

## PROPOSTA DE RECONSTRUÇÃO DE TRAJETÓRIA DE PIGs UTILIZANDO COMPONENTES NÃO CONVENCIONAIS

Vinícius Sousa de Oliveira, [vinifoia@gmail.com](mailto:vinifoia@gmail.com)<sup>1</sup>

Carlos Yuri Ferreira Silva, [carlosyurisilva@gmail.com](mailto:carlosyurisilva@gmail.com)<sup>1</sup>

Gustavo Fernandes de Lima, [gustavo.lima@ifrn.edu.br](mailto:gustavo.lima@ifrn.edu.br)<sup>2</sup>

André Laurindo Maitelli, [maitelli@dca.ufrn.br](mailto:maitelli@dca.ufrn.br)<sup>3</sup>

Andrés Ortiz Salazar, [andres@dca.ufrn.br](mailto:andres@dca.ufrn.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

<sup>2</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Rua Antônia de Lima Paiva, 155, Nova Esperança, CEP: 59143-455, Parnamirim, RN.

<sup>3</sup>Laboratório de Automação em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

**Resumo:** Neste trabalho é proposta uma forma de reconstruir a trajetória feita por ferramentas do tipo Pipeline Inspection Gauge (PIG) dentro de tubulações. Os PIGs são dispositivos que realizam a inspeção de dutos percorrendo sua extensão. O rastreamento destes dispositivos é importante em atividades industriais e pode auxiliar tanto na determinação da localização dos pontos de anomalias, bem como no mapeamento de tubulações, cuja extensão não é conhecida. Sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios) foram utilizados de forma que não houvesse dependência de referências externas. Testes iniciais apontaram que estes sensores estavam sujeitos a forças externas (como a gravitacional) e ruídos, que prejudicaram na reconstrução do percurso realizado. Apesar disso, o resultado obtido até o momento foi considerado satisfatório e mostra que é possível realizar o rastreamento de objetos por meio de componentes de baixo custo, que não são convencionalmente utilizados para este fim.

**Palavras-chave:** MPU6050, acelerômetro, giroscópio, unidade de medição inercial, microeletrônica.

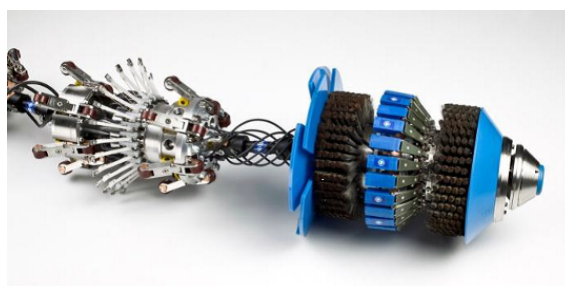
### 1. INTRODUÇÃO

A inspeção de dutos consiste na utilização de técnicas que tem por objetivo avaliar a atual situação dos tubos que compõem o sistema de dutos industriais, com intuito de verificar vazamentos, rachaduras, perdas de material entre outros possíveis danos (Utmaax, 2017). Essas inspeções buscam aumentar a confiabilidade do transporte de matérias primas pelos dutos e reduzir os custos com manutenções corretivas.

Uma técnica de inspeção de dutos disponível no mercado, executável sem interferir necessariamente no fluxo de produto no duto (Inline, 2017), é o *pigging*. Trata-se de um conceito de manutenção de dutos que envolve o uso de dispositivos conhecidos como *Pipeline Inspection Gauges* (PIGs). Os que limpam, removem água do duto, separam produtos e dessamam o duto são chamados de "PIGs de limpeza" (ver Fig. 1(a)), enquanto, os que salvam dados como extensão e localização dos defeitos na parede do duto são chamados de "PIGs instrumentados" (ver Fig. 1(b)).



(a)



(b)

Figura 1: Exemplos de PIGs. (a) PIGs de Limpeza; (b) PIG Instrumentado.

Os PIGs, ou ferramentas de inspeção de dutos, podem ser esféricos ou cilíndricos, e tem como característica principal a capacidade de percorrer toda a extensão do duto sendo propulso pelo diferencial de pressão produzido pelo fluido em deslocamento dentro da tubulação. Inicialmente, eles serviam para limpeza e detecção de anomalias nas tubulações. Com o desenvolvimento tecnológico, os PIGs passaram a ser instrumentalizados com componentes eletrônicos, mecânicos e sensores baseados em magnetismo, ultrassom e deformação mecânica (Pereira, 2012). Então, as aplicações possíveis para

os PIGs se tornaram inúmeras.

Durante a operação de inspeção de dutos, os sensores dos PIGs instrumentados captam, na parede do duto, defeitos como: trincas, corrosão, soldas, defeitos de fabricação, amassamentos, etc (Pereira *et al.*, 2013). Após a detecção de qualquer anomalia no duto, é necessário conhecer a exata localização da região defeituosa (Emmendoerfer *et al.*, 2008).

Para Santana *et al.* (2010) em muitas situações, o PIG não tem acesso às suas coordenadas de posição (quando dependem de sinais do Sistema de Posicionamento Global, GPS) e técnicas de navegação inercial devem ser usadas para estimar sua trajetória. A correta localização dos defeitos tem a finalidade de obter dados para subsidiar as decisões quanto à necessidade de ações preventivas ou corretivas no duto (Pereira *et al.*, 2013).

Alguns trabalhos acadêmicos tratam da temática de PIGs instrumentos e sistemas de reconstrução de trajetórias.

Emmendoerfer *et al.* (2008) desenvolveram e testaram um reconstrutor de trajetórias terrestres com medidas de giroscópios e odômetros. O ensaio constituiu de embarcar os sensores em uma bicicleta e percorrer uma pista de ciclismo com 3,3 km. Foram utilizados 4 *LandMarks* (pontos conhecidos) para evitar o crescimento dos erros de reconstrução da trajetória. O erro máximo entre a trajetória medida pela GPS e a reconstrução pelo sistema foi de 11,21 m e o erro médio foi de 5,81 m.

Santana *et al.* (2010) apresentam um algoritmo não-linear de fusão de sensores para reconstrução de trajetórias de PIGs. Os sinais de saída da unidade inercial são combinados com as leituras de um odômetro. O sistema de navegação é modelado com um sistema dinâmico não-linear e um filtro de Kalman estendido é usado para estimar os estados do sistema. Em testes preliminares, foi possível reconstruir uma trajetória fechada com 2.800 m e um erro final de 1,7 m.

Santana *et al.* (2013) apresentam um algoritmo de fusão de sensor baseado em um filtro de Kalman para estimar as coordenadas geodésicas e reconstruir a trajetória de teste de um carro em ambientes onde não existe sinal de GPS. O algoritmo proposto tem potencial para ser aplicado em inspeção de dutos e ambientes subaquáticos ou subterrâneos. O sistema mostrou que uma trajetória fechada não pode ser reconstruída satisfatoriamente usando apenas medições de sensores inerciais. No entanto, quando o algoritmo de fusão de sensores é usado, a trajetória pode ser reconstruída com relativo sucesso.

Sahli and El-Sheimy (2016) descrevem uma nova metodologia para o uso de unidades inerciais baseadas em sistemas micro-eleto-mecânicos usando filtro de Kalman estendido e as junções dos dutos para aumentar a precisão dos parâmetros de posição e reduzir os erros totais. Os resultados mostram que os erros de posição foram reduzidos em aproximadamente 85% em relação à solução padrão. Essa abordagem permite o mapeamento de tubulações de pequeno diâmetro (8"ou menos), o que não era possível antes.

Com base na revisão acima é possível perceber a ausência de ensaios experimentais com PIGs instrumentados, mesmo que em escala reduzida, para comprovação dos resultados, o que mostra que ainda existe muito a se fazer para melhorar o desempenho desses PIGs quanto a reconstrução de sua trajetória.

O objetivo deste trabalho é propor uma forma não convencional de reconstruir a trajetória feita por um PIG utilizando componentes de baixo custo. Atualmente, a forma mais comum de se fazer o rastreamento do posicionamento de um objeto é utilizando GPS (Sistema de Posicionamento Global, que funciona por meio de satélites), porém seu sinal pode não chegar dentro de tubulações. Por isso, uma forma alternativa foi pensada para desenvolver este projeto, por meio de um sistema de navegação inercial, no qual não seriam necessárias referências externas.

As próximas seções deste artigo estão organizadas da seguinte maneira: na seção 2, são abordados os fundamentos teóricos necessários para o entendimento deste trabalho; na seção 3, são apresentados os materiais utilizados e os métodos empregados nos ensaios experimentais; na seção 4., são discutidos os resultados encontrados e apresentado o melhor obtido; por fim, na seção 5, estão as conclusões deste artigo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados os fundamentos teóricos relativos ao acelerômetro, giroscópio e sistema de coordenadas necessários para o entendimento deste trabalho.

### 2.1 Obtenção de pontos a partir de aceleração linear e velocidade angular

Para realizar o rastreamento da trajetória de qualquer corpo, é necessário saber sua posição no espaço ao longo do tempo. A posição, por sua vez, é dada por meio de pontos (coordenadas). A questão seria como obter esses pontos, partindo de valores lidos de aceleração linear e velocidade angular dos sensores acelerômetro e giroscópio, respectivamente. Simulando o movimento de um PIG, que se desloca em apenas um sentido, o mapeamento da trajetória percorrida, pode ser feito utilizando apenas o valor do deslocamento percorrido e calculando as curvas feitas. O sentido do movimento é definido pelo diferencial de pressão produzido pelo fluido em deslocamento dentro da tubulação.

É possível estimar o deslocamento total do PIG até um instante  $t$  tendo posse da sua aceleração neste instante  $t$  e suas velocidade e posição iniciais (ambas definidas como zero, considerando que ele parte do repouso, na posição definida como zero). A medição das curvas pode ser feita tendo posse da orientação (posição angular) do PIG. Esta, pode ser obtida a partir dos valores lidos das velocidades angulares no instante  $t$  desejado e da sua orientação inicial (definida como sendo 0 rad).

## 2.2 Sistemas de coordenadas

Após obtido os pontos que indicam a localização do objeto ao longo do tempo, para estimar a posição do mesmo no espaço, é necessário ter-se uma referência. Para isso, existem alguns sistemas de coordenadas, dentre os quais podem se destacar:

- Sistema ECEF (Earth Centered, Earth Fixed): Neste sistema de referência, a origem está localizada no centro da Terra, sendo que seu eixo  $X_{ECEF}$  é orientado passando pelo cruzamento entre a linha do equador e o meridiano de Greenwich, o eixo  $Z_{ECEF}$  é orientado apontando para o Polo Norte geográfico da Terra, e o eixo  $Y_{ECEF}$  é orientado através da regra da mão direita (Emmendoerfer et al., 2008) (ou seja, produto vetorial dos outros dois eixos). Os três eixos do sistema ECEF foram representados pela cor azul na Fig. 2.
- Sistema NED (North East Down): a origem pode ser definida como qualquer ponto na superfície da Terra, sendo que o eixo  $X_{NED}$  deve ficar orientado na direção do Norte geográfico, o eixo  $Y_{NED}$  apontando para o Leste e o  $Z_{NED}$  seguindo o produto vetorial dos outros dois. Os três eixos do sistema ECEF foram representados pela cor verde na Fig. 2.
- Sistema RPY (Roll Pitch Yaw): para este sistema de coordenadas, a origem está em qualquer ponto do corpo que se deseja mapear (normalmente na intersecção dos eixos de sensibilidade) e irá se mover junto com ele. Os três eixos podem ser definidos como melhor convém ao usuário, mas é comum orientar o eixo  $X_{RPY}$  na direção do movimento, o eixo  $Z_{RPY}$  apontando para baixo (centro da Terra) e o eixo  $Y_{RPY}$  seguindo o produto vetorial dos outros dois. Olhando para a Figura 2, o Sistema RPY pode ser entendido como o NED, porém sem que os três eixos fiquem fixos.

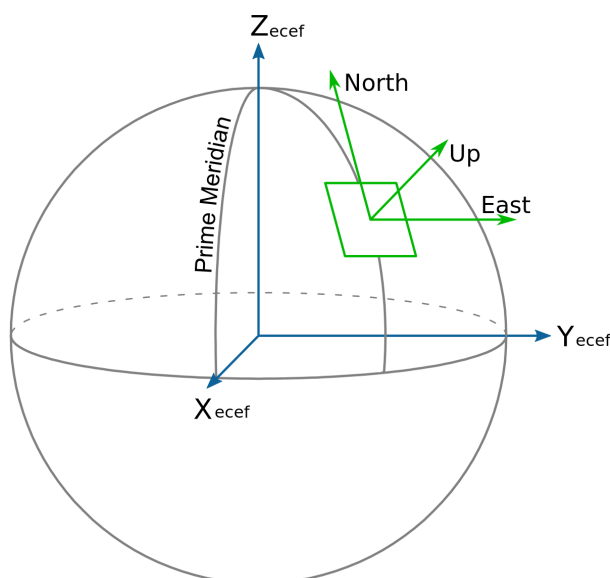


Figura 2: Sistemas de coordenadas ECEF e NED.

Para este trabalho foi empregado o Sistema de coordenadas RPY, pois ele se encaixa perfeitamente na necessidade, visto que o PIG se movimenta em apenas uma direção, que seria em torno do eixo definido como  $Y_{RPY}$ .

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são abordados os materiais utilizados no desenvolvimento deste artigo e os métodos aplicados para obtenção dos resultados.

### 3.1 Unidade de Medição Inercial (IMU)

O dispositivo escolhido para atuar como Unidade de Medição Inercial (IMU) foi o MPU6050 da InvenSense, que pode ser visto na Fig. 3(a). De acordo com o InvenSense (2013), ele foi o primeiro dispositivo integrado do mundo para rastreamento de movimento em 6 eixos (6 graus de liberdade). Além de acelerômetro de 3 eixos e giroscópio de 3 eixos, ele também possui um medidor de temperatura e um Processador Digital de Movimento (DMP) que estão presentes no circuito integrado, ocupando um espaço de apenas 4x4x0.9mm. Todos esses elementos foram construídos sobre uma placa que mede 2x1.5cm e espessura de menos de 3mm. Na placa também estão presentes os pinos de alimentação do dispositivo e de leitura dos sinais e é possível ver impresso na parte inferior dela a orientação dos três eixos e a polaridade da rotação (ver Fig. 3(b)).

O giroscópio tem uma sensibilidade máxima para uma velocidade angular de  $\pm 2000^\circ/s$  (aproximadamente  $35\text{rad/s}$ ), porém é possível escolher valores menores para essa escala com o intuito de melhorar a precisão dos valores lidos. Ele trabalha numa taxa de fornecimento de dados programável entre 4 e  $8000\text{Hz}$ . Para este projeto foram utilizadas a sensibilidade e taxa de fornecimento de dados máximas do giroscópio, ou seja,  $\pm 2000^\circ/s$  e  $8000\text{Hz}$ , respectivamente.

O acelerômetro do MPU6050 possui uma sensibilidade máxima de acelerações de até  $\pm 16g$  (aproximadamente  $\pm 157\text{m/s}^2$ ), mas, assim como o giroscópio, possui escalas menores programáveis que melhoram a precisão dos valores lidos. A taxa de fornecimento dele pode ser de 4 a  $1000\text{Hz}$  e isso é programável. Para este projeto foram utilizadas a sensibilidade e taxa de fornecimento de dados máximas do acelerômetro, ou seja,  $\pm 16g$  e  $1000\text{Hz}$ , respectivamente.

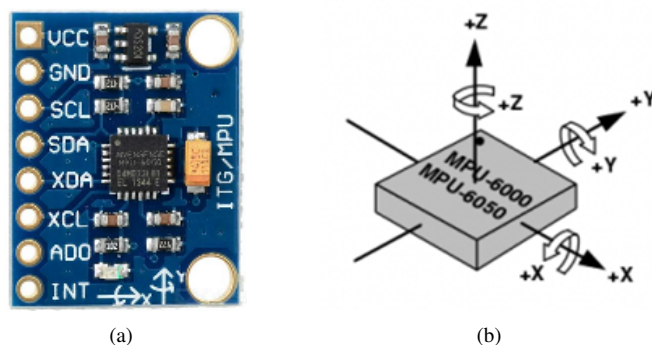


Figura 3: Módulo MPU6050. (a) Identificação dos Pinos; (b) Orientação dos eixos.

### 3.2 Acelerômetros

A leitura dos acelerômetros do MPU6050 funciona baseado no conceito de piezoelectricidade que seria a capacidade que alguns cristais possuem de gerarem tensão elétrica como efeito de uma pressão mecânica. Sendo assim, o acelerômetro se comporta como um cubo que possui uma esfera dentro (ver Fig. 4(a)). Cada par de faces opostas do cubo se comporta como um eixo (X, Y e Z). Quando a esfera toca uma das paredes significa que existe uma aceleração na direção dela, porém no sentido oposto. Quanto maior for a pressão exercida pela esfera, maior a aceleração.

### 3.3 Giroscópios

Os giroscópios também funcionam sob o princípio de piezoelectricidade, porém em vez de uma esfera, usa-se uma estrutura que fica vibrando para determinar a taxa de rotação do objeto (ver Fig. 4(b)). Essa estrutura é apoiada num suporte e ela tende a continuar vibrando na mesma posição, porém se o suporte rotacionar, o objeto exercerá uma força nele que será proporcional a velocidade angular de rotação. A força que o objeto provoca é explicada pelo efeito de Coriolis, que é uma força inercial que atua sobre um corpo que está movimento em relação a uma superfície rotacional.

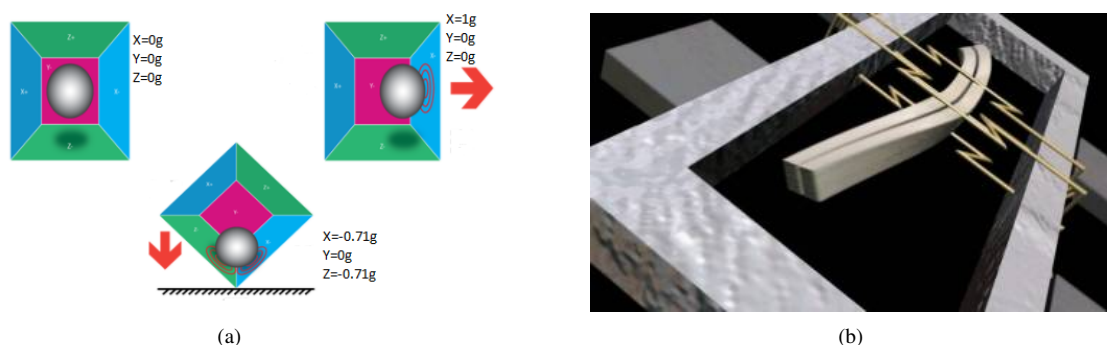


Figura 4: Sensores. (a) Acelerômetro; (b) Giroscópio.

### 3.4 Leitura dos valores do MPU6050

Para a leitura dos valores dos sensores acelerômetros e giroscópios (assim como o termômetro) foi utilizado um Arduino, que é uma plataforma que possui *hardware* e *software* de fácil uso. Com o Arduino, é possível ler sinais de entradas e converter em sinais de saídas. A configuração do MPU6050 é bem simples e requer apenas 4 conectores (sendo dois deles para ler os valores dos sensores, um para a alimentação (5V) e um para a tensão de referência (GND)).

A comunicação com o Arduino é feita utilizando a interface  $I^2C$  (Circuito Inter-Integrado), que é um protocolo de comunicação que permite que os valores dos três acelerômetros, três giroscópios e termômetro sejam lidos por meio apenas dos pinos SCL e SDA do módulo. Para a ligação em um Arduino os pinos SCL e SDA devem ser ligados,

respectivamente, aos pinos analógicos A5 e A4. Os pinos VCC e GND devem ser ligados, respectivamente, à alimentação (3V ou 5V) e à tensão de referência.

### 3.5 Placa Eletrônica e Baterias

A placa eletrônica provisória é responsável por conectar os seguintes componentes: Arduino Pro Mini, módulo MPU6050 e módulo de cartão SD. O Arduino recebe os sinais do MPU6050, processa parte dos dados realizando alguns cálculos da trajetória e os salva no cartão de memória. Uma placa perfurada ilhada (5,5 x 7cm) foi utilizada para a colocação dos conectores, conforme a Fig. 5(a). A Figura 5(b) mostra quando todos os componentes estão conectados na placa provisória e o pacote de baterias é ligado.

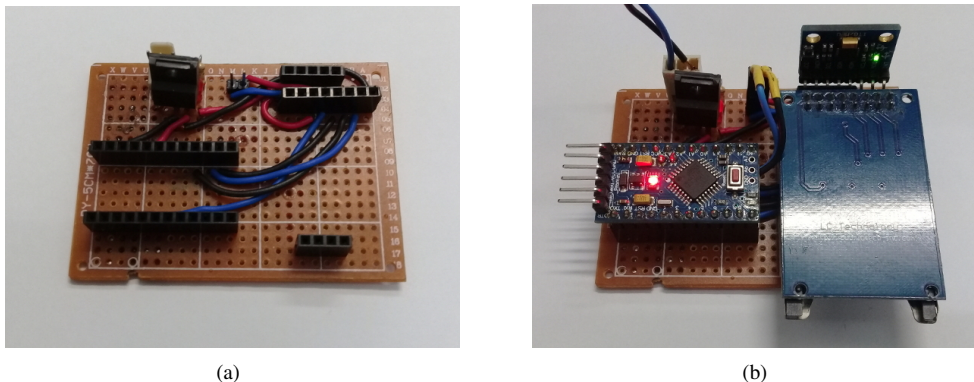


Figura 5: Placa Provisória. (a) Somente os Conectores; (b) Com os Componentes nos seus Lugares.

Para energização da placa provisória foi montado um pacote de baterias com células de Lítio íon de 3,7 Vdc cada. Foram utilizadas 03 células ligadas em série (ver Fig. 6) para fornecer uma tensão total de 11,1 Vdc.

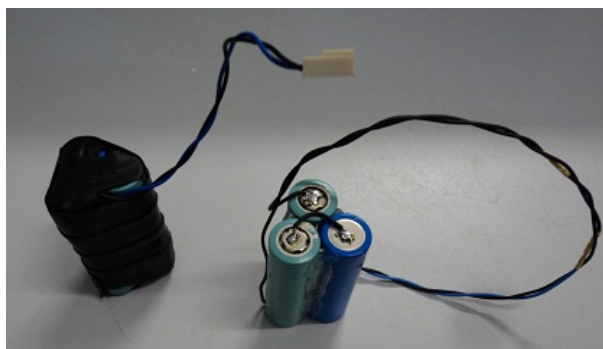


Figura 6: Pacote de Baterias Utilizado no Testes.

A utilização de um regulador LM7805 na placa provisória exige um fornecimento de energia de no mínimo 8 Vdc. Por esse motivo foi montado um pacote de baterias que fornece 11,1 Vdc.

### 3.6 Metodologia Experimental

Após a leitura dos valores de aceleração linear e velocidade angular a cada instante do PIG, é preciso realizar o rastreo da trajetória percorrida pelo mesmo. Dentro de uma tubulação de duas dimensões (altura invariável), um dos três eixos nunca sofrerá influência da força da gravidade. Além disso, como o PIG tem o formato cilíndrico, ele sempre se movimentará na direção da tubulação, que poderia ser identificada como um eixo dos três eixos. Portanto seria possível medir o deslocamento total do dispositivo sobre esse eixo e medir as curvas feitas por meio da leitura de apenas um giroscópio. Para calcular a posição do PIG seriam utilizadas relações trigonométricas de seno e cosseno, de acordo com o valor lido pelo giroscópio.

Para o cálculo de cada coordenada que representa a posição do PIG no espaço, seria utilizada a seguinte estratégia: partindo da posição inicial, cada posição subsequente seria calculada por duas coordenadas (X e Y) e somada a posição anterior. Para calcular a posição Y do PIG, o valor do deslocamento retilíneo total medido pelo acelerômetro seria multiplicado pelo seno do valor medido pelo giroscópio. Já para a posição X a mesma lógica é utilizada, mas dessa vez o valor do deslocamento é multiplicado pelo cosseno do valor do giroscópio. Um pseudocódigo do cálculo realizado seria:

$$x(i) = posicao(i) * cos(angulo(i)) + x(i - 1);$$

$$y(i) = posicao(i) * sin(angulo(i)) + y(i - 1);$$

No qual  $x(i)$  e  $y(i)$  representam a coordenada que o PIG se encontra no instante  $i$ ,  $x(i-1)$  e  $y(i-1)$  representam a coordenada do instante anterior,  $posicao(i)$  seria o deslocamento retilíneo total até o instante  $i$  e  $angulo(i)$  é o ângulo medido no instante  $i$ .

Após obtidos os pontos, para desenhar os mapas, poderia ser utilizado qualquer *software* capaz de realizar cálculos, traçar gráficos e programar. O cálculo da posição é feito a cada instante e o gráfico vai sendo traçado ponto a ponto, de acordo com a coordenada  $x$  e  $y$  de cada ponto.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão discutidos os resultados de testes experimentais e apresentado o melhor dentre eles.

##### 4.1 Primeiros testes

Os primeiros testes, para pôr em prática o embasamento teórico, foram feitos a mão sobre uma mesa. O dispositivo MPU6050 foi posicionado na *proto-board* de forma que o sentido que representa o movimento para frente do PIG é representado pelo eixo Y-, ou seja, ao acelerar a placa para frente, será notada uma aceleração negativa no eixo Y do acelerômetro. O eixo do giroscópio que medirá as curvas feitas pelo dispositivo na direção do seu movimento é o X. Variações do ângulo no sentido anti-horário implicarão em valores positivos no eixo X do sensor giroscópio e vice-versa.

Em todos os testes feitos a mão, o formato obtido como resultado dos cálculos era similar ao percurso real percorrido pelo dispositivo ao ser empurrado. As dimensões e valores dos cálculos não foram levados em consideração para os resultados, pois havia interesse apenas no formato da trajetória realizada. Curvas suaves e ângulos retos foram simulados e os resultados foram satisfatórios.

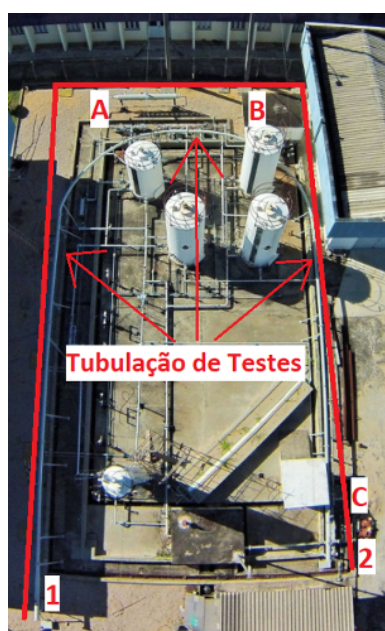
Após a validação inicial do projeto com os testes feitos a mão sobre uma mesa, o próximo passo seria simular a trajetória feita pelo PIG dentro de um duto de teste. Para isso, a tubulação foi percorrida, caminhando-se o mais próximo possível dela com o equipamento em mão. Quando os resultados desses testes fossem próximos dos reais, a ideia era embarcar o equipamento em um PIG e reconstruir a trajetória que o mesmo iria percorrer dentro de uma tubulação de testes.

O duto de testes a ser mapeado possui um formato de U, porém ao redor dele existiam algumas interferências que impossibilitavam a passagem andando rente ao tubo. Por este motivo, o percurso percorrido (partindo do ponto indicado pelo número 1 até o ponto indicado por 2) estimado deveria se aproximar de um trapézio (ver percurso indicado em vermelho na Fig. 7(a)).

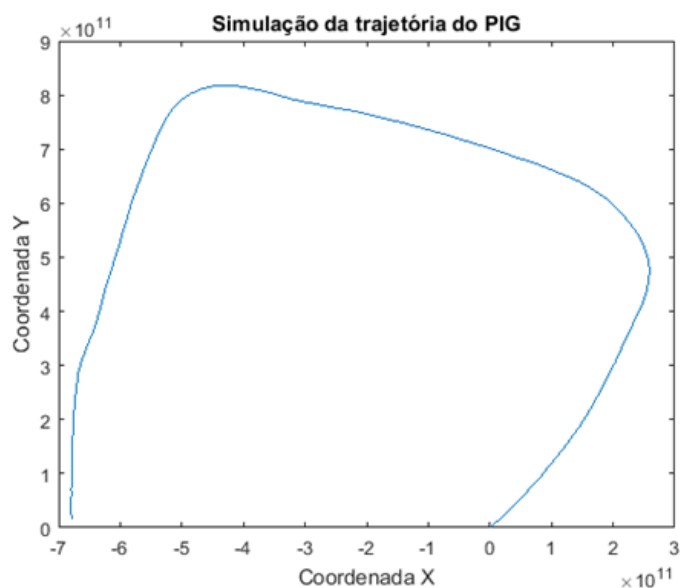
Os obstáculos estão destacados pelas letras A, B e C na Fig. 7(a), e representam, respectivamente: os dutos do sistema de aquecimento da tubulação de tanques acoplados; a casa do compressor; e tubulações diversas.

##### 4.2 Resultado encontrado

Após realizar diversas vezes o percurso em torno do duto caminhando, o melhor resultado, medido a olho, foi o que pode ser visto na Fig. 7(b).



(a)



(b)

Figura 7: Tubulação de testes. (a) Estimativa da trajetória percorrida caminhando em torno do duto; (b) Reconstrução da trajetória feita caminhando.

As escalas do gráfico não remetem a realidade, pois não foram feitas conversões dos valores medidos pelos sensores acelerômetro para unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI).

### 4.3 Discussões

Os resultados encontrados mostraram boas medidas dos acelerômetros e não tão boas dos giroscópios. Isso pode ser percebido ao analisar as proporções das medidas de cada lado do trapézio que se aproximam das reais e isso se deve ao fato de que as distâncias são originadas do cálculo feito a partir dos valores dos acelerômetros, que são menos susceptíveis a ruídos do que os giroscópios (principalmente numa superfície de duas dimensões, pois não haverá influência da força gravitacional). Já as curvas, que são calculadas a partir da leitura dos valores do giroscópio, diferem bastante do ideal. Desde os testes iniciais já vinha sido notado que a medição de curvas podia ser prejudicada pelos ruídos advindos do giroscópio.

No início do gráfico da Figura 7(b) (aproximadamente ponto  $X=-7$  e  $Y=0$ ) até próximo ao ponto  $X=-7$  e  $Y=3$ , é notado que o percurso estimado se aproxima do percurso real, que seria uma reta paralela ao duto. Isso se deve ao fato de que até este ponto, o erro de medição do giroscópio era baixo. Ao longo da trajetória, este erro foi se acumulando e é perceptível que foi medida uma variação constante no sentido horário na reconstrução da trajetória.

## 5. CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que é possível realizar a reconstrução de trajetórias de PIGs utilizando apenas sensores inerciais. A metodologia empregada teve por objetivo a utilização de componentes não convencionais e de baixo custo, de modo a não haver dependência de referências externas (como por exemplo, sinal de GPS). Porém, foi necessário fazer uma limitação em que só seria possível realizar o mapeamento de tubulações em um plano, ou seja, que não possuem variação na altura.

Os resultados foram satisfatórios para este projeto que é uma ideia inicial, no qual foi procurado apenas fazer a estimativa do percurso realizado por um PIG. Os erros presentes nos resultados são explicados pelo fato de que os testes foram feitos caminhando, então o movimento de cada passo pode gerar ruídos na leitura dos sensores.

## 6. REFERÊNCIAS

- Emmendoerfer, G., Langer, R.A., dos Santos, W.E. and Gules, R., 2008. "Sistema de reconstrução de trajetórias de pig's baseado em medidas gps/giroscópios/odômetros". *XVII Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2008)*.  
 Inline, 2017. "What is pigging?" Disponível em: <http://www.inlineservices.com/resources/what-is-pigging/>.  
 InvenSense, 2013. "Mpu-6000 and mpu-6050 register map and descriptions". <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>. Rev. 4.2.  
 Pereira, C.G., de Oliveira, R.R.G., de Lima, G.F., Salazar, A.O., Maitelli, A.L. and de Assis O. Fontes, F., 2013. "Proposta de tecnologia para controle de velocidade de pigs instrumentados". *INTERCON 2013*.  
 Pereira, C.G., 2012. "Estudo e simulação de um sistema de controle de velocidade de pigs". Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.  
 Sahli, H. and El-Sheimy, N., 2016. "A novel method to enhance pipeline trajectory determination using pipeline junctions". *Sensors*, Vol. 16, No. 4. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s16040567>.  
 Santana, D.D.S., Maruyama, N. and Furukawa, C.M., 2010. "Estimation of trajectories of pipeline pigs using inertial measurements and non linear sensor fusion". *9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON 2010)*. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2010.5739911>.  
 Santana, D.D.S., Maruyama, N. and Furukawa, C.M., 2013. "Sensor fusion with low-grade inertial sensors and odometer to estimate geodetic coordinates in environments without gps signal". *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 11, No. 4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2013.6601744>.  
 Utmaax, 2017. "Inspeção de dutos". Disponível em: <http://www.utmaax.com.br/inspecao-dutos>.

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## SUGGESTION OF PIGs TRAJECTORY RECONSTRUCTION USING UNCONVENTIONAL COMPONENTS

Vinícius Sousa de Oliveira, [vinifoia@gmail.com](mailto:vinifoia@gmail.com)<sup>1</sup>

Carlos Yuri Ferreira Silva, [carlosyurisilva@gmail.com](mailto:carlosyurisilva@gmail.com)<sup>1</sup>

Gustavo Fernandes de Lima, [gustavo.lima@ifrn.edu.br](mailto:gustavo.lima@ifrn.edu.br)<sup>2</sup>

André Laurindo Maitelli, [maitelli@dca.ufrn.br](mailto:maitelli@dca.ufrn.br)<sup>3</sup>

Andrés Ortiz Salazar, [andres@dca.ufrn.br](mailto:andres@dca.ufrn.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

<sup>2</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Rua Antônia de Lima Paiva, 155, Nova Esperança, CEP: 59143-455, Parnamirim, RN.

<sup>3</sup>Laboratório de Automação em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

**Abstract:** *In this work is suggested a way of reconstructing the trajectory of tools known as Pipeline Inspection Gauge (PIG) inside a pipe. PIGs are devices that perform the inspection of pipes traveling through its extension. The tracking of these devices is important in industrial activities and can help determining the location of points with anomalies, as well as mapping pipes, whose extension are not known. Inertial sensors (accelerometers and gyroscopes) were used causing that dependence of external references would not be necessary. Early tests have shown that these sensors were subject of external forces (such as gravity) and noise, that spoiled the reconstruction of the trajectory made. Although this, the obtained result yet was considered satisfactory and have shown that it is possible to accomplish object's tracking by means of low cost components that are not conventionally used for this purpose.*

**Keywords:** MPU6050, accelerometer, gyroscope, inertial measurement unit, microelectronics.