REVISTA MULTIDISCIPLINAR
FACULDADE DO NOROESTE DE MINAS
FINOM
HUMANIDADES & TECNOLOGIAS - ISSN 1809-1628

REDUÇÃO DE CUSTOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS: aplicação da instrumentação e automação

Rolfimam Teixeira Melo[1]

Márcio da Silva Fernandes[2]

Resumo: A automatização instrumentada em processos industriais é de suma importância, devido à necessidade de se antecipar as variações existentes nos processos industriais, sejam elas causadas por operações normais ou não. Dentro deste enfoque, foi proposto e implementado uma sequência de automatismos no sistema de água de alimentação das caldeiras de 140 toneladas por hora, em uma central termoelétrica localizada na região do Vale do Aço, permitindo então: Reduzir o número de quebras do conjunto de bombas de alimentação de água para caldeiras, com o emprego de automatismos lógicos alimentados por sinais provenientes de instrumentos de medição (temperatura, pressão e vazão), capazes de tomar intervirem no processo para mitigar/evitar a cavitação das bombas, caso este estágio seja atingido, outras ações também estão previstas para restaurarem a situação de normalidade de processo. Se as atuações anteriores não atingirem o objetivo o resultado esperado, há uma proteção que retira a bomba de operação, evitando sua quebra.

Palavras-chave: Automatização; Processos Industriais; Instrumentação.

Abstract: The automation instrumented in industrial processes is of paramount importance, due to the need to anticipate the variations existing in the industrial processes, be they caused by normal operations or not. Within this approach, a sequence of automatisms in the boiler feed water system of 140 tons per hour was proposed and implemented in a thermoelectric plant located in the Vale do Aço region, thus allowing: Reduce the number of breaks in the pump set of water supply to boilers, using logic automatics fed by signals from measuring instruments (temperature, pressure and flow), capable of taking part in the process to mitigate avoid cavitation of the pumps, if this stage is reached, other actions are also planned to restore the normality of the process. If the previous performances do not reach the objective the expected result, there is a protection that removes the operation pump, avoiding its breakage.

Keywords: Automation; Industrial processes; Instrumentation.

---

[1]Acadêmico do 10º Período do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade do Noroeste de Minas - FINOM.

[2]Professor e Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade do Noroeste de Minas - FINOM. marciosfernandes@gmail.com

Recebido em 15/03/2020
Aprovado em 24/03/2020

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda a utilização dos sistemas de controle, utilizando as informações obtidas do processo produtivo a partir de instrumentos. Segundo Bega (2011) a necessidade de controle precisos fica evidente no processo de geração de energia elétrica, como o abordado aqui.

A Central Termoelétrica alvo deste estudo, fica localizada na região do Vale do Aço e possui duas Caldeiras para geração de vapor de processo e produção de energia elétrica através de um turbo gerador de 63,3MW/h. Cada caldeira tem capacidade de produção de 142 t/h de vapor superaquecido, através de seus quatro queimadores de 34 MW cada.

