros do digestor, a conveniência da dita atualização do componente de modelo do processo e do dito acionador do componente de otimização de parâmetro é com base nas tolerâncias permitidas no desempenho online e a precisão da planta do digestor de polpa contínua.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS:

[0031] Porém, é para ser observado que os desenhos em anexo ilustram apenas modalidades típicas desta invenção e, portanto, não são para ser considerados limitativos de seu escopo, a invenção pode admitir outras modalidades igualmente efetivas.

[0032] Figura 1: Esquemático do processo de digestor de polpa contínuo;

[0033] Figura 2: Solução de otimização multiobjetiva para dois objetivos.

[0034] Figura 3: Representação esquemática da otimização do digestor de polpa contínuo de acordo com a invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO:

[0035] Nesta seção da invenção, várias etapas envolvidas no controle do processo de digestão contínuo e o sistema para ótimo controle são descritas.

[0036] Dois tipos de configurações de digestor, único vaso ou dual,

são usados para os digestores de polpa contínuos na indústria. Um digestor de polpa contínuo de único vaso é um vaso cilíndrico vertical que consiste em zonas diferentes tais como zonas de impregnação, cozimento superior, cozimento inferior e de lavagem. A figura 1 ilustra o esquemático de uma unidade do digestor contínuo típica, 100, consistindo em um único vaso. Os aspectos do digestor de polpa contínuo de uma só unidade podem também ser representados com múltiplas unidades de digestor que consistem em mais de um vaso.

[0037] A unidade do digestor trata quimicamente as lascas de madeira sob temperatura e pressão aumentadas para reduzir o conteúdo de lignina da polpa adequado para a fabricação de papel. As lascas de madeira e o fluxo de licor de cozimento, 105, entram na unidade do digestor no topo e percorre para baixo através de várias zonas tais como zona de impregnação, 110, zona de cozimento superior, 120, zona de cozimento inferior, 130, e zona de lavagem, 140, antes de deixar o fundo do digestor através da linha de sopro, 150, como polpa, 155.

[0038] O digestor opera como um sistema reativo de três fases sólida-líquida-gás. A massa sólida nas lascas diminui à medida que a polpação prossegue mediante deslignificação criando sólidos solúveis em água que se dissolvem no licor capturado. Os sólidos solúveis em água são transferidos adequadamente para o licor livre que circunda a fase de polpa pelo processo de difusão.

[0039] Na zona de impregnação, 110, as químicas de cozimento continuam difundindo-se no líquido capturado nos espaços vazios das lascas. A temperatura na zona de impregnação é em geral não alta o bastante para fazer uma taxa apreciável de deslignificação ocorrer e em zonas diferentes, a temperatura é mantida por meio do uso de muitos aquecedores, 160, para as zonas individuais. Ao deixar a zona de impregnação, as lascas e licor de cozimento entram em uma zona de

cozimento superior, 120, onde a temperatura é usualmente elevada por um fluxo de circulação de cozimento superior externamente aquecido 107. O licor de cozimento é parcialmente retirado da zona de cozimento superior como fluxo de extração superior, 108, e parcialmente aquecido em um aquecedor externo, 160, e circulado de volta para a zona de cozimento superior. Licor branco de composição e fluxo de licor de lavagem, 109, são acrescentados ao fluxo de circulação antes de passarem pelo aquecedor 160.

[0040] Após a zona de cozimento superior, 120, as lascas e licor de cozimento entram na zona de cozimento inferior, 130, onde o fluxo de licor de cozimento, 125, é circulado através de um aquecedor externo, 160, para manter a temperatura. Licor branco de composição e fluxo de licor de lavagem, 109, são também acrescentados ao licor circulante antes de entrarem no aquecedor. Ao término da zona de cozimento inferior, parte do licor de cozimento é removida como fluxo de extração de licor preto, 135.

[0041] Após a zona de cozimento inferior, a polpa entra na seção de lavagem, 140, onde é misturada com o licor de lavagem para remover a lignina reagida da polpa. Alguma quantidade de reação de deslignificação ocorre nesta zona também. O fluxo de licor circulante, 145, da seção de lavagem é também aquecido em um aquecedor externo, 160. Fluxo de licor de lavagem de composição, 147, é adicionado a este fluxo antes de entrar no aquecedor. Isto ajuda alcançar reação de deslignificação ainda na zona de lavagem. Por fim, a polpa cozida é removida através da linha de sopro, 150, do fundo do digestor e enviada para a seção de lavagem de substância marrom da fábrica (não mostrada na figura). A extração como também fluxos de circulação são retirados do digestor através das telas, 115.

[0042] Um sistema de controle é desenvolvido ao redor do digestor 100 para medir, manipular e controlar os vários parâmetros do diges-

tor. O sistema de controle é usualmente um sistema de controle distribuído (DCS) com controladores reguladores. O controle é exercitado em várias seções formadas como uma combinação de uma ou múltiplas zonas. As múltiplas zonas para realizar as funções similares, se houver, e as zonas múltiplas realizando as funções ligeiramente diferentes podem ser unidas para formar uma seção.

