

Cálculo de Holdup utilizando Merge dos Sensores

1 Interface de apresentação e variáveis para o cálculo de Holdup utilizando Merge dos Sensores

Este documento se refere ao cálculo da fração de vazio e dos Holdups de água e querosene a partir das medidas e incertezas obtidas pelo detector de nível e dos sensores de pressão conjuntamente. Estes cálculos são baseados no algoritmo Maximum Likelihood Estimation –MLE [1]. Neste caso o algoritmo é utilizado para se obter o valor mais provável da altura de água a partir de três medidas diferentes, ou seja, serão utilizadas as medidas dos dois sensores de pressão associadas a L_L e a medida de L_{SO} proveniente do detector de nível, e respectivas incertezas.

A Figura 1 apresenta um exemplo da aplicação do Algoritmo no qual uma grandeza é medida por dois sensores diferentes o primeiro com incerteza 1σ e o outro com incerteza 2σ . Aplicando-se o algoritmo tem-se uma incerteza final $0,89\sigma$. O algoritmo MLE é aplicável quando as variáveis têm distribuição normal.

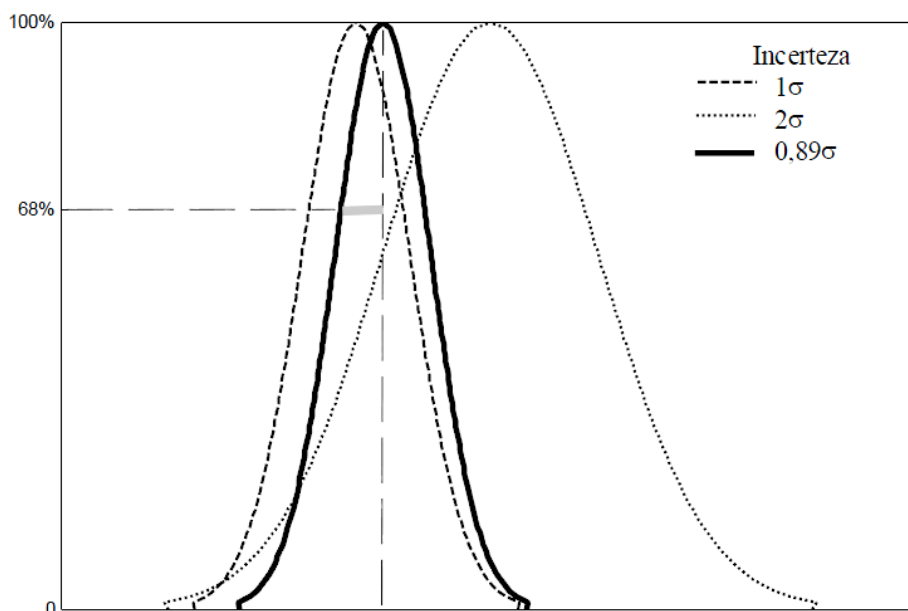


Figura 1 Diminuição da incerteza usando algoritmo MLE fonte – Villanueva

A Figura 2 apresenta a interface do Sistema de Supervisão desenvolvido em Labview com destaque aos campos onde serão apresentados os resultados de Holdup que serão calculados a partir da fusão dos dados relacionados ao Procedimento de Merge. Os dados que serão recebidos do detector de nível são: L_L - Altura da coluna de líquido; L_{SO} – Altura da Coluna de água, U_{SO} - Incerteza associada à Altura da Coluna de água. Esses valores serão apresentados no campo da interface FreeScale Altura Líquido, Altura Água e incerteza da Altura da Água. A incerteza da Altura Líquido é de $\pm 1\text{mm}$ conforme Tabela 1.

