

18 a 21 de novembro de 2014, Caldas Novas - Goiás

Utilização de matrizes no estudo de orientação e posição de um braço robótico por meio das coordenadas de Denavit-Hatenberg.

Carlos Gomides da Costa, carlosgomides@gmail.com

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Goiânia – Departamento II. Rua 75 n, 46 Centro Goiânia-Goiás

Resumo: *O presente trabalho tem como principal objetivo apresentar mais uma forma de ensinar o assunto multiplicação de matrizes, de uma forma mais lúdica, aplicada, que pode tornar o ensino mais prazeroso e atrativo para alunos do ensino médio, pois para muitos esse assunto não tem aplicações práticas, o que para outros é motivo da falta de interesse em aprender tal conteúdo. A ferramenta utilizada com o intuito de atrair tanto alunos quanto professores, foi a utilização do Kit LEGO Mindstorms NXT 2.0 para a construção do braço robótico ou manipulador robóticos, que por motivos de estudo dese trabalho, três juntas do tipo rotacionais. A escolha desse Kit LEGO é justificada pela sua facilidade de interação com crianças e adolescentes, além de estimular a construção do aprendizado pois, estimula a solução de problemas que possam aparecer durante o processo de construção do braço robótico. A aplicação do conteúdo se dá na obtenção dos quatro parâmetros de Denavit e Hatenberg que são obtidos após a colocação dos sistemas de referência, onde três desses parâmetros são obtidos a partir de medições feitas no braço robótico e o quarto parâmetro é variável pois pode-se manipular esse valor de acordo com o movimento pretendido ou da posição final que se quer determinar. Dessa forma, o assunto pode suscitar questionamentos e novas formas de resolver determinados problemas que possam surgir durante o processo.*

Palavras-chave: *Multiplicação de Matrizes, Lego Mindstorms, Denavit e Hatenberg, Braço Robótico, MATLAB.*

INTRODUÇÃO

O tema abordado nesta pesquisa é robótica, tendo como objeto de estudo o processo da movimentação e posicionamento de um braço robótico, onde se busca novas aplicações do conteúdo, Matrizes, estudado no ensino médio. A motivação para este estudo deveu-se ao fato de que, em 18 anos de docência na área de matemática, ouvindo muitas vezes perguntas do tipo: “Como vou usar esse conteúdo quando me formar?”; “Por que tenho que estudar isso?” ou “Para que serve isso?” e tantas outras com o mesmo direcionamento. Portanto, pretende-se mostrar, de maneira geral, a importância do estudo de matemática para as diversas áreas do conhecimento, como ferramenta auxiliar. De forma específica, demonstrar mais uma aplicação de Matrizes, conteúdo que se estuda no ensino médio, na confecção de um braço robótico. Essa aplicação se dá na determinação do espaço de trabalho, na movimentação e na determinação da posição final de um braço robótico. Será feito um estudo de caso único, segundo YIN (2001), por se tratar da construção de um único braço robótico. Nessa construção se utilizará os kits LEGO Mindstorms, por apresentarem as condições necessárias para a análise dos dados que serão coletados, ao final de todo o processo. Buscou-se como método a pesquisa bibliográfica, que segundo Lakatos e Marconi (1987, p. 66): ... trata-se do levantamento, seleção e documentação de toda bibliografia já publicada sobre o assunto que está sendo pesquisado, em livros, revistas, jornais, boletins, monografias, teses dissertações, material cartográfico, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o mesmo. E, também, o Estudo de Caso Único, devido à necessidade do mesmo para a obtenção de dados relevantes às hipóteses geradas, que suscitaram o objeto deste estudo. Para YIN (2001, p. 32 apud DUARTE, BARROS, (Orgs.), 2006, p. 216) o Estudo de Caso deve ser a melhor estratégia quando se quer responder às questões “como” e “por que” sobre um assunto específico a partir de pesquisas qualitativas. A descrição do braço robótico também foi inspirada na teoria de Estudo de Caso Único, que para Duarte (2006, p. 217) é “a descrição detalhada sobre determinado assunto”, o que se pode comprovar com maior objetividade no capítulo... O Estudo de Caso Único, além de possibilitar respostas às perguntas “como” e “por que”, dá condições ao investigador de pesquisar sobre uma área na qual poucos estudos tenham sido realizados, como é o caso do estudo de Matrizes na utilização da determinação do seu espaço de trabalho, movimentação e seu posicionamento final do braço robótico apresentado neste trabalho. Alicerçou-se nos objetivos da compreensão desta metodologia no que concerne: Compreender o evento em estudo e ao mesmo tempo desenvolver teorias mais genéricas a respeito do fenômeno observado. (FIDEL, 1992); Explorar, descrever ou explicar o evento (YIN, 2001); Relatar os fatos como sucederam, descrever situações; proporcionar conhecimento acerca do fenômeno estudado e comprovar ou contrastar efeitos e relações presentes no caso (GUBA & LINCOHM, 1994). “A investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real especificamente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (YIN, 2001). Este trabalho está organizado em capítulos, distribuídos da seguinte forma: No primeiro capítulo serão apresentados o histórico e conceitos de robótica, robótica educacional e suas aplicações. Já no segundo capítulo, será apresentado um

histórico da LEGO, o kit LEGO Mindstorms, assim como sua descrição técnica. No terceiro capítulo, será apresentada a cinemática direta e alguns conceitos, para se determinar os parâmetros de Denavit e Hatenberg, na aplicação do conteúdo de matrizes. No quarto capítulo, será descrito o processo de montagem do modelo a ser analisado, além da obtenção dos parâmetros e sua programação. No quinto capítulo, será descrita a conclusão do trabalho.

