132

n.º 132 · 3.º trimestre de 2023 · Ano 33 · 9.50€ (Portugal) · Trimestral · www.robotica.pt · Diretor: Fernando Ribeiro

REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA

robótica®

automação
controlo
instrumentação

ISSN 0874-9019

ARTIGO CIENTÍFICO
- Extending I/O Interfaces for Phoenix Contact PLC using ESP-NOW wireless microcontrollers
- *Unusual Robotic Arm*

VOZES DE MERCADO
- Plataforma EPLAN 2024: planeamento de projetos de forma rápida e sem erros
- O futuro da automação está a bater-nos à porta

INSTRUMENTAÇÃO
- O processo industrial

AUTOMAÇÃO E CONTROLO
- Redes de comunicação de dados (2.ª Parte)

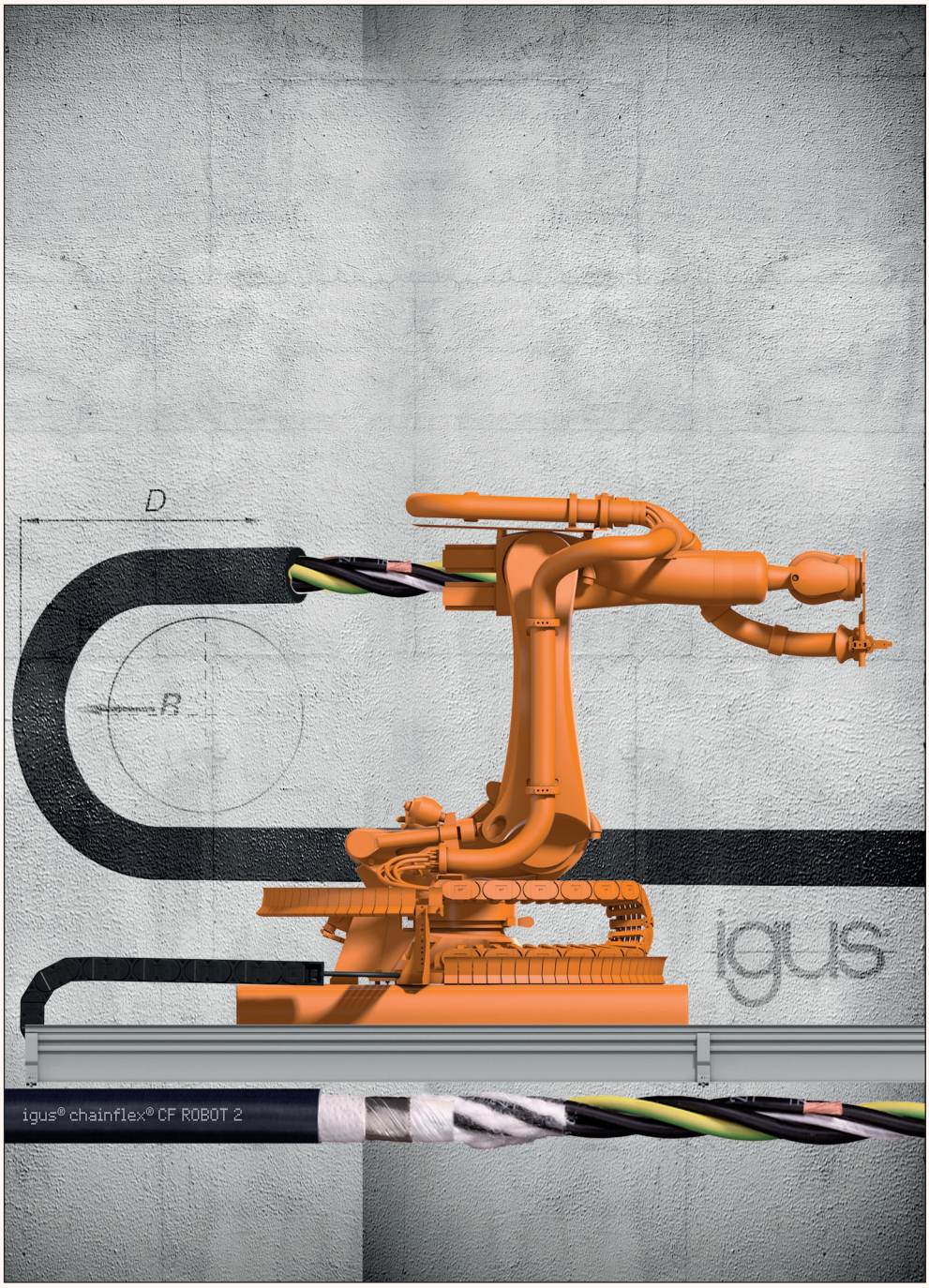
ELETRÓNICA INDUSTRIAL
- Eletrónica (22.ª Parte)