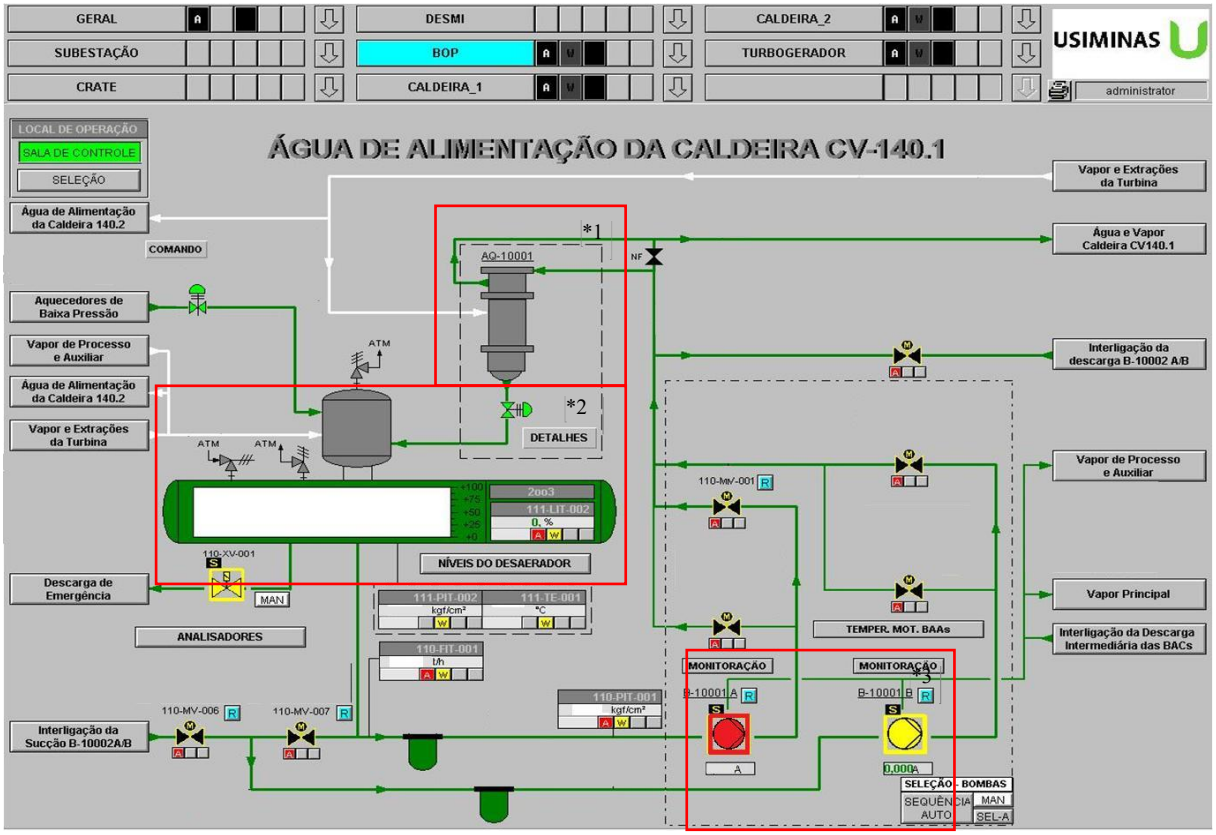

Figura 1 – Fluxograma da alimentação da caldeira CV- 140.1

As caldeiras possuem um sistema de água para alimentação (figura 1), dividida em dois conjuntos, um para cada caldeira, mas que podem trabalhar interligados. Cada conjunto possui dois aquecedores*1 a vapor, um desaerador*2 e um par de bombas*3, sendo a primeira em operação e a segunda em stand-by. Desde o início do ciclo operacional da em 2009, as quebras de bombas por cavitação se tornaram frequentes, ocasionadas principalmente no momento de grandes variações de cargas no Turbo Gerador. Nas ocorrências de cavitação, era necessário a intervenção do operador no sistema de vapor auxiliar elevando a pressão de sucção das bombas

para eliminar a cavitação, no entanto, neste momento o operador tem sua atenção dividida com o agente causador dos distúrbios, o impedindo de atuar em tempo hábil e preservar a bomba.

Segundo Bega (2011) é indispensável controlar as variáveis de processos dentro de valores especificados. O mais próximo que uma variável estiver do seu SetPoint, melhor será o desempenho do processo em questão.

Ainda conforme Bega (2011) afirma, os controles realizados por instrumentos, permitem ao processo uma precisão maior que a alcançada em um controle realizado pelo operador manualmente. O nome dado para a medição de uma variável de processo até a sua disponibilização aos sistemas de controle é malha, sendo está dividida em malha aberta ou fechada. Segundo Bega (2011) a malha aberta é aquela que as informações lidas do processo não são utilizadas para ajustar o processo, mas sim para conhecer a sua dinâmica. Ainda segundo Bega (2011), a malha fechada utiliza das informações obtidas do processo para manipular uma variável a fim de se obter o valor desejado em uma variável controlada.

Foram criados três automatismos para evitar que a bomba de alimentação entre ou permaneça nesta condição indesejável. O primeiro automatismo atua no desaerador mitigando as condições que produzem a cavitação das bombas, este controle é classificado por Bega (2011) e Feedforward, porque atua nos distúrbios, se antecipando aos problemas.

O segundo automatismo também atua no desaerador, porém de maneira abrupta, elevando rapidamente a pressão na sucção das bombas, este controle é classificado por BEGA (2011) como Feedback, porque atua diretamente no desvio da variável controlada.

O terceiro e último automatismo atua para garantir a segurança das bombas, caso todas as ações anteriores não sejam suficientes para impedir a cavitação, o sistema de controle comandará o desligamento das bombas que estiverem em falha evitando sua quebra. Este automatismo é classificado por Bega (2011) como um intertravamento de segurança, porque impedirá a operação da bomba sempre que esta ultrapassar limites segurança para seu funcionamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Condição do Processo

O sistema alvo deste artigo é o de água de alimentação das caldeiras 140 t/h. Este sistema depende diretamente da condição operacional das caldeiras e do Turbo Gerador que compõe a planta, pois todo o vapor produzido pelas caldeiras e fornecido a turbina do gerador, condensa e retorna para o sistema de água de alimentação, mantendo assim um sistema interdependente e cíclico.

As grandes variações no processo culminavam na quebra de bombas, o ciclo de interdependência pode ser iniciado de três maneiras (Figura 2):