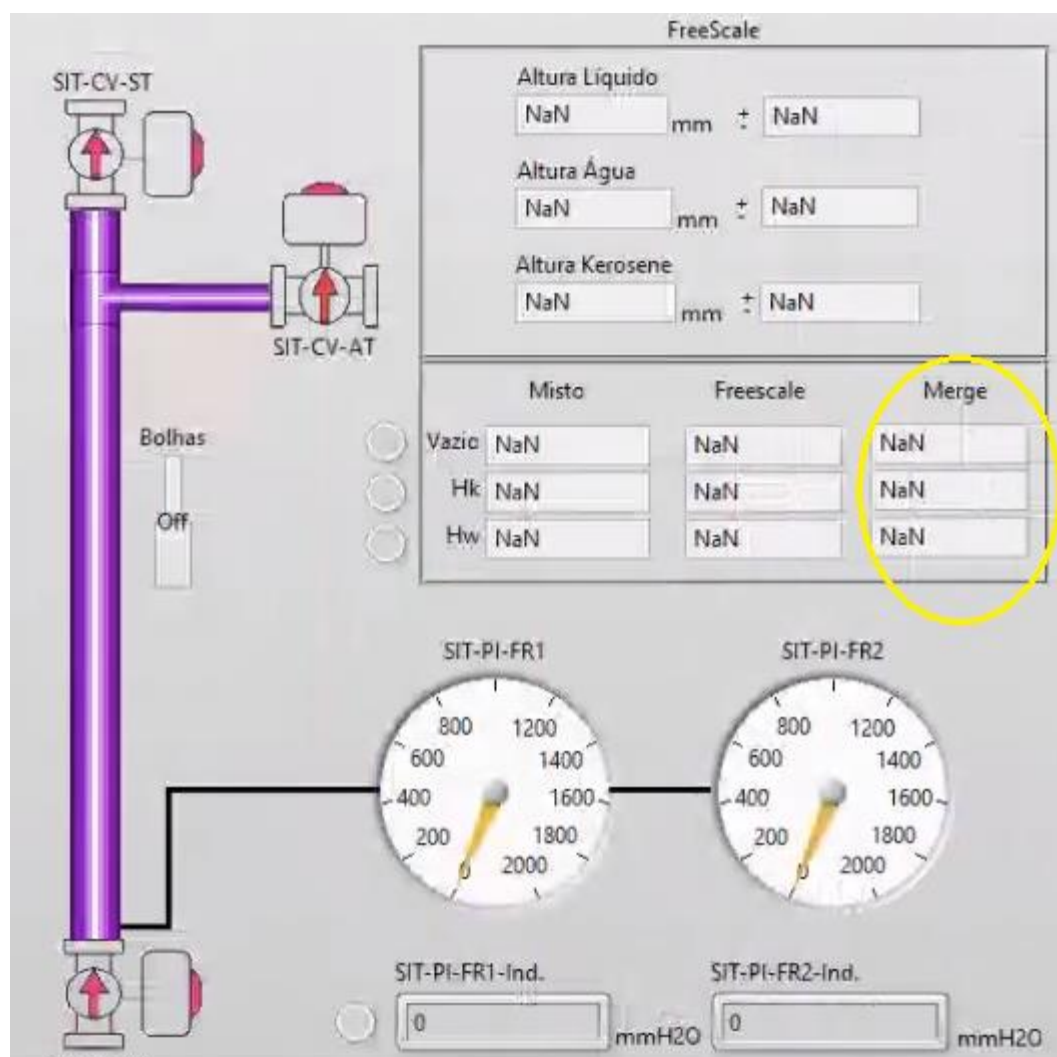


Figura 2 Imagem da Interface Labview

Tabela 1 – Variáveis e incertezas absolutas associadas.

Variável	Descrição da Variável	Unidade	Incerteza absoluta
ρ_w	Densidade da água	998 kg/m ³	±2 kg/m ³
ρ_k	Densidade do querosene	780 kg/m ³	±5 kg/m ³
ρ_a	Densidade do ar	1,19 kg/m ³	±0,05 kg/m ³
L_T	Comprimento entre tomadas de pressão	1934 mm	±1mm
P_1	Altura da coluna de líquido sensor de pressão 1 - Faixa 0 a 2000 mmCA	mmCA	±10mm
P_2	Altura da coluna de líquido sensor de pressão 1 - Faixa 0 a 200 mmCA	mmCA	±10mm
L_L	Altura da coluna de líquido - Posição do sensor ótico	0 a 1770 mm	±1,0mm

2 Procedimento de cálculo do Valor mais Provável de L_w

Valores de L_w

Teremos três valores de coluna de água que serão utilizados como entrada do algoritmo MLE para o cálculo da coluna de água mais provável L_w :

L_{wSO} - O valor da altura da coluna de água obtido diretamente pelo Detector de Nível

L_{wP1} - O valor da altura da coluna de água obtida a partir do medidor de Pressão1 e L_L

L_{wP2} - O valor da altura da coluna de água obtida a partir do medidor de Pressão2 e L_L

Os valores de L_{wP1} e L_{wP2} serão calculados a partir da Altura da coluna de líquido (Posição do sensor ótico) e das medidas de Pressão conforme as equações 1 e 2.

$$L_{wP1} = \frac{L_{P1} - \frac{\rho_k}{\rho_w} L_L}{1 - \frac{\rho_k}{\rho_w}} \quad (1)$$

$$L_{wP2} = \frac{L_{P2} - \frac{\rho_k}{\rho_w} L_L}{1 - \frac{\rho_k}{\rho_w}} \quad (2)$$

Cálculo das Incertezas das medidas das Alturas de água a partir dos sensores de Pressão

Teremos três Incertezas associadas às medidas L_{wSO} ; L_{wP1} ; L_{wP2} :

U_{SO} - O valor da incerteza da medida da altura de água obtida diretamente pelo Detector de Nível

U_{P1} - O valor da incerteza da medida da altura de água obtida pela medida de Pressão P1 e altura da coluna de líquido L_L – Equação 3

