



Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Projeto IC - PIBIC

AUTOMATIZAÇÃO EM MEDIDAS DE ESCOAMENTO HÍDRICO

Nome: Hugo Eduardo de Araújo

Instituição: Universidade Federal Fluminense - Geofísica - 5º Período

Orientador: Geraldo Cernicchiaro

COMAN - Coordenação de Matéria Condensada, Física Aplicada e Nanociência

Laboratório de Instrumentação e Medidas



SUMÁRIO

- INTRODUÇÃO:
 - CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E MOTIVAÇÃO
- EMBASAMENTO TEÓRICO
 - HIDRODINÂMICA:
 - LEI DE BERNOULLI
 - ESCOAMENTO HIDRÁULICO E VAZÃO
- EXPERIMENTOS:
 - EXPERIMENTO I
 - EXPERIMENTO II
 - SENSORES E MICROCONTROLADOR
 - HARDWARE
 - Sensores Ópticos, Strain Gage e Arduino
 - FLUXOGRAMA(ARDUINO)
- RESULTADOS
 - GRÁFICOS DE MEDIDAS
- CONCLUSÃO
- BIBLIOGRAFIA

INTRODUÇÃO

CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E MOTIVAÇÃO

Processos naturais: descarga de $43.000\text{km}^3/\text{ano}$,
UNESCO/PHI(2003);

Demanda da humanidade: 14% desta vazão de água; 70%
indústrias.

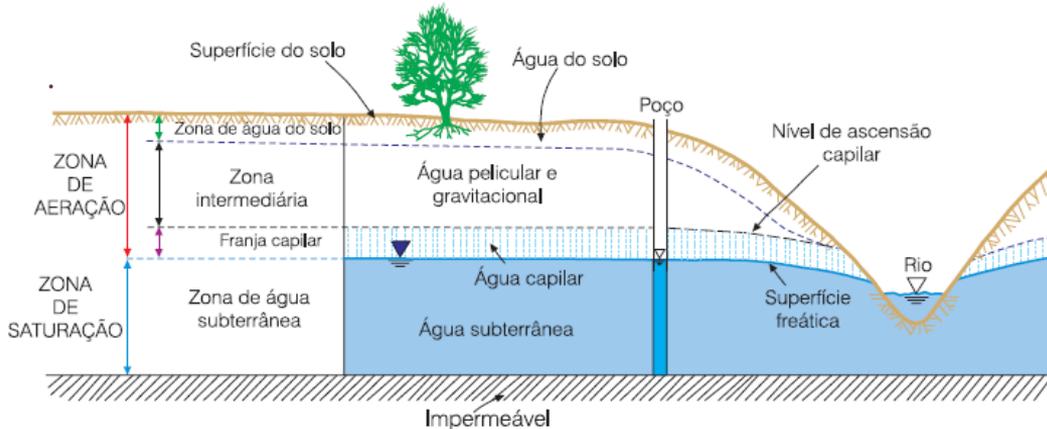


Fig. 1 Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo (modificado de Bear & Verruijt, 1987)[1].

O PREÇO DA ÁGUA GRATUITA

Custo de bombas e energia elétrica;
Regra geral da gravidade: "A água flui
morro abaixo";

Alta demanda de tempo em campo para
aquisição de dados

EMBASAMENTO TEÓRICO: HIDRODINÂMICA

LEI DE BERNOULLI: ESQUEMA DO PRINCÍPIO DE BERNOULLI

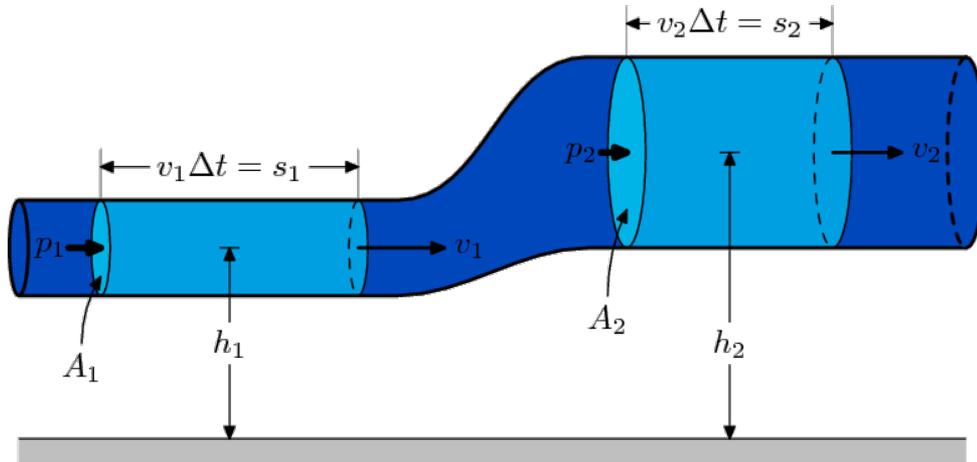
Exposto em 1738 em obra *Hidrodinâmica* por Daniel Bernoulli.