PORTUGAL 3D
- Produtividade, conhecimentos e competências

DOSSIER SOBRE TENDÊNCIAS DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL
- Cibersegurança na robótica para uma sociedade mais segura
- A transformação digital da sua empresa
- Adquira, entenda e utilize dados com soluções industriais de IoT

ENTREVISTA
- Harker Solutions: Propósito: *"oferecer ao mercado soluções completas de acionamentos industriais"*

PUB



ISA Portugal Section

O processo industrial

Rui Vilela Dionísio
Departamento de Sistemas e Informática
Escola Superior de Tecnologia de Setúbal do Instituto Politécnico de Setúbal

1. PROCESSO E VARIÁVEIS DO PROCESSO

De uma forma genérica, chama-se processo a um conjunto de sequências, contínuas ou discretas, que conduzem a determinados resultados.

O conceito de processo é bastante amplo e não está apenas associado à indústria; há muitos tipos de processos em todos os domínios de actividade, quer esta seja exercida por seres humanos ou não. De acordo com esta definição podem considerar-se processos jurídicos, estatísticos, biológicos, geológicos, entre outros.

O instrumentista fixará a sua atenção sobre os processos de fabrico ou processos industriais. Estes podem ser classificados em processos mecânicos, térmicos, químicos, entre outros. Um determinado processo pode ser analisado de formas bastante diferentes consoante a finalidade que se pretende: análise económica da produção, estabilidade do controlo, análise da poluição, entre outros.

Um processo industrial encontra-se quase sempre dividido em processos mais pequenos, bem definidos: os processos ou operações unitárias.

Uma das formas de observar como é que o processo se encontra a decorrer, se com normalidade ou não, consiste em medir os valores de determinadas grandezas e compará-las com valores de referência. Se existirem desvios significativos deverá ser tomada alguma acção, manual ou automática. Às grandezas de carácter físico ou químico que variam com o decorrer do tempo dá-se o nome de variáveis do processo. O registo das variáveis do processo pode ser mental, manual ou automático. Nos processos industriais atuais efetua-se um registo automático das variáveis do processo e dispõe-se de sistemas automáticos em linha que efectuam acções correctivas ou de controlo, sempre que tal seja necessário.

2. EXEMPLOS DE PROCESSOS

São muitos os exemplos de processos que se podem apresentar, em relação aos quais interessa medir determinadas grandezas ou variáveis, físicas ou químicas. A seguir referem-se alguns deles, sem haver, no entanto, a intenção de efectuar qualquer estudo sistemático, pretendendo-se apenas indicar sumariamente alguns dos tipos de variáveis sobre as quais há necessidade de utilizar instrumentação de medida. motivando para a necessidade da instrumentação industrial nos diversos campos de aplicação.

2.1. Reservatório ou tanque

Este processo é constituído por um recipiente, aberto ou fechado, sendo correntemente utilizado para armazenar sólidos granulados ou fluidos, para recipiente de reações químicas ou como volante de um processo de fabrico complexo. Nele existe pelo menos uma alimentação de um determinado produto (podem existir diversas entradas para vários produtos), e há uma ou mais saídas. Muitas vezes é importante manter o nível do produto no tanque dentro de determinados valores, podendo também ser necessário manter controlado o valor da temperatura. Poderá ser necessário medir o caudal de cada uma das entradas ou saídas. Se o reservatório for fechado é importante saber-se a sua pressão, por questões de segurança e também por razões processuais. Em determinados reservatórios é essencial o conhecimento do pH dos produtos.