[0043] Módulos avançados do sistema de controle são usados para otimização. Os métodos de otimização são com base no modelo do processo. O modelo descrito nesta invenção é um modelo semiempírico. Porém, outros modelos com base no primeiro princípio ou métodos empíricos podem também ser usados. Os parágrafos seguintes descrevem modelo de formulação e estimação de vários parâmetros do modelo. Parâmetros do modelo são os parâmetros que são usados para formulação das equações de modelo.

[0044] O digestor de polpa contínuo é modelado como um reator tubular tendo uma entrada para as lascas de alimentação e o licor de cozimento entra em localizações múltiplas nas várias zonas para realizar a digestão. As temperaturas e concentrações são assumidas variar ao longo do comprimento do digestor (de cima para baixo) através das várias zonas ou seções do digestor.

[0045] Uma abordagem de parâmetros amontoados é usada para modelar o digestor e o modelo de digestor inteiro é construído representando-o como série de CSTRs interconectados (reatores de tanque agitado contínuos). A madeira e a composição de licor são assumidas e o material e equilíbrio de energia para cada um dos componentes entrando e deixando o CSTR são realizados para derivar as equações de modelo. As equações da taxa de reação são consideradas responderem pelo consumo/formação de vários componentes.

[0046] O digestor inteiro é dividido em quatro seções principais: seção de impregnação, seção de cozimento superior, seção de cozi-

mento inferior e seção de lavagem. Cada seção é assumida ser uma série de CSTRs como descritos acima. Para cada seção é desenvolvido um submodelo e este é conectado conseqüentemente para desenvolver um modelo para qualquer tipo de digestor. As equações de modelo para cada CSTR são da forma genérica a seguir:

$$V \frac{dC_i}{dt} = F_i^{in} - F_i^{out} + F_i^{reaction}; \quad i = 1 \text{ to } m; \quad (\text{Eq 1})$$

$$\rho_s C_{p,s} V_s \frac{dT_{solid}}{dt} = H_{solid}^{in} - H_{solid}^{out} + H^{reaction} + H_{liquor \rightarrow solid}^{transfer}; \quad (\text{Eq 2})$$

$$\rho_l C_{p,l} V_l \frac{dT_{liquor}}{dt} = H_{liquor}^{in} - H_{liquor}^{out} - H_{liquor \rightarrow solid}^{transfer}; \quad (\text{Eq 3})$$

[0047] Eq. 1 descreve a taxa de acumulação de componente i no CSTR. C_i é a concentração do componente i no CSTR. T_{solid} e T_{liquor} são as temperaturas do sólido (lascas) e do licor livre. F_i^{in} e F_i^{out} são as taxas de fluxo do componente i dentro e fora do CSTR respectivamente, e $F_i^{reaction}$ representa a taxa de formação do componente i através de reação no CSTR. m é o número total de componentes que existem em vários fluxos de entrada/saída do digestor e V é o volume do CSTR. Eq. 2 e Eq. 3 descrevem o equilíbrio de calor para as fases sólidas e de licor. H_{solid}^{in} , H_{solid}^{out} , $H^{reaction}$, $H_{liquor \rightarrow solid}^{transfer}$ respectivamente, representam a taxa de calor entrando e saindo junto com os sólidos para um CSTR, contribuição de calor devido à reação no CSTR, e a transferência de calor da fase de licor para a sólida. H_{liquor}^{in} e H_{liquor}^{out} representam o calor entrando e saindo do CSTR através da fase de licor. ρ_s e ρ_l são densidades, $C_{p,s}$ e $C_{p,l}$ são calores específicos e V_s e V_l são volumes das fases sólida e de licor, respectivamente. Os parâmetros cinéticos e de difusão são incorporados no termo

$F_i^{reaction}$ enquanto os termos difusão e transferência de calor são incorporados no termo $H_{liquor \rightarrow solid}^{transfer}$. Estes são os vários parâmetros do modelo. Uma forma mais genérica incorporará a equação de equilíbrio de impulso também (não relatada aqui). Para um modelo de estado estacionário, os termos do lado esquerdo das Eqs. 1 - 3 serão zero.

[0048] O modelo formulado é ajustado e validado utilizando os dados da planta. Para validar o modelo, os parâmetros do modelo são determinados minimizando o erro entre as medições da planta fora-de-linha atuais (medições obtidas do sistema de controle distribuído como também do laboratório) e predições do modelo. Técnicas de otimização com base em gradientes estocásticos ou lineares ou não lineares podem ser usadas para minimizar o erro. O modelo validado é depois usado na estrutura de otimização.

[0049] O modelo do processo é formulado para representar os parâmetros de processo tais como várias entradas, fluxos de extração e circulação e suas composições, temperaturas, etc. Isto também inclui parâmetros de qualidade tais como número capa, consistência da planta e fatores de emissão e parâmetros de desempenho tais como rendimento, e custo de funcionamento. Estes parâmetros junto com os parâmetros do modelo são referidos como parâmetros do digestor. É reconhecido que a necessidade de otimização é para os múltiplos parâmetros do digestor e consequentemente múltiplas funções objetivas de parâmetro são formuladas.