A Equação de Bernoulli:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 + \rho g z_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 + \rho g z_2 \quad (1)$$

A Equação da Continuidade:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (2)$$



V = velocidade do fluido na seção considerada;
 A = área de secção;
 P = pressão ao longo da linha de corrente;
 ρ = densidade do fluido;
 g = aceleração gravitacional;
 h = altura na direção da gravidade desde uma cota de referência.

Fig. 2 Diagrama de derivação da Lei de Bernoulli [3].

EMBASAMENTO TEÓRICO: HIDRODINÂMICA

ESCOAMENTO HIDRÁULICO E VAZÃO

Velocidade de escoamento;

Fluidos reais possuem viscosidade;

Perda de energia ou perda de carga;

Velocidade de escoamento:

$$v = c_v \sqrt{(2gh_0)} \quad (3)$$

Coefficiente de velocidade c_v :

$$c_v = \frac{v_{real}}{v_{bernoulli}} \quad (4)$$

Vazão do Escoamento hidráulico:

$$Q = vA \quad (5)$$

ou ainda,

$$Q = \frac{dh}{dt} A \quad (6)$$

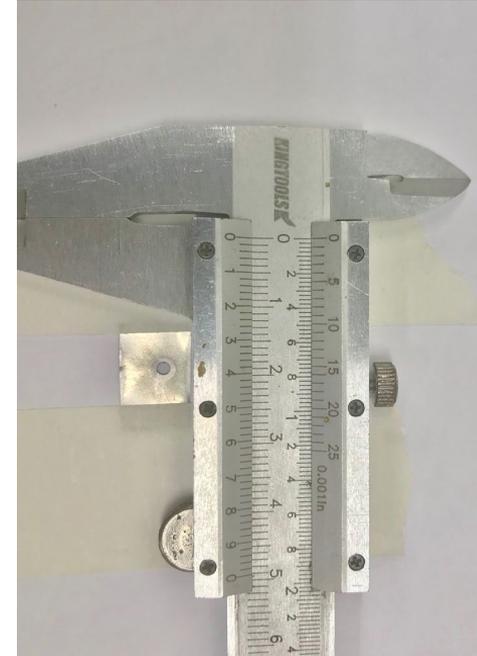


Fig. 3 e 4 Representação de escoamento, com velocidade v , por um orifício em função de uma coluna de água.

EXPERIMENTOS

EXPERIMENTO I

Cálculo de vazão experimentalmente;

Variação de coluna de água no tempo, $h(t)$; dados medidos visualmente;

A solução adotada considerou a perda de energia pelo orifício determinada pelo coeficiente c_v ;

Solução adotada no experimento:

$$\int_{h_0}^h \frac{dh}{\sqrt{h}} = -c_v \sqrt{2g} \left(\frac{D^2}{d^2} \right)^2 \int_0^t dt \quad (7)$$

Realizando a integração, chegamos a equação que representa variação de h em função de t :

$$h(t) = h_0 - c_v \left(\frac{d}{D} \right)^2 \sqrt{2gh_0} + c_v^2 \left(\frac{g}{2} \right) \left(\frac{d}{D} \right)^4 t^2 \quad (8)$$

