

IDENTIFICABILIDADE ESTRUTURAL DE SISTEMA DE VAPOR DE UNIDADE INDUSTRIAL DE FERTILIZANTES

R. L. S. FRANÇA¹, P. R. MARTINS^{2,3}, R. P. SILVA³, A. M. OLIVEIRA Jr.⁴

¹ Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química

² Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química

³ Petrobrás/Fábrica de Fertilizantes de Sergipe

⁴ Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química

E-mail para contato: reginaquimica@gmail.com

RESUMO – Os processos produtivos de amônia e uréia em uma unidade industrial de fertilizantes nitrogenados necessitam de processos auxiliares que supram as necessidades de produção da unidade como o fornecimento de vapor para acionamento de turbomáquinas. Esses importantes sistemas têm perdas devido a inúmeros fatores, tais como o lançamento do vapor gasto na atmosfera, partidas de unidades, vazamentos, descarga do vapor condensado, etc... Com o aumento do uso de computadores na indústria inúmeros dados são adquiridos e utilizados para otimização e controle em linha. O objetivo desse trabalho foi a identificabilidade do sistema auxiliar de vapor em uma unidade industrial com a respectiva classificação de variáveis do sistema para posterior reconciliação de dados. A identificação estrutural do sistema permitiu classificar todas as variáveis medidas e não medidas do sistema.

1. INTRODUÇÃO

Em uma planta industrial mesmo possuindo um nível alto de automação onde se encontram sensores integrados e sistemas de controle em tempo real que apresentam uma quantidade enorme de dados coletados, as variáveis apresentadas muitas das vezes se tornam apenas dados dos processos e não uma informação importante a respeito do mesmo. De acordo com BAI e THIBAUT (2010), variáveis de processo descrevem as características de uma planta. O número de variáveis de processo em uma planta pode ser da ordem de centenas ou milhares dependendo da complexidade da planta. Entretanto, nem todas as variáveis de processo são medidas devido a razões econômicas e técnicas. Muitas variáveis críticas são normalmente selecionadas e medidas, e são chamadas de variáveis medidas do processo. E outras variáveis que não são selecionadas são chamadas de variáveis não medidas de processo.

Em unidades industriais, envolvem-se pesquisa, engenharia básica, projeto detalhado, montagem, comissionamento, pré-operação, partida, operação normal da planta e também sua manutenção (BEGA, 2003). Nela, dezenas e ou até centenas de variáveis são checadas em tempo real e encaminhadas ao sistema de digital de controle distribuído (SDCD). A importância do estudo das variáveis deve-se ao fato de que a observação contínua delas possibilita detectar qualquer anomalia no

seu comportamento e tomar medidas corretivas rapidamente, podendo partir, parar e controlar o processo quando necessário.

A geração de vapor da unidade de amônia de uma fábrica de fertilizantes nitrogenados é extremamente importante para a planta, já que abastece praticamente toda a unidade industrial. Ela possui um sistema de informatização integrado, onde há a necessidade do uso de vapor para acionamento e operacionalização do processo produtivo de amônia e ureia. Esse sistema de alta complexidade apresenta medidas de níveis de pressão, temperatura, vazão, tanto em nível de indicação e controle como somente de controle. O vapor gerado advém da planta de utilidades através de caldeiras geradoras e em seguida é recebido a uma dada pressão e há exaustões desse dentro da unidade da amônia para consumo em turbinas e em diversos processos.

De acordo com MARQUES (2006) pode-se dizer que há domínio tecnológico completo de um processo industrial se é possível identificar todas as variáveis que caracterizam as diferentes operações e as interligações entre as mesmas. Esse trabalho é parte de um trabalho maior de reconciliação de dados, e foi realizado em etapas, começando pela identificação das fontes consumidoras do sistema de vapor na unidade industrial até a classificação das variáveis do processo.

2. METODOLOGIA

O exemplo de fluxograma de um processo apresentado na figura 1 mostra a importância do método de classificação de variáveis.