ROBÓTICA

A palavra robótica é de origem tcheca “robotá”, que deu origem à palavra robô, que se traduz como “trabalho forçado”. Um dos primeiros divulgadores dessa palavra foi o dramaturgo Karel Capek que a usou em uma peça teatral - R.U.R. (Rossum's Universal Robots) - estreada em Janeiro de 1921 (Praga), onde o personagem, robô, substituiu o ser humano, sendo capaz de fazer tudo o que uma pessoa faz. Já Isaac Asimov, popularizou o termo Robótica, no seu livro de ficção “I, Robot” de 1950, onde criou leis para os robôs e segundo ele, os robôs as seguiriam. Segundo Asimov (1942, p.30) as leis da robótica são: Lei Zero: Um robô não pode causar mal à humanidade ou, por omissão, permitir que a humanidade sofra algum mal, nem permitir que ela própria o faça. Lei 1: Um robô não pode ferir um ser humano ou, por omissão, permitir que um ser humano sofra algum mal. Lei 2: Um robô deve obedecer às ordens que lhe sejam dadas por seres humanos, exceto nos casos que em tais ordens contrariem a Primeira Lei. Lei 3: Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira e a Segunda Leis. No ano de 1950, foram descobertas anotações, onde o Leonardo Da Vinci, por volta de 1495, teria feito o primeiro projeto sobre um “autômato andróide”, que se tratava de um cavaleiro, capaz de fazer alguns movimentos básicos, como sentar e movimentar braços, cabeça e maxilar. Já em 1515, ele projetou um leão mecânico, que caminhava e levava flores para o rei da França. Para Joseph F. Engelberger, que é considerado o pai da robótica por ser o primeiro a construir e vender o primeiro robô com aplicação na indústria. Um robô seria um “Aparelho automático, geralmente em forma de boneco, que é capaz de cumprir determinadas tarefas.” Já para a Robotics Industries Association – R.I.A, um robô, é um manipulador re-programável e multifuncional projetado para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos variáveis programados para desempenhar uma variedade de tarefas. Nos dias atuais, o desenvolvimento da microeletrônica, nanotecnologia e do avanço contínuo das linguagens e dos programas de computador, evoluiu para o desenvolvimento de robôs com inteligência artificial, que permite que um robô adquira conhecimentos da própria experiência. Robô, portanto, é um ser “autômato” criado para ajudar o ser humano na realização de determinadas tarefas repetitivas, aquelas que podem causar mal a saúde, tais como *LER*, inflamação no *Tubo de Carpo*, entre outras. Temos várias definições do que seria um robô, mas todas convergem para que se tenha um conceito de robótica, que é definida como ciência dos sistemas que interagem com o mundo real, com pouco ou mesmo nenhuma intervenção humana além de ser multidisciplinar, a qual envolve temáticas como: matemática, física, economia, mecânica, eletrônica, hidráulica, pneumática e computação, formando assim, o que chamamos de robô. A robótica tem aplicações onde nem se imagina. Na indústria existem uma infinidade de aplicações, que vão desde uma simples esteira que separa produtos de diferentes tamanhos, até braços robóticos que são largamente utilizados na produção de automóveis, o que torna a produção mais rápida. O fato de o robô não ter problemas com dificuldades climáticas e com locais insalubres, ele também é utilizado nas explorações de cavernas com altas temperaturas e também em explorações espaciais, que poderiam causar sérios danos a saúde de pessoas ou até a morte. Devido a precisão em seus movimentos e por serem compactos, os braços robóticos são largamente utilizados em cirurgias e outro fator positivo é que as incisões ou cortes são pequenas, o que facilita a recuperação dos pacientes. E existem outras tantas aplicações que já existem e que ainda vão ser implementadas, mostram a infinidade de aplicações da robótica. A mais recente utilização da robótica trata-se da robótica educacional, que se deve ao fato de estar presente em muitas disciplinas, tais como física, química, biologia, matemática, etc., dando oportunidades de se criar outras formas de ensinar e aprender, chamada Robótica Educacional ou Pedagógica. Dada a sua multidisciplinaridade, a Robótica é usada na educação como meio de estimular as potencialidades dos alunos, onde utilizando os componentes da robótica, motores, sensores, construção de maquetes etc., permite que os alunos possam interagir com o objeto de estudo e melhorar seu potencial, no que diz respeito a solução de problemas inesperados, durante o processo de construção dos Robôs. Konzen (2007, p.4) cita a finalidade da robótica na educação, do seguinte modo: “...a robótica educativa visa ao processo de construção e elaboração do pensamento do aluno. Na robótica educativa o caminho percorrido pelo aluno até a chegada a um determinado produto é a fase mais importante”. Essa construção do conhecimento tão desejada, não acontece apenas pela presença da tecnologia, mas sim pelo papel importantíssimo que o professor assume, quando se propõe a utilizá-la, pois ele tem que apreender sobre ela, ter um domínio muito grande sobre ela, para poder aplicá-la com eficiência aos seus alunos, pois é responsável pelo “norte” a ser seguido pelos alunos. Dessa forma, Ortolan (2003, p. 157), diz que “Quando a robótica educacional for associada a uma boa base de sustentação, o resultado é um processo de aprendizagem que realmente estimula os educandos a ir mais longe na caminhada em busca do conhecimento”. Essa busca por conhecimento e melhoria no ensino, passa pelo uso das tecnologias, em especial pela introdução da Robótica. Segundo Stoppa (2012), temos que: A utilização de novas ferramentas tecnológicas acaba por motivar o aprendizado de teorias tradicionais, como matemática, química, física, dentre outras, consideradas “difíceis” por parte dos estudantes. Neste contexto, a manipulação de kits de robótica se apresenta como um atrativo recurso didático adicional. A utilização dos kits, produção e aplicação dos protótipos são direcionados pelo professor, que deve fazer com que o uso dessa tecnologia possa contribuir para o desenvolvimento cognitivo do aluno, não apenas com a aplicação do conteúdo apresentado pelo professor, mas também de forma multidisciplinar, pois a robótica educacional possibilita novas formas de aprendizagem. Para Papert (2002), a robótica na escola serve como plataforma para fazer conexões entre as mais

diversas áreas intelectuais como, Biologia, Psicologia, Economia, História, Filosofia, Matemática, entre outras. O desenvolvimento da robótica educacional no Brasil, deu-se na década de 1980, e foi inicialmente apresentada por Seymour Papert em 1975, que em conjunto com Marvin Minsky, fizeram a apresentação da linguagem Logo. Em 1983, foi criado um grupo de pesquisa na Unicamp, em Campinas-SP, que difundiram o uso dessa linguagem. Em 1986, a Lego lançou robôs programados, usando a linguagem Logo e, em 1989 aconteceu a união entre a Lego e Seymour Papert, o que levou a um desenvolvimento que resultou, em 1998 ao lançamento da série Lego Mindstorms, com o modelo Invention System. A principal fornecedora de kits proprietários para as escolas no Brasil é a empresa americana Lego Education INC, que contabiliza mais de um milhão de alunos que utilizam seus kits, sendo que cerca de 70% nas escolas públicas. As novas tecnologias aplicadas ao ensino podem levar o aluno a uma construção de novas formas de aprendizado e aperfeiçoamento das já existentes. Para Correias (2008), o uso de novas técnicas e tecnologias no ensino, “... precisa ser móvel, discreta... e estar permanentemente acessível” a todos, para que possa atingir um público maior e de diferentes áreas do conhecimento, despertando, assim, o interesse e cpropiciando um desenvolvimento de competências e habilidades básicas, permitindo uma grande possibilidade de novas descobertas e novas formas de aprender. O fato de oferecer uma nova forma de aprendizado, “...convida professores e alunos a ensinar/aprender/descobrir/inventar em processos coletivos, capazes de conectar abstração e mundo concreto” (QUINTANILHA, 2008). Segundo PRADO (2008), o uso de novas tecnologias (Robôs), faz com que “... professores escapem da lousa, as aulas tornam-se mais dinâmicas e, sem perder conteúdo, despertam a curiosidade dos estudantes. É o que chamamos de alfabetização tecnológica...”. O Construcionismo, segundo RIBEIRO (2006), possibilita ao aluno a construção subjetiva do conhecimento por meio de artefatos tecnológicos; tais artefatos, ao estarem envolvidos no planejamento e construção de projetos significativos, possibilitam uma interação e aprendizagem maior pelo aluno diante da problematização apresentada. Nota-se, então, um potencial muito grande da tecnologia LEGO® Mindstorms em relação a construção do conhecimento, pois o LEGO é considerado um brinquedo que diverte, estimula a concentração e resolução de problemas apresentados, levando os alunos a um maior desenvolvimento de suas potencialidades.

LEGO

O brinquedo Lego foi criado em 1934, por Ole Kirk Christiansen, dinamarques e marceneiro, o *Leg Godt*, que é conhecido, hoje, como **LEGO**, que significa "brincar bem". No início, construía brinquedos de madeira. Mas, após o período do pós-guerra, em visita a uma feira de equipamentos, observou e se encantou por uma máquina. Essa máquina fazia blocos de madeira. Então o pai de Ole, adquiriu-a. Depois de alguns testes, Ole, resolveu mudar o material de base do seu brinquedo. Passou a utilizar plástico injetado, pois além de ser mais maleável todo seu estoque de madeira, havia sido perdido num grande incêndio em sua fábrica. O LEGO segue quatro princípios fundamentais, são eles: alta qualidade, é seguro, estimula a criatividade e a imaginação, auxiliando no desenvolvimento das crianças, de qualquer faixa etária, e diverte. O LEGO veio se desenvolvendo com o passar dos anos, veio crescendo, tornou-se uma empresa de grande porte, mas só em 1961, contando com um forte investimento na linha de produção, implementaram-se as rodinhas e realizada a primeira comercialização do brinquedo nos Estados Unidos. Foram distribuídos centenas de ônibus, caminhões e demais brinquedos. Outro lançamento, que alavancou as vendas em mais de 50%, foi o das peças feitas exclusivamente para a pré-escola. Firmaram parceria com a Empresa Samsonite (malas e acessórios de viagem), a qual fez a distribuição dos produtos também no Canadá. Dada as grandes proporções com que crescia, Ole, sempre convidava possíveis compradores para conhecer a fábrica, só que com o passar do tempo essas visitas à fábrica, se tornaram inviáveis, pelo grande fluxo de produção que eles tinham. Como seus brinquedos ficaram mundialmente conhecidos, precisavam de um espaço maior para receber as pessoas. Foi assim que construíram o Parque Temático LEGOLAND, em Billund, com uma previsão de receberem entre 200 e 300 mil visitantes no primeiro ano. Os mais pessimistas não acreditaram, mas já no primeiro ano receberam cerca de 600 mil visitantes. Dado ao crescimento da empresa foi montada, em 1985, uma fábrica no Brasil, na cidade de Manaus. Mesmo com todas as tecnologias inovadoras existentes, a LEGO continua sendo uma das maiores vendedoras de brinquedos do mundo, por estar, também ligada às novas tecnologias. Lança sempre novos itens a cada nova linha de produção. Além de um simples brinquedo, existem kits educacionais que mundialmente são reconhecidos como instrumentos que divertem, estimulam a concentração e a criatividade nos ensinos: fundamental e médio. As linhas tecnológicas, como a LEGO Technic e a LEGO Mindstorms, dão condições para que alunos universitários desenvolvam-se em design, robótica e mecatrônica. No Brasil, a LEGO Education, só chegou em 1998, por meio da Empresa Edacom Tecnologia, hoje chamada de ZOOM Eucaton for life. O kit LEGO® Mindstorms NXT contribui para o aprender-fazendo, esse kit da LEGO® Education permite aos alunos montarem e programarem robôs para entender na prática conceitos aprendidos em sala de aula. Esse kit LEGO Mindstorms NXT é um controlador lógico programável – chamado, de forma mais simplificada, de bloco programável – capaz de se comunicar com computadores, celulares e outros aparelhos via Bluetooth e via USB. Seu software é utilizado pelos alunos para programar os robôs pelo computador e, para a montagem, além do conjunto de peças LEGO, como blocos, rodas e engrenagens. O kit dispõe também de sensores de toque, som e cor, este último, além de distinguir cores de luz e definições, também funciona como uma lâmpada. Ademais dos benefícios, estimula o desenvolvimento de competências e habilidades pessoais. Sua principal contribuição para o aprendizado é possibilitar a visualização prática de conceitos teóricos estudados nos livros. “A partir do trabalho com o NXT, os jovens conseguem sair do campo da abstração e ir para o concreto. De acordo com a perspectiva construcionista, a criança constrói o conhecimento a partir daquilo que ela vivencia. “Os kits de tecnologia da LEGO Education têm a vantagem de permitir

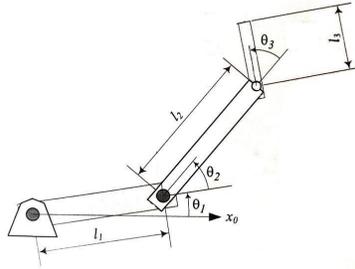
às crianças montarem e desmontarem partes de suas criações a qualquer momento, seja porque um erro foi cometido, seja para aperfeiçoar a invenção. Trabalhar com o LEGO, o aprendizado sempre acontece de forma lúdica, divertida e desafiadora”, ressalta Feitosa, Coordenador Pedagógico da LEGO ZOOM. Além desses benefícios, pode-se notar que a implantação de um projeto com o Kit LEGO é de muita utilidade no que diz respeito a criação de escolas de tempo integral pois, assim o projeto tem condições de estimular a permanência dos alunos no chamado contra-turno, por ser um aprendizado que utiliza como sua ferramenta principal o fato de o aluno ter a possibilidade de criar seus próprios modelos, seja na montagem de um robô ou nos métodos de aprendizagem e solução de problemas. O bloco inteligente e programável LEGO NXT 2.0 tem um potente microprocessador de 32 bits, um grande display, matriz com 4 portas de entradas e 3 de saídas, comunicação Bluetooth e USB; Três servomotores interativos; Quatro sensores: Sensor ultrassônico, 2 Sensores Toque e o mais novo Sensor Cor; O Sensor de Cor tem tripla função: distingue cores de luz e definições, e funciona como uma lâmpada; No melhor sistema de programação "Easy-to-use" o software (PC e Mac) à base de arrastar e largar torna a programação fácil, interativa e divertida, sem deixar de ser desafiante; Todos os elementos LEGO (612 peças) de que você precisa para criar incríveis robôs; Acompanha novas instruções para construir 4 robôs incríveis; Personalize o seu robô com o Ícone editores de som.; Compartilhe seus projetos e arquivos com seus amigos com o Pack-N-Go; Pilhas não incluídas.

Cinemática Direta e Inversa

A definição de Cinemática diz que é o ramo da física que se ocupa da descrição dos movimentos dos corpos, sem se preocupar com suas causas. A cinemática direta, tem como objetivo principal controlar no espaço a posição, trajetória, orientação, além de ser possível determinar velocidade, aceleração e todas as situações que relacionarem com a posição de um manipulador ou ferramenta (garra, um guincho, um braço mecânico) no espaço, a partir da fixação de sistemas de referências em todas as juntas do manipulador. Isso se torna possível considerando algumas variáveis, tais como: tipo de juntas, ângulos entre juntas, comprimento de eixos, ângulo de torção e distância entre eixos fixados, que são os parâmetros de Denavit e Hatenberg, que criaram uma forma de se calcular a posição final do manipulador, com cálculos que são considerados simples, pois todos os resultados são obtidos por meio de expressões envolvendo matrizes. Com a cinemática direta é possível determinar a posição e orientação final do manipulador, já a cinemática inversa permite calcular os ângulos das juntas do mesmo manipulador utilizando a orientação e posição final. O problema, no caso da cinemática inversa, é que não existe até o momento uma forma pronta e acabada de se determinar esse ângulos. A cinemática inversa determina a partir de sua posição no espaço, os ângulos de movimentação do manipulador, o que podem ser distintos, pois nem sempre o caminho percorrido pelo manipulador pode ser o mesmo, devido a obstáculos que podem ser partes integrantes do processo. Pelo lado matemático tem-se que as equações formadas não são lineares, o que pode oferecer uma solução, várias soluções ou nenhuma. Como o objetivo deste trabalho apresentar novas aplicações sobre o assunto matrizes de forma a torná-lo mais atrativo, é necessário que os resultados sejam precisos, para que não produza dúvidas sobre sua aplicabilidade, será dado uma ênfase a cinemática direta, que por meio dos parâmetros de Denavit e Hatenberg, que fornece uma solução única para cada caso. O resultado da cinemática direta de um braço robótico é diferente para cada tipo de robô, pois a cada par de elos, é conectado por juntas que podem ser prismáticas ou de revolução, com medidas diferentes, o que resultará em movimentos e posições finais diferentes. Todo braço robótico é um conjunto de elos conectados em cadeia, por juntas que fazem conexão entre par de elos vizinhos, esses são numerados a partir da base, ou parte imóvel do braço, que é numerado como elo 0. Elo é considerado apenas um corpo rígido, que tem atributos como, material, resistência, peso etc, que define a relação entre os eixos de duas juntas vizinhas de uma braço robótico, onde os eixos das juntas são linhas no espaço ou vetores de direção, em torno do qual o elo i , rotaciona em relação ao elo $i-1$. Tomando como base dois eixos no espaço tridimensional, podemos obter um segmento de reta perpendicular aos dois eixos simultaneamente ligando o eixo $i-1$ ao eixo i , ao longo do qual obtemos a medida do elo, que é definido como a_{i-1} . Projetando os eixos $i-1$ e i , no plano normal, que corresponde ao segmento de medida a_{i-1} , obtemos o ângulo α_{i-1} , por ser medido em torno do eixo $i-1$, que representa a torção do elo. Os elos intermediários da cadeia têm um eixo de junta comum aos dois. A distância de um elo para o próximo da cadeia é denominada deslocamento de elo e é representada por d_i , por se tratar do deslocamento em relação ao eixo i . Esse deslocamento gera uma rotação em torno desse eixo comum, que, por conseguinte, forma um ângulo chamado θ_i . Para cada elo da cadeia de um braço robótico, assim como, de qualquer manipulador robótico, temos 4 valores que são fundamentais para determinar sua área de trabalho. Esses valores são identificados de forma que dois deles estão no elo analisado e os outros dois nas conexões com os elos vizinhos. São eles: o comprimento do elo (a_i), a torção do elo (α_i), o deslocamento do elo (d_i) e o ângulo de junta (θ_i). Esses são os parâmetros utilizados na Notação de Denavit-Hartenberg, para a determinação dos movimentos de um braço robótico. Para cada elo da cadeia, deve-se fixar um sistema de referência, que deve ser identificado de acordo com o elo em que está fixado ou seja, o sistema de referência $\{i\}$ deve estar rigidamente ficado no elo i . Daí tem-se que o eixo \hat{z}_i , fixado no sistema $\{i\}$ será denominado \hat{z}_i e deve ser coincidente com o eixo da junta i . O eixo \hat{x}_i é fixado ao longo de a_i na direção da junta i para a junta $i+1$ e o eixo \hat{y}_i é determinado pela Regra da Mão Direita, para completar o i -ésimo sistema de referência. Sendo os sistemas de referência dos elos, fixados de acordo com a convenção, as seguintes definições de parâmetros dos elos serão válidas: a_i é a distância entre \hat{z}_i e \hat{z}_{i+1} , que é medida ao longo do eixo \hat{x}_i .

α_i é o ângulo de \bar{Z}_i e \bar{Z}_{i+1} , que é medida ao longo do eixo \bar{X}_i . d_i é a distância de \bar{X}_{i-1} a \bar{X}_i , que é medida ao longo do eixo \bar{Z}_i . θ_i é o ângulo de \bar{X}_{i-1} a \bar{X}_i , que é medida ao longo do eixo \bar{Z}_i . Assim sendo, pode-se determinar um procedimento para fixar o sistema de referência. Identifique os eixos das juntas e desenhe retas ao longo deles. Para as etapas 2 até 5, considere duas dessas retas vizinhas, ou seja, pertencem aos eixos i e $i + 1$, por exemplo. Identifique a perpendicular comum entre eles ou o ponto de intersecção. Atribua a origem do sistema de referência do elo ao ponto de intersecção ou ao ponto onde a perpendicular comum, encontra-se com o i -ésimo eixo. Defina o eixo de \bar{Z}_i apontando ao longo do i -ésimo eixo de junta. Defina o eixo \bar{X}_i apontando ao longo da perpendicular comum. Defina o eixo \bar{Y}_i para completar o sistema de coordenadas, utilizando a regra da mão direita. Atribua $\{0\}$ para que se equipare a $\{1\}$ quando a primeira variável de junta for zero. Para $\{n\}$, escolha uma localização para a origem e direção \bar{X}_n , livremente, em geral de forma que o máximo possível de parâmetros de acoplamento seja $b\{0\}$. Exemplo: Braço planar de três elos, com três juntas rotacionais - Mecanismo RRR (3R).

Figura 1: Mecanismo do tipo 3R



Atribuindo o sistema de referência aos elos do mecanismo e definindo os parâmetros de Denavit-Hatenberg, tem-se: Definir o sistema de referência fixo $\{0\}$: fixo na base se alinha com sistema de referência $\{1\}$, quando a primeira variável de junta (θ_1) é zero. Posicionar $\{0\}$ como na figura 5 com \bar{Z}_0 alinhado com o eixo de junta 1. Para esse braço, todos os eixos de junta são orientados de modo perpendicular ao plano do braço. Como este braço situa-se num plano com todos os \bar{Z} paralelos, não há deslocamento de elo, ou seja, todos os d_i são iguais a zero. Todas as juntas são rotacionais então em 0° , todos os eixos se alinham. Como os eixos juntas são paralelos, então os eixos \bar{Z} estão apontados para fora do papel, ou seja, $\alpha_i = 0$. De forma geral, a transformação que relaciona os sistemas de referências fixados a elos vizinhos produz uma ligação entre as transformações individuais para encontrar a posição e a orientação do elo n com relação ao elo 0. Para se construir a transformação que define o sistema de referência $\{i\}$ em relação ao sistema de referência $\{i-1\}$, deve-se determinar os quatro parâmetros dos elos, a_i , d_i , α_i e θ_i . Para um dado Robô, a transformação se torna apenas função de uma variável, pois todas as outras são fixadas pelo próprio projeto do Robô.

Para cada um dos sistemas de referência que são fixados para cada elo, são encontrados n subproblemas (${}^{i-1}T_i$) e cada um deles é desmembrado em quatro outros problemas, onde só existe a dependência de apenas um parâmetro. Define-se ainda, três sistemas de referência intermediários para cada elo: $\{P\}$, $\{Q\}$ e $\{R\}$. Os eixos \bar{X} e \bar{Z} são apresentados de forma que possa ficar mais claro a demonstração dos passos do projeto e todo seu sistema de orientação. A partir disso, obtém-se as seguintes considerações: $\{R\}$ difere de $\{i-1\}$ somente por uma rotação de α_{i-1} . $\{Q\}$ difere de $\{R\}$, por uma translação a_{i-1} . $\{P\}$ difere de $\{Q\}$, por uma rotação θ_i . $\{i\}$ difere de $\{P\}$, por uma translação d_i . Dessa forma, temos que a transformação que os vetores de $\{i\}$ para $\{i-1\}$ é:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_{i-1} & -\text{sen} \theta_{i-1} & 0 & 0 \\ \text{sen} \theta_{i-1} & \cos \theta_{i-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_{i-1} & -\text{sen} \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & \text{sen} \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

${}^{i-1}P = {}^{i-1}T \cdot {}^R T \cdot {}^Q T \cdot {}^P T \cdot {}^i T \cdot {}^i P$, onde ${}^{i-1}T = {}^{i-1}T \cdot {}^R T \cdot {}^Q T \cdot {}^P T \cdot {}^i T$, sendo que a mesma pode ser reescrita da

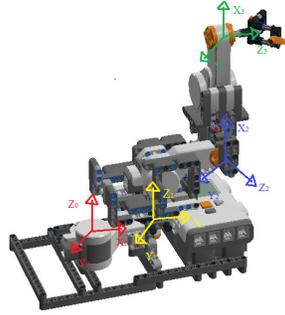
seguinte forma: ${}^{i-1}T = R_x(\alpha_{i-1})D_x(a_{i-1})R_Z(\theta_i)D_Z(d_i)$ ou na forma expandida

$${}^{i-1}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\text{sen} \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \text{sen} \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\text{sen} \alpha_{i-1} & -\text{sen} \alpha_{i-1} d_i \\ \text{sen} \theta_i \text{sen} \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \text{sen} \alpha_{i-1} & -\cos \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

O BRAÇO ROBÓTICO

A necessidade de se construir o braço robótico, está no fato de se conseguir um modelo específico para a melhor visualização e obtenção dos parâmetros de Denavit-Hatenberg, os quais serão associados a matrizes, para a obtenção da posição final do braço. A construção do braço robótico será feita utilizando Kits LEGO Mindstorms NXT 2.0® (Fig. 2) e o software Lego Digital Designer®, que dará suporte para as imagens que serão aqui colocadas. O braço robótico escolhido para a montagem terá 3 **motores** e juntas rotacionais, o que se denomina de manipulador RRR ou, ainda, como robô com 3 graus de liberdade. Aqui apresentamos o braço já montado e com sistema de referências já fixado.

Figura 2: O Braço robótico e o sistema de referências.



Para a movimentação ou programação do braço robótico pode-se usar apenas o próprio software criado pela LEGO que é o LEGO Mindstorms NXT, que é de fácil compreensão e aplicação, pois o mesmo trabalha com programação por blocos, ou seja, cada movimentação tem um bloco que é responsável pelo movimento, e o mais importante disso tudo é que não é necessário saber nenhum tipo de linguagem de programação, dessa forma qualquer pessoa pode programar um movimento. Outra forma de fazer a programação de um braço robótico que exige um pouco de conhecimento de programação, é utilizando um software chamado MATLAB® é um produto da empresa Mathworks. Que é um software usado para desenvolvimento e implementação de algoritmos numéricos ou simbólicos que oferece ao usuário um ambiente interativo de programação para estudo e pesquisa nas diversas áreas das ciências exatas. O MATLAB® é um software que permite que o usuário crie suas próprias ferramentas, chamadas de Toolbox ou caixa de ferramentas, tais como o Simulink, o RWTH – LEGO Mindstorms NXT Toolbox for MATLAB®, que foi construído para controlar os movimentos de um manipular robótico. Tanto o Simulink como o RWTH foram criados para fins educacionais. Outra ferramenta criada foi a Toolbox Robotic de Peter Corke, que é capaz de fazer simulações virtuais para diferentes modelos de manipuladores, tipo o PUMA, o Stanford etc, além de auxiliar nos cálculos relacionados a cinemática/dinâmica (Corke, 2011). Desde sua primeira versão escrita nas Universidades do Novo México e Stanford, na década de 1970, que inicialmente destinava-se a cursos de teoria matricial, álgebra linear e análise numérica, o MATLAB® tem evoluído continuamente, com a contribuição e sugestões de inúmeros usuários e isso se deve ao fato de que cada usuário pode criar sua Toolbox. Após a construção do braço robótico usando o Kit LEGO e a fixação dos sistemas de referência em cada junta, deve-se agora obter os parâmetros de Denavit e Hatenberg que são os valores de a_i , d_i , α_i e o quarto parâmetro que é θ_i , será variável por se tratar de juntas rotacionais. Após a obtenção dos parâmetros serão utilizados o software MATLAB® e a Toolbox Robotic para a movimentação do braço robótico. A modelagem do braço robótico do tipo 3R ou com três graus de liberdade, deve seguir o preenchimento da tabela seguinte, onde “Link” representa um elo da cadeia.

Link	θ_i	d_i	a_i	α_i
1				
2				
3				

Depois de obtidos os parâmetros pode-se então, usar o Matlab associado a Toolbox Robotic, para montar o robô. Usa-se a seguinte notação:

$$L1=\text{link}([0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0])$$

Onde L1 é o primeiro elo do braco robótico e assim por diante. Dentro da função link(), são colocados os 4 parâmetros de Denavit e Hatenberg e o último item dessa função define se essa junta é rotacional (0) ou prismática (1). Além de definir os links, deve-se também atribuir um nome ao manipular e usar ao comando plot, que desenha o braço, e a função teach que cria um aplicativo onde se pode fazer variar o valor de θ_i , além de mostrar a coordenada final e o comando fkine que determina a matriz homogênea associada aos parâmetros de DH.

A partir dos dados obtidos na medição do robô criado, a tabela completa é:

Link	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	7	0	$\pi/2$
2	q_2	7	12	$-\pi/2$
3	q_3	0	12	0

Usando essa tabela e usando o MATLAB, tem-se os resultados a seguir, onde observa-se que o programa deixa livre a variável θ_i , a qual atribui-se o valor desejado para a movimentação. No caso específico o programa deixa livre para que se possa fazer variar os valores de q_1 , q_2 e q_3 de acordo com o movimento que se tenha interesse. Dessa forma na Figura 3, tem-se a programação inicial do braço, de surguea figura 4, que é a matriz homogênea de transformação das coordenadas de DH.

Figura 3: Programação do braço

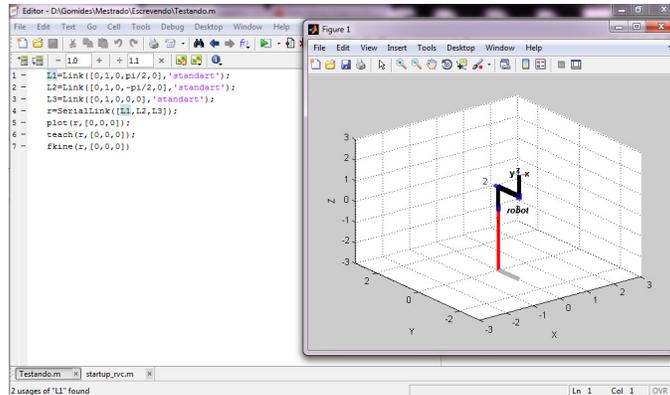
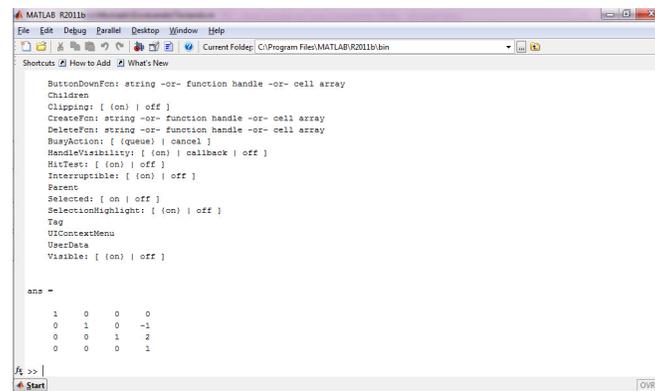
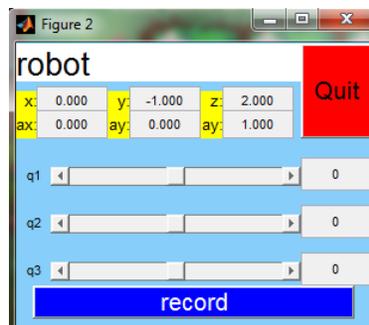


Figura 4: Matriz homogênea



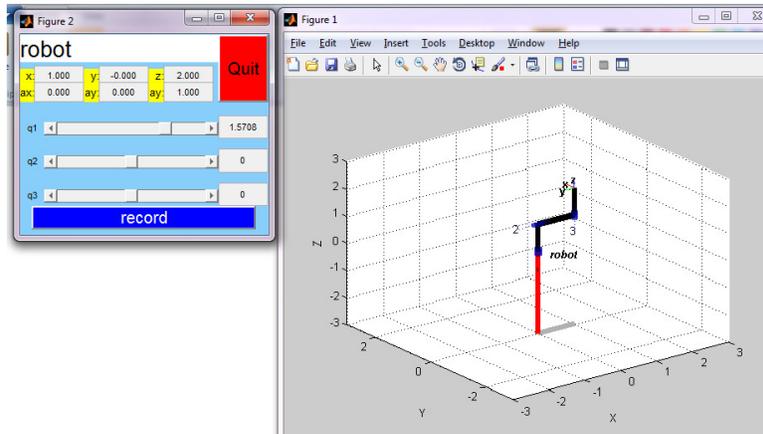
Nota-se na Figura 5 que os três primeiros elementos da quarta coluna matriz apresentada, [0 -1 2] representam a posicional inicial do braço robótico que também é encontrada na Figura 5, em sua primeira linha numérica.

Figura 5: Aplicativo que possibilita a variação de θ_i



Como se trata de um matriz homogênea, os únicos valores que sepre serão alterados, são os três primeiros elementos da quarta coluna da matriz. Assim sendo o utilitário apresentado na Figura 23, dá a opção de fazer variar o valor de q_1 , q_2 e q_3 que na matriz DH representam a variável θ_i , onde essa variável é definida em radianos.

Figura 24: Fazendo q_1 variar



Na Figura 24, observa-se que fazer $q_1 = 1,5708$, faz com que a posição final do braço tem como posição final a terna $(1, 0, 2)$, o que significa que a matriz homogênea $(DH)_1$ fica assim determinada:

$$DH_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 25: Fazendo q_2 variar

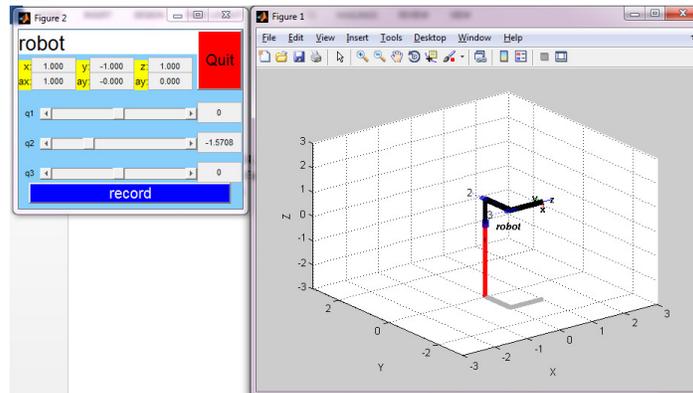
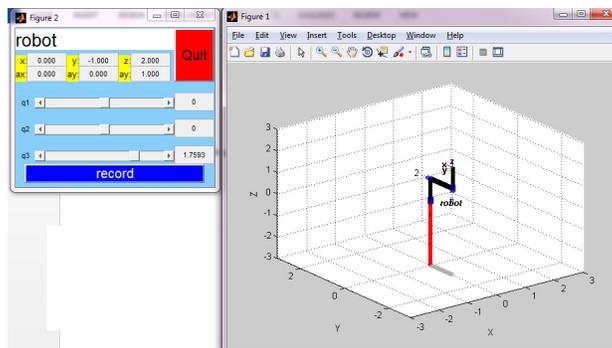


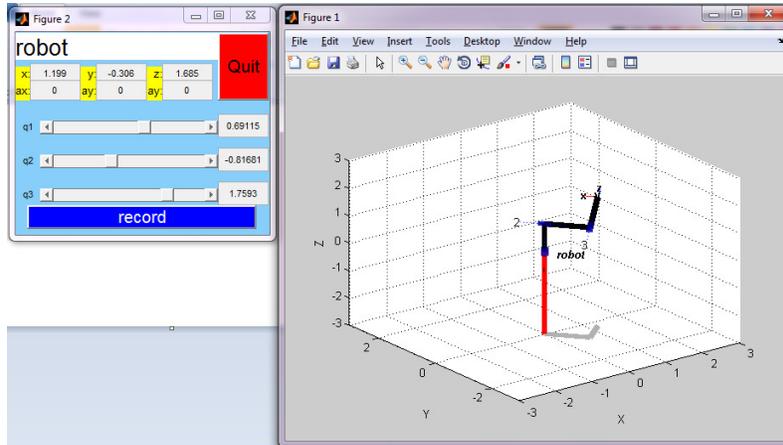
Figura 26: Fazendo q_3 variar



De forma análoga a Figura 24, as Figuras 25 e 26 foi feita a variação de q_2 e q_3 obtendo respectivamente matrizes homogêneas:

$$DH_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad DH_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 27: Fazendo variar o valor de q_1 , q_2 e q_3



É possível também, fazer a variação de q_1 , q_2 e q_3 ao mesmo tempo como na Figura 27, gerando uma nova matriz homogênea.

$$DH_{123} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1,199 \\ 0 & 1 & 0 & -0,306 \\ 0 & 0 & 1 & 1,685 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

CONCLUSÃO

Esta dissertação de mestrado teve como objetivo apresentar mais uma aplicação do assunto matrizes, conteúdo esse apresentado no ensino médio. Realizou-se me primeiro lugar, uma revisão da literatura. Sobre a robótica, foi apresentado seu histórico, suas aplicações com o passar dos anos, o uso da robótica como ferramenta para estimular os alunos e dar a eles uma nova forma de aprendizado, que é a construção do conhecimento, o que auxilia na tomada de decisões, na criatividade para resolver problemas, o que leva a uma revisão do construtivismo e a robótica. Para implementar essa construção de forma mais dinâmica, foi adotado como ferramenta para a construção de um robô a tecnologia LEGO®, que tem em sua história o fato de sempre estar inovando suas criações, para atender ao desenvolvimento do ser humano e da tecnologias. A LEGO® tem inúmeras criações, kits para as mais diversas idades e aplicações, neste caso foi utilizado o Kit LEGO Mindstorms NXT 2.0®. Fez-se necessário fazer a definição de matrizes, sua forma e uma de suas operações a multiplicação, que se faz necessária quando quer se determinar a movimentação e a posição final de um mecanismo robótico no caso, um braço robótico com três graus de liberdade, onde pode-se determinar os parâmetros de Denavit-Hatenberg, os quais são fundamentais nessa movimentação. Mas para determinar esses parâmetros, além de trabalhar com matrizes, deve-se ter um braço robótico. Neste caso foi criado um braço robótico específico para esse fim, de onde foram obtidos os parâmetros de DH e em seguida foi feita sua programação e sua movimentação, utilizando o software MATALB uma ferramenta denominada Tollbox Robot, de Peter Corke. A partir da progamação tem-se um recurso maior para justificar o uso de matrizes, pois após a programação fornece uma matriz homogênea dos parâmetros de DH, de onde observa-se, que a terna ordenada é a posição final do braço robótico. Por fim este trabalho mostrou a importância do conteúdo matrizes na movimentação de um braço robótico, assim como a importância de se usar as tecnologias no ensino, pois este pode causar fascínio entre alunos, professores e também facilitar a aprendizagem de conteúdos, ditos sem utilidade prática.

REFERÊNCIAS

- ASIMOV, Isaac, **Runaround**. Astounding Science Fiction, 1942.
- COMPUTAÇÃO, II, 2007, Santa Cruz. Anais: II Encontro da Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz: Unisc, Departamento de Informática, 2007. p. 4.
- CORKE, P. (2011). Robotics, Vision and Control, Vol.1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Australia pp. 141-193. pp. 141-200.
- DUARTE, J., BARROS, A. Métodos e Técnicas de pesquisa em Comunicação. São Paulo-SP, Atlas, 2006.
- FIDEL, Raya. The case study method: a case study. In: GLAZIER, Jack D. & POWELL, Ronald R. Qualitative research in information management. Englewood, CO: Libraries Unlimited, 1992. 238p. p.37-50.
- Guba, E.G., & Lincoln, Y.S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N.K. Denzin & Y.S. Lincoln (Eds.), Handbook of qualitative research (pp. 105-117). Thousand Oaks, CA: Sage.
- KONZEN, I. M. G. & et al. **Kit de robótica educativa**: desenvolvimento e aplicação metodológica. In: ENCONTRO DA ESCOLA REGINAL DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA
- LAKATOS, E.M., MARCONI, M. de A. Metodologia científica. São Paulo, Atlas, 1987.
- MARTINS, Agenor. **O que é robótica**. Ed.: Brasiliense, São Paulo-SP, 2006.
- ORTOLAN, I. T. **Robótica educacional**: uma experiência construtivista. Florianópolis, 2003. f. 157. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação e Sistemas de Conhecimento) - Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina.
- PAPERT, S. **A Máquina das Crianças**. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2002.
- STOPPA, M. H. A Robótica Educacional em Experimentos elementares de Física. Vol. 14 n.1 Disponível em: <www.editoraufjf.com.br/revista/index.php/revistainstrumento/article/view/1911>. < Data de acesso em 12/01/2014.
- YIN, Robert K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.