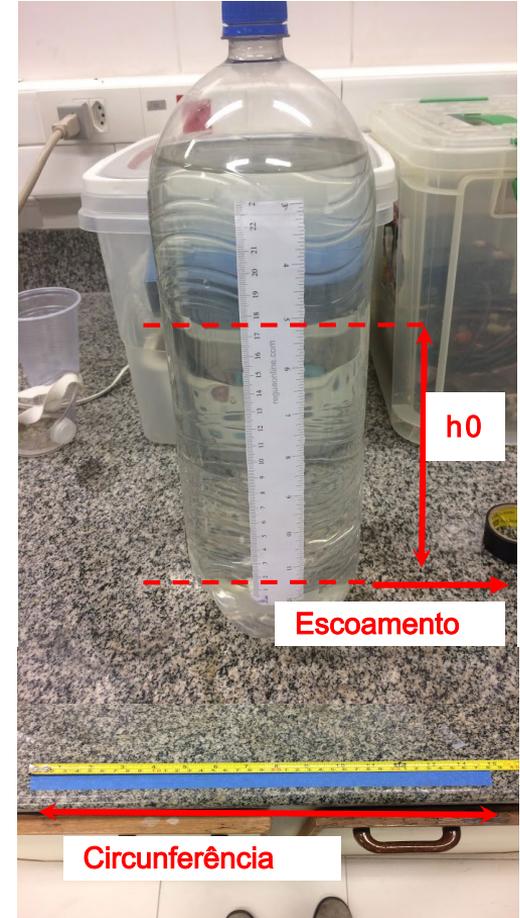
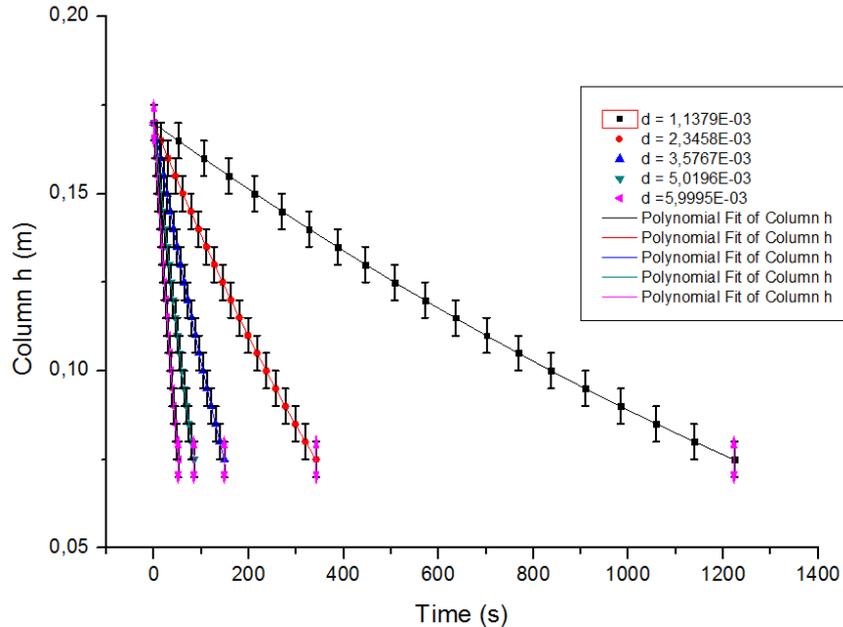


Fig. 5 e 6 Material utilizado para montagem do experimento com garrafa pet.

EXPERIMENTOS

EXPERIMENTO I - DADOS

Dados de medidas representados graficamente;
Ajuste Polinomial de segundo grau;



Model	Polynomial				
Equation	$y = \text{Intercept} + B1 \cdot x^1 + B2 \cdot x^2$				
Weight	Instrumental				
Residual Sum of Squares	0,00556	0,01323	0,01333	0,02884	0,06447
Adj. R-Square	0,99999	0,99998	0,99998	0,99995	0,99989
		Value	Standard Error		
Column h	Intercept	0,16984	0,00286		
	B1	-9,59493E-5	1,13043E-5		
	B2	1,5034E-8	9,13273E-9		
	Intercept	0,16978	0,00287		
	B1	-3,33473E-4	4,04086E-5		
	B2	1,63588E-7	1,16531E-7		
	Intercept	0,16995	0,0029		
	B1	-7,58794E-4	9,35664E-5		
	B2	7,98849E-7	6,19499E-7		
	Intercept	0,16963	0,00287		
B1	-0,00135	1,63976E-4			
B2	2,66988E-6	1,91548E-6			
Intercept	0,16973	0,00287			
B1	-0,00222	2,69339E-4			
B2	7,23598E-6	5,18224E-6			

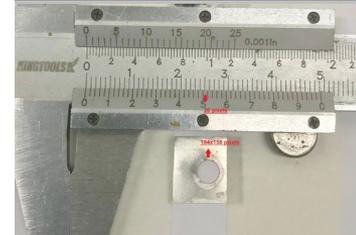


Fig. 8 Medição da área do orifício usando a escala de um paquímetro (pixels).

EXPERIMENTOS

EXPERIMENTO II

Cálculo de vazão média experimentalmente;
Volume de escoamento no tempo medido a partir de sensores ópticos e StrainGauge por meio de microcontrolador;

A Equação de densidade:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Vazão média experimental:

$$Q_M = \frac{\Delta h A}{\Delta t_d}$$

Vazão correlacionada a variação da massa :

$$Q_m = \frac{\Delta m \rho_{H_2O}}{\Delta t_d}$$

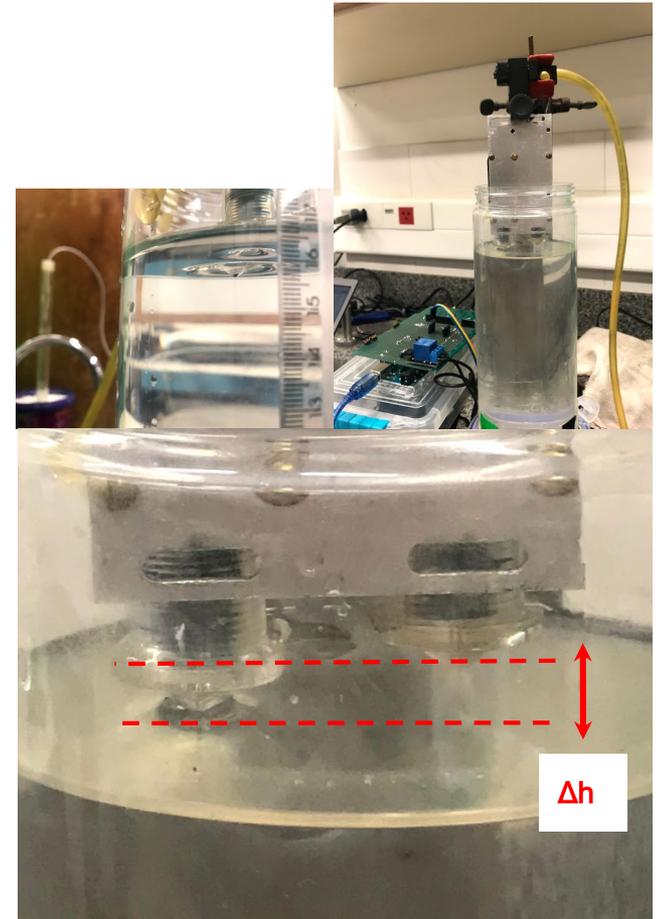


Fig. 7,8 e 9 Montagem do experimento Sensores ópticos.

EXPERIMENTOS



Fig.10 Gif representativo do Experimento II.

EXPERIMENTOS

EXPERIMENTO II - DADOS

Dados de medidas do tempo de descida representados graficamente;
Dados de Variação de massa em cada ciclo de descida do nível de água;
Histogramas;

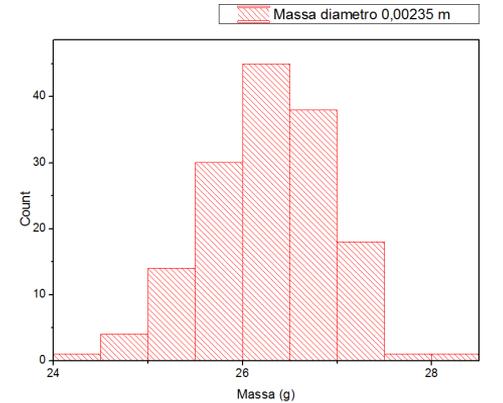
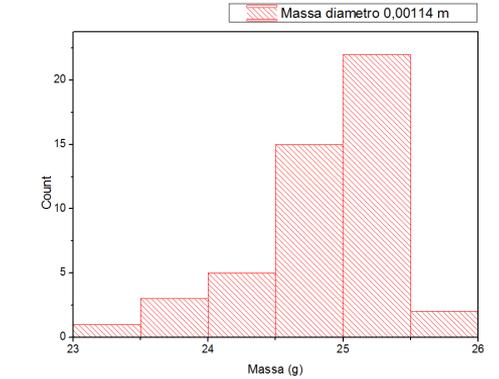
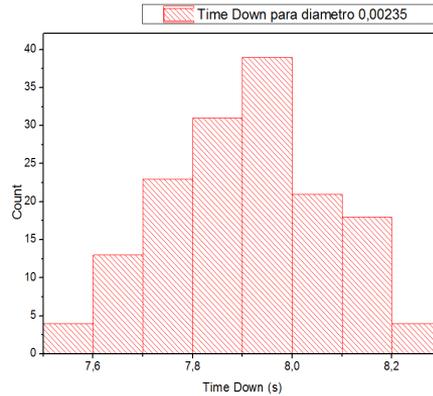
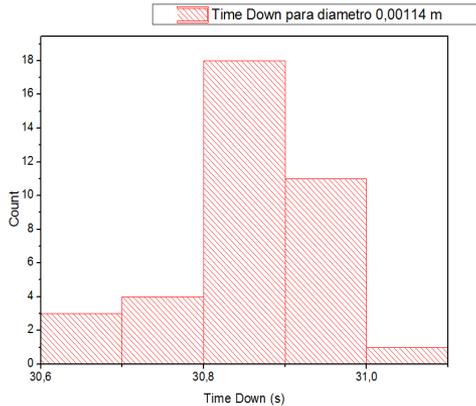


Fig. 11 e 12 Histograma de contagem de tempo entre sensores para vazão de saída do sistema.

Fig. 13 e 14 Histograma de contagem diferença de massa medida por Straigauge entre sensor.

EXPERIMENTOS

SENSORES E MICROCONTROLADOR (HARDWARE)

- 2 sensores ópticos em níveis conhecidos
- Microcontrolador Arduino
- Relé
- Bomba hidráulica
- Strain Gauge

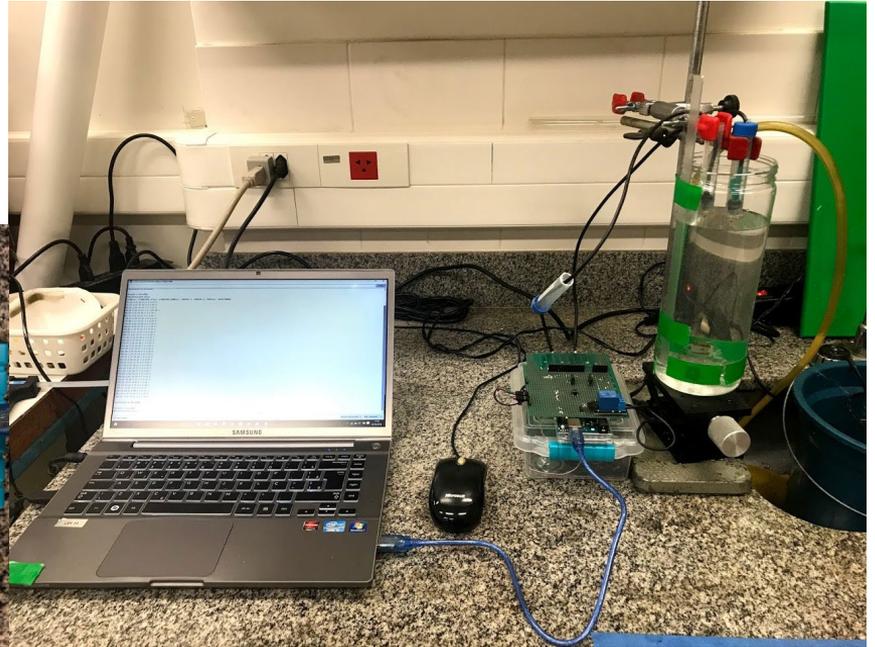
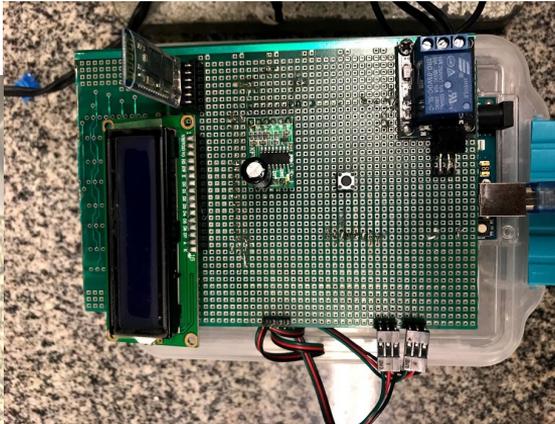


Fig. 15,16 e 17 Dispositivos utilizados para montagem do experimento com microcontrolador.

EXPERIMENTOS

SENSORES E MICROCONTROLADOR (HARDWARE)

- Representação esquemática do circuito:

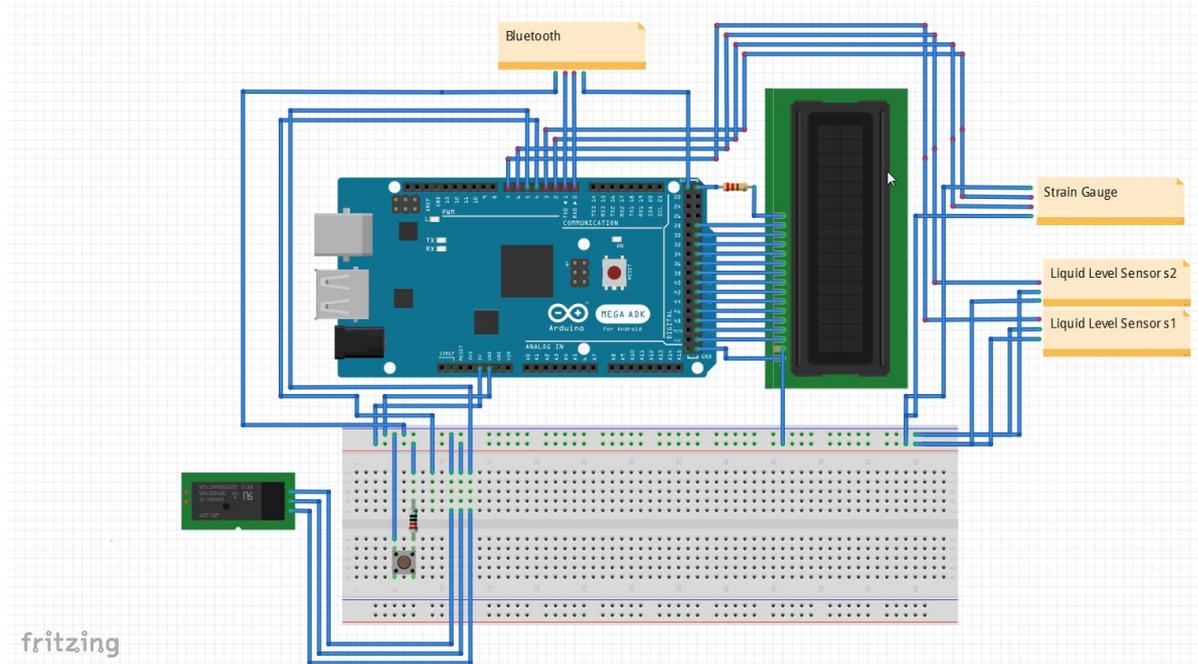


Fig. 18 Representação esquemática da utilização de portas do Microcontrolador, elaborado em programa de circuitos[4].

EXPERIMENTOS

FLUXOGRAMA PROGRAMA (ARDUINO)

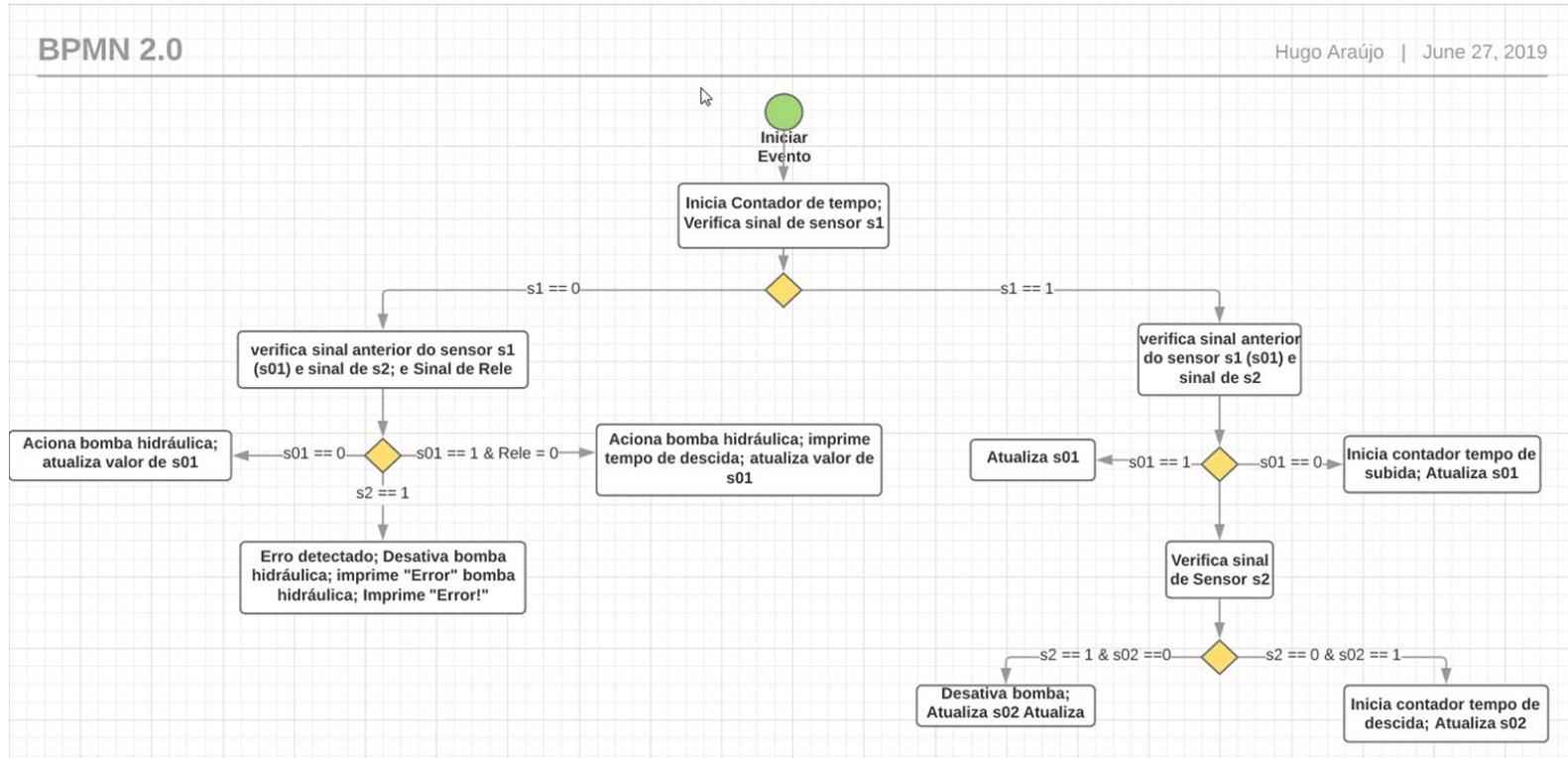
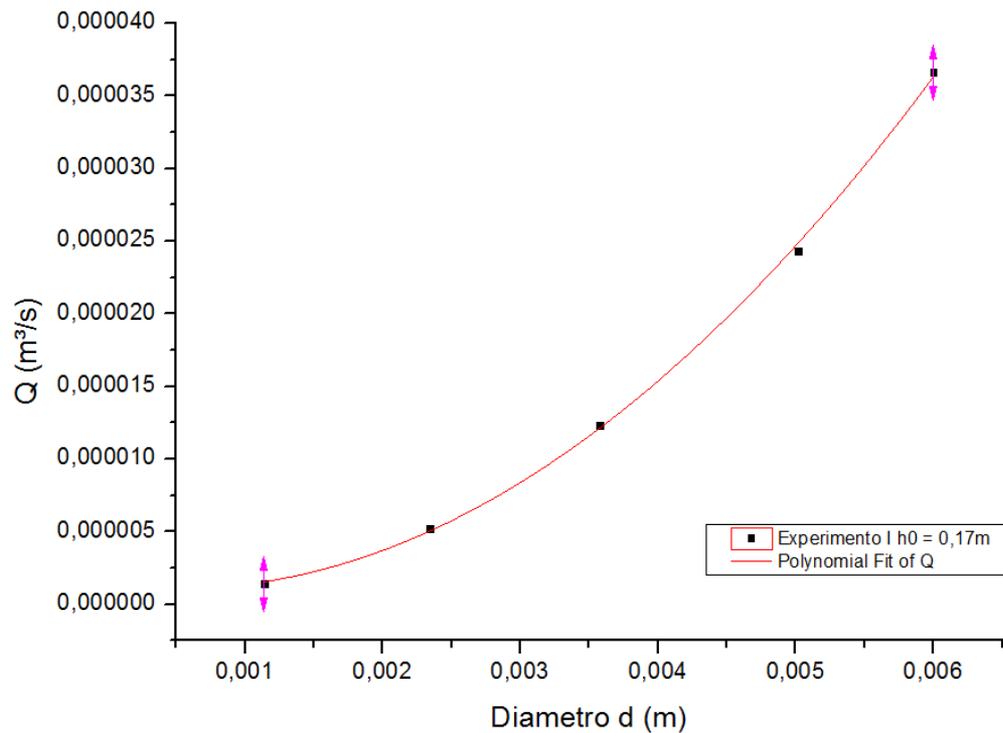


Fig. 19 Representação esquemática do Fluxograma elaborado para as medidas do tempo de descida[5].

RESULTADOS

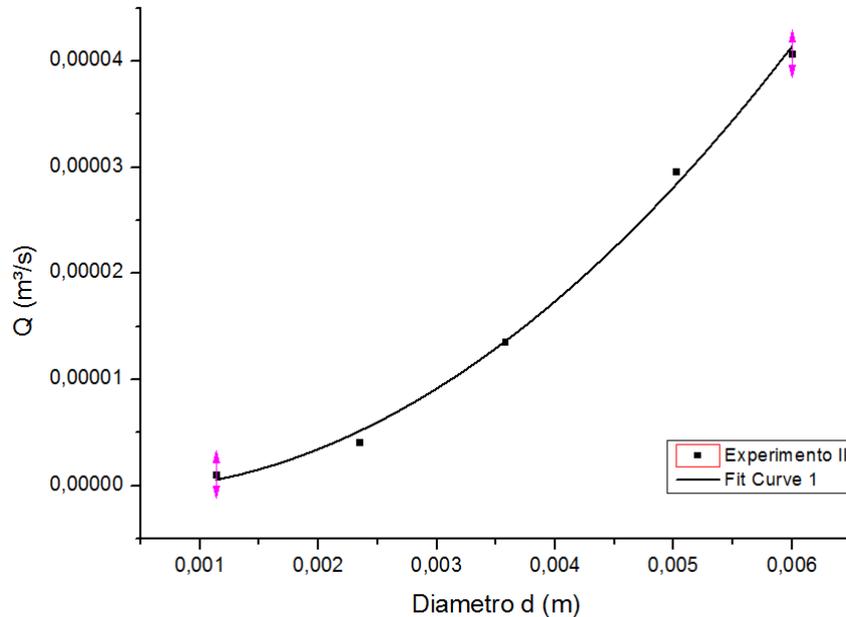
GRÁFICO DE VAZÃO - EXPERIMENTO I



Model	Polynomial		
Equation	$y = \text{Intercept} + B1 \cdot x^1 + B2 \cdot x^2$		
Weight	No Weighting		
Residual Sum of Squares	4,95039E-13		
Adj. R-Square	0,99881		
		Value	Standard Error
Q	Intercept	1,3461E-6	1,03727E-6
	B1	-0,00113	6,75139E-4
	B2	1,16032	0,09249

RESULTADOS

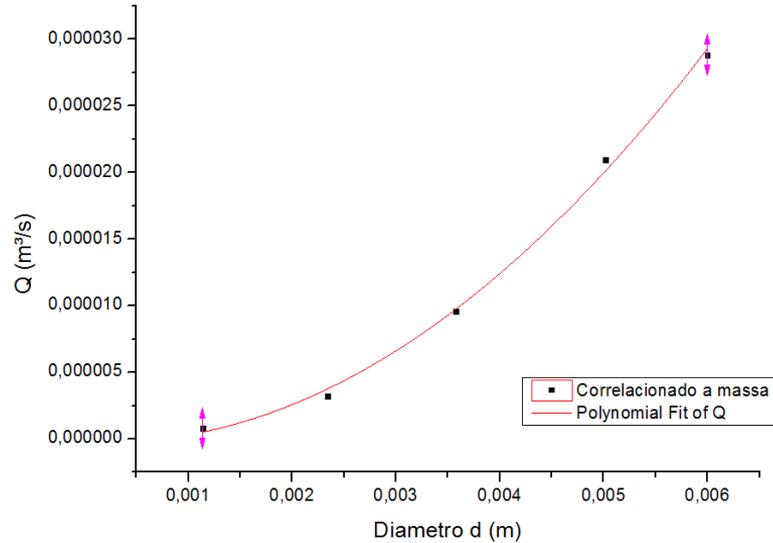
GRÁFICO DE VAZÃO - EXPERIMENTO II



Model	Polynomial		
Equation	$y = \text{Intercept} + B1*x^1 + B2*x^2$		
Weight	No Weighting		
Residual Sum of Squares	3,31229E-12		
Adj. R-Square	0,99422		
		Value	Standard Error
Q	Intercept	-3,96075E-7	2,68311E-6
	B1	-6,0014E-4	0,00175
	B2	1,26099	0,23924

RESULTADOS

GRÁFICO DE VAZÃO - CORRELACIONADO A MASSA



Model	Polynomial		
Equation	$y = \text{Intercept} + B1 \cdot x^1 + B2 \cdot x^2$		
Weight	No Weighting		
Residual Sum of Squares	1,29905E-12		
Adj. R-Square	0,99543		
		Value	Standard Error
Q	Intercept	-2,00067E-7	1,6803E-6
	B1	-3,74044E-4	0,00109
	B2	0,88189	0,14983

CONCLUSÃO/PERSPECTIVAS FUTURAS

- ❖ Os valores para vazões em diferentes diâmetros calculados em laboratório se ajustam a uma função polinomial conforme a bibliografia, devendo ser considerando um coeficiente de correção adequado;
- ❖ Na utilização dos sensores, a variação de massa se mostrou coerente com a variação de volume e conseqüentemente com a vazão nos diferentes diâmetros utilizados;
- ❖ Ainda na utilização dos sensores, a medida da vazão em diferentes alturas também se ajusta a uma função polinomial conforme a bibliografia;
- ❖ Por fim como perspectivas futuras propõe-se uma comparação estatística com dados bibliográficos bem como dados de campo medidos no modo tradicionalmente manual, buscando coeficientes de correção adequados a montagem da automatização, bem como o tratamento dos dados para propagação de erros;

BIBLIOGRAFIA

Feitosa, Fernando A.C. et al ., Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações - 3ª ed. rev. e ampl., CPRM, 77, 91 (2008).

Knight, R.D., Física: Uma Abordagem Estratégica - Vol 2, Bookman, 442, 459, (2009).
M. Mohsenipour et al . Phys. Rev. 3, 4, 5, 8, (2016)

Arduino Mega 2560, 2018. URL:www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega/ (accessed 04.12.2018).

G. Cernicchiaro, R. Barmak, W.G. Teixeira, Digital interface device for field soil hydraulic conductivity measurement, Journal of Hydrology, Volume 576, 2019.

Tabelas:

[2]: Feitosa, Fernando A.C. et al ., Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações - 3ª ed. rev. e ampl., CPRM, 77, 91 (2008).

Figuras:

[1]: Feitosa, Fernando A.C. et al ., Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações - 3ª ed. rev. e ampl., CPRM, 77, 91 (2008).

[3]: https://pt.wikipedia.org/wiki/Princ%C3%ADpio_de_Bernoulli#/media/Ficheiro:BernoullisLawDerivationDiagram.svg / MannyMax (original) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]

[4] <http://fritzing.org/home/>

[5]:www.lucidchart.com

AGRADECIMENTOS





Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Projeto IC- PIBIC

ESTUDO EXPERIMENTAL DE SENSORES MICROCONTROLADOR COM AUTOMATIZAÇÃO EM MEDIDAS DE ESCOAMENTO HÍDRICO

Nome: Hugo Eduardo de Araújo

Instituição: Universidade Federal Fluminense - Geofísica - 5º Período

Orientador: Geraldo Gernicchiaro

COMAN- Coordenação de Matéria Condensada, Física Aplicada e Nanociência

Laboratório de Instrumentação e Medidas

