
NOTA TÉCNICA:

CONSTRUÇÃO DE UM LINÍGRAFO DE BAIXO CUSTO COM A PLATAFORMA ARDUINO

Wilson Nogueira Mota¹, Raiane Ferreira de Miranda², Derblai Casaroli³, José Alves Júnior⁴, Márcio Mesquita⁵

RESUMO

As redes de medições hidrológicas raramente cobrem todos os locais de interesse em uma bacia hidrográfica, havendo, então, uma grande carência de dados fluviométricos. Isso pode ocorrer devido aos custos de aquisição e manutenção dos linígrafos existentes no mercado e/ou por demanda não atendida de pessoal especializado para a observação desses dados. Objetivou-se com este trabalho construir e validar um linígrafo automático de baixo custo, do tipo boia e contrapeso, utilizando a plataforma Arduino. Para isso, utilizou-se, como sensor, um potenciômetro acoplado a um sistema boia e contrapeso; a placa microcontroladora Arduino como sistema de aquisição de dados e o módulo relógio RTC DS1307 para localizar as leituras no tempo. No ambiente Arduino, criou-se um programa com funções de leitura do sinal proveniente do transdutor, conversão do sinal elétrico em nível de água, alocação das leituras no tempo e armazenamento dessas informações em memória de longo prazo. Observou-se que o equipamento fornece leituras acuradas e precisas ($R^2=0,99$; $r=0,99$; $d=0,99$). O uso da plataforma Arduino na medição de variáveis fluviométricas representa uma alternativa viável, dado seu baixo custo e facilidade de programação, sendo recomendado seu uso para estudos e monitoramento do nível da água em canais, barragens e rios, com prévia calibração e estudos referentes aos locais de instalação.

Palavras-chave: automação, hidrologia, variáveis fluviométricas

ABSTRACT

WATER LEVEL RECORDER WITH ARDUINO PLATFORM

Brazilian hydrological measurement networks rarely cover all places in a watershed, therefore there is a great lack of streamflow data. This may be due to the costs for acquisition and maintenance of water level measuring devices. This work aimed to construct and validate a low cost automatic water level meter. A potentiometer coupled to a float and pulley system was used, as well as an Arduino microcontroller board for data acquisition and a clock module RTC DS1307 for tracking reading times. In the Arduino environment, a program was created to signal reading from the transducer, to convert the electrical signal when in water level, to allocate the time readings and to store information in long-term memory. The equipment provided precise and accurate readings ($R^2 = 0.99$, $r = 0.99$, $d = 0.99$). The use of the Arduino platform to acquire data for streamflow variables is a good alternative, given its low cost and easy programming. This platform is recommended for studies regarding water levels and water monitoring in channels, dams and streams, with prior calibration and studies related to the locations to be used.

Keywords: automation, hydrology, gage height, streamflow variables

Recebido para publicação em 16/05/2016. Aprovado em 09/12/2016.

1 - Engenheiro de Computação, Mestrando em Agronomia, UFG/Goiânia-Goiás, wilsonnog@yahoo.com.br

2 - Engenheira Agrícola, Mestranda em Agronomia, UFG/Goiânia-Goiás, araianemiranda@gmail.com

3 - Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor da UFG/Goiânia-Goiás, derblaicasaroli@yahoo.com.br

4 - Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor da UFG/Goiânia-Goiás, josealvesufg@yahoo.com.br

5 - Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor da UFG/Goiânia-Goiás,marciomes@gmail.com

INTRODUÇÃO

O conhecimento da vazão de um curso d'água é fundamental na tomada de decisão quanto aos usos dos recursos hídricos, tais como o planejamento urbano, o dimensionamento de pontes, sistemas de abastecimento de água, implantação de sistemas de irrigação e de centrais hidroelétricas (FERREIRA *et al.*, 2015). A Agência Nacional de Águas disponibiliza gratuitamente em sua plataforma dados fluviométricos provenientes de redes hidrológicas distribuídas pelo território nacional (ANA, 2015). Entretanto, observa-se ainda uma grande carência de dados, haja vista que a rede hidrológica existente está instalada apenas nos principais rios do país. Assim, raramente cobre todos os locais de interesse em uma bacia hidrográfica. A inexistência de séries históricas consistentes dificulta a estimativa das vazões de referência para concessão de outorga. Isso leva a recomendações de metodologias imprecisas pelos órgãos ambientais competentes, acarretando prejuízos ao meio ambiente.

Estudos hidrológicos específicos demandam o monitoramento “in loco” da variação do nível de um curso d'água. Essa avaliação é feita com linímetro, que indica apenas a cota do rio, ou com linígrafo, que mede e registra a variação de nível. Os linígrafos se diferenciam pelo tipo de sensor utilizado, que pode ser por radar, ultrassom, sensor de pressão ou sistema boia e contrapeso. Estes equipamentos apresentam preços diferenciados em função das características técnicas oferecidas, mas, de maneira geral, os preços são elevados. Em consulta realizada junto a fabricantes do equipamento (todos estrangeiros), com representantes no Brasil, os preços variaram

de US\$600.00 à US\$6.000.00 (cotação do dia 09/12/2016), dependendo do modelo e acessórios que acompanham o dispositivo. Esses valores restringem seu uso a poucos postos de medição.

Nesse contexto, a utilização da plataforma Arduino apresenta-se como uma proposta promissora no que se refere às medições de variáveis fluviométricas. Suas principais vantagens são o baixo custo e a facilidade de programação, aliada ao fato de ser um dispositivo de código aberto. Na literatura, trabalhos que utilizaram o Arduino para obtenção de medidas de variáveis climatológicas relatam resultados satisfatórios (YAWUT& KILASE, 2011; DIBARI *et al.*, 2013; TORRES *et al.*, 2015).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho construir e validar um linígrafo automático de baixo custo, do tipo boia e contrapeso, utilizando a plataforma Arduino.

MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo é constituído de um tubo de PVC com diâmetro de 0,10 m, e 1,0 m de comprimento, no qual é acondicionado todo o sistema mecânico e eletrônico, funcionando, ainda, como poço tranquilizador, impedindo que a agitação da água interfira nas medições. O sensor é constituído por boia e contrapeso acoplado a um conjunto de engrenagens tipo parafuso sem fim e coroa, que serve como mecanismo redutor de rotação.

O conjunto mecânico foi montado sobre uma placa de madeira (5,0 x 1,0 x 6,0 cm), na qual foram fixados mancais, confeccionados em chapa metálica, para suporte do conjunto de engrenagens e de redução (Figura 1).

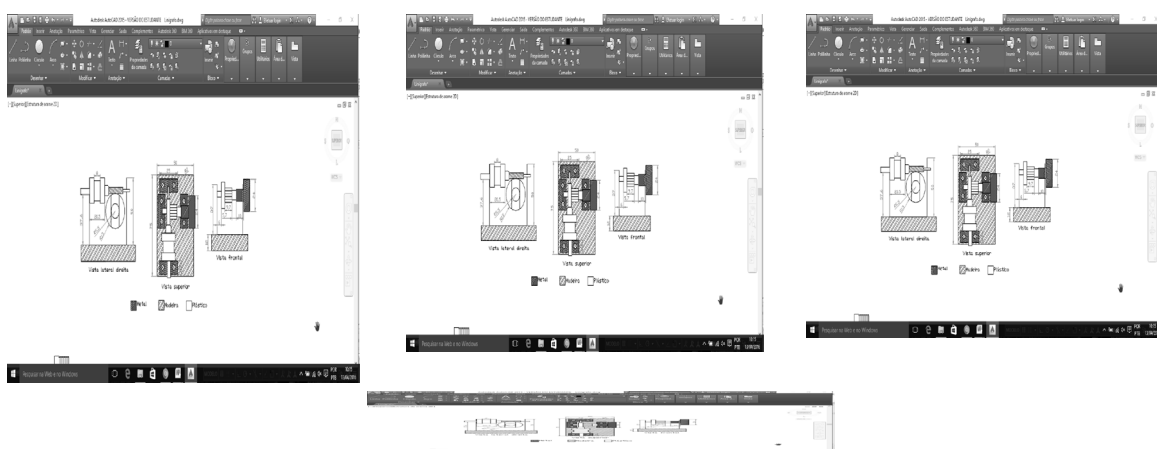


Figura 1. Vistas ortogonais do conjunto mecânico do linígrafo automático (cotas em mm) do tipo boia e contrapeso, que utiliza plataforma computacional Arduino.

Como elemento transdutor, utilizou-se um potenciômetro rotativo de três terminais, com variação linear de resistência. A resistência entre o terminal da extremidade e o terminal central varia de um valor mínimo a um máximo, de acordo com o ângulo de giro do eixo (0 - 10 kΩ; 0 -300°). Esse componente é um divisor de tensão, no qual a tensão de saída, medida entre o terminal central e uma extremidade:

$$V_0 = V_s \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (1)$$

em que,

V_0 = a tensão de saída (V);

V_s = a tensão da fonte (V);

R_1 = a resistência entre o terminal 1 e o terminal central (Ω); e

R_2 = a resistência entre o terminal 2 e o central (Ω).

Para evitar que o giro limitado do potenciômetro (até 300°) restringisse o percurso linear do nível, seu eixo foi acoplado a um conjunto de engrenagem e rosca sem fim, formando um sistema de redução tipo coroa e pinhão (Figura 2a). O sensor utilizado para captar as variações do nível d'água consistiu-se de um conjunto de boia e contrapeso, acoplados a uma polia conectada ao sistema de redução supracitado (Figura 2b). O dispositivo sensor foi confeccionado a partir da reutilização de peças de equipamentos eletrônicos e frascos plásticos do tipo PET.

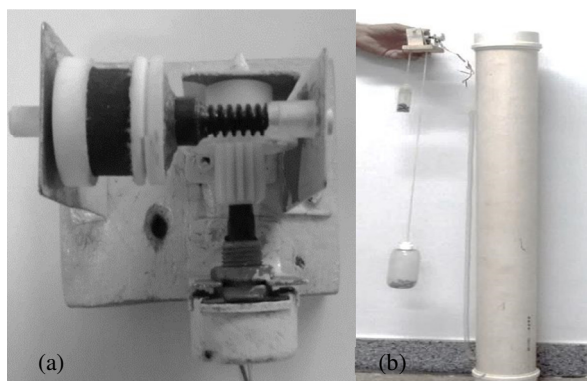


Figura 2. Sistema eixo sem fim e engrenagem (a) e sistema de boia e contrapeso (b), do linígrafo automático utilizando plataforma computacional Arduino.

Para a aquisição, processamento e registro de dados, utilizou-se a plataforma Arduino Uno (Figura 3). Trata-se de uma placa de desenvolvimento open source. A escolha dessa plataforma se deu por sua facilidade de aquisição e programação, baixo custo e disponibilidade para os sistemas operacionais Windows, Macintosh e Linux (GARCIA et al. 2015). A plataforma é composta, basicamente, por um microcontrolador Atmel, modelo ATmega328P com seis entradas analógicas e 14 entradas/saídas digitais programadas por software, porta de comunicação USB e conversor analógico/digital (A/D) de 10 bits (ARDUINO, 2015).



Figura 3. Placa de Arduino Uno, utilizada para a automação de linígrafo tipo boia-contrapeso.

O conversor A/D recebe um sinal de 0 a 5,0 V e o converte em valores digitais, que variam de 0 a 1023. Isso significa que o valor mínimo lido pelo conversor equivale a aproximadamente 0,00488 V por divisão. Assim, se uma variação de nível de 1,0 m equivale a 5,0 V no sensor, a resolução do dispositivo será de 0,000195 m ou 0,195 mm.

Para registro das leituras em uma base de tempo, utilizou-se o módulo DS1307, que é um RTC (Real Time Clock). Com ele, a aquisição de dados referente à variação do nível de água fica referenciada em termos de segundos, minutos, horas, dias e anos. Para armazenamento dos dados, utilizou-se um cartão SD (Secure Digital), que é um tipo de memória flash, gerenciado pelo módulo gravador de SD também acoplado ao Arduino.

O programa principal do microcontrolador executa basicamente o *loop* mostrado em diagrama de blocos na Figura 4.

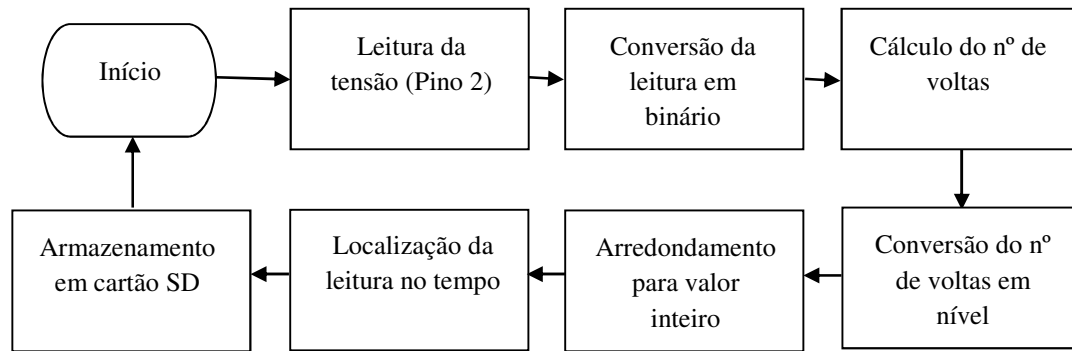


Figura 4. Diagrama de blocos da sequência da rotina executada pelo programa.

A aferição e calibração do sistema de aquisição de dados foram realizadas comparando-se a leitura do nível de água fornecida pelo programa com a leitura indicada em uma régua, adotada como padrão, fixada na parte externa do tubo de PVC. Adicionava-se ou retirava-se um volume preestabelecido de água (0,150 L), correspondente a uma variação de aproximadamente 2,0 cm no nível dentro do tubo de PVC. Realizou-se, ainda, uma simulação com o intuito de verificar a influência do erro do equipamento na variação da estimativa da vazão de um curso de água hipotético. Para isso, fixou-se uma seção transversal (5,0 m) e uma velocidade média ($1,5 \text{ m s}^{-1}$) do curso de água.

A validação do protótipo foi realizada através de análise de regressão, coeficiente de correlação (r), erro médio relativo (EMR), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e a média do erro absoluto (MAE), aplicados nas leituras de nível d'água registradas pelo linígrafo (Y_i) e o método adotado como padrão (\hat{Y}_i). Como índice de precisão da estimativa, utilizou-se o índice de concordância “d” proposto por Willmott (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa desenvolvido consta de uma seção de definições gerais, uma seção de inicializações e o *loop* principal, conforme padrões de programação da plataforma Arduino. Na listagem do programa (Figura 5) encontram-se maiores explicações. A apresentação dos dados gravados no cartão de memória SD pode ser visualizada na Figura 6.

Os valores dos componentes básicos utilizados na montagem do linígrafo encontram-se no Quadro 1. A relativa facilidade de montagem e programação da plataforma Arduino e o valor de aquisição dos materiais viabilizam a construção do equipamento, cujo custo representa uma fração do custo de aquisição de um linígrafo no mercado (US\$600.00 a US\$6.000.00).

Quadro 1. Custo de aquisição dos materiais para construção do linígrafo. Cotação do dia 09/12/2016.

Componente	Valor (US\$)
Placa Arduino Uno	30.00
Real Time Clock (RTC)	1.00
Módulo SD (Secure Digital) CAD	10.00
Bateria de alimentação	4.00
Tubo PVC	3.00
Conexões	8.00
Acessórios	6.00
Total	62.00

O potenciômetro apresentou um comportamento não linear nas extremidades da sua faixa de operação (aproximadamente 35° iniciais e finais) para medida da resistência. Para sanar dúvidas quanto a um possível defeito do potenciômetro utilizado, levantaram-se curvas de resposta (função de transferência) para outros potenciômetros. Avaliou-se um potenciômetro com as mesmas características do utilizado no transdutor (mesmo fabricante e mesma resistência) e outros com resistências diferentes disponíveis

```

//DEFINIÇÕES
//Carrega a biblioteca do RTC DS1307
#include <DS1307.h>
//Modulo RTC DS1307 ligado aos pinos A4 e A5 do Arduino
DS1307 rtc(A4, A5);
//Carrega a biblioteca do módulo gravador SD
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
const int chipSelect = 4; // Pino D4 ligado ao CS do modulo SD
//Definições para o sensor potenciométrico
int potPin = 2; // pino 2 recebe valores do potenciômetro
int intervalo = 10000; // intervalo entre medidas em ms
int val = 0; // variável para sensor
float x = 0; // variável para receber nº. de voltas da polia
float N = 0; // variável para receber o nível
int NR = 0; // variável para receber valor do nível arredondado p/ cm

//INICIALIZAÇÕES
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa a porta serial para mostrar dados
  // Aciona o relógio
  rtc.halt(false);
  // As linhas abaixo ajustam a data e hora do módulo
  // e devem ser comentada após a primeira utilização
  //rtc.setDOW(THURSDAY); // Define o dia da semana
  //rtc.setTime(16, 28, 0); // Define o horário
  //rtc.setDate(11, 2, 2016); // Define o dia, mês e ano
  rtc.setSQWRate(SQW_RATE_1);
  rtc.enableSQW(true);
  // Inicializa o módulo SD
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    sdCard.initErrorHalt();
    Serial.println("Falha no SD");
  }
} // LOOP PRINCIPAL
void loop() {
  val = analogRead(potPin); // recebe valor do sensor e converte p/ binário
  x = (val/36.11)-2.25; // calcula nr de voltas conf equação do sensor
  N = 5.7*x; // calcula o nível, cada volta completa = 5,7 cm de deslocamento
  NR = round(N); // arredonda p/ inteiro mais próximo (cm)
  if (NR <= 1) { // elimina valores menores que 1cm, levando para nível zero
    NR = 0;
  }
  // mostrar dados de nível
  Serial.print("Data: ");
  Serial.print(rtc.getDateStr());
  Serial.print(" Hora: ");
  Serial.print(rtc.getTimeStr());
  Serial.print(" Nível(cm): "); // mostra o nível
  Serial.print(NR);
  Serial.println("");
  // Abre o arquivo Nivel.TXT
  File meuArquivo = SD.open("Nivel_v3.txt", FILE_WRITE);
  meuArquivo.print("Data: ");
  meuArquivo.print(rtc.getDateStr());
  meuArquivo.print(" Hora: ");
  meuArquivo.print(rtc.getTimeStr());
  meuArquivo.print(" Nível(cm): ");
  meuArquivo.print(NR);
  meuArquivo.println("");
  meuArquivo.flush(); // Grava fisicamente os dados
  // meuArquivo.close();
  // Aguarda 'intervalo' segundos e repete o processo
  delay(intervalo);
}

```

Figura 5. Listagem do programa para medida, registro e armazenamento da variação do nível de água.

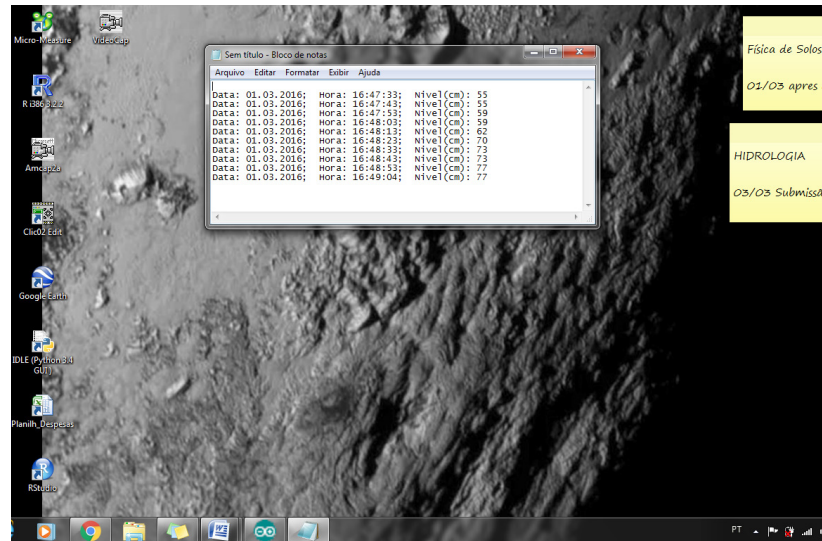


Figura 6. Tela de apresentação dos dados registrados pelo linígrafo.

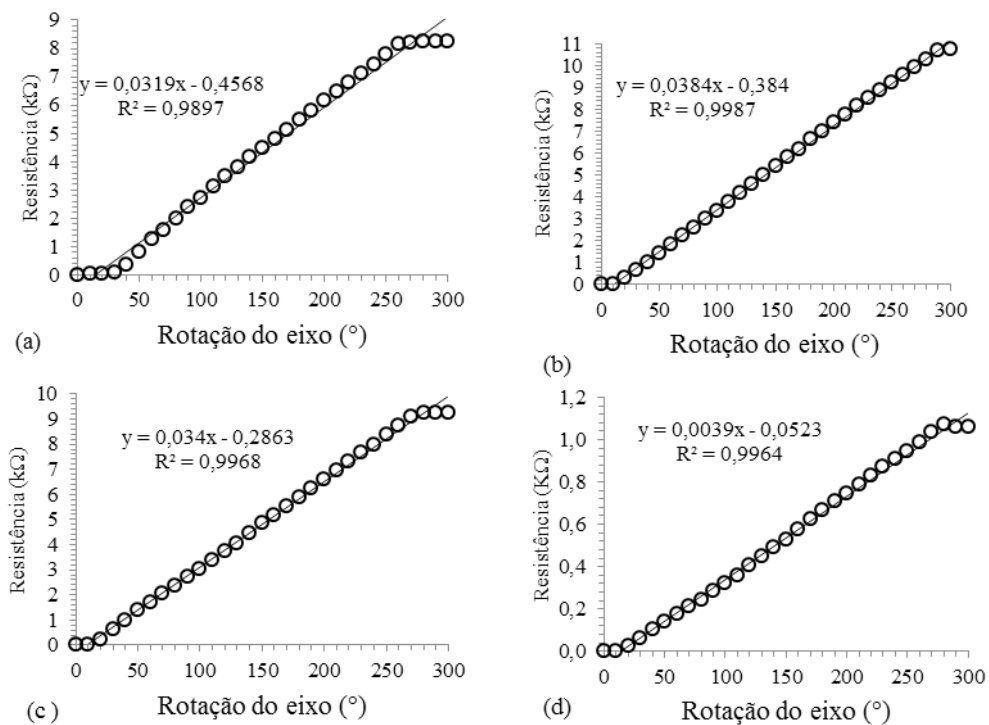


Figura 7. Resistência em função da rotação do eixo: (a) potenciômetro semelhante ao usado como transdutor, (b) potenciômetro de 10kΩ de outro fabricante, (c) potenciômetro tipo “mini” de 10kΩ e (d) potenciômetro de 1kΩ.

no mercado. As respostas foram as mesmas, com gráficos semelhantes (Figura 7). Por tratar-se de uma característica que se repete em todos os potenciômetros analisados, supõe-se que esta seja inerente ao projeto do dispositivo, ligada ao seu funcionamento ou processo de fabricação.

A figura 8 mostra a variação da resistência elétrica em função dos graus de rotação do eixo,

para o potenciômetro utilizado na montagem. A não linearidade do dispositivo pode ser contornada, desde que utilizada apenas a faixa linear da resistência, desprezando os primeiros e os últimos 35° de rotação do eixo. No equipamento desenvolvido, isso corresponde às sete primeiras e às cinco últimas voltas da polia do mecanismo redutor. Essa faixa de operação corresponde a um deslocamento linear da

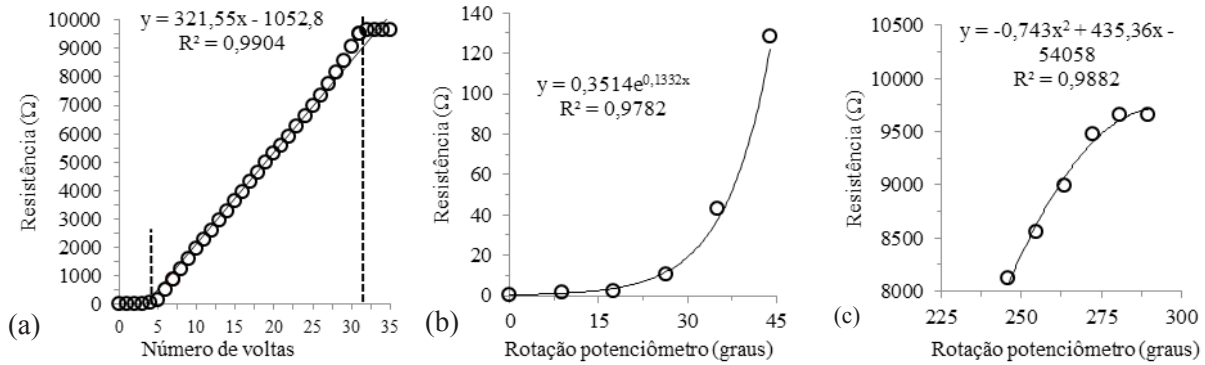


Figura 8. Comportamento gráfico do funcionamento do potenciômetro em função do número de voltas do mecanismo redutor (polia) (a), detalhe da rotação inicial (b) e detalhe da rotação final do eixo do potenciômetro (c).

boia de aproximadamente 1,50 m, ou seja, com a configuração atual do sistema redutor (relação de engrenagens e diâmetro da polia), o linígrafo pode medir variação de nível de até 1,50 m.

Os valores de níveis de água indicados pelo equipamento e pelo método padrão (considerado como real), apresentaram ajustamento estimado pela equação linear $y = 1,0218x + 2,1031$ (nível ascendente) e $y = 1,0137x - 0,9981$ (nível descendente) e coeficientes de determinação (R^2) de 0,99. Observa-se funcionamento preciso ($r=0,99$) e acurado do equipamento ($d = 0,99$) (Figura 9). No registro ascendente do nível de água ocorre subestimativa sobre os valores reais (EMR=22,33%) e em nível descendente observou-se comportamento inverso (EMR=16,57%). O erro absoluto do equipamento corresponde a 7,9%, fornecendo leitura com precisão de $\pm 3,0$ cm.

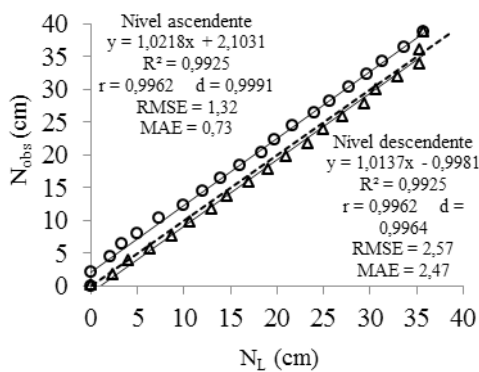


Figura 9. Análise de regressão (linha contínua) entre o nível de água observado (N_{obs}) e o nível de água estimado pelo linígrafo (N_L), para níveis ascendentes (o) e descendentes (Δ) de água, bem como a reta 1:1 (linha pontilhada).

Esses erros podem ser atribuídos ao atraso mecânico no mecanismo redutor, principalmente no início de seu funcionamento e na inversão do giro. A folga no mecanismo de redução (Figura 2) corresponde a, aproximadamente, $\frac{1}{4}$ de volta da polia ($\pm 1,5$ cm linear) e, provavelmente, se deve a falhas no engrenamento dos dentes, nesse caso, a variação não é registrada pelo potenciômetro. Uma forma de reduzir esse erro é utilizar engrenagens apropriadas para as funções de coroa e pinhão. As que foram usadas são reaproveitamentos de outros equipamentos, nos quais as engrenagens realizavam outras funções.

As simulações da vazão (Figura 10) indicaram que o erro inerente às leituras de nível do equipamento reflete em um erro de 1,13% na variação da vazão estimada de um rio com seção transversal de 5,0 m e profundidade de 2,0 m, equivalente a $0,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Assim, dependendo da exatidão requerida para a medição da vazão, o equipamento poderá ser utilizado como ferramenta para construção da curva chave de um rio.

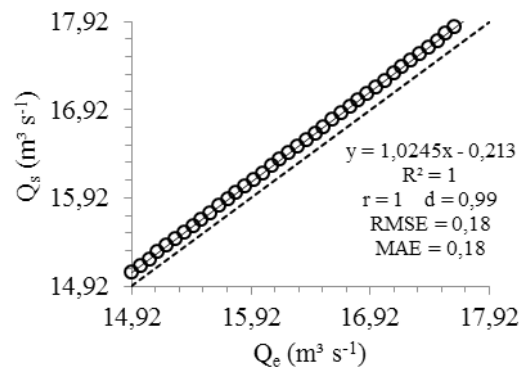


Figura 10. Análise de regressão (linha contínua) entre a vazão simulada (Q_s) e a vazão estimada pelo linígrafo (Q_e), bem como a reta 1:1 (linha pontilhada).

Para a finalidade proposta neste estudo, a utilização da placa Arduino apresentou desempenho satisfatório. Recomenda-se realizar estudos no sentido de verificar o efeito das variações de temperatura sobre o sensor (potenciômetro), a durabilidade do potenciômetro, autonomia da bateria que alimenta o sistema e efeitos da umidade sobre os componentes eletrônicos.

CONCLUSÕES

- O custo final do equipamento corresponde a aproximadamente 10% do valor do linígrafo de menor custo encontrado no mercado;
- A plataforma Arduino pode ser recomendada como uma alternativa de hardware de aquisição de dados para medidas fluviométricas;
- Devido à não linearidade do potenciômetro e às folgas no engrenamento, o linígrafo produzido é recomendado para medidas de variação de nível acima de 0,10m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional das Águas. Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>>. Acesso em: 10. Dez. 2015.

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 10. Dez. 2015.

DIBARI, C. MORIONDO, M.; MATESE,

A.; SABATINE, F.; TROMBI, G.; ZALDEI, A.; BINDI, M. A low cost Mobile Network System for monitoring climate and air quality of urban areas at high resolution: a preliminary application in Florence (IT) metropolitan area. *Geophysical Research Abstracts*... 15, EGU2013-8184, 2013 EGU General Assembly 2013.

FERREIRA, M.M.; REIS, J.A.; MANDONÇA, A.S.F. Estimativas de vazões máximas para cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim. *Revista Ciatec*, Passo Fundo, v.7, n.1, p.67-78, 2015.

GARCIA, R.F.; LIMA, R.C.; MANHAES, C.M. C. Avaliação de um sensor de fluxo utilizando placa microcontroladora Arduino. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.23, n.2, p.162-168, 2015.

TORRES, J.D.; MONTEIRO, I.O.; SANTOS, J.R.; ORTIZ, M.S. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. *Scientia Plena*, Sergipe, v.11, n.2, p.1-13, 2015.

YAWUT, C.; KILASO, S. **A wireless sensor network for weather and disaster alarm systems**. 8th International Conference on Virtual Learning. Cape Town, South Africa; 2011.

WILLMOTT, C.J. ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.