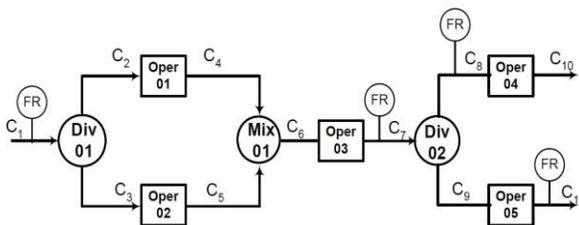


Figura 1. Fluxograma modelo do processo

Na figura 1 é mostrado que nesse processo existem 11 correntes, 5 operações, 1 misturador e 2 divisores. Observa-se que nas correntes 1, 7, 8 e 11 foram instalados registradores de fluxo. Como hipóteses simplificadoras consta que o sistema é isotérmico, monocomponente, opera em regime permanente, sem reação química, sem perdas e demais propriedades físicas constantes.

Assim, o fluxograma apresentado na figura 1 é reduzido ao que será mostrado na figura 2:

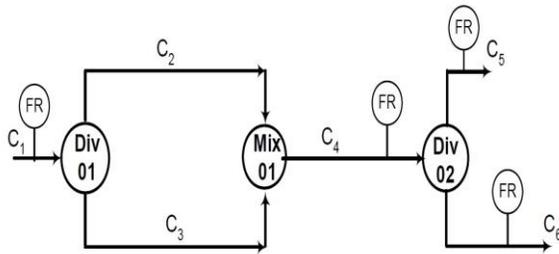


Figura 2: Fluxograma após análise

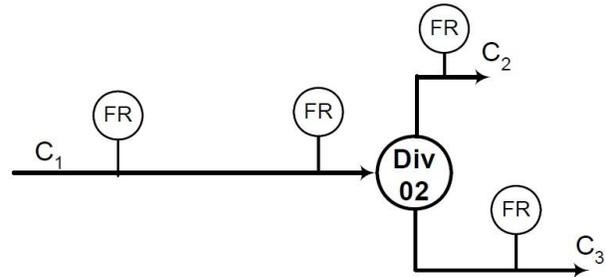


Figura 3: Fluxograma modelo final obtido

Em virtude da idéia de dividir e em seguida misturar novamente não tem aceitação lógica para um exemplo simples fictício, o sistema pode ser reduzido a figura 3 apresentada anteriormente.

Da figura 3 que apresenta o modelo final do processo em análise pode-se observar que as variáveis de vazão medidas nas correntes 1, 7, 8 e 11 são redundantes, já que as vazões podem ser calculadas com os valores medidos em outros instrumentos, sendo portanto medidas redundantes. As variáveis 6, 9 e 10 são variáveis observáveis do processo, e as variáveis 2, 3, 4 e 5 são não observáveis.

É importante pontuar que nem todo fluxograma de processo há possibilidade de redução, ou eliminação de operações, pode haver perda de massa caso seja eliminada uma variável importante. Dessa forma, classificar variáveis de um processo qualquer depende da análise de dados sobre fluxogramas complexos, baseados em seguintes observações:

O fluxograma seja apresentado cujo NÓS representem divisores, misturadores e operações;

Conceber equações para cada um dos NÓS do fluxograma, sempre relacionando as variáveis em estudo;