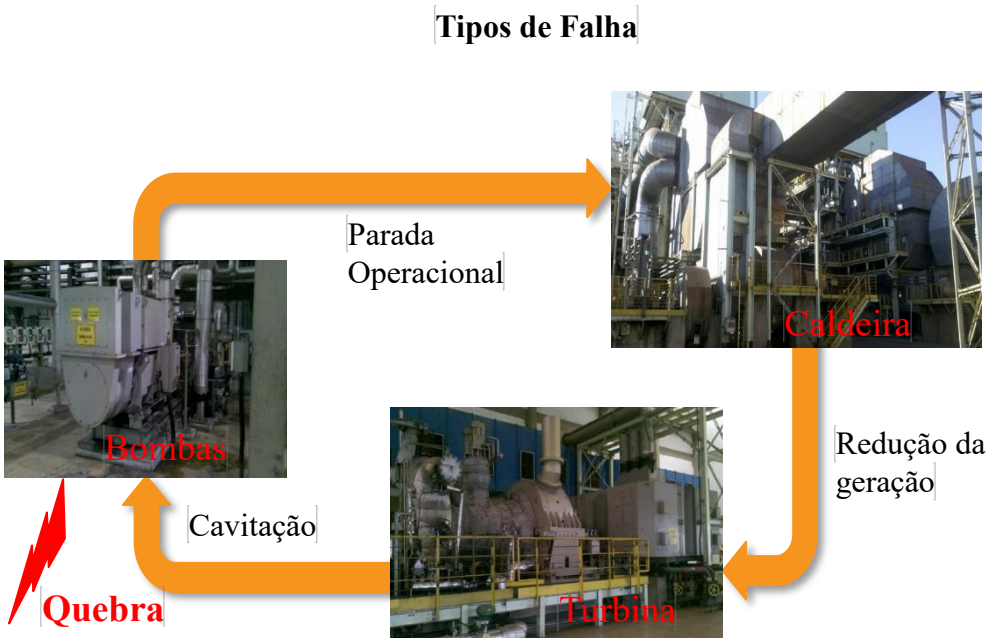

Figura 2 - Tipo de falhas em caldeiras

No conjunto de bombas: Uma bomba entra em modo de falha, provocando a parada operacional de uma caldeira, que por sua vez reduz o envio de vapor ao gerador, reduzindo por consequência o volume de vapor disponibilizado na sangria intermediária para o desaerador e sua pressão interna, que implica na diminuição da pressão na sucção das bombas, iniciando/intensificando o estado de cavitação das bombas de alimentação.

Rejeição de carga na turbina: Reduz o volume de vapor disponibilizado na sangria intermediária para o desaerador, reduzindo sua pressão interna e de igual modo a pressão na sucção das bombas, iniciando/intensificando o estado de cavitação das bombas de alimentação. As cavitações nas bombas reduzem o recalque de água para as caldeiras, obrigando uma redução da produção o que afeta ainda a pressão interna do desaerador por falta de vapor,

diminuindo ainda mais a pressão de sucção das bombas e potencializando a cavitação. Redução da produção de vapor nas caldeiras: O volume do vapor produzido é reduzido em função da parada operacional de queimadores ou de uma caldeira, diminuindo o envio de vapor a turbina, que por consequência reduz o volume de vapor disponibilizado na sangria intermediária para o desaerador e sua pressão interna, de igual modo a pressão na sucção das bombas, iniciando/intensificando o estado de cavitação das bombas de alimentação.

Automatismos implementados e seus efeitos

Os automatismos criados foram baseados em três níveis de atuação sequencial, buscando garantir a segurança operacional da planta e ao mesmo tempo evitar a condição indesejada de quebra de bombas de alimentação.

Os três controles criados são classificados em Feedforward, Feedback e intertravamento, sendo denominados respectivamente de Lógica de controle de pressão do desaerador, Lógica de elevação em rampa da pressão do desaerador e Lógica de trip da bomba de alimentação.

As atuações das estratégias de controle ocorrem na sequência citada acima, sendo que a atuação da segunda não elimina os efeitos da primeira e assim sucessivamente. A seguir detalhamos melhor as estratégias de controle (automatismos) de cada ação citada.

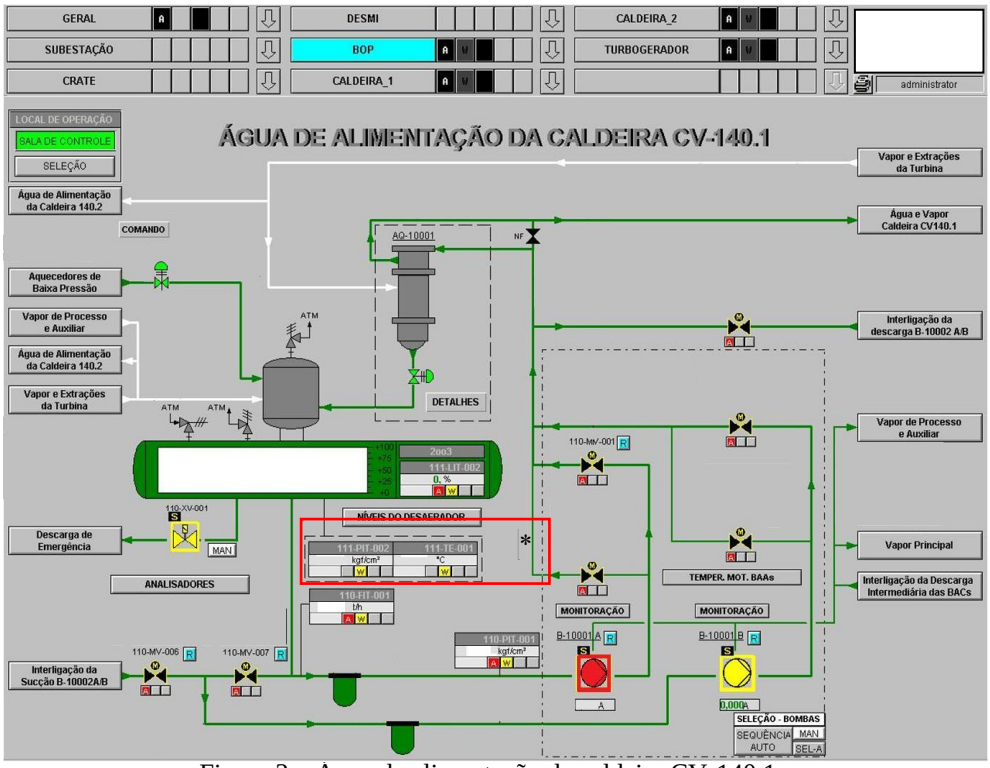

Figura 3 – Água de alimentação da caldeira CV-140.1

Lógica de controle de pressão do desaerador (Feedforward).