Na Figura 1 esquematiza-se este tipo de processo. Este é correntemente observado através da medição das seguintes variáveis:

- nível do produto no reservatório, h;
- temperatura do produto, T;
- pressão (para o caso de reservatórios fechados), p;
- caudal de entrada, q_1;
- caudal de saída, q_2;
- temperatura do vapor de aquecimento, T_v;
- caudal de vapor de aquecimento, q_v;
- pH do fluido no interior, pH.

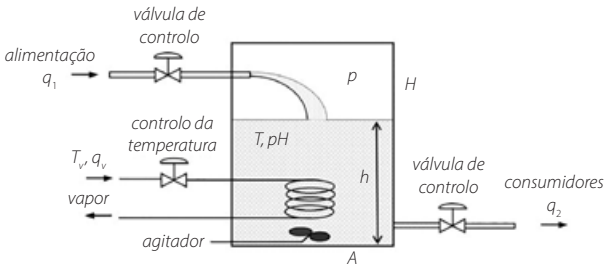


Figura 1. Reservatório contendo um produto.

O processo tem como parâmetros a altura do reservatório, H, e a área da sua base, A (ou então o volume do reservatório, $V = A \times H$). Do ponto de vista do fabrico considera-se que se trata de um processo contínuo se o reservatório contiver o produto em permanência durante a operação, e de um processo descontínuo, por lotes ou em "*batch*", se durante o processo de fabrico o reservatório for utilizado com enchimentos/esvaziamentos periódicos.

Do ponto de vista macroscópico este processo é sempre contínuo, uma vez que as suas variáveis de processo evoluem de uma forma contínua no tempo (continuidade no sentido matemático). As variáveis de processo são sinais analógicos. Do ponto de vista da aquisição dos valores das variáveis estas serão consideradas analógicas se puderem ser observadas de uma forma contínua ao longo do tempo (exemplo: indicadores de ponteiro, registadores de papel), ou discretas, se os seus valores apenas forem conhecidos a intervalos de tempo regularmente espaçados. As variáveis discretas são apresentadas sob a forma numérica, com um determinado número de algarismos, com ou sem casas decimais.

Artigo redigido segundo o Antigo Acordo Ortográfico.

Existe uma relação bem definida entre as variáveis de um determinado processo. A expressão que as relaciona constitui o chamado modelo matemático do processo. Este pode ser um modelo simplista ou mais ou menos complexo, consoante o tipo de estudo que se pretende efectuar. Assim, para o exemplo deste reservatório pode estabelecer-se um modelo elementar que relacione o nível do produto *h* com os caudais de entrada q_1 e de saída q_2, se for admitido que a temperatura é constante e não existe nenhuma reacção química no interior do reservatório:

- se a diferença entre os caudais de entrada e de saída for positiva, o nível sobe;
- se for negativa, o nível baixa;
- se for nula (caudal de entrada igual ao de saída), o nível permanece constante.

Estas relações encontram-se esquematizadas na Figura 2. Repare-se que a diferença de caudais é proporcional à variação de nível, ou então, que o nível é proporcional ao valor acumulado (integral) da diferença de caudais

$$q_1 - q_2 = k\frac{dh}{dt} \qquad (1)$$

Um modelo matemático mais completo terá em conta as outras variáveis do processo e a sua interdependência. A relação entre as variáveis será apresentada por uma ou várias equações diferenciais, de primeira ordem ou de ordem superior à primeira.

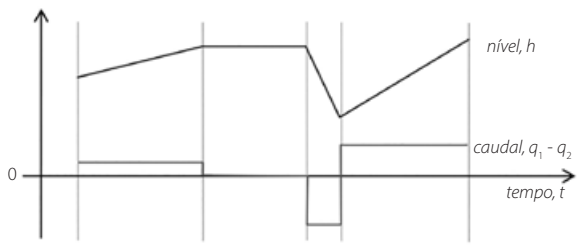


Figura 2. Relação entre o nível e os caudais.

