

# DETECÇÃO DE ÁGUA EM UM SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DE CONDENSADO DE GÁS NATURAL A PARTIR DE VARIÁVEIS DE PROCESSO

RAMON P. SANTOS<sup>1</sup>, CELSO J. MUNARO<sup>2</sup>.

1. *Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras*  
*Av. Nossa Senhora da Penha, 1688, Bloco 3, 1º andar, Vitória, ES, 29057-550*  
*E-mails: ramonpereira@petrobras.com.br, ramonps2000@hotmail.com*

2. *Universidade Federal do Espírito Santo, Depto. de Engenharia Elétrica*  
*Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES, 29075-910*  
*E-mails: munaro@ele.ufes.br, cjmunaro@gmail.com*

**Abstract**—This work addresses the problem of detecting water over the legal limit in a stabilization system of natural gas condensate using process variables. This monitoring is critical given the need to pay royalties, but in the plant considered the measurements were made in the laboratory each 8h only, hindering the use of preventive and control actions. From the analysis of the process and its variables indices were proposed and combined using rules to detect the presence of excessive water in the process and to generate alarms to prevent water above the legal limit, allowing warning the operator to the need for actions and indicates the imminence of occurring values that exceed the limits. The proposed system was validated using measurements, both with batches of data and also in a continuous manner.

**Keywords**—Fault Detection, Natural Gas Condensate.

**Resumo**—Este trabalho aborda o problema de detecção de valores de água acima do limite legal em um sistema de estabilização de condensado de gás natural a partir de variáveis de processo. Este monitoramento é fundamental dada a necessidade de pagamento de *royalties*, havendo porém na planta considerada a limitação das medidas serem feitas em laboratório a cada 8h, dificultando o uso de ações preventivas e de controle. A partir da análise do processo e de suas variáveis, são propostos índices que são então combinados através de regras para detectar a presença excessiva de água no processo e para gerar alarmes para evitar água acima dos limites legais, permitindo alertar o operador sobre a necessidade de ações bem como indicar a iminência de ocorrerem valores de água que excedam os limites. O sistema proposto foi validado com as medições realizadas usando lotes de dados e também de forma contínua.

**Palavras-chave**—Detecção de falhas, Condensado de Gás Natural.

## 1 Introdução

A medição do volume de óleo produzido é fundamental para o pagamento de *royalties*, apropriação da produção e otimização da produção de petróleo e depende do teor de água no produto medido.

De acordo com Taranto (2010), a medição do teor de água pode ser em tempo real ou por amostragem e posterior análise em laboratório. Os métodos de medição do teor de água são muito sensíveis à homogeneidade da mistura e a presença de gás, além dos custos dos medidores serem relativamente altos (Cruz, 2003). No processo estudado, as medições são realizadas por análises laboratoriais a cada oito horas, a partir de amostras coletadas.

De acordo com o item 5.7 da Portaria Conjunta ANP (2000), o petróleo medido nos pontos de medição fiscal deve ser estabilizado e não conter mais de 1 % de água. Esta é a razão para medir e também controlar o teor de água continuamente, de forma a evitar que seu valor ultrapasse 1 %. Nas medições realizadas no Sistema de Estabilização de Condensado de Gás Natural (SECGN) foi verificado que o teor de água do condensado estabilizado na saída do sistema apresentava, em alguns momentos, no ponto de medição fiscal, valores acima do limite de 1 %.

Como as medições do teor de água no SECGN ocorrem a cada oito horas, as variações do teor de água no condensado estabilizado dentro desse intervalo não são medidas, dificultando o controle eficaz do processo para mantê-lo dentro do limite estabelecido pela legislação. Além disso, o intervalo de tempo entre o

instante da coleta e o resultado da análise do laboratório impossibilita uma ação de controle mais rápida para corrigir as variações do teor de água. A necessidade de monitorar e controlar continuamente o teor de água é uma das razões que motivaram a busca por uma solução que possibilitasse a detecção das ultrapassagens em tempo real, a partir das demais variáveis de processo. Outra razão para o desenvolvimento do algoritmo de detecção é o baixo custo de implantação, uma vez que nessa solução são utilizadas as medições existentes na planta, evitando gastos com novos equipamentos e serviços de instalação.