A lógica de controle de pressão do desaerador tem como principal objetivo evitar a vaporização da água dentro do desaerador, para a implantação deste controle foram aplicados instrumentos conceituados por bega (2011), são eles:

- Transmissor de pressão eletrônico do tipo capacitivo, capaz de medir a pressão através de um elemento sensor capacitor instalado na sua célula de medição.
- Sensor de temperatura do tipo PT100, um dos mais comuns sensores para este fim, que utiliza um elemento de platina padronizado que confere ao sensor estabilidade, repetibilidade, precisão e ampla faixa de operação.
- Válvula de controle do tipo globo, dotada de sede simples e posicionada por um servoamplificador denominado posicionador, que responde a sinais elétricos e aplica sinais pneumáticos na válvula globo para controlar sua posição.

O controle tem como entrada as variáveis de processo do próprio desaerador, que são a pressão e temperatura (figura 3). A partir destas duas variáveis o sistema de controle trabalha com um modelo baseado no diagrama de Mollier (tabela 1), que produz como resultado de saída o valor de pressão ideal para o desaerador na condição operacional de momento, o sinal de saída deste modelo é a variável de SetPoint do PID que atua na válvula de controle do vapor auxiliar (figura 4), para manter a pressão do desaerador na condição dimensionada.

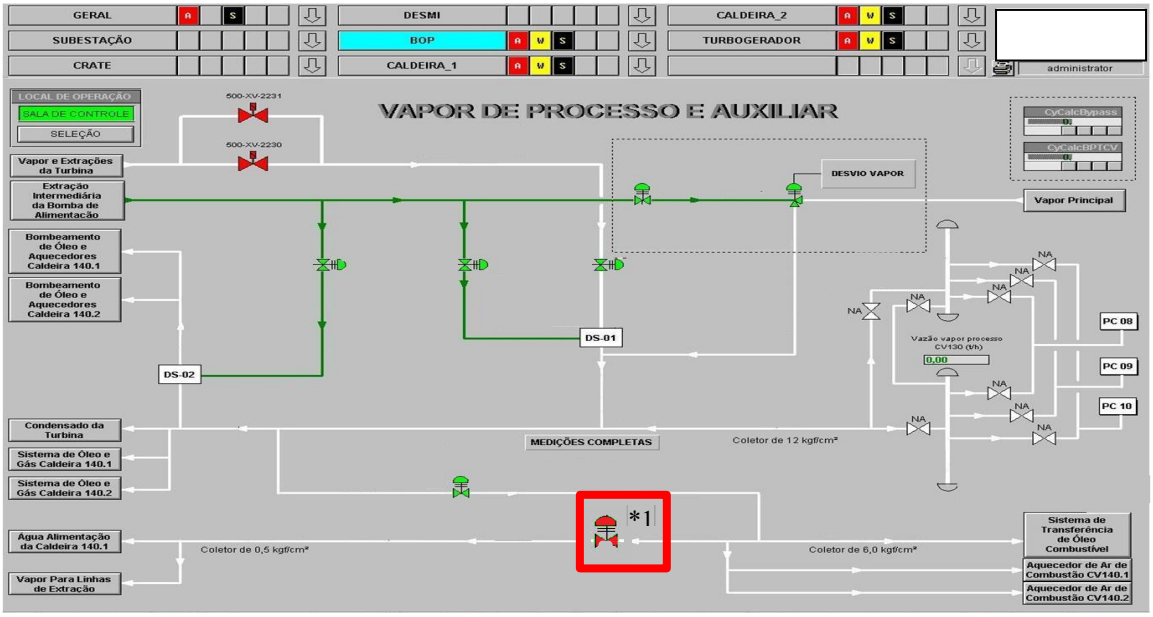

Figura 4 - Vapor de processo e auxiliar

Para garantir a atuação mais segura possível, o sistema considera a bomba com a menor pressão de sucção entre as quatro existentes, a maior temperatura e menor pressão dos dois desaerador existentes.

O vapor auxiliar utilizado no controle da pressão do desaerador é proveniente da própria produção das caldeiras, que após ter sua pressão e temperatura reduzida é utilizado em diversos processos da central termoelétrica 2.

Tabela 1- diagrama de Mollier

Pressão (absoluta)	Temperatura de vaporização	Volume específico		Entalpia específica			Entropia específica	
		do líquido saturado	do vapor saturado	do líquido saturado	acréscimo na vaporização	do vapor saturado	do líquido saturado	do vapor saturado
P	t_v	v_l	v_v	h_l	h_{l_v}	h_v	s_l	s_v
kgf/cm²	°C	m³/kg	m³/kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg°K	kcal/kg°K
0,01	6,7	0,0010	131,6	6,7	593,3	600,2	0,0243	2,1450
0,02	17,2	0,0010	68,27	17,2	587,6	604,8	0,0612	2,0848
0,03	23,8	0,0010	46,53	23,8	583,9	607,7	0,0835	2,0499
0,04	28,6	0,0010	35,46	28,7	581,1	609,8	0,0998	2,0253
0,05	32,6	0,0010	28,73	32,5	579,0	611,5	0,1126	2,0063
0,06	35,8	0,0010	24,19	35,8	577,1	612,9	0,1232	1,9908
0,07	38,7	0,0010	20,92	38,6	575,5	614,1	0,1323	1,9778
0,08	41,2	0,0010	18,45	41,1	574,1	615,2	0,1403	1,9665
0,09	43,4	0,0010	16,51	43,4	572,7	616,1	0,1474	1,9566
0,10	45,5	0,0010	14,95	45,4	571,6	617,0	0,1538	1,9478
0,15	53,6	0,0010	10,21	53,5	566,9	620,4	0,1790	1,9139
0,20	59,7	0,0010	7,79	59,6	563,4	623,0	0,1974	1,8899
0,25	64,6	0,0010	6,321	64,5	560,5	625,0	0,2119	1,8715
0,30	68,7	0,0010	5,328	68,6	558,0	626,6	0,2241	1,8564
0,40	75,4	0,0010	4,068	75,4	553,9	629,3	0,2436	1,8328
0,50	80,9	0,0010	3,301	80,8	550,7	631,5	0,2591	1,8145
0,60	85,5	0,0010	2,782	85,4	547,9	633,3	0,2720	1,7996
0,70	89,5	0,0010	2,408	89,4	545,4	634,8	0,2832	1,7871
0,80	93,0	0,0010	2,125	93,0	543,2	636,2	0,2929	1,7762
0,90	96,2	0,0010	1,904	96,2	541,2	637,4	0,3017	1,7667
0,95	97,7	0,0010	1,810	97,7	540,2	637,9	0,3057	1,7623
1,0	99,1	0,0010	1,725	99,1	539,3	638,4	0,3095	1,7582
1,1	101,8	0,0010	1,578	101,8	537,6	639,4	0,3167	1,7504
1,2	104,3	0,0010	1,454	104,3	530,0	640,3	0,3234	1,7434
1,3	106,6	0,0010	1,349	106,7	534,5	641,2	0,3296	1,7370
1,4	108,7	0,0011	1,259	108,9	533,0	641,9	0,3353	1,7310
1,5	110,8	0,0011	1,180	110,9	531,8	642,7	0,3407	1,7255
1,6	112,7	0,0011	1,111	112,9	530,5	643,4	0,3458	1,7203
1,7	114,6	0,0011	1,050	114,8	529,2	644,0	0,3506	1,7154
1,8	116,3	0,0011	0,9950	116,6	528,0	644,6	0,3552	1,7109
1,9	118,0	0,0011	0,9459	118,3	526,9	645,2	0,3596	1,7065
2,0	119,6	0,0011	0,9015	119,9	525,9	645,8	0,3637	1,7024
2,1	121,2	0,0011	0,8612	121,4	524,9	646,3	0,3677	1,6985
2,2	122,6	0,0011	0,8245	122,9	523,9	646,8	0,3715	1,6948
2,3	124,1	0,0011	0,7909	124,4	522,9	647,3	0,3752	1,6913
2,4	125,5	0,0011	0,7600	125,8	522,0	647,8	0,3787	1,6879
2,5	126,8	0,0011	0,7315	127,2	521,0	648,2	0,3821	1,6846
2,6	128,1	0,0011	0,7051	128,5	520,1	648,6	0,3854	1,6815
2,7	129,3	0,0011	0,6805	129,8	519,2	649,0	0,3885	1,6785
2,8	130,6	0,0011	0,6577	131,0	518,4	649,4	0,3916	1,6756
2,9	131,7	0,0011	0,6365	132,2	517,6	649,8	0,3946	1,6728
3,0	132,9	0,0011	0,6165	133,4	516,8	650,2	0,3975	1,6701

Lógica de elevação em rampa da pressão do desaerador (Feedback).

A lógica de controle de elevação em rampa da pressão do desaerador tem como principal objetivo elevar pressão do desaerador de maneira abrupta, produzindo um aumento rápido na pressão de sucção das bombas de alimentação. Sua atuação é necessária quando ocorre a formação de vapor na sucção das bombas, fazendo com que está entre em cavitação.

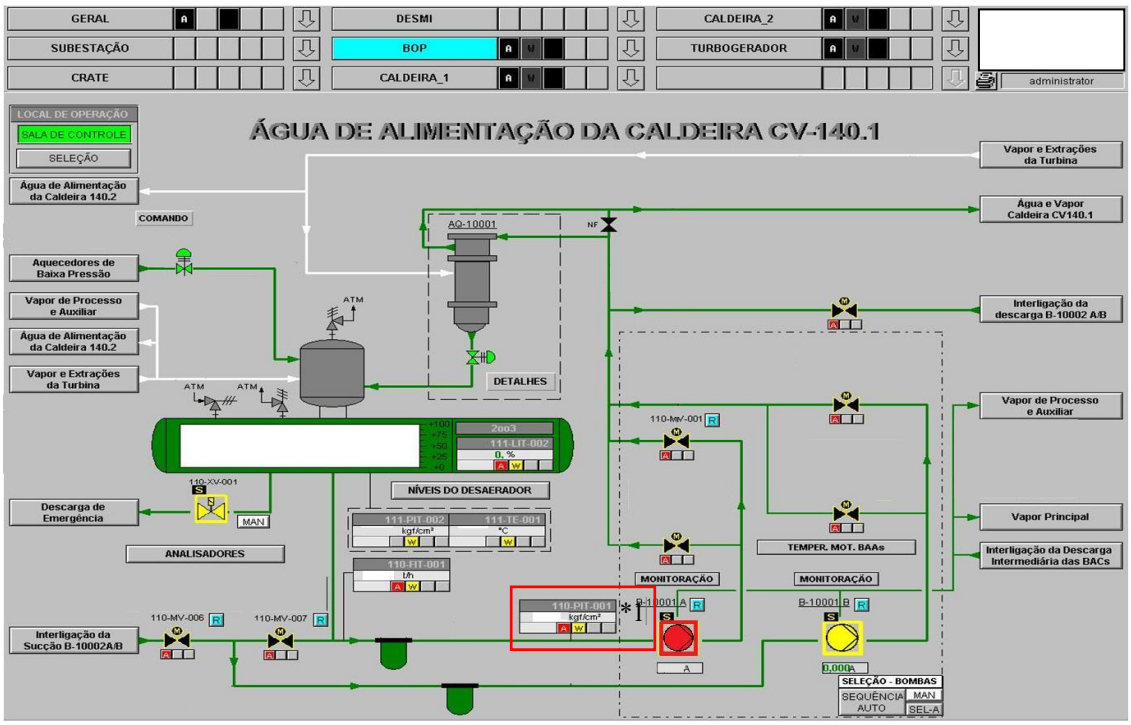

Figura 5 – Água de alimentação da caldeira CV-140.1

Para a implantação deste controle foram aplicados instrumentos conceituados por bega (2011), são eles:

- Transmissor de pressão eletrônico do tipo capacitivo, capaz de medir a pressão através de um elemento sensor capacitor instalado na sua célula de medição.
- Válvula de controle do tipo globo, dotada de sede simples e posicionada por um servo amplificador denominado posicionador, que responde a sinais elétricos e aplica sinais pneumáticos na válvula globo para controlar sua posição.

O controle tem como entrada a variável pressão sucção das bombas de alimentação (figura 5). A partir desta variável o sistema de controle trabalha com um modelo em rampa que comanda a abertura da válvula de vapor auxiliar (figura 6) a uma taxa média de 15% para cada 0,1 kgf/cm² de queda na pressão de sucção, para valores inferiores a 1,2 kgf/cm².

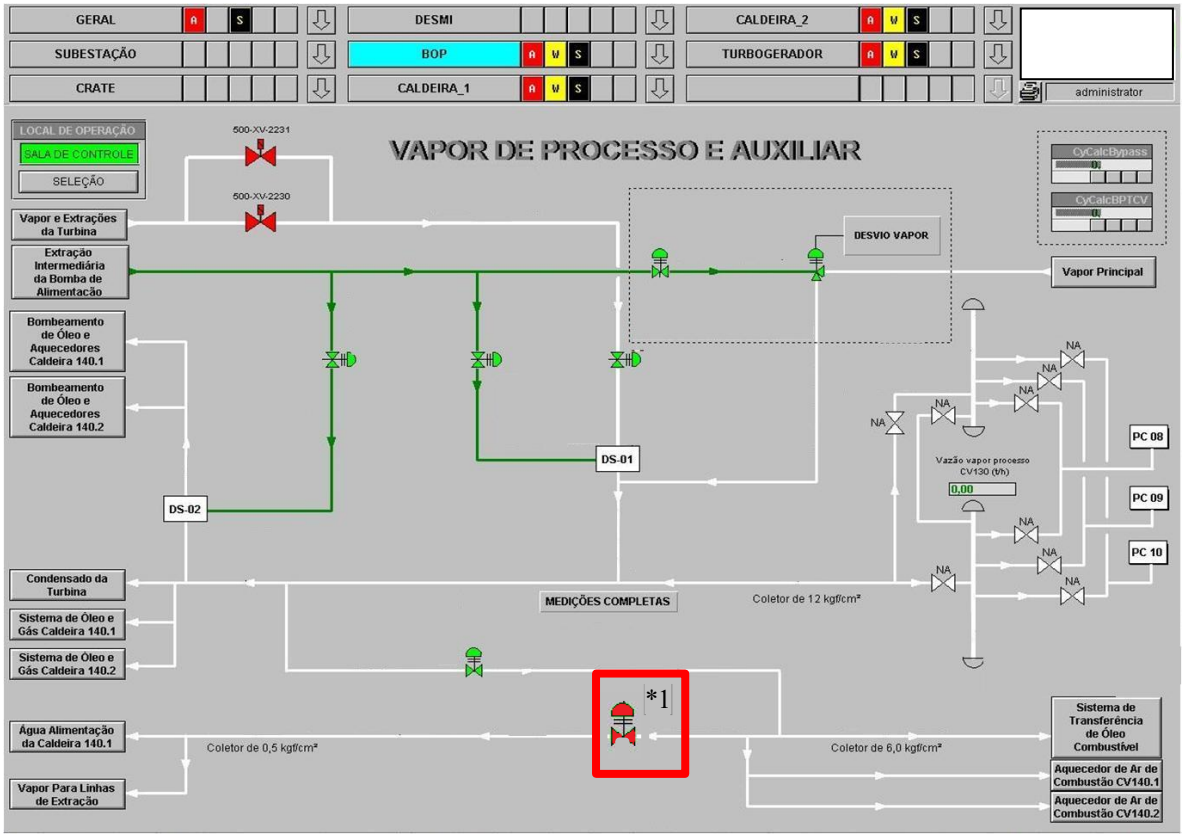

Figura 6- Vapor de processo e auxiliar

A atuação é segura porque o sistema considera a bomba com a menor pressão de sucção entre as quatro existentes. A válvula de controle de vapor para o desaerador é a mesma utilizado na lógica de controle de pressão, sendo sua ação somada a do controle de pressão em rampa.

Lógica de trip das bombas de alimentação (intertravamento).

