

UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA MANIPULAÇÃO DE UM BRAÇO ROBÓTICO

Sildenir A. Ribeiro^a, Alexandre S. de Lima^b, Luciana F. Almeida^c

^{abc} *Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro (CEFET-RJ) – Coordenação de Automação Industrial, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, ^asildenir.ribeiro@cefet-rj.br, ^balima@cefet-rj.br, ^cluciana.almeida@cefet-rj.br*

Palavras Chave: Braço robótico, Cinemática direta, Modelagem computacional, Ferramenta computacional.

Resumo: Este trabalho tem por objetivo apresentar um framework para manipular um braço robótico através de coordenadas fornecidas em uma interface gráfica que permite a interação entre o usuário e o componente mecânico. Com o ambiente computacional proposto, o usuário irá controlar e executar os movimentos do braço robótico a partir de coordenadas fornecidas ou através de sinais disparados em setas direcionais usando interface gráfica com o operador, “cliques” do mouse pelo operador. O sistema permitirá também o armazenamento das últimas ações, constituindo assim, uma base de históricos e uma função para impressão e visualização de relatórios. Os processos que conduziram o desenvolvimento desta ferramenta envolvem as seguintes etapas: a modelagem do sistema usando os diagramas de caso de uso, classes, interação e seqüência da UML 2.0 (*Unified Modeling Language*), a elaboração dos cálculos matemáticos da cinemática direta com três graus de liberdade para representar os movimentos do braço robótico e a implementação da ferramenta computacional usando a linguagem Java com o ambiente de desenvolvimento Eclipse.

1. INTRODUÇÃO

O eminente crescimento da demanda de automação nos processos industriais tem aumentado significativamente a necessidade de componentes robóticos (mecânicos, eletrônicos e eletromecânicos) nas linhas de produção. Além disso, os robôs são mais precisos e podem executar tarefas de maneira muito mais eficaz que o homem (Bonacorso, 2009), tornando inevitável a substituição do processo manual pelo processo automatizado para assim, atender a demanda em larga escala por produtos manufaturados. Atualmente as corporações estão buscando uma produção de bens de consumo extremamente ágil e eficiente, com redução dos custos produtivos e que atendam as exigências dos consumidores. Para garantir que estas metas sejam atendidas, a utilização de braços robóticos e demais produtos mecatrônicos se fazem necessários no processo de automação das linhas de produção, atribuindo agilidade e um baixo custo no processo produtivo. O braço robótico é o equipamento ideal para suprir as carências de mão-de-obra especializada, podendo ainda ser construído para assumir tarefas e fins específicos. Contudo, o auxílio computacional neste processo é essencial e primordial, uma vez que as ferramentas computacionais para a manipulação destes componentes robóticos promovem maior flexibilidade, conforto e segurança, tanto para o equipamento quanto para o operador. Isto se dá, devido à redução da exposição e do contato direto do operador, reduzindo consideravelmente o risco de acidentes e aumentando o tempo de vida útil do equipamento com a eliminação dos processos incorretos e do mau uso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante a revisão sistemática, necessária para a elaboração e construção deste trabalho, foram observadas várias aplicações relacionadas à construção de ferramentas computacionais que auxiliam a operação de componentes robóticos. Dentre as principais, são destacados aqui os trabalhos que possuem uma correlação direta com esta pesquisa, como: a *grid* computacional para controle de um robô, proposto por (Vialle, et. al, 2005), a avaliação de uma interface gráfica para controlar um braço robótico, de (Lafont et. al, 2009), a ferramenta visual para aprendizado suportado por computador, usando um robô para planejar os movimentos, desenvolvido por (Elnagar & Lulu, 2004), o modelo e o design heterogêneo para controle de braço robótico, de (Yordán-Nones, 2003), o trabalho de concepção e desenvolvimento de coordenadas baseado em braço robótico autônomo, realizado por (Patel et. AL, 2011) e o desenvolvimento de um software para a cinemática e análise de um braço robótico, construído por (Koyuncu & Güzel, 2008). Outros trabalhos como: (Barros et. al, 2011), (Ghader, 1992), (Will 2004), (Simões & Richetti, 2003), (Narangoda, 2012) também serviram de orientação e inspiração para a conclusão desta pesquisa.

3. ARQUITETURA E MODELAGEM DA FERRAMENTA

Para representar o modelo arquitetural do software para manipular o braço robótico, foi elaborado um conjunto de diagramas a partir das representações dispostas na *UML-Unified Modeling Language*, proposta por (Booch, et. al 1998). A UML foi escolhida para representar os padrões de processos de construção e execução do software devido ao dinamismo de seus diagramas (Coad & Youydon, 2007), além da relativa flexibilidade e da fácil adaptabilidade ao modelo do software, aqui proposto. Essencialmente, optamos por construir somente quatro diagramas: 1 - Diagrama de casos de uso, 2 - Diagrama de classes, 3 - Diagrama de seqüência, e 4 - Diagrama de atividades da UML, os quais julgamos

suficientes para modelar o *framework* e representar as interações do software com o braço robótico.