Nesse artigo serão mostradas as análises realizadas, os índices da quantidade de água derivados dessas análises, as informações que podem ser extraídas desses índices e seu uso para a detecção do excesso de água no condensado, assim como a viabilidade do uso do algoritmo para detectar as ultrapassagens do limite do teor de água em tempo real. A aplicação em um sistema real, os resultados obtidos com o método e uma análise de seu desempenho serão também apresentados.

## 2 Descrição do Processo

O SECGN visa, em linhas gerais, estabilizar a corrente de condensado e entregá-la em condições de temperatura e pressão pré-definidas. No diagrama da Figura 1 são apresentados os principais equipamentos do sistema e as variáveis utilizadas para desenvolver o estudo.

O condensado, ao chegar ao SECGN, passa por um tanque separador ( $T_1$ ), que tem a função de retirar a água do condensado. O condensado flui através da válvula  $V_2$  para o Tanque 2 ( $T_2$ ), que complementa a separação realizada em  $T_1$ . Após a segunda separação, o condensado flui para a torre de estabilização de condensado através das válvulas  $V_3$  e  $V_4$ .

O condensado passa por tratamento na torre de estabilização para adequá-lo à especificação de Pressão de Vapor Reid (pressão de vapor verdadeira) máxima de 10 psi<sub>a</sub>. O condensado estabilizado, ao sair da torre, tem sua vazão medida numa Estação de Medição Fiscal (EMED), onde o teor de água deve ser de no máximo 1 %.

Para retirar a água presente no condensado, algumas ações são necessárias. As mais importantes são os controles dos níveis das botas dos tanques 1 e 2 (Botas 1 e 2),  $L_{S1}$  e  $L_{S2}$ , respectivamente, pois ambas as botas estão localizadas próximas às respectivas saídas de condensado. Como não há anteparo entre cada bota e o respectivo bocal de saída do condensado, caso o nível de água da bota esteja alto, o fluxo de condensado arrastará água consigo, levando-a para o equipamento a jusante.

Em  $T_1$  a água é removida da Bota 1 através de  $V_1$ . Esta válvula trabalha em malha fechada, com referência

igual a  $SP_{LS1}$ .  $SP_{LS1}$  deve ser ajustado adequadamente, isto é, num valor que evitar arraste de água pelo bocal de condensado e também escape de condensado pelo bocal de água.  $V_1$  deverá atuar de forma a manter  $L_{S1}$  igual ou o mais próximo possível de  $SP_{LS1}$ .

Na Bota 2 a água é removida através da válvula  $V_5$ , cuja atuação depende da ação do operador. O princípio de funcionamento é semelhante ao da Bota 1, salientando-se o fato de que  $T_2$  é o último equipamento responsável por remover a água do condensado antes da torre de estabilização. Portanto, se o restante da água presente no condensado não for drenada em  $T_2$ , ela fluirá para a torre.

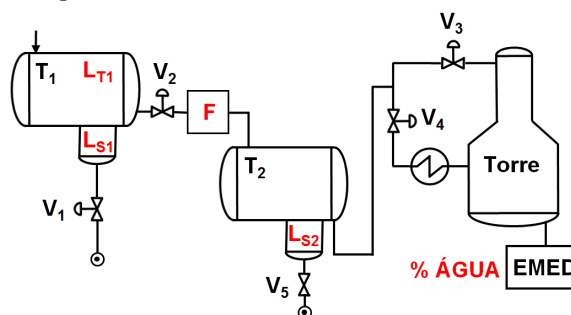


Figura 1. Diagrama Simplificado do Processo

## 3 Aquisição e Análise dos Dados de Processo

Durante um período de aproximadamente nove meses os valores de teor de água e variáveis de processo relacionadas foram coletadas com tempo de amostragem de 11 s. Com o objetivo de reunir informações sobre as causas das ultrapassagens do limite de 1 % pelo teor de água, a coleta foi realizada nos dias em que houve algum registro de ultrapassagem do limite. Nesses dias, as variáveis de processo foram coletadas continuamente, durante 24 horas, independentemente do valor do teor de água medido. Foram analisadas todas as variáveis envolvidas no processo para um total de 82 medições do teor de água.