A lógica de trip das bombas de alimentação tem como principal objetivo evitar que uma ou mais bombas venham a falhar provocando fadiga de algum interno. Caso os controles automáticos citados anteriormente não consigam impedir/eliminar a condição indesejada de cavitação das bombas, esta lógica atuará.

Para a implantação deste controle foram aplicados instrumentos conceituados por bega (2011), são eles:

- Transmissor de pressão eletrônico do tipo capacitivo, capaz de medir a pressão através de um elemento sensor capacitor instalado na sua célula de medição.
- Transmissor de vazão utilizando como elemento primários placas de orifício

concêntricas, aplicando a teoria de elementos deprimogênitos, sendo este sinal primário do processo calculado para a vazão medida através de um transmissor de pressão diferencial que utiliza o elemento sensor do tipo capacitivo

- Válvula de controle do tipo globo, dotada de sede simples e posicionada por um servo amplificador denominado posicionador, que responde a sinais elétricos e aplica sinais pneumáticos na válvula globo para controlar sua posição.

Outro instrumento utilizado foi o transdutor de corrente em malha aberta, medindo a corrente dos motores. O transdutor é descrito por Oliveira (2001) como um transformador de corrente para alimentar instrumentos, provendo em seu secundário um valor de corrente na escala 0 a 5 A.

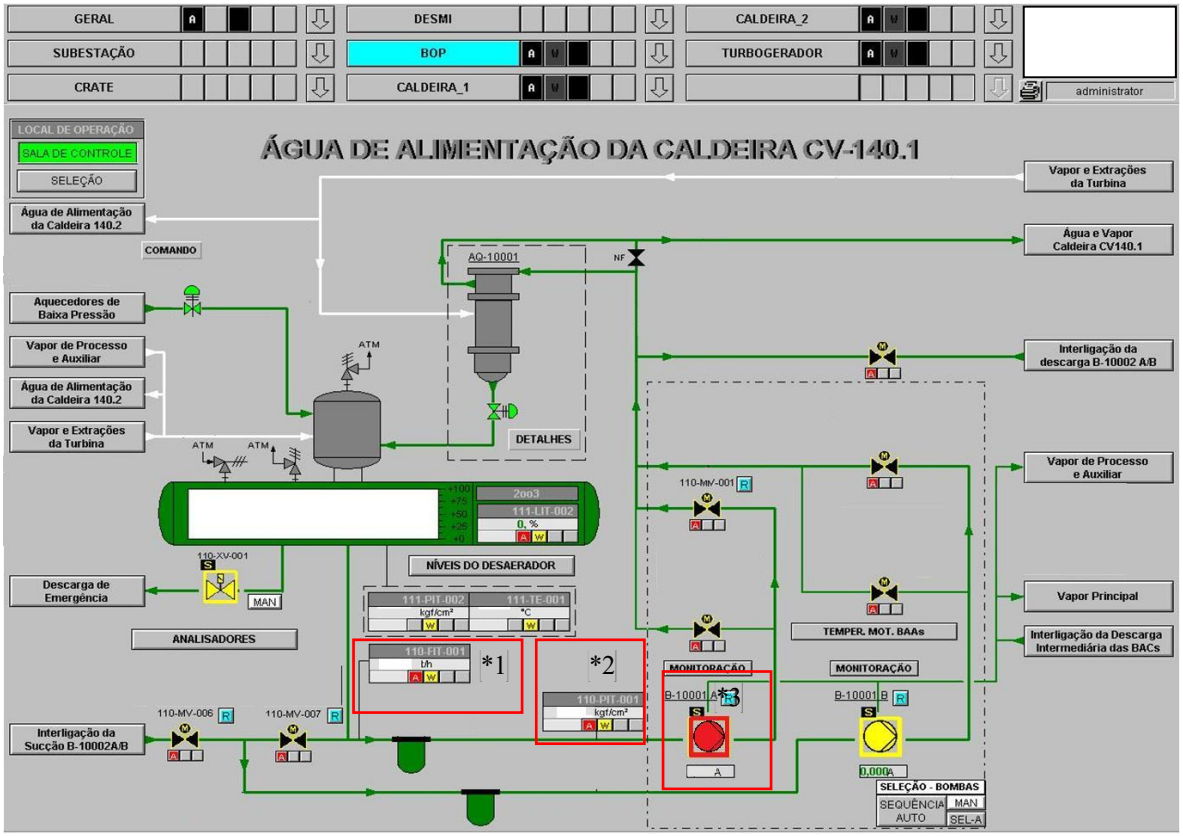

Figura 7- Fluxograma da água de alimentação da caldeira CV 140.1

A proteção das bombas é individualizada, e considera as variáveis de vazão na sucção, pressão de sucção e corrente do motor da bomba (Figura 7), caso as três variáveis caiam abaixo de valores predeterminados por um período maior que 60 segundos a bomba receberá um comando de desliga.

Os valores mínimos aceitos são:

- Vazão de sucção: 50 t/h;
- Pressão de sucção: 1,2 kgf/cm²;
- Corrente do motor da bomba: 60A.

Os tempos de banda morta dos equipamentos de campo, somados a inércia do processo foram considerados em conjunto com o tempo que a bomba suporta estar em cavitação. Através de testes identificamos o tempo de 60 segundos como adequado para permitir que o processo se acomode após uma grande variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As implementações dos automatismos abordados geraram significativa melhora de desempenho no processo, como por exemplo: aumento da produção de vapor e a consequente melhora na geração de energia ou a redução da indisponibilidade de bombas e paradas da planta.