[0050] O modelo validado é primeiro usado para solucionar o problema de otimização multiobjetiva. Uma declaração geral do problema de otimização multiobjetiva envolvendo "n" objetivos é dada por

$$\text{Min/Max } \varphi_j(\mathbf{u}, \mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad j = 1 \text{ a } n; \quad \text{to } n;$$

$\mathbf{u}$

[0051] Sujeito a: equações de modelo

[0052] Restrições e limites em u , x e y

[0053] onde, φ_j é a j-ésima função objetiva, u é um vetor das variáveis de entrada, x e y são vetores de estado e variáveis de saída.

[0054] O problema de otimização com objetivos múltiplos é esperado entrar em conflito com alguns de objetivos e isto resultará em um conjunto de soluções igualmente boas chamadas como soluções não-dominadas ou ótimas de Pareto que são distribuídas no espaço de dimensão ótimo multiobjetivo (com dimensão daquele do número total de objetivos).

[0055] As soluções do problema de otimização de multiobjetivo são reduzidas para um problema de otimização objetiva simples dependendo da definição da função de meta da planta através de uma interface de meta da planta. A função objetiva simples desse modo obtida é referida como função objetiva da planta uma vez que esta função guia a planta para satisfazer seus objetivos na totalidade da maneira mais otimizada. As funções de otimização multiobjetivas são referidas como funções objetivas de parâmetro.

[0056] A interface de meta da planta é uma interface do usuário que incita os usuários com soluções múltiplas obtidas solucionando o problema de otimização multiobjetiva formulada para otimizar os vários parâmetros do digestor. O operador ou gerenciador da planta é suportado com a informação de consequência para cada uma da solução oferecida em vários parâmetros do digestor. A informação de consequência é obtida através de uso do modelo do processo validado para prognosticar o estado da planta com uma escolha particular de solução. O processo de obter uma escolha pode também ser automatizado através de uso de arquivos de configuração ou através de um sistema baseado em regras que define as condições para exercer a escolha para a planta.

[0057] A figura 2 é usada para ilustrar um exemplo de soluções múltiplas e formulação de uma função objetiva da planta. Neste exem-

plo, um caso simples de duas funções objetivas é ilustrado, isto é, as funções objetivas de parâmetro são para minimização do número capa (210) e maximização do rendimento (220) sujeito a restrições de modelo e limites nas variáveis de decisão importantes.

[0058] O conjunto ótimo de soluções obtido correspondendo a este problema é indicado na figura 2. A curva representa soluções múltiplas que são obtidas para este problema. Todas as soluções são melhores no número capa ou rendimento. Dependendo do requerimento do usuário, uma solução dada pode ser selecionada e o perfil de ponto de ajuste que corresponde a esta solução será selecionado para implementação, por exemplo, os pontos M (230) e N (240) na curva são obtidos como pelo requerimento do usuário para dois requerimentos de qualidade (tipo) diferentes da polpa, isto é, para aplicação na fabricação das caixas de armazenamento e papel de escrever de qualidade alta a qualidade requerida da polpa diferirá significativamente, capturada através de M e N como um exemplo. Disponibilidade dos perfis de ponto de ajustes diferentes para tais requerimentos variados facilitará melhor desempenho do digestor. Com M como uma solução escolhida, correspondendo a M um problema de otimização objetiva simples envolverá minimização do número capa e restrição de igualdade em rendimento correspondendo ao ponto M. Os ótimos perfis também necessitam ser atualizados de acordo com a alteração nos requerimentos de qualidade da polpa. Muitas mais funções objetivas tais como minimização de energia, fluxos de efluentes, etc., podem também ser consideradas junto para adquirir soluções no espaço da função objetiva de dimensão múltipla.

[0059] Algoritmos de otimização estocásticos são usados solucionando a otimização multiobjetiva e o tempo envolvido em solucionar tais problemas é grande. Portanto, para implementação online, um problema de otimização objetiva simples que corresponde à ótima so-

lução desejada do espaço objetivo multidimensional é solucionado utilizando uma abordagem com base em gradiente mais rápido. Uma vantagem importante aqui é que a suposição inicial que é requerida para convergência dos métodos com base em gradiente é fornecida pela solução ao problema multiobjetivo. Deve ser mencionado que, qualquer algoritmo de otimização pode ser usado para solucionar qualquer um dos problemas de otimização mencionados acima se o tempo requerido para otimização for aceitável.

[0060] Durante operação online, as predições do modelo do digestor são prováveis de diferir das medições atuais dos parâmetros de processo devido às alterações na qualidade das lascas de alimentação, alterações na composição do licor de cozimento, coeficientes de transferência de calor nos permutadores de calor, etc. Em tal situação, os parâmetros do modelo necessitam ser reestimados online utilizando um ou mais processos, parâmetros de qualidade e desempenho. Isto é feito reajustando os parâmetros do modelo para minimizar o desvio entre a planta e as predições do modelo dos parâmetros do digestor. Técnicas de otimização não-lineares são usadas para minimizar o erro. Reestimação periódica dos parâmetros do modelo reduz o desemparelhamento do modelo e traz o comportamento modelo mais perto do comportamento real do digestor de polpa contínuo.