3.1 Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de casos de uso desenvolvido possui dois atores, representado pelo *stickman*, sendo estes: usuário/operador e o braço robótico. Esta representação é necessária porque os dois atores possuem uma relação direta com o sistema através dos eventos disparados pelo usuário, que são transformados nas ações executadas pelo braço. Além dos atores, o diagrama apresenta ainda dez casos de uso que são representados pelas elipses apresentadas na Figura (1). O papel destes componentes no diagrama é representar as funções do sistema, seus fluxos e as ações exercidas em cada função. Neste projeto especificamente foram modeladas as seguintes funções de uso:

Registrar usuário: permite que o usuário efetue o registro no sistema para poder acessá-lo;

Informar ângulo da base: função que possibilita ao operador informar os graus da posição da base, para movimentar o manipulador.

Informar ângulo do ombro: função que possibilita ao usuário informar os graus da posição do ombro, para os movimentos de abrir e fechar da garra;

Informar ângulo da garra: Informar os graus da posição da garra, para movimentar o manipulador;

Recarregar: Recarrega a tela do sistema apagando todas as informações anteriormente inseridas;

Limpar a tela: Limpa todos os ângulos informados anteriormente pelo usuário;

Ampliar relatório: Maximiza a tela de relatório, uma vez que esta é exibida em tempo de execução dentro de um frame, na interface do sistema;

Salvar relatório: Salva o relatório que contém informações de todas as ações e horários, desde o registro até o fechamento do software;

Retornar a posição inicial: O manipulador volta à posição inicial ou posição de partida, e;

Retorno: O sistema mostra em que posição o braço irá permanecer de acordo com os ângulos fornecidos, através de uma representação gráfica do manipulador.

3.2 Diagrama de Classes

O diagrama de classes é um mapeamento do mundo real representado por um conjunto de classes/objetos, interfaces, colaborações e seus relacionamentos. O diagrama de classes é importante para a visualização, a especificação, e a construção da documentação de modelos estruturais e de sistemas (Booch et. al, 2000). Após a análise e especificação dos requisitos do software, optou-se neste trabalho por construir o diagrama de classes apresentado na Figura (2), com oito classes de objetos, suficientes para modelar o software de manipulação do braço robótico. O diagrama em questão é composto pelas seguintes classes/objetos:

Usuário: classe para representar o usuário através do seu registro de acesso ao sistema;

Garra: classe que apresenta as funções e métodos para inserção do ângulo em graus para os movimentos de abrir e fechar da garra.

Ombro: classe que contém as funções que permite o deslocamento do ombro através do ângulo em graus fornecidos;

Cotovelo: classe responsável por modelar os deslocamentos do cotovelo do braço através do valor do ângulo em graus;

Base: classe que modela a base do braço robótico a partir do ângulo em graus para o deslocamento da base.

Ângulos: classe que modela as funções para inserção dos ângulos pelo próprio usuário. A partir dos valores inseridos, será determinada a futura posição do manipulador.

Tela: é a interface gráfica responsável pela interação entre o usuário e o braço.

Relatório: classe que permite gerar e armazenar o relatório detalhado das ações exercidas pelo braço robótico a partir dos dados inseridos. Além do registro de todas as alterações, incluindo data e horário e a contagem de peças feitas pelo robô. O relatório é importante, pois também poderá ser utilizado para consultas e análise futuras.