Visando considerar todos os dados que de alguma forma pudessem influenciar o valor do teor de água nesta análise e também nas posteriores, foi escolhida inicialmente uma janela de 6 horas antes do instante de cada medição do teor de água para a realização das análises, que corresponde a 1963 dados de cada variável amostrados continuamente. Durante a aquisição de dados não houve qualquer alteração no processo. Foram retirados dos conjuntos de dados as coletas referentes aos dias em que houve falha na aquisição de alguma variável, o que poderia prejudicar o cálculo dos índices. Desta forma, 82 conjuntos de dados contendo uma medição do teor de água e 1963 medições de variáveis de processo, com tempo de amostragem de 11 segundos, foram disponibilizados para o estudo aqui desenvolvido.

#### 4 Proposta de Metodologia

A análise dos métodos da literatura (Venkatasubramanian, 2003) e a disponibilidade de dados históricos indica a possibilidade de usar uma abordagem quantitativa para relacionar as medições de teor de água às variáveis de processo. Entretanto, apenas 82 medições de teor de água estão disponíveis, feitas a cada 8 h em dados coletados em diferentes intervalos de tempo. Para cada uma destas medidas, há quase 2000 medições de cada variável do processo que a antecedem. Como as medições de teor de água não são contínuas, fica claro que um modelo que o relacione com estas variáveis no tempo não é possível. Uma abordagem factível neste caso é determinar comportamentos destas variáveis, tais como médias e tendências, e usá-los para indicar teor de água alto ou baixo, uma vez que esta abordagem certamente não permite estimar seus valores. Neste trabalho será analisado o comportamento das variáveis de processo medidas em relação à presença excessiva de água no condensado e valores altos e baixos de teor de água, de modo a propor um sistema de regras para realizar os diagnósticos desejados.

Embora não seja possível medir a quantidade de água no condensado, seu efeito sobre as variáveis do processo pode ser quantificado. A seguir buscar-se-á inicialmente índices para quantificar esta água a fim de usá-los como alerta para a operação.

##### 4.1 Primeiro Índice da Quantidade de Água

A remoção de água depende da atuação efetiva de  $V_1$  e a correspondente resposta de  $L_{S1}$ . Dessa forma, quanto mais água houver em  $T_1$ , maior e por mais tempo será a abertura de  $V_1$  ( $X_{V1}$ ), uma vez que essa válvula é responsável por drenar a água da Bota 1. Em outras palavras, a remoção de água da Bota 1 será efetiva quando  $V_1$  conseguir manter  $L_{S1}$  próximo de  $SP_{L_{S1}}$  e, com isso, não haverá ingresso de água em  $T_2$ . Como a vazão de água que sai pela Bota 1 é proporcional à  $X_{V1}$ , seu valor é um indicativo da quantidade de água presente no condensado que sai de  $T_1$ . Considerando que a soma da vazão de água que sai pela Bota 1 com a vazão  $F$  é igual à vazão de líquido que entra em  $T_1$ , desconsiderando eventuais variações no nível de  $T_1$  ( $L_{T1}$ ), a relação entre  $X_{V1}$  e  $F$  será um bom índice do percentual de água no condensado que entra em  $T_1$ . Um aumento de  $X_{V1}$  não acompanhado de um aumento proporcional de  $F$  indica a presença de mais água no condensado.

Para ilustrar, duas situações de processo serão avaliadas, uma com teor de água baixo e outra com teor de água alto, apresentadas na Figura 2. As medições de teor de água foram feitas no último instante mostrado em cada gráfico. Na Figura 2.a) é possível perceber  $V_1$  atuando para manter  $L_{S1}$  próximo de  $SP_{L_{S1}}$ . Toda vez

que  $L_{S1}$  aumenta (diminui),  $V_1$  abre (fecha) para manter  $L_{S1}$  próximo de  $SP_{L_{S1}}$  (linha vermelha no gráfico de  $L_{S1}$ ). A linha vermelha no gráfico de  $X_{V1}$  indica o valor médio de  $X_{V1}$  no período apresentado no gráfico, denominado  $\overline{X_{V1}}$ . Claramente, a relação entre  $\overline{X_{V1}}$  e  $\overline{F}$  (valor médio de  $F$  no período) é maior para teor de água alto do que para teor de água baixo, quantificando a presença maior ou menor de água no condensado.