U_{P2} - O valor da incerteza da medida da altura de água obtida pela medida de Pressão P2 e altura da coluna de líquido L_L – Equação 4

$$U_{P1}^2 = \left(\frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_k} \right)^2 \cdot (U_{L_{P1}})^2 + \left(\frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_k} \right)^2 \cdot (U_{L_L})^2 + \left(\frac{(L_{P1} - L_L) \cdot \rho_w}{(\rho_w - \rho_k)^2} \right)^2 \cdot (U_{\rho_k})^2 \quad (3)$$

$$U_{P2}^2 = \left(\frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_k} \right)^2 \cdot (U_{L_{P2}})^2 + \left(\frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_k} \right)^2 \cdot (U_{L_L})^2 + \left(\frac{(L_{P2} - L_L) \cdot \rho_w}{(\rho_w - \rho_k)^2} \right)^2 \cdot (U_{\rho_k})^2 \quad (4)$$

Onde

- $U_{L_{P1,2}}$ – incerteza absoluta da altura da coluna obtida pelos sensores de pressão 1 e 2 (Tabela 1)
- U_{LL} – incerteza absoluta da altura da coluna obtida pelo Detector de nível (Tabela 1)
- U_{ρ_k} – incerteza da densidade do querosene

Cálculo de Gama

Um parâmetro importante no algoritmo MLE é dado pela soma do inverso das incertezas de cada medida da altura da água ao quadrado e está representado pela equação 5. Ele aparece como um constante multiplicativa associada, e é um parâmetro usado para o cálculo da incerteza do valor mais provável dado pela equação 7.

$$\Gamma = \left(\frac{1}{U_{SO}^2} + \frac{1}{U_{P1}^2} + \frac{1}{U_{P2}^2} \right) \quad (5)$$

Onde U_{SO} é a incerteza medida diretamente pelo Detector de Nível e U_{P1} U_{P2} são as incertezas calculadas pelas equações 3 e 4.

Cálculo do Valor mais Provável L_w

O valor mais provável da coluna de água é dado pela equação 6. Ele pode ser compreendido como uma média ponderada pelo inverso da incerteza ao quadrado. Ele é obtido a partir das três medidas de altura da coluna de água e quanto menor a incerteza da medida maior é o seu peso na equação.

$$L_w = \frac{1}{\Gamma} \cdot \left(\frac{1}{U_{SO}^2} L_{w_{SO}} + \frac{1}{U_{P1}^2} L_{w_{P1}} + \frac{1}{U_{P2}^2} L_{w_{P2}} \right) \quad (6)$$

Onde L_{Wso} , L_{WP1} e L_{WP2} são as medidas de coluna de água e U_{so} , U_{P1} , U_{P2} são suas respectivas incertezas.

Incerteza do valor mais provável para medida da altura da coluna de água L_w

O valor mais provável tem uma incerteza absoluta dada pela equação 7. Esta incerteza será sempre menor que a menor incerteza das medidas utilizadas no algoritmo MLE.

$$U_{L_w} = \sqrt{\frac{1}{\Gamma}} \quad (7)$$

3 Cálculo dos Holdups

A fração de Vazio, primeiro campo do Merge, é dado por:

$$\alpha = \frac{L_T - L_L}{L_T} \quad (8)$$

A incerteza associada à fração de vazio é dada pela equação 9.

$$U_\alpha = \left[\left(\frac{1}{L_T} \right)^2 U_{L_L}^2 + \left(\frac{L_L}{L_T^2} \right)^2 U_{L_T}^2 \right]^{0.5} \quad (9)$$

Onde

- U_{LT} – incerteza absoluta entre o comprimento total entre as tomadas de pressão (Tabela 1)
- U_{LL} – incerteza absoluta da altura da coluna de líquido (Tabela 1)

O ‘holdup’ da Água, terceiro campo do Merge, é dado por:

$$H_w = \frac{L_w}{L_T} \quad (10)$$

A incerteza associada do Holdup da água é dada pela equação 11.

$$U_{H_w} = \left[\left(\frac{1}{L_T} \right)^2 U_{L_w}^2 + \left(\frac{L_w}{L_T^2} \right)^2 U_{L_T}^2 \right]^{0.5} \quad (11)$$

Onde

- U_{L_w} – incerteza absoluta do valor mais provável dado por equação 7

O ‘holdup’ da fase líquida é dado pela equação

$$H_L = \frac{L_L}{L_T} \quad (12)$$

O ‘holdup’ do querosene, H_k , segundo campo do Merge, é dado por:

$$H_k = H_L - H_w \quad (13)$$

A incerteza associada do Holdup do Kerosene é dado pela equação 14.

$$U_{H_k} = \left[\left(\frac{1}{L_T} \right)^2 U_{L_L}^2 + \left(\frac{L_L}{L_T^2} \right)^2 U_{L_T}^2 + U_{L_w}^2 \right]^{0.5} \quad (14)$$

4 Referências Bibliográficas

- [1] J. M. M. Villanueva, S. Y. C. Catunda, e R. Tanscheit, “Maximum-likelihood data fusion of phase-difference and threshold-detection techniques for wind-speed measurement”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 58, nº 7, p. 2189–2195, 2009.