2.2. Digestor descontínuo

A pasta de papel, produzida originalmente por métodos mecânicos, é actualmente fabricada por processos químicos. Um dos primeiros processos químicos utilizados consiste num recipiente de grandes dimensões (dezenas de m^3), chamado digestor descontínuo, onde as aparas de madeira (matéria-prima para o fabrico da pasta de papel) depois de misturadas com lixívias são sujeitas à acção de uma temperatura elevada (≈160 °C) durante algumas horas. Para se terem as aparas com a lixívia a uma temperatura elevada o recipiente tem de estar pressurizado (é uma espécie de *panela de pressão* industrial onde se *cozem* as aparas da madeira). Neste processo, representado na Figura 3, é possível identificar várias fases de operação:

- **Enchimento**, durante a qual se introduz no digestor uma quantidade pré-determinada de aparas de madeira e de produtos químicos (lixívias).
- **Pressurização** e **aquecimento**, em que por meio da acção do vapor se eleva a temperatura do digestor até um valor conveniente para obter um cozimento adequado. Nesta fase há um grande consumo de vapor.
- **Cozimento**, fase durante a qual se dão as reacções químicas que transformam as aparas de madeira em pasta de papel. As fibras da madeira são separadas em celulose (de interesse na pasta de papel) e em lenhina (escura, sem interesse direto para a pasta).
- **Despressurização** e **descarga**, em que é retirada a pressão ao digestor, e a pasta de papel é removida do seu interior.

Estes tipos de digestores foram gradualmente sendo substituídos pelos digestores contínuos.

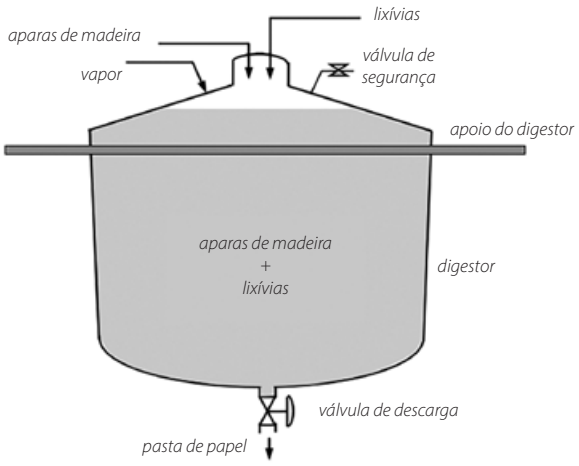


Figura 3. Digestor descontínuo para produção de pasta de papel.

2.3. Digestor contínuo

Um digestor contínuo é um reactor químico onde a madeira, por acção de produtos químicos, as lixívias, e também sob a acção da temperatura, é transformada em pasta de papel. O digestor tem a forma de uma estrutura tubular vertical fechada, com algumas dezenas de metros de altura, o reactor propriamente dito, e algum equipamento periférico necessário para introduzir as aparas de madeira e as lixívias, aquecer a mistura e extrair os produtos intermédios e acabados.

A madeira é constituída basicamente por celulose e lenhina. A celulose, formada por fibras, é o principal constituinte da pasta de papel; a lenhina é o composto escuro da madeira, que interessa retirar.

Na Figura 4 representa-se esquematicamente um digestor contínuo.

O fabrico da pasta começa com a alimentação das aparas de madeira ao digestor. As aparas são conduzidas por um tapete transportador [1] até ao silo das aparas [2]; a sua quantidade é contabilizada pelo medidor de aparas [3], servindo a indicação deste para calcular as quantidades de lixívia que se devem adicionar. As aparas por meio do alimentador de baixa pressão [4] são introduzidas no impregnador [5] onde são impregnadas com vapor, para libertarem os gases não condensáveis, o que posteriormente, no interior do digestor, torna fácil a impregnação pelas lixívias. O impregnador utiliza vapor de baixa pressão

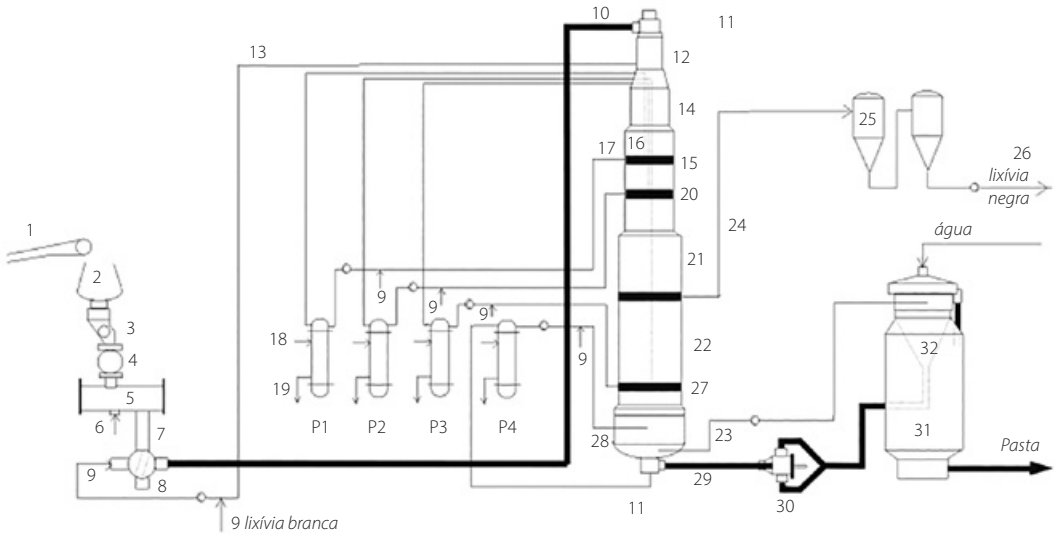


Figura 4. Digestor contínuo para produção de pasta de papel.

[6] e conduz as aparas ao alimentador de alta pressão, AAP [8]. Este é constituído por um cilindro de aço maciço atravessado por vários canais radiais. Quando, à medida que vai rodando, um dos canais passa pela posição vertical, enche-se com as aparas que se encontram na conduta de aparas [7]. O AAP encontra-se ligado do lado esquerdo a uma conduta com lixívia branca a alta pressão [9], e do lado direito ao topo do digestor [11], através da conduta de alimentação de aparas [10]. No seguimento do seu movimento de rotação o canal que acabou de ser cheio com aparas é posto em contacto com a conduta de lixívia branca. As aparas são assim disparadas para o interior do digestor, devido à diferença de pressão existente entre o lado esquerdo e o lado direito do AAP. Existe um crivo no cimo do digestor, o separador de topo [12], que permite extrair a lixívia transportadora das aparas e reenviá-la [13] para o AAP. As aparas lançadas no interior do digestor, que se encontra quase cheio de lixívia e pressurizado, iniciam um movimento descendente, parcialmente com o auxílio da gravidade e também porque no fundo do digestor se está continuamente a extrair pasta [29].

No seu movimento descendente as aparas atravessam a zona de impregnação [14] onde são postas em contacto íntimo com a lixívia. Continuando a descer, as aparas passam pela zona de cozimento superior [15], onde são aquecidas por meio de lixívia de circulação quente, lançada no interior do digestor por meio de uma conduta interna [16], e extraída através do crivo [17]. Esta lixívia de circulação é aquecida por meio de um permutador de calor [P1], aquecido por meio de vapor [18] que é extraído sob a forma de condensado [19]. Nesta fase as aparas começam a ser convertidas em pasta de papel. Esta pasta continua o seu movimento descendente e atravessa a zona de cozimento inferior [20] onde se repete o que aconteceu na zona superior, mas a uma temperatura mais elevada.

A pasta continua a descer pelo interior do digestor, demorando algum tempo a atravessar a zona de cozimento [21]. Esta região tem uma secção maior do que a anterior para que a pasta nela permaneça o tempo necessário ao seu cozimento, sem a zona ter um comprimento demasiadamente elevado. Continuando a descer, a pasta atinge a zona de extração, onde através de um crivo e de uma conduta [24] se retira alguma lixívia do digestor, que é lançada nos ciclones de expansão [25], donde segue para os evaporadores, onde irá ser concentrada para ser utilizada como combustível na caldeira de recuperação.

A lixívia extraída contém uma grande quantidade de lenhina, originada durante as fases de cozimento, pelo que tem uma cor muito escura, sendo por isso chamada lixívia negra. Para auxiliar a extracção é injetada lixívia pelo fundo do digestor [23]. Este caudal ascendente auxilia a lavar a pasta em contra corrente, no interior do digestor. A pasta é arrefecida já junto do fundo do digestor [28], onde é lavada de novo. Por meio do raspador de fundo e da válvula de descarga a pasta segue [29] para um misturador [30] e é enviada para o tanque de pasta crua [31]. A descarga para este tanque faz-se através de um lavador por difusão [32].

2.4. Caldeira de combustão de óleo

A queima de óleo combustível industrial (*fuel*) numa caldeira destina-se à produção de calor (energia térmica), que na indústria é utilizado normalmente para a produção de vapor (Figura 5).

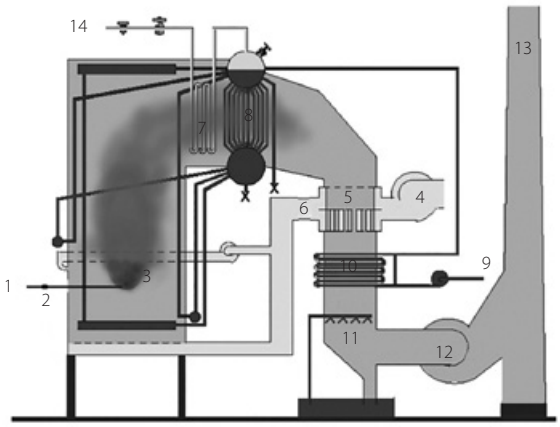


Figura 5. Caldeira de combustão de óleo.

O caudal de óleo combustível que alimenta a caldeira pela tubagem [1] é medido por um caudalímetro [2] e é lançado na fornalha [3]. O ar para a combustão é enviado por uma conduta através de um ventilador [4], é aquecido [5], e o seu caudal

“A relação existente entre estas variáveis é relativamente complexa, algumas não-lineares, por vezes variáveis no tempo. Uma vez que a folha de papel é uma superfície (tem duas dimensões), torna-se necessário efetuar as medições e o controlo, tanto na direção longitudinal da máquina como na direção transversal, a fim de se obter uma boa homogeneidade e pequena dispersão das características.

medido por meio de uma restrição [6]. Este ar é distribuído por vários níveis, consoante a configuração de caldeira, sendo mantida uma relação conveniente entre o caudal de ar comburente e o caudal de óleo combustível. O calor desenvolvido pela combustão do fuel é utilizado para aquecimento da água de alimentação [9] e do vapor [14] produzido pela sua ebulição. Este aquecimento é realizado em diversas secções, normalmente o ebulidor [8] e o sobreaquecedor [7]. A água de alimentação [9] usada para produção de vapor é também pré-aquecida [10]. Do combustível queimado resultam gases de combustão ou fumos, que depois de filtrados e lavados [11] são lançados para a atmosfera, por um exaustor [12] e uma chaminé [13]. Os resíduos sólidos são retirados para diversas aplicações.

Neste processo é corrente considerarem-se o circuito dos gases e o circuito da água/vapor. O processo pode ser decomposto em vários subprocessos. Um deles, o ebulidor ou barrilete, (local onde a água ferve), tem uma importância especial, por ser aí essencial do ponto de vista da segurança manter o nível de água entre dois limites, mínimo e máximo, apertados.

Procura-se produzir uma determinada quantidade de vapor sobreaquecido [14], caracterizado pelo seu caudal, pela sua pressão e pela sua temperatura.

2.5. Máquina de produção de papel

Uma máquina de produção de papel, representada esquematicamente na Figura 6 é um processo complexo, que deve ser analisado por meio de subprocessos.

Admitindo que se dispõe como matéria-prima pasta de papel em suspensão em água, com as características convenientes, o fabrico do papel começa com a preparação desta pasta por refinação, adição de água e aditivos sólidos (não indicado na figura). Esta pasta líquida, acabada de preparar, é enviada a uma caixa de nível constante [1]. Algumas máquinas não têm caixa de nível constante, dispondo em vez dela de um regulador de caudal. Daquela caixa a pasta é enviada para a caixa de chegada [2], depois de a misturar com a água de circulação recolhida por baixo da teia. A caixa de chegada dispõe de um orifício retangular a toda a sua largura [4] que serve para lançar a pasta sobre uma teia em movimento [3]. Forma-se assim uma folha molhada, muito frágil, que é prensada para lhe retirar parte da água e uniformizar a espessura [5]. Seguidamente a folha de papel, contínua, é obrigada a passar através de um conjunto de cilindros secadores [6], que lhe conferem a humidade final desejada. Normalmente os secadores encontram-se agrupados, sendo de distinguir duas zonas: uma antes da "*size-press*" (não indicada na Figura 6) e outra depois. A "*size-press*" dá ao papel um revestimento superficial que necessita de secagem adicional.

Para operar este processo é necessário medir e controlar, as seguintes variáveis do processo:

- caudal da pasta de papel;
- consistência da pasta;
- pressão do vapor de secagem;
- temperatura do vapor;
- pressão das prensas e sua distribuição transversal.

É também importante medir (sensores [7], indicados na Figura 6) e controlar continuamente as características da folha de papel que está a ser produzida, nomeadamente:

- gramagem da folha (peso por metro quadrado);
- humidade (percentagem de água);
- cinzas (% de matéria inorgânica);
- espessura, formação (indicadora das irregularidades);
- velocidade e largura da folha produzida;
- cor da folha;
- …

A relação existente entre estas variáveis é relativamente complexa, algumas não-lineares, por vezes variáveis no tempo. Uma vez que a folha de papel é uma superfície (tem duas dimensões), torna-se necessário efetuar as medições e o controlo, tanto na direção longitudinal da máquina como na direção transversal, a fim de se obter uma boa homogeneidade e pequena dispersão das características.

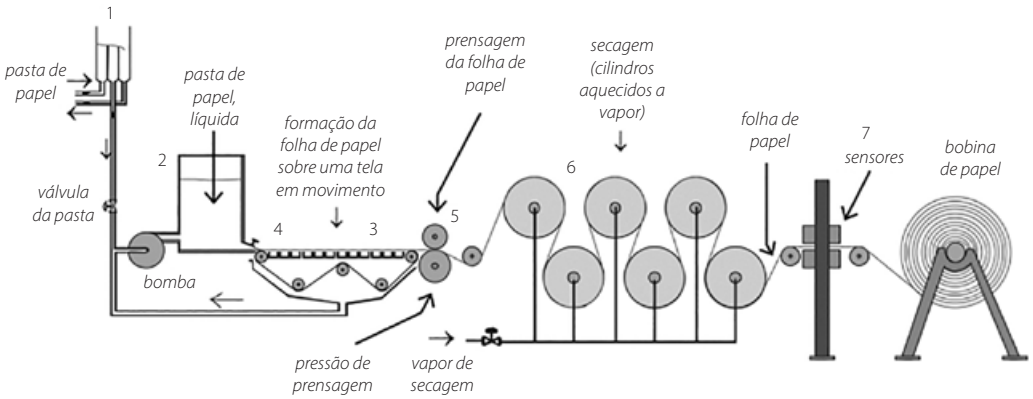


Figura 6. Esquema de uma máquina para fabrico de papel.