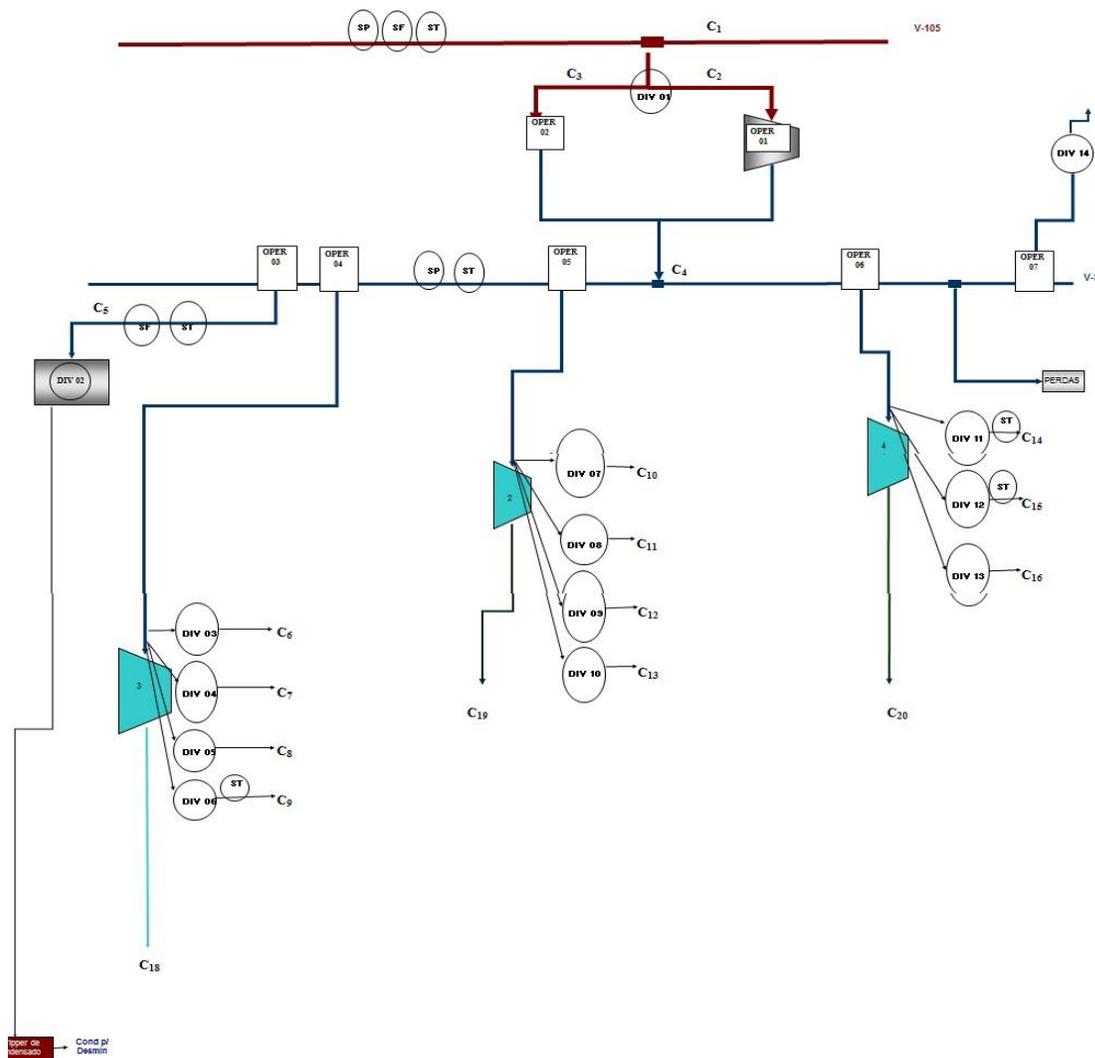
A identificabilidade deverá analisar todas as variáveis pertencentes às equações do processo.

Da análise em questão deve ser formulada uma tabela onde se expõe um modelo matemático para a identificação das correntes e das variáveis e a característica de cada uma delas com relação à medição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para esse estudo, foi feito um esquema simplificado de geração e consumo de vapor na planta de amônia visto na Figura 2, onde o fluxograma inteiro mostra o sistema de geração e consumo de vapor. Desse, foi escolhido o vapor de 38 kg/cm²g para o estudo da identificabilidade do processo. Tal escolha deveu-se ao fato de que essa linha possui extrema relevância para um processo de geração e consumo de vapor.

O que é representado pelo fluxograma na Figura 2, são as operações de geração para consumo de vapor e acionamento de turbomáquinas em uma unidade de amônia, representada pelas Operações 01, 03, 04, 05, e 06, e pelas correntes c4 a c21. As correntes c2 e c3 contêm a geração do vapor de 38 kg/cm²g que é o exausto do vapor 105kg/cm²g conforme a corrente c1. Nessas correntes encontram-se medidas de vazão, temperatura e pressão. A Operação 03 contém o stripper do condensado para desmineralização onde é gerado hidrogênio identificado como c17. A Operação 07 recolhe uma parte do vapor, para usos internos e a maior quantidade para fora da unidade através do sistema de vácuo, corrente c21.



Os medidores são apresentados como SF (sensor de fluxo), ST (sensor de temperatura) e SP (sensor de pressão). Depois da análise do esquema simplificado do processo, foi gerada a Tabela 1 onde há a classificação das variáveis mencionadas.