A mesma análise é feita para os dados da Figura 2.b), na qual o teor de água medido foi maior. Observa-se  $V_1$  atuando mais que na situação anterior para manter  $L_{S1}$  próximo de  $SP_{L_{S1}}$ . Há também um aumento em  $L_{S2}$ , confirmando o escoamento de água de  $T_1$  para  $T_2$ . Neste caso  $\overline{X_{V1}}$  sofreu um aumento considerável em relação à situação anterior, indicando maior presença de água no condensado.

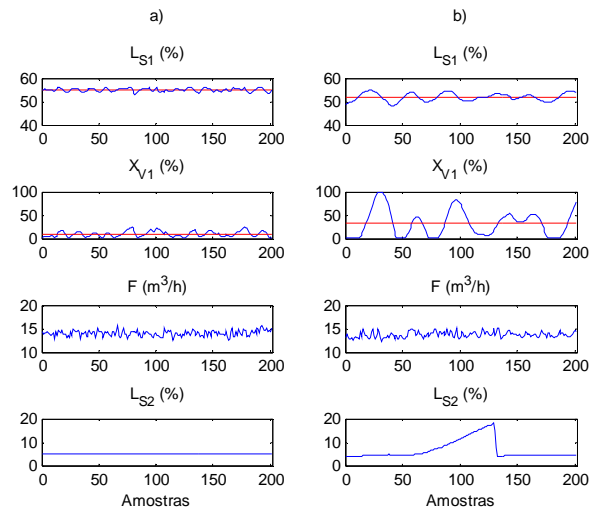


Figura 2. Primeiro índice: a) Teor de água = 0,05 %; b) Teor de água = 1,06 %

A partir destas observações é proposto o índice

$$w_{S1}(k) = \frac{1 \sum_{i=1}^L X_{V1}(k-i)}{L \sum_{i=1}^L F(k-i)} \quad (1)$$

onde

$w_{S1}$  = Índice de presença de água na Bota 1

$L$  = Intervalo considerado (200 amostras)

$X_{V1}(k-i)$  = Valor de  $X_{V1}$  no instante  $(k-i)$

$F(k-i)$  = Vazão de condensado no instante  $(k-i)$

$k$  = Instante da medição do teor de água

O índice  $w_{S1}$  é calculado continuamente utilizando 200 amostras de dados, o que corresponde a 37 minutos. Quanto maior seu valor, maior a proporção de água no condensado e maior a possibilidade de ocorrer teor de água alto.

#### 4.2 Segundo Índice da Quantidade de Água

A Figura 3 apresenta duas situações típicas que serão utilizadas para a proposta do segundo índice. Na Figura 3.a) observa-se  $L_{S2}$  subindo continuamente, indicando a presença de água no condensado que chega a  $T_2$ . No intervalo apresentado no gráfico, a vazão média ( $\bar{F}$ ) é  $11,7 \text{ m}^3/\text{h}$ . O nível subiu continuamente indicando que não houve atuação da válvula manual, responsável pela drenagem de água da Bota 2. Também é importante observar a inclinação da curva de subida de  $L_{S2}$ . Quanto maior a inclinação dessa curva, mais água estará entrando na Bota 2. O aumento de água resulta do aumento da vazão  $F$  ou do aumento da proporção de água no condensado. Portanto, a inclinação da curva em relação à vazão  $F$  permite quantificar a maior presença de água. Neste exemplo, a medição foi teor de água =  $1,32 \%$ .

Na Figura 3.b) se observa o caso de teor de água baixo.  $L_{S2}$  fica praticamente constante, apesar de haver vazão de entrada em  $T_2$  durante todo o intervalo considerado ( $\bar{F} = 9,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ). A inclinação da curva de subida de  $L_{S2}$  é praticamente nula, indicando não haver vazão de água entrando na Bota 2, donde se conclui que o teor de água no condensado que chega ao  $T_2$  é praticamente nulo.

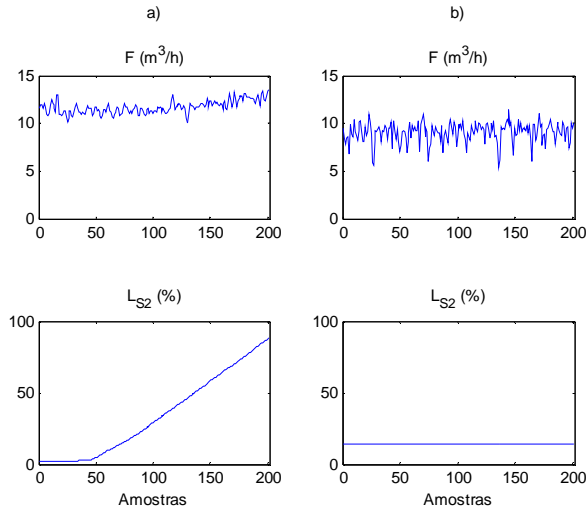


Figura 3. Segundo índice: a) Teor de água =  $1,32 \%$  ;b) Teor de água =  $0,01 \%$

O segundo índice é o ganho do nível  $L_{S2}$  da Bota 2 em relação à vazão de água  $f$  que chega à mesma, cuja relação é dada por

$$\frac{dL_{S2}(t)}{dt} = \alpha f(t) \quad (2)$$

onde

$\alpha$  = Constante que depende das dimensões da Bota 2

$f(t)$  = Vazão de água que entra no reservatório

A vazão de água  $f$  é uma fração da vazão  $F$  do condensado, sendo dada por

$$f(t) = \theta(t)F(t) \quad (3)$$

onde

$\theta(t)$  = Proporção que varia com o teor de água no condensado

$F(t)$  = Vazão total que entra no tanque (condensado mais água)

Assumindo que  $\theta(t) = \bar{\theta}$  seja constante durante o intervalo em análise, pode-se escrever de (2) e (3)

$$\frac{dL_{S2}(t)}{dt} = w_{S2}F(t) \quad (4)$$

onde

$w_{S2} = \alpha \bar{\theta}$  é o ganho do nível em relação à vazão

O ganho  $w_{S2}$  pode ser obtido via mínimos quadrados, usando técnicas clássicas de identificação de sistemas para o modelo dado por (4) (Aguirre, 2007; Ljung, 1999). Para que seja calculado continuamente, técnicas de identificação por mínimos quadrados recursivo devem ser utilizadas. O fator de esquecimento é escolhido de modo a utilizar uma janela de dados similar à utilizada para o índice  $w_{S1}$ , o que resultou no valor 0,995. Para os casos mostrados na Figura 3, obteve-se,  $w_{S2} = 0,5$  para a Figura 3.a) e  $w_{S2} = 0$  para a Figura 3.b). Portanto, quanto maior o valor de  $w_{S2}$ , maior a proporção de água presente no condensado, com maior possibilidade de ocasionar teor de água alto.

A partir do conhecimento do processo e da definição dos índices, pode-se afirmar que o aumento de  $w_{S2}$  deve ser precedido do aumento de  $w_{S1}$ . Entretanto, caso  $V_1$  consiga retirar toda a água que chega à Bota 1, não haverá água em  $T_2$ . Portanto, um aumento de  $w_{S1}$  não implica necessariamente em um aumento de  $w_{S2}$ . Estes fatos serão utilizados para verificar a coerência destes índices.