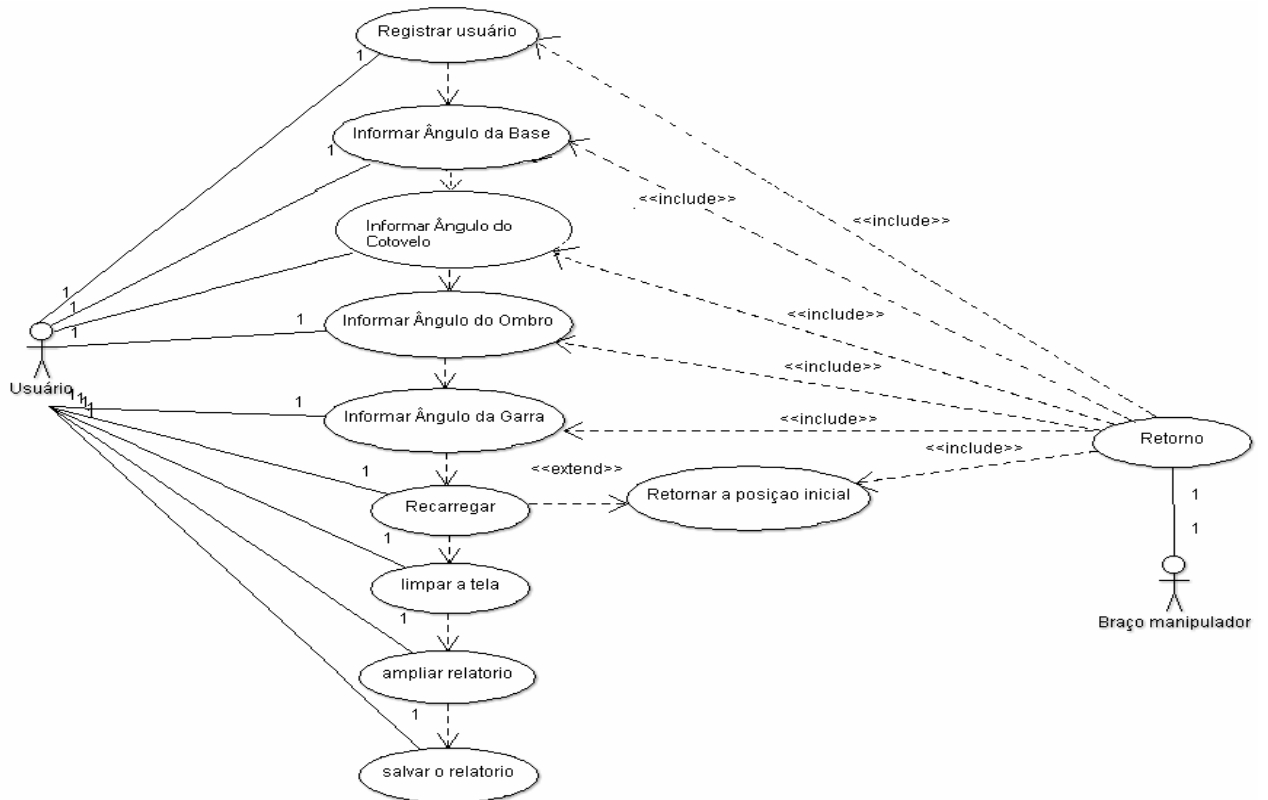


Figura 1: Diagrama de Caso de Uso do Framework

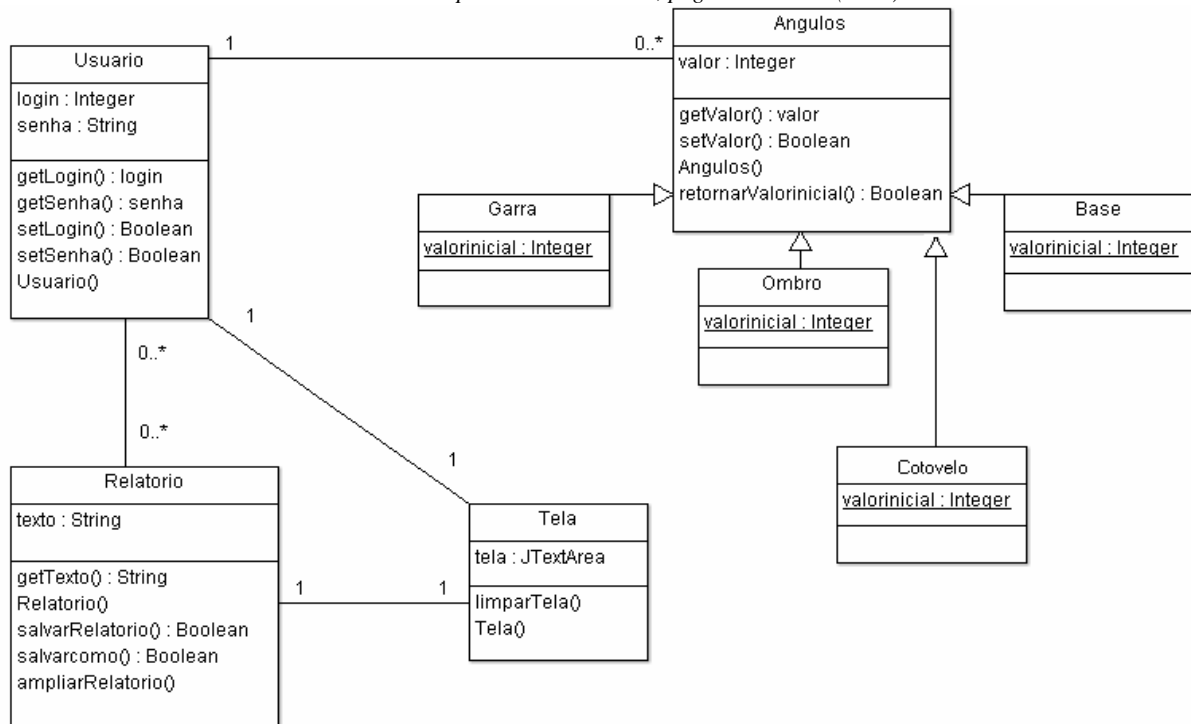


Figura 2: Diagrama de Classes

3.3 Diagrama de Atividades e Diagrama de Seqüência

Para modelar a seqüência dos eventos e conseqüentemente os estados em tempo de execução, construímos os diagramas de atividades e de seqüência da UML, respectivamente apresentados a seguir. O diagrama de atividade representa os fluxos conduzidos pelo processamento das tarefas (Larman, 2007). Em outras palavras, é essencialmente um gráfico de fluxo que representa a sequencia exata de passos que serão executadas. O diagrama de atividade apresentado nesta pesquisa apresenta os fluxos de operação dