

John Welvins Barros de Araújo [johnwelvins@gmail.com]  
Daniel Fonseca Corradini Ferrando [daniel.f.kiyoshi@gmail.com]  
Edson Massayuki Kakuno [edson.kakuno@unipampa.edu.br]  
Universidade Federal do Pampa – Unipampa Campus Bagé  
Travessa 45, 1650, 96413-170, Bagé, RS – Brasil.

## Introdução

O Arduino possui um Conversor Analógico Digital (ADC) de 10 bits de resolução, que atende diversas demandas, contudo existem algumas aplicações em que o sinal a ser medido é menor que a sensibilidade do ADC do Arduino. Para estas situações, existem algumas soluções (placas de interface, que podem ser adaptadas ao Arduino) comerciais, dentre as mais comuns, temos o ADS1115 e o HX711. O primeiro é um conversor ADC de 16 bits de uso geral e o segundo um ADC de 24 bits explorado para utilização na montagem de balanças. Ambos os conversores são do tipo Sigma-Delta e a taxa de amostragem é em torno de 10 SPS a 1000 SPS. Neste trabalho reportamos resultados da caracterização do HX711, pelo fato deste ser o de menor custo. Futuramente apresentaremos resultados de caracterização do ADC do Arduino, do ADS1115, do ADS1248 e do AD7794.

## Metodologia

Utilizamos dois módulos HX711, que iremos identificar de Placa A e Placa B. Para a leitura do Módulo, utilizamos uma placa Arduino 2009. Para tensão de medida, foi utilizado uma bateria de *Lithium* de 6,47V, conectado a um divisor de tensão resistivo. Utilizamos resistores de 1%, para minimizar o ruído devido aos mesmos. Um multímetro *Fluke* 8060A, de 4 1/2 dígitos para medir o sinal nas entradas A e B.

Para comunicar com o Módulo HX711, o Arduino foi carregado com uma biblioteca disponível na web [4, 5] e utilizado um programa de teste, também disponível na web. Foi realizado medidas de nível de ruído, com as entradas A+, A- e B+, B- em curto e com um sinal de entrada obtida através de um divisor de tensão resistivo e uma bateria. Também foi realizada a verificação da leitura de potencial elétrico, aferindo desta forma a tensão de fundo de escala e a tensão de referência interna (1,25V). O Módulo foi alimentado com 5V fornecido pelo Arduino.

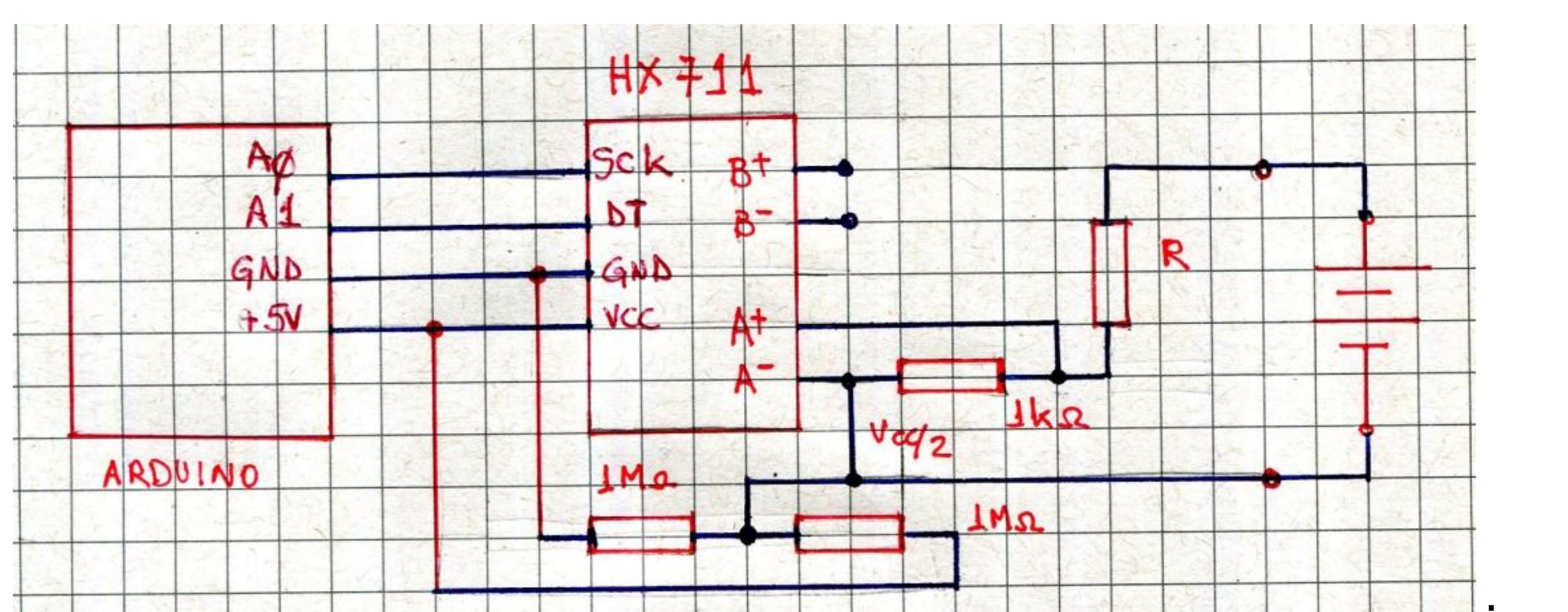


Fig.1: Diagrama de conexão do módulo HX711 ao Arduino.

Realizamos, para cada parâmetro explorado, uma coleta de 4900 leituras do ADC via Arduino, que foram analisados através de histogramas.

## Resultados e Discussões

A tabela 1, abaixo, sumariza os resultados das medidas de fundo de escala (FS), a equivalência de potencial para o incremento de uma unidade no código (Passo) e o *offset*, das placas A e B:

Ganho	F.S. Fabrica mV	F.S. Calc. A mV	F.S. Calc. B mV	F.S. Med. A mV	F.S. Med. B mV	Passo A nV	Passo B nV	Offset A uV	Offset B uV	Offset % A xE-02	Offset % B xE-02		
32	80	78,40	79,03	64,17	64,52	7,65	7,69	-28,61	0,24	-39	0,26	-4,46	-6,04
64	40	39,20	39,52	32,30	32,58	3,85	3,88	-15,53	0,12	-19,77	0,16	-4,81	-6,07
128	20	19,60	19,76	16,15	16,28	1,93	1,94	-8,66	0,10	-10,53	0,12	-5,36	-6,47

Tabela 1: Resultado das medidas de fundo de escala (FS), do passo e de *offset*.

O potencial de fundo de escala declarado pelo fabricante no data sheet é de +/-20, +/-40 e +/-80 mV para os ganhos de 128, 64 e 32 respectivamente, coluna (F.S. Fábrica). O chip HX711 disponibiliza no pino 6 (V<sub>bg</sub>) a tensão de referência, o qual medimos 1,2544 V para a placa A e 1,2645 para a placa B, aparentemente corresponde a metade do valor de tensão de referência utilizada pelo ADC e com base neste valor, calculamos o F.S. Calc. = (V<sub>bg</sub> x 2) / ganho, da tabela 1. Com um potencial conhecido na entrada do HX711, determinamos os valores de tensão de fundo de escala (F.S. Med.) da tabela 1. Note que há uma divergência na ordem de 19% (a menos) do valor declarado pelo fabricante. Podemos atribuir esta diferença devido ao valor do ganho não ser exatamente o valor declarado pelo fabricante.

Quando conectamos o divisor de tensão, resistência de 1,0 kohm em série com outro maior (120 kohm, 200 kohm, 499kohm e 2,2MOhm, dependendo do valor desejado na entrada do ADC) na entrada do ADC e repetimos a medida do ruído, com a entrada do divisor de tensão em aberto, observamos um aumento no ruído e no deslocamento do *offset*. A Fig.2 mostra o resultado para a placa A, com ganho de 128:

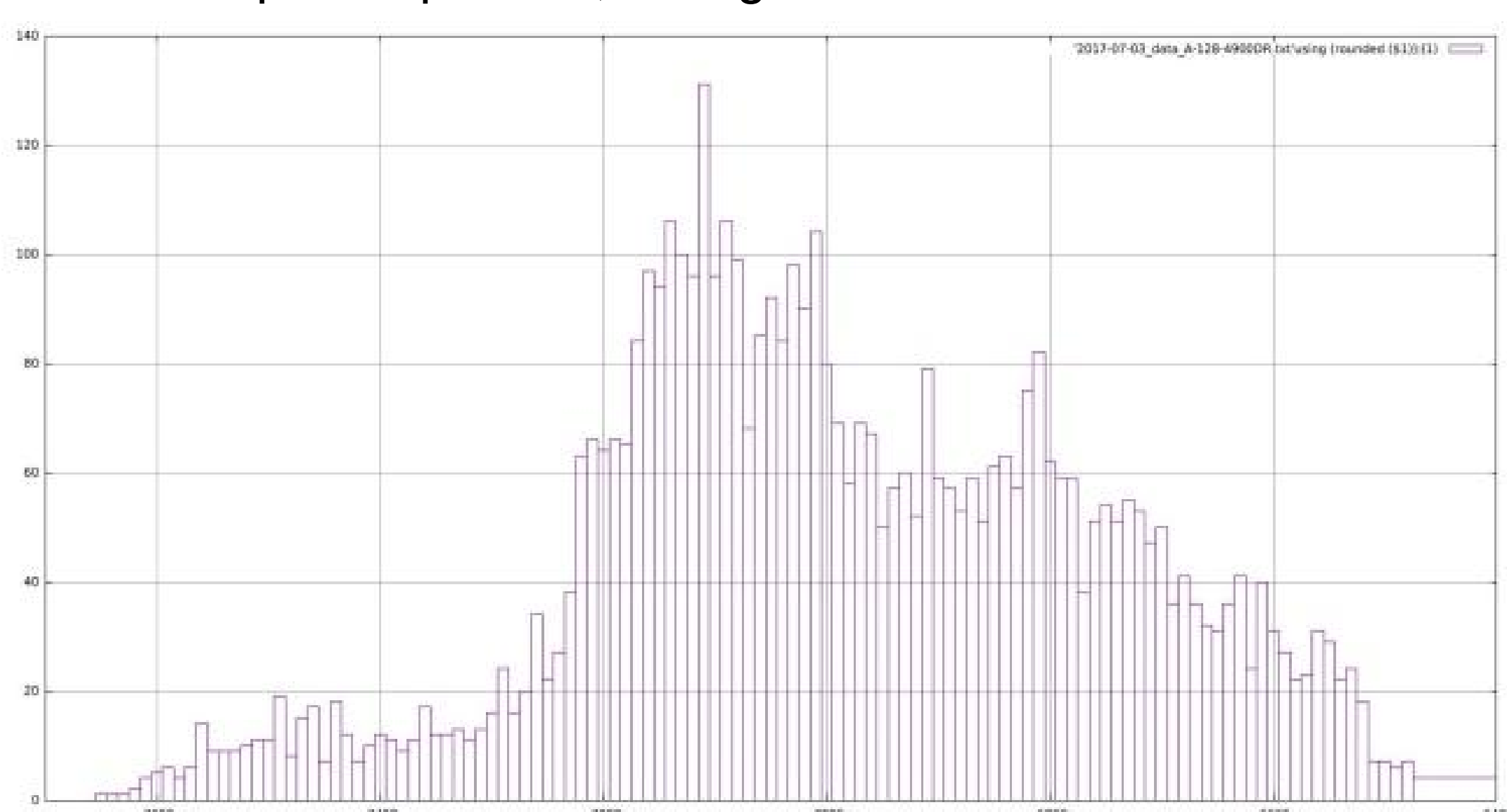


Fig.2: Histograma representando o ruído e o *offset* da placa A com ganho de 128, com o divisor resistivo conectado.

Determinamos a resistência de entrada do ADC, conectando um resistor de 120 kohm 1%, em série com a entrada, formando um divisor resistivo entre estes dois e aplicando um potencial conhecido.

Ganho	Rin (kohm) – Placa A	Rin (kohm) – Placa B
32	99,105	95,57
64	96,97	93,50
128	92,54	88,64

Tabela 2: Resistência de entrada do HX711.

A resistência de entrada é praticamente constante a 95 kohm e este valor é importante caso se queira projetar um filtro passivo para ser conectado a entrada do ADC ou quando se está trabalhando com fontes de sinal com resistência de saída da ordem de 10kohm ou mais. Para uma fonte de sinal de 10 kohm de resistência interna, o erro no sinal medido seria da ordem de 10% e pior para resistências maiores.

Para encontrar o fundo de escala, determinamos primeiro o Passo: o menor valor possível de medir, que corresponde ao código x00 00 01 (/2, pois um bit é utilizado para o sinal, positivo ou negativo, portanto são efetivamente 23 bits) e que também corresponde a resolução do ADC. O Passo pode ser determinado de duas formas: 1) para um mesmo valor de sinal, medir o seu valor positivo e o seu valor negativo, a média entre estes dois valores elimina o *offset* da medida, que dividido pelo código lido, resulta no passo. 2) a outra forma é, conhecendo-se o *offset*, subtrair o mesmo da leitura obtida. No nosso caso, acrescentamos o código equivalente ao *offset* ao código lido (pois o nosso *offset* é negativo) e a partir daí obteve-se o passo e o valor de FS (Passo \* x11 11 11, o maior código possível).

+/-FS (mV)	Placa A FS (mV)	Placa A erro (%)	Placa B FS (mV)	Placa B erro (%)
20	16,15	19,25	16,282	18,59
40	32,2951	19,26	32,5821	18,54
80	64,17	19,79	64,5216	19,35

Tabela 3: Valores obtidos de fundo de escala (FS).

Determinamos a linearidade para a placa B, ajustada ao ganho de 64, o gráfico da Fig.3 mostra uma visão geral do resultado.

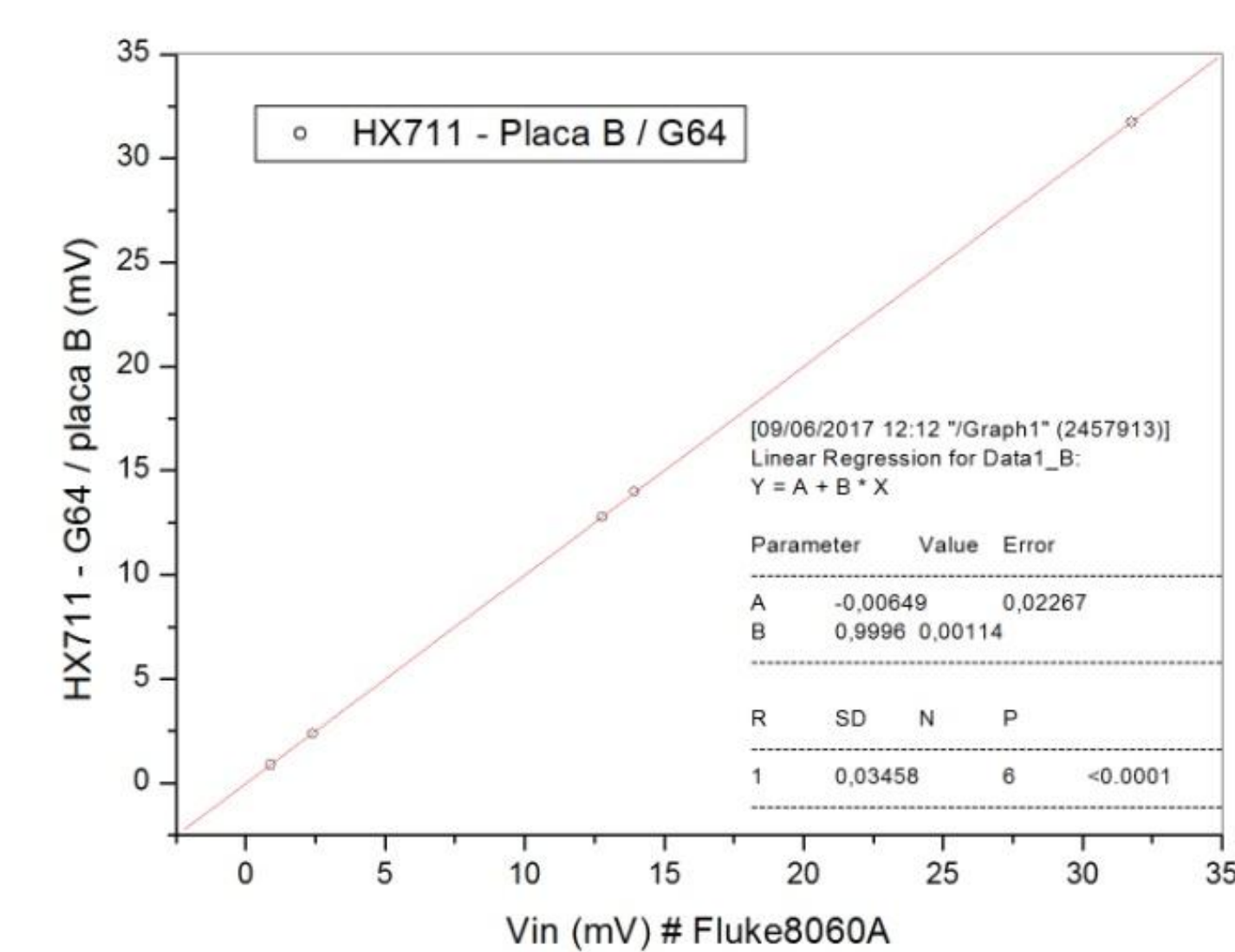


Fig.3: Curva de linearidade do HX711, com ganho 64.

## Conclusão

Os resultados aqui apresentados não são uma varredura exaustiva de todas as possibilidades de medidas e também corresponde a uma amostragem de duas placas. Para a aplicação de “balança digital” o dispositivo (HX711) mostra-se adequado, pois em geral é realizado um ajuste de “zero” prévio (tara) o que contorna a questão de existir um valor de *offset* nas leituras. E uma calibração, também via software, prévia da balança corrige o erro no valor de fundo de escala (F.S.) do ADC. Contudo, em aplicações em que se necessita realizar medições absolutas, rotinas de compensação de *offset* e ajuste de F.S. devem ser realizadas previamente ao uso. Boas práticas de blindagem podem reduzir o ruído. Notamos também que a resolução efetiva do conversor é de 16 bits, pois grande parte do ruído é da ordem dos últimos 5 bits (menos significantes).

## Referências

- [1] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/load-cell-amplifier-hx711-breakout-hookup-guide>
- [2] <https://www.robocore.net/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=5757>
- [3] [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711\\_english.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf)
- [4] <https://github.com/aguegu/ardulibs/tree/master/hx711>
- [5] <https://github.com/bogde/HX711>

## Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio material e financeiro do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID/UNIPAMPA, através do Edital CAPES no. 061/2013, e pela Portaria CAPES nº 096/2013 e CNPQ processo 405472 / 2015-3.