Tabela 1: Identificação de Correntes e de Variáveis - Projeto

Corrente	Variável de Interesse	Identificação Var	Var número	Característica
C1	Vazão Mássica	m1	x1	Medida
	Pressão	p1	x2	Medida
	Temperatura	t1	x3	Medida
C2	Vazão Mássica	m2	x4	Não Medida
	Pressão	p2	x5	Medida
	Temperatura	t2	x6	Medida
C3	Vazão Mássica	m3	x7	Não Medida
C4	Vazão Mássica	m4	x8	Não Medida
	Temperatura	t4	x9	Medida
	Pressão	p4	x10	Medida
C5	Vazão Mássica	m5	x11	Não Medida
	Pressão	p5	x12	Medida
	Temperatura	t5	x13	Medida
C6	Vazão Mássica	m6	x14	Não Medida
C7	Vazão Mássica	m7	x15	Não Medida
C8	Vazão Mássica	m8	x16	Não Medida
C9	Vazão Mássica	m9	x17	Não Medida
	Temperatura	t9	x18	Medida
C10	Vazão mássica	m10	x19	Não medida
C11	Vazão mássica	m11	x20	Não medida
C12	Vazão mássica	m12	x21	Não medida
C13	Vazão mássica	m13	x22	Não medida
C14	Vazão mássica	m14	x23	Não medida
	Temperatura	t14	x24	Medida
C15	Vazão mássica	m15	x25	Não medida
	Temperatura	t15	x26	Medida

C16	Vazão mássica	m16	x27	Não medida
C17	Condensado para desmineralização	m17	x28	Não medida
C18	Exausto V-4	m18	x29	Medida
C19	Exausto V-14	m19	x30	Medida
C20	Exausto V-14	m20	x31	Medida
C21	Descarga superfície	m21	x32	Não medida

As equações (1) a (15) são referentes aos balanços de massa e energia que podem ser escritas de acordo com os NÓS do fluxograma:

Nó DIV 01 e OPER 01 (Balanço de Massa do Divisor 01 e Operação 01 - Não ocorrem variações de temperaturas)

$$m2 = m1 \qquad \qquad \qquad x4 = x1 \qquad \qquad \qquad (1)$$

$$m4 = m2 \qquad \qquad \qquad x8 = x4 \qquad \qquad \qquad (2)$$

Nó OPER 03 (Balanço de Massa e Energia da Operação 03 - Ocorre variação de temperatura)

$$m4 + m5 = m17 \qquad \qquad \qquad x8 + x11 = x28 \qquad \qquad \qquad (3)$$

$$m4 * cp4 * \Delta t4 + m5 * cp5 * \Delta t5 = m17 * cp17 * \Delta t17 \quad x8 * cp4 * x9 + x11 * cp5 * x13 = m17 * cp17 \quad (4)$$

Mesmo ocorrendo variação na temperatura da corrente 17 (representada por m17), não há sensor medindo essa variável onde acontece o stripper do condensado para posteriormente gerar hidrogênio.

Nó OPER 04 (Balanço de Massa da Operação 04 - Não ocorre variação de temperatura)

$$m4 + m6 + m7 + m8 + m9 = m18 \qquad \qquad \qquad x8 + x14 + x15 + x16 + x17 = x29 \quad (5)$$

A corrente 9 (representada por m9) é um compressor de gás natural que visa elevar a pressão do vapor, entretanto há apenas sensor indicativo de temperatura.

Nó DIV 03, DIV 04 e DIV 05 (Balanço de Massa dos Divisores 03, 04 e 05 - Não ocorrem variações de temperaturas).

$$m4 = m6 \qquad \qquad \qquad x8 = x14 \qquad \qquad \qquad (6)$$

$$m4 = m7 \qquad x8 = x15 \qquad (7)$$

$$m4 = m8 \qquad x8 = x16 \qquad (8)$$

Nó DIV 06 (Balanço de Massa e Energia do Divisor 06 - Ocorre variação de temperatura)

$$m4 = m9 \qquad x8 = x17 \qquad (9)$$

$$m4*cp4*\Delta t4 = m9*cp9*\Delta t9 \qquad x8*cp4*x9 = x17*cp9*x18 \qquad (10)$$

Nó OPER 05 (Balanço de Massa da Operação 05 - Não ocorre variação de temperatura)

$$m4 + m10 + m12 + m13 = m19 \qquad x8 + x19 + x21 + x22 = x30 \qquad (11)$$

Nessa operação não entra a corrente 11 (representada por m11) que é reserva da corrente 10 (representada por m10), ou seja, ela só age caso ocorra algum defeito com a outra. As correntes 12 e 13 (representadas por m12 e m13) são equipamentos que contribuem apenas para acionamento de uma bomba contrapressão para água de caldeira (m10).

Nó DIV 07 (Balanço de Massa do Divisor 07 - Não ocorre variação de temperatura)

$$m4 = m7 \qquad x8 = x15 \qquad (12)$$

Nó OPER 06 (Balanço de Massa e Energia da Operação 06 - Ocorre variação de temperatura)

$$m4 + m14 + m15 + m16 = m20 \qquad x8 + x23 + x25 + x27 = x31 \qquad (13)$$

$$m4*cp4*\Delta t4 + m14*cp14*\Delta t14 + m15*cp15*\Delta t15 + m16 = m20$$

$$x8*cp4*x9 + x23*cp14*x24 + x25*cp15*x26 + x27 = x31 \qquad (14)$$

Todas as correntes dessa operação representam consumo do vapor de 38kg/cm²g para o processo da amônia, entretanto, não existem medidores de pressão e nem de vazão nas correntes. As correntes c16 e c20 (representadas por m16 e m20 respectivamente) não possuem sensores de medida por esse motivo não devem entrar no balanço energético.

Nó OPER 07 (Balanço de Massa Operação 07 - Não ocorre variação de temperatura)

$$m4 = m21$$

(29)

$$x8 = x32$$

(15)

Algumas variáveis não podem ser, portanto, observadas: x_{28} , x_{17} , x_{20} , x_{21} , x_{22} , x_{27} . Algumas equações também não devem ser utilizadas como por exemplo: (4), (5), (11), (14). O que é observado com essa análise é que não há medição existente nos pontos requeridos, não permitindo a observação completa do sistema de vapor da unidade. Portanto, a identificação de forma inequívoca todas as variáveis do sistema deverá ser concluída buscando entre os grupos de sensores existentes os quais promovem a observabilidade do sistema, levando em conta a importância relativa das correntes do processo. Assim, parece mais adequado inserir um grupo de sensores onde há maior necessidade nas medidas, como por exemplo nas correntes $c_{14}(x_{23})$, $c_{15}(x_{25})$ e $c_{16}(x_{27})$ que são maiores consumidoras de vapor.

4. CONCLUSÃO

Diante da identificabilidade das correntes do processo e da classificação das variáveis chaves em análise, é possível mensurar que algumas variáveis de extrema relevância ao sistema estão inseridas na classificação de não medidas. Esse fato observado pode causar um aumento da probabilidade de erro nas medições bem como mascarar alguns problemas existentes. Há ainda a necessidade de verificar a instalação de grupos de sensores adequados mais intimamente ligados ao processo.

Através de um método matemático computacional chamado de reconciliação de dados pretende-se chegar a soluções não só para essa unidade mas também para todo o sistema de geração de vapor.

5. REFERÊNCIAS

BAI, S.; THIBAUT, J.; **Dynamic data reconciliation: theory and practice**. Saarbrücker, Alemanha, 2010.

BEGA, E. A.; **Instrumentação Industrial**, São Paulo, 3ª Ed., Ed. Interciência, 2011.

GHOSH, K.; RAMTEKE, M.; SRINIVASAN, R.; **Optimal variable selection for effective statistical process monitoring**. Computers and Chemical Engineering, nº60, pg 260-276, Singapore, 2014.

MARQUES, J. A.; **Reconciliação de Dados na identificação e caracterização de balanços hídricos em plantas industriais**, Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

MARTINI, A., SORCE, A., TRAVERSO, A., MASSARDO, A., **Data reconciliation for power systems monitoring: Application to a microturbine-based test rig**. Applied Energy, nº 111, pg 1152-1161, Italy, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; LIMA, E. L.; PINTO, J.C.; **A identificação estrutural como proposta de classificação de variáveis para a reconciliação de dados industriais**. Scientia Plena, vol. 7, num. 11, 2011.