#### 4.3 Avaliação dos Índices da Quantidade de Água

Como a porcentagem de água presente no condensado não é conhecida, os índices propostos são agora avaliados quanto a sua coerência para os 82 conjuntos de dados, com valores de teor de água conhecidos. Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos para os índices  $w_{S1}$  e  $w_{S2}$  usando as equações dadas para todos os 82 conjuntos de dados. A escala dos valores de teor de água foi limitada em  $1 \%$  para melhor visualização. Os conjuntos de dados em que  $w_{S2}$  não pode ser calculado (quando  $L_{S2}$  fica igual a zero ou saturado em  $100 \%$ ) estão marcados com \*.

Para que estes índices possam ser utilizados, limiares e regras devem ser estabelecidos sobre os mesmos. Como  $w_{S2}$  alto implica em  $w_{S1}$  alto, buscar-se-á limiares de alto para os mesmos de forma a assegurar esta implicação. Uma busca unidimensional usando os

valores mostrados na Figura 4 resultou nos limiares e na regra I dados por  $w_{S1} \geq \gamma_1 = 4$  e  $w_{S2} \geq \gamma_2 = 0,08$  (os limiares são indicados nos respectivos gráficos por uma linha azul). No último gráfico da Figura 4 são mostrados em verde os casos em que a regra I é verdadeira, ou seja, há indicação de mais água na Bota 2 juntamente com uma indicação de mais água na Bota 1. Houve também dois casos em que  $w_{S2} > 0,08$  ocorreu quando  $w_{S1} < 4$ , nas amostras 20 e 82, que estão na cor preta. Nestes dois casos a quantidade de água na Bota 1 foi pequena e não fez com que  $V_1$  abrisse o suficiente para resultar em  $w_{S1} > 4$ . Os casos com valor igual a zero são aqueles nos quais nenhuma das duas condições ocorreu. Conclui-se que há uma boa coerência entre os dois índices: das trinta e uma situações nas quais  $w_{S2} > 0,08$ , vinte e nove implicaram em  $w_{S1} > 4$ . A regra I, assim definida, pode ser usada para indicar uma situação que exige atenção dos operadores, pela possibilidade de ocasionar valores altos de teor de água. Ela não implica em valor alto de teor de água, pois basta que as válvulas das Botas 1 e 2 atuem corretamente para evitar isto. Esta não implicação pode ser conferida comparando o primeiro e o último gráficos da Figura 4.

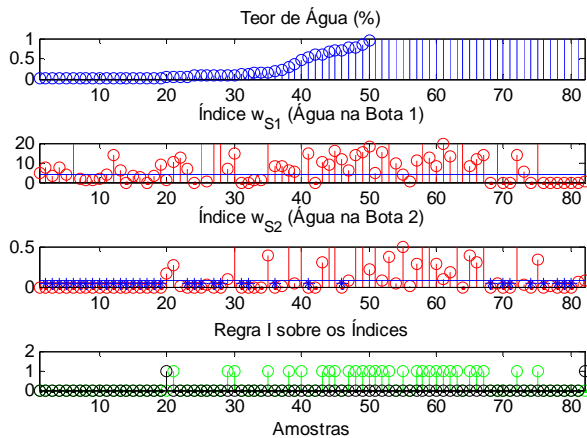


Figura 4. Resultado obtido a partir dos índices  $w_{S1}$  e  $w_{S2}$

#### 4.4 Índices de Teor de Água Alto

Propõe-se agora índices de teor de água alto e baixo a partir das variáveis do processo. Um nível alto na Bota 2 ( $L_{S2}$ ) pode impactar no valor de teor de água pela limitação de possíveis ações para eliminar excessos de água no condensado após o mesmo passar por esta bota. De acordo com os operadores, toda vez que o nível das botas ultrapassa 45 % a água começa a ser drenada junto com o condensado para o equipamento a jusante. Portanto, valores altos de  $L_{S2}$  apresentam riscos, mas seu efeito depende também do tempo durante o qual se manteve alto. A partir desta informação, dois índices foram propostos: um baseado no valor máximo e outro baseado no valor médio de  $L_{S2}$ . Janelas de dados adequadas foram utilizadas para o cálculo, a partir de

informações de operação e de seu efeito sobre os índices.

O índice  $\bar{I}_{S2}$ , baseado no valor médio de  $L_{S2}$ , é dado por

$$\bar{I}_{S2}(k) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L L_{S2}(k-i) \quad (5)$$

onde

$L$  = Janela de dados considerada (500 amostras)

O índice  $I_{S2MAX}$ , baseado no valor máximo de  $L_{S2}$ , é dado por

$$I_{S2MAX}(k) = \max\{L_{S2}(k-i), i = 1, \dots, L\} \quad (6)$$

onde

$L$  = Janela de dados considerada (200 amostras).

Na Figura 5 são mostrados os resultados obtidos a partir destes dois índices para os 82 conjuntos de dados. A escala do teor de água foi limitada em 1 % para melhor visualização. Novamente faz-se necessário determinar limiares para os índices e regras sobre os mesmos, agora com o objetivo de detectar valores baixos ou altos de teor de água. Uma regra para indicar teor de água baixo foi criada para o caso em que o nível médio da Bota 2 mantém-se baixo. A partir dos dados, verificou-se que a regra II dada por  $\bar{I}_{S2} < 5$  implica em teor de água < 1 % em 100 % das situações. Isto pode ser confirmado na Figura 5, comparando o primeiro e penúltimo gráficos, sendo que o valor 1 indica que a regra II gerou um valor verdadeiro.

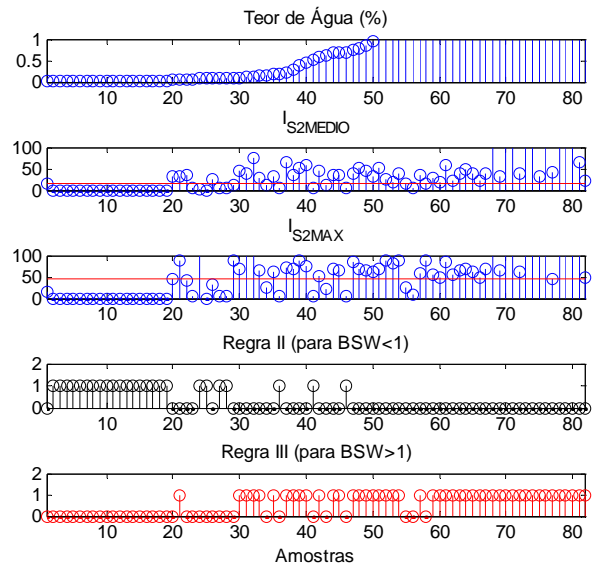


Figura 5. Resultado obtido a partir dos índices  $\bar{I}_{S2}$  e  $I_{S2MAX}$

Limiares para  $\bar{I}_{S2}$  e  $I_{S2MAX}$  foram determinados junto com a regra III para detectar valores altos de teor de água, resultando em  $(\bar{I}_{S2} > 15) \& (I_{S2MAX} > 45)$ . O resultado da aplicação desta regra é mostrado na Figura 5, onde o valor 1 indica resultado verdadeiro para o

teste. Os valores limiares de  $\bar{I}_{S2}$  e  $I_{S2MAX}$  são mostrados por linhas vermelhas nos respectivos gráficos. Em 91 % das vezes em que o teor de água > 1 % a regra III deu a indicação correta. Em 66 % das vezes que teor de água < 1 %, a indicação também foi correta, não gerando alarmes falsos de teor de água > 1 % nesses casos.

Como a principal função do algoritmo é identificar as situações nas quais o teor de água > 1 %, o alarme correto nesta condição é muito desejável, sendo que um alarme falso, embora indesejável, é menos danoso. O resultado final após a aplicação das regras II e III sobre os índices  $\bar{I}_{S2}$  e  $I_{S2MAX}$  foi 76 % de previsões corretas para os dados coletados.

#### 4.5 Aplicação do Algoritmo

De uma maneira bastante resumida, o algoritmo pode ser utilizado da seguinte forma:

- $w_{S1}$  e  $w_{S2}$  indicam se há água no condensado, ou seja, se há situação permissiva de teor de água alto. Nesse caso o teor de água alto pode ser evitado a partir de ações efetivas para retirar a água do condensado que entra no sistema;
- $\bar{I}_{S2}$  e  $I_{S2MAX}$  indicam a ocorrência de teor de água alto, isto é, quando as ações para retirada da água não forem efetivas.

Em resumo,  $w_{S1}$  e  $w_{S2}$  são índices que mostram a necessidade de ações preventivas para evitar a ocorrência de teor de água alto (atuação preventiva).  $\bar{I}_{S2}$  e  $I_{S2MAX}$  são índices que mostram se as ações preventivas falharam, necessitando de ações corretivas para trazer o teor de água de volta para dentro do limite de 1 % (atuação corretiva).

Na Figura 6 é resumido o funcionamento do algoritmo atualizado a cada 11 s pelas variáveis  $F$ ,  $X_{V1}$  e  $L_{S2}$ , gerando os índices, que alimentam as regras, que geram os alarmes.

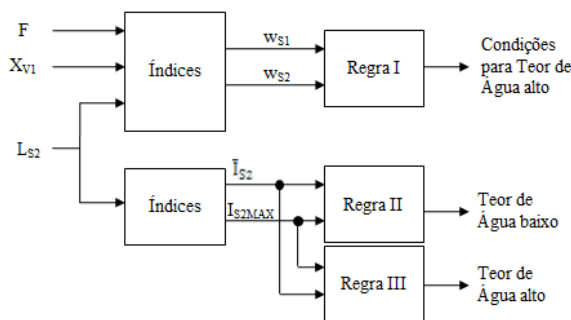


Figura 6. Aplicação do Algoritmo

No trabalho apresentado neste artigo, o algoritmo foi aplicado em conjuntos de dados separados em segmentos, sendo que ao final de cada segmento havia uma medição de teor de água disponível, e também de forma contínua.

Considerando ainda a possibilidade de utilizar o algoritmo em malha fechada com controles de nível automático nas Botas 1 e 2, os valores dos índices poderiam ser usados para geração de referências para as válvulas das botas a partir dos diagnósticos feitos, de forma a evitar teor de água alto.

## 5 Conclusões

A coleta de dados e as análises aqui descritas foram realizadas em um sistema real. A possibilidade de uso do algoritmo para informar ao operador a ocorrência, ou mesmo a possibilidade de ocorrer teor de água alto, traz uma contribuição importante à operação da planta, uma vez que no processo estudado não há nenhuma malha de controle dedicada a manter o teor de água dentro do limite definido pela legislação.

O algoritmo poderá ajudar o operador a corrigir desvios no teor de água em tempo real, além de alertá-lo sobre o risco de ultrapassagem do limite legal, tornando-se assim, além de uma solução corretiva, uma solução preventiva para alertar sobre a tendência de desvio do teor de água.

O índice de acerto, principalmente nas situações de teor de água alto, comprova o bom desempenho do algoritmo e mostra que essa é uma solução confiável e de baixo custo operacional, sem a necessidade de investimento em hardware ou serviços de instalação.

Por se tratar de um protótipo, é recomendável coletar mais dados com medidas mais frequentes de teor de água para melhorar regras e índices e assim aumentar os acertos para detecção de teor de água alto.

Considerando a simplicidade de implementação das regras, o baixo custo e o resultado alcançado, considera-se uma contribuição significativa à solução do problema.

## Referências Bibliográficas

- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2000). “Portaria Conjunta nº 1, p. 4.
- Aguirre, L. A. (2007). “Introdução à Identificação de Sistemas,” Editora UFMG, 3ª edição, p. 219–244.
- Cruz, V. S. (2003). “Sistemas de Automação e Supervisão do Laboratório de Avaliação dos Processos de Medição de Vazão e BSW,” Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 6–11.
- Ljung, L. (1999). “System Identification: Theory for the User,” Prentice-Hall, 2nd ed.
- Taranto, C. B.; Andrade, L. A. (2010). “Critérios para Seleção de Medidores de BS&W,” Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello, p. 1–2.
- Venkatasubramanian, V.; Rengaswamy, R.; Yin, K.; Kavuri, S.N. (2003). “A Review of Process Fault Detection and Diagnosis – Part I: Quantitative Model-Based Methods”, Computers and Chemical Engineering