[0061] Como debatido anteriormente, o tempo computacional requerido para implementar o problema de otimização multiobjetiva é grande, não é possível solucionar o problema de otimização multiobjetiva com toda atualização nos parâmetros do modelo. Do contrário um problema de otimização objetiva simples é solucionado para obter perfis de ponto de ajuste melhores utilizando o modelo atualizado. Esta otimização pode ser realizada utilizando métodos com base em gradiente convencional como SQP e é mais rápido para ser adequado para implementação online.

[0062] O problema de otimização objetiva simples assim formulado pode ser solucionado periodicamente utilizando o modelo atualizado quando houver desvio significativo nas medições da planta e previsões do modelo utilizando o modelo atualizado. Para desvios principais nas medições da planta e previsões do modelo utilizando o modelo atualizado, o problema de otimização multiobjetiva é solucionado.

[0063] A figura 3 é uma representação esquemática do sistema de otimização online 300 do processo de digestão contínuo proposto nesta invenção. A planta do digestor de polpa contínuo 100 tem um processo modelo 310 adequadamente atualizado com base nos dados de medição online, análise de laboratório 320 e estimação de parâmetros não medidos ou não analisados utilizando um componente de estimação de parâmetro 330. O componente de estimação de parâmetro tem vários módulos, tais como:

a) um módulo de previsão para fornecer estimativa de um ou mais parâmetros do digestor que consistem em parâmetros do modelo, parâmetros de processo, parâmetros de qualidade e desempenho utilizando métodos tais como medição online, dados de análise de laboratório, formulação matemática e suas combinações;

b) um módulo de atualização para atualizar um componente de modelo do processo com base na significação da diferença entre as estimativas de um ou mais parâmetros do digestor e os dados medidos obtidos utilizando métodos tais como medições online, dados de análise de laboratório e sua combinação;

c) um módulo de acionador para acionar um solucionador de otimização para computar função objetiva da planta e funções objetivas de parâmetro;

d) um módulo de suporte de interface para suportar uma interface de meta da planta fornece consequência e informação de estado incluindo informação de trajetória da planta para ajudar escolha

de uma função objetiva da planta adequada.

[0064] Para otimização da planta do digestor de polpa contínuo 100, funções de otimização multiobjetiva 340 e a função objetiva simples reduzida 350 são solucionadas com o solucionador de otimização 360. Como debatido anteriormente, as funções multiobjetivas são formuladas para otimizar os vários parâmetros do digestor e consequentemente denominadas como funções de otimização de parâmetro. Similarmente, a função objetiva simples é formulada para representar o objetivo da planta e é denominada como função de otimização da planta. A saída do solucionador de otimização 360 é um conjunto de pontos de ajuste para vários parâmetros do digestor controlados através do controlador do regulador 370.

[0065] A otimização e cálculos de modelo são implementados como uma aplicação de software em qualquer eletrônica dedicada ou meios de software que é um sistema de automatização de processo padrão com base no conceito de abordagem orientada a objeto para projetar e operar sistemas de automatização de processo.

[0066] É para ser observado que um DCS moderno suporta virtualização de vários componentes e módulos do sistema de controle e um componente ou um módulo pode ter circunstâncias múltiplas do mesmo executando no sistema de DCS. Por exemplo, o componente de otimização da planta pode ter duas circunstâncias de funções objetivas da planta que correm simultaneamente no sistema de DCS. O sistema de automatização é programado para atualizar o modelo 310 e desencadear o solucionador de otimização 360 como encontra adequado para operações online através do componente de estimação de parâmetro 330. O componente de estimação de parâmetro 330 determina o desvio e sua significação entre os valores prognosticados pelo modelo e as medições feitas online ou com a análise de laboratório. Se o desvio for encontrado significativo, um acionador para o componente de

otimização da planta é fornecido para ter as funções objetivas incluindo as funções multiobjetivas solucionadas novamente. Um tal acionador pode ocorrer durante a fase de início enquanto ajusta o modelo ou durante qualquer fase da operação da planta sempre que por qualquer razão houver uma necessidade para atualizar o modelo da planta de processo. O componente de estimação de parâmetro 330 é também o componente que ajuda a prognosticar os parâmetros do digestor para determinar a consequência ou informação de estado como e quando requerido, por exemplo, durante a escolha de uma solução particular utilizando a interface de meta da planta. Esta característica é extensível para fornecer informação da trajetória de consequência da planta para prognosticar o curso da operação da planta com tempo utilizando o modelo adequadamente.

[0067] Desse modo, o esquema proposto provê controle online de vários parâmetros do digestor ao longo das diferentes seções do digestor para controle ótimo para alcançar vários objetivos da planta.

[0068] Várias outras modificações e alterações na estrutura e método de operação desta invenção serão evidentes àqueles versados na técnica sem abandono do escopo e espírito da invenção. Embora a invenção tenha sido descrita com relação às modalidades preferidas específicas e especificamente para o digestor de polpa contínuo usado na indústria de papel e polpa, deve ser entendido que a invenção como reivindicada não deve ser limitada indevidamente a tais modalidades específicas ou um sistema da planta particular tal como o digestor de polpa contínuo usado na indústria de papel e polpa. Referências à pluralidade dos termos usados aqui no relatório descritivo também incluem sua forma singular e vice-versa. É intencionado que as concretizações a seguir definam o escopo da presente invenção e aquelas estruturas e métodos dentro do escopo destas concretizações e seus equivalentes são abrangidos pelas mesmas.

REFERÊNCIAS:

[0069] Nitin Padhiyar, Akhil Gupta, Abhishek Gautam, Sharad Bhartiya, Francis J., Doyle III, Sachi Dash, Sujit Gaikwad. Nonlinear inferential multi-rate control of Kappa number at multiple locations in a continuous pulp digester. Journal of Process Control, 16, 10, 2006, 1037-1053.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para otimizar controle de um digestor de polpa contínuo (300) possuindo uma pluralidade de seções, caracterizado pelo fato de que compreende

a) um componente de modelo do processo (310) com um modelo do digestor de polpa contínuo (300), sendo que o modelo do digestor de polpa contínuo (300) é desenvolvido pela conexão de submodelos desenvolvidos para a pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300), sendo que para cada seção da pluralidade de seções, um submodelo é desenvolvido;

b) um componente de estimação de parâmetro (330) para fornecer estimativas de uma pluralidade de parâmetros do digestor para a pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300), sendo que a pluralidade de parâmetros do digestor inclui parâmetros de processo, parâmetros de qualidade, parâmetros de desempenho e parâmetros de modelo, sendo que o componente de estimação de parâmetro (330) também determina o desvio e sua significação entre valores previstos pelo modelo e as medições feitas online ou com a análise de laboratório;

c) uma interface de meta da planta para fornecer múltiplas soluções obtidas pela solução de uma pluralidade de funções objetivas de parâmetro (340) juntamente com a informação de consequência para cada uma da solução oferecida obtida utilizando o modelo do processo do digestor de polpa contínuo (300), e para obter informação de preferência para selecionar uma função objetiva da planta (350) da pluralidade de funções objetivas de parâmetro (340), sendo que as funções objetivas de parâmetro (340) são funções multiobjetivas e fornecem múltiplas soluções, e a função objetiva da planta (350) é uma única função objetiva para guiar a planta para satisfazer seus objetivos na totalidade de uma maneira otimizada;

d) um componente de otimização da planta (360) para executar computações para otimização de um ou mais parâmetros do digestor da pluralidade de parâmetros do digestor utilizando o componente de modelo do processo (310) e o componente de estimação de parâmetro (330) do digestor de polpa contínuo (300); sendo que o componente de otimização da planta (360) compreende a função objetiva da planta (350) para executar otimização online de parâmetros do digestor formulados da pluralidade de funções objetivas de parâmetro (340), e sendo que se o desvio determinado pelo componente de estimação de parâmetro (330) for considerado significativo, um acionador para o componente de otimização da planta (360) é fornecido para ter as funções objetivas incluindo as funções multiobjetivas solucionadas;

e) um ou mais controladores (370) para regular os parâmetros do digestor nas uma ou mais seções correspondentes da pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300) utilizando parâmetros do digestor otimizados como pontos de ajuste para controle otimizado do digestor de polpa contínuo (300).

2. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito componente de estimação de parâmetro (330) compreende um ou mais módulos tais como

a) um módulo de predição para fornecer estimativa de um ou mais parâmetros do digestor consistindo em parâmetros de modelo, parâmetros de processo, parâmetros de qualidade e de desempenho utilizando métodos tais como medição online, dados de análise de laboratório, formulação matemática e suas combinações;

b) um módulo de atualização para atualizar um componente de modelo do processo (310) com base na significação de diferença entre as estimativas de um ou mais parâmetros do digestor e os dados medidos obtidos utilizando métodos tais como medições online, dados de análise de laboratório e sua combinação;

c) um módulo de suporte de interface para suportar a interface de meta da planta para fornecer informação de consequência e de estado incluindo informação de trajetória da planta para ajudar na escolha de uma função objetiva adequada da planta.

3. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o dito componente de estimação de parâmetro (330) é uma parte integrante do componente de modelo do processo (310) ou é uma parte integrante do componente de otimização da planta (360).

4. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o componente de otimização da planta (360) tem pelo menos uma função objetiva da planta (350).

5. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a dita uma das muitas seções do digestor de polpa contínuo (300) é formada em uma ou muitas combinações das zonas tais como zona de impregnação, zona de cozimento superior, zona de cozimento inferior, zona de lavagem do digestor de polpa contínuo (300) e sendo que a uma das muitas seções é contida em uma ou mais unidades.

6. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito componente de otimização da planta (360) tem uma interface de meta da planta usada em uma ou múltiplas fases de operação da planta para obter informação de preferência utilizando uma interface do usuário ou utilizando uma interface de software para obter dados de configuração ou utilizando um sistema com base em regra para buscar e analisar informação tal como informação de prioridade para otimização do um ou mais parâmetros do digestor, faixa desejada e ponto operacional.

7. Método para otimização online de um digestor de polpa contínuo (300) utilizando um sistema de controle, como definido em

qualquer uma das reivindicações 1 a 6, sendo que o sistema de controle compreende uma pluralidade de controladores (370) para uma pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300), um solucionador de otimização para gerar pontos de ajuste para parâmetros do digestor controlados através da pluralidade de controladores (370) e um módulo de acionador para acionar o solucionador de otimização, o método caracterizado pelo fato de que compreende, através do sistema de controle

a) fornecer um modelo do digestor de polpa contínuo (300) por um componente de modelo do processo (310), sendo que o modelo do digestor de polpa contínuo (300) é desenvolvido pela conexão de submodelos desenvolvidos para a pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300);

b) obter estimativas de um ou mais parâmetros do digestor para a pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300) utilizando um componente de estimação de parâmetro (330);

c) obter dados medidos utilizando pelo menos um dentre medições online, dados de análise de laboratório ou qualquer combinação destes;

d) obter uma diferença entre as estimativas do um ou mais parâmetros do digestor e os dados medidos obtidos utilizando pelo menos um dentre medições online, dados de análise de laboratório e qualquer combinação destes;

e) avaliar a diferença entre as estimativas do um ou mais parâmetros do digestor e os dados medidos com base em tolerâncias permitidas de desempenho online e precisão do digestor de polpa contínuo (300);

f) fornecer um acionador para um componente de otimização de planta para solucionar uma pluralidade de funções multiobjetivas para otimização do digestor de polpa contínuo (300) e para atuali-

zar o modelo do digestor de polpa contínuo (300) com base nas tolerâncias permitidas;

g) obter múltiplas soluções pela solução da pluralidade de funções multiobjetivas para otimização de vários parâmetros do digestor e obter informação de consequência utilizando o modelo atualizado do digestor de polpa contínuo (300);

h) selecionar uma função objetiva da planta (350) da pluralidade de funções multiobjetivas com base na informação de consequência obtida para cada uma das múltiplas soluções obtidas utilizando o modelo atualizado;

i) obter um perfil ótimo dos pontos de ajuste para parâmetros do digestor juntamente com a pluralidade de seções do digestor, o perfil ótimo dos pontos de ajuste sendo determinado solucionando a função objetiva da planta (350); e

j) regular os parâmetros do digestor pela pluralidade de controladores (370) do sistema de controle na pluralidade de seções do digestor de polpa contínuo (300) utilizando o perfil ótimo dos pontos de ajuste para controle otimizado do digestor de polpa contínuo (300).

8. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que compreende ainda, através do sistema de controle

a) obter informação de restrição e limite para a pluralidade de funções multiobjetivas de parâmetro com exceção da função objetiva da planta (350) selecionada, a informação de restrição e limite sendo definida utilizando uma interface de meta da planta; e

d) otimizar a função objetiva da planta (350) selecionada sob restrições impostas pelo modelo ou a informação de restrição e limite da interface de meta da planta ou ambas as restrições impostas pelo modelo e a informação de restrição e limite da interface de meta da planta manipulando os parâmetros do digestor para obter valores ótimos da função objetiva da planta (350).

9. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que compreende ainda, através do sistema de controle

a) fornecer restrições e limites para os parâmetros do digestor utilizando uma interface de meta da planta;

b) definir uma ou mais funções multiobjetivas com parâmetros do digestor do componente de estimação de parâmetro (330) e as restrições e limites da interface de meta da planta; e

c) otimizar a uma ou mais funções multiobjetivas sob restrições impostas pelo modelo ou as restrições e limites da interface de meta da planta ou ambas as restrições impostas pelo modelo de processo e as restrições e limites da interface de meta da planta manipulando os parâmetros do digestor para obter um ou mais valores ótimos das funções multiobjetivas.

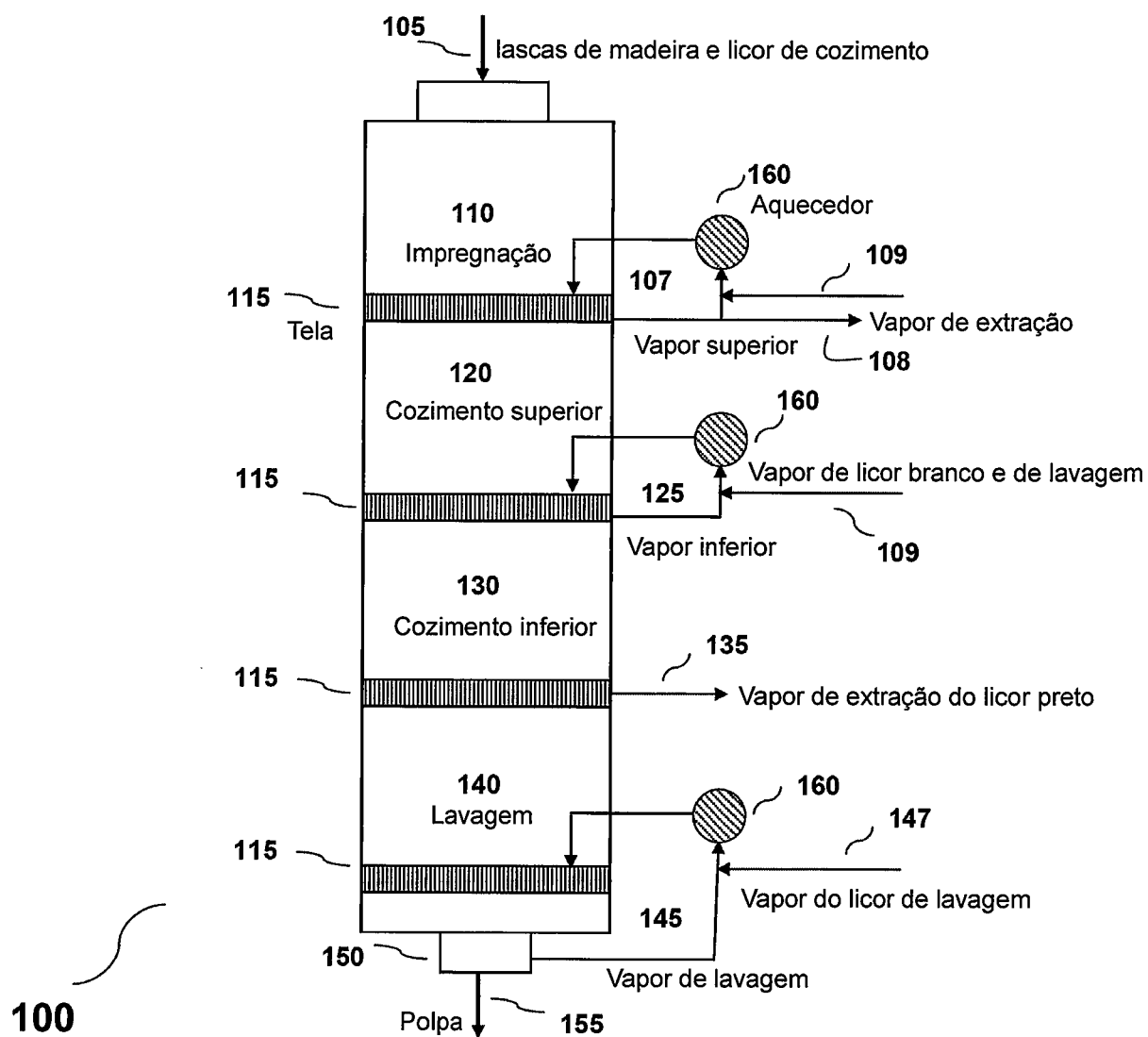


FIG. 1

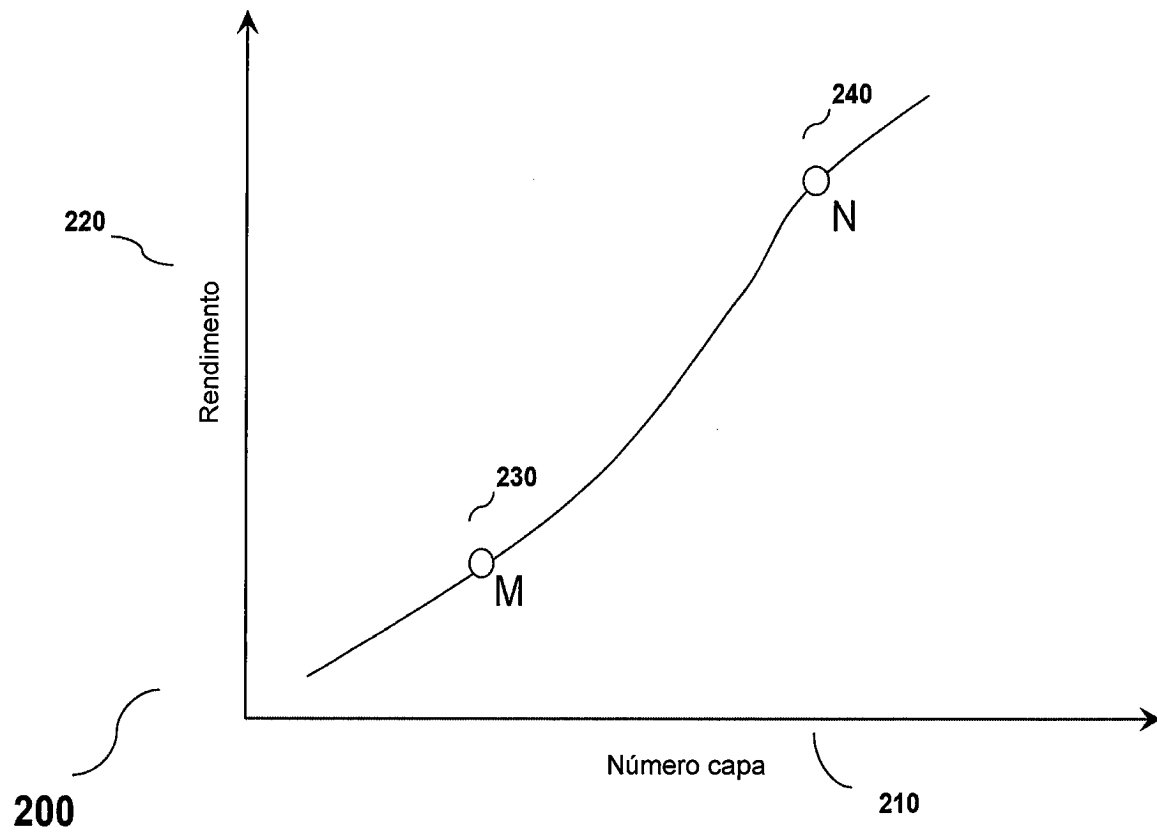


FIG. 2

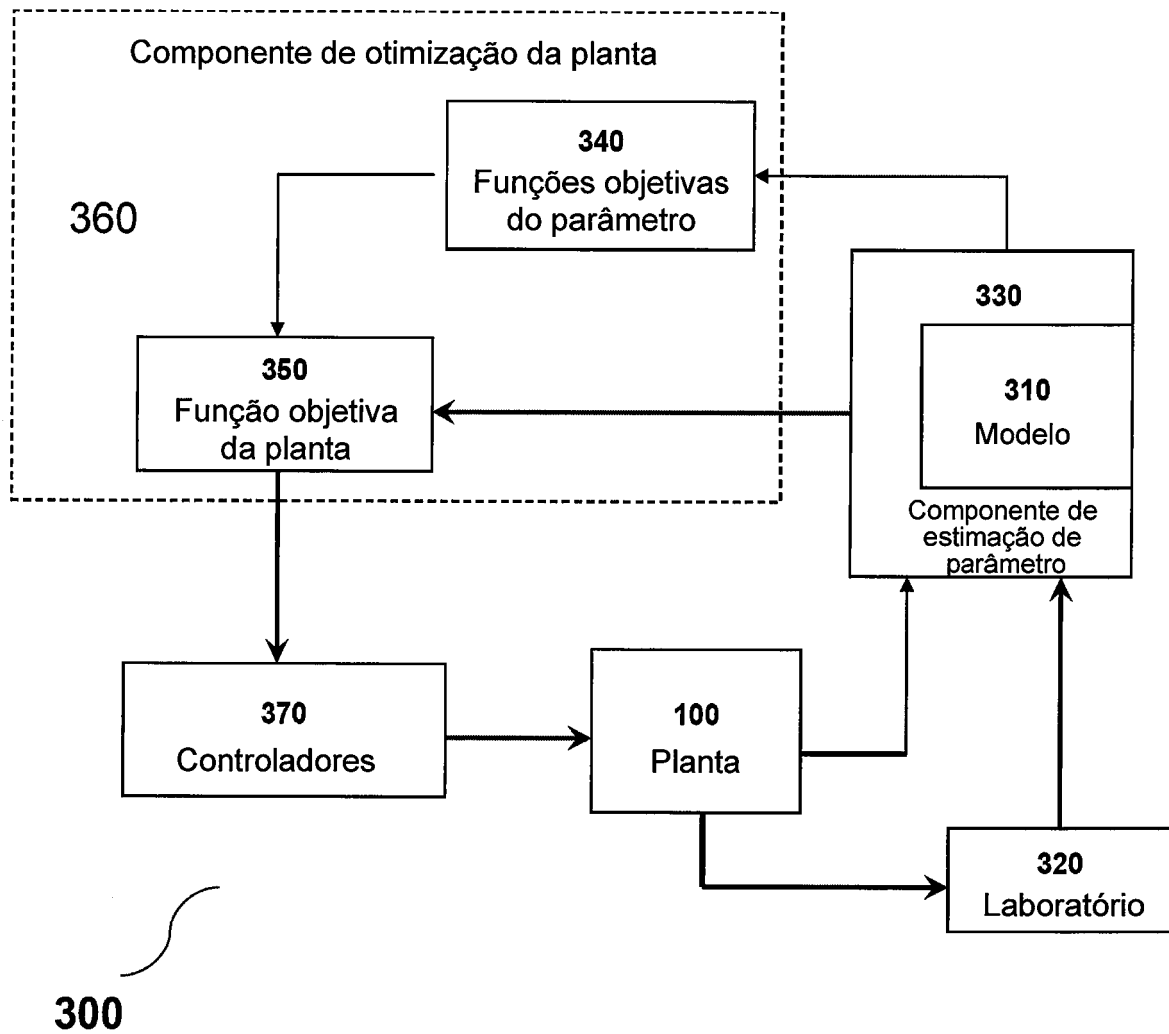


FIG. 3