Existem também os ganhos que podem ser mensurados através da comparação entre períodos, tais como números de quebras por período, que podem ser visualizadas na figura 8.

Entre os meses de julho de 2011 a outubro de 2013 (total de 28 meses) ocorreram 13 quebras de bombas. No mês de novembro de 2013 foram concluídos e validados todos os automatismos citados neste documento. No período apurado de novembro de 2013 até fevereiro de 2016 (total de 28 meses) ocorreram apenas 2 quebras, representando uma redução de 650% no número de ocorrência. No período compreendido entre março de 2016 a outubro de 2017(total de 16 meses) não ocorreu nenhuma quebra de bomba.

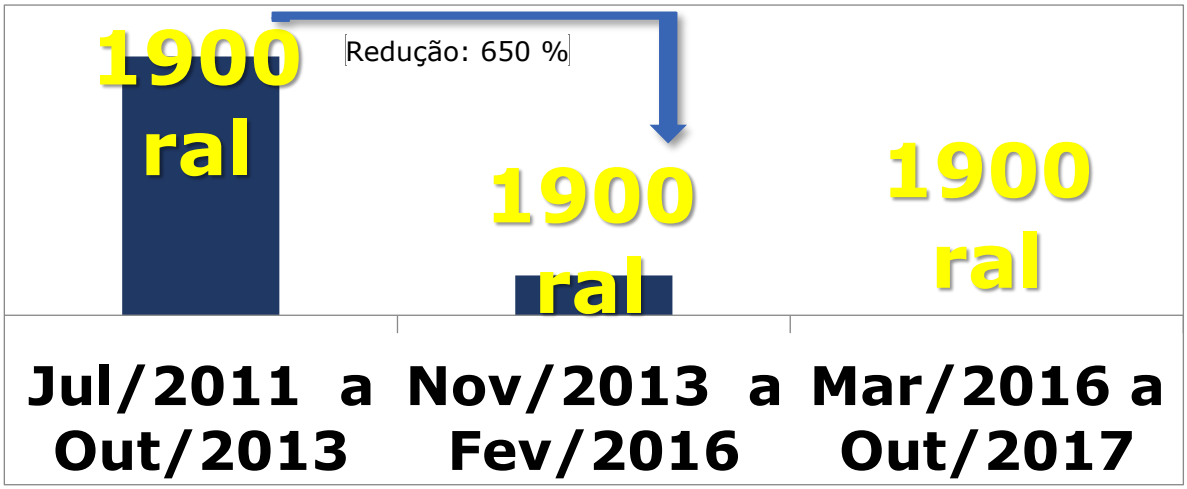

Figura 8 - Números de quebras por período

Tabela 2 – Números de ocorrências de julho a outubro de 2013

Ocorrências antes da implementação dos automatismos (Jul/2011 a Out/2013)	
Número de registro da ocorrência	Mês/ano da ocorrência
14838908	07/2011
14893926	07/2011
14971847	03/2012
15398440	02/2012
15693608	05/2012
15874115	07/2012
15892759	08/2012
15950778	08/2012
16162905	08/2012
16287094	08/2012
16289816	01/2013
16653275	05/2013
16978075	09/2013
Ocorrências após implementação dos automatismos (Nov/2013 a Jun/2017)	
Número de registro da ocorrência	Mês/ano da ocorrência
17450991	01/2014
17451010	01/2014

O ganho financeiro, proporcionado pela redução no desembolso com reparo de bombas pode ser mensurado a partir da inferência sobre a relação entre o número de reparos evitados e o custo médio de reparo de uma bomba.

Considerando os dados de custo para reparo em uma bomba, tais como: sobressalentes R$ 26.786,86, mão de obra área R$ 1.254,54 e custos de reparo em oficina R$ 20.610,23, chegamos ao custo total aproximado de 48.651,63 para reparo de uma bomba. A estimativa da economia alcançada fica em torno de R$ 729.774,45.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos esperados para o trabalho proposto foram alcançados. O sucesso alcançado permite afirmar que, os automatismos associados com informações das condições de processos pelo uso da instrumentação, possibilitam uma evolução significativa no desempenho do sistema de água para as caldeiras, aumentando a confiabilidade do sistema e o desempenho da central termelétrica como um todo.

Este conceito se estende a outros processos industriais, porque toda e qualquer ação que venha a ser retirada das mãos do operador, através da aplicação de critérios específicos e sequências lógicas coesas e coerentes as necessidades de um sistema ou planta, produzirá

respostas rápidas, produzindo resultados similares aos aqui mencionados, ainda que em amplitudes distintas.

REFERÊNCIAS

BEGA. E. A., DELMÉE., COHN, G., BULGARELLI. P., KOCH. R., SCMIDT.V. Instrumentação Industrial. 1ª edição, Interciência, Rio de Janeiro, 2011.

SIGHIERI, L., NISHINARI, A. Controle Automático de Processos Industriais Instrumentação. Editora Edgard Blücher Ltda. 1973.

WYLEN. G.J., SONNTAG. R.E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**, 2. Ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1981.

Análise de transformadores de corrente para medição. **Programa de pós-graduação em Metrologia para a qualidade industrial,** Rio de Janeiro, p. 4 - 53, fev. 2001. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/producaointelectual/obras_ intelectuais/228_obraIntelectual.pdf. Acesso em 13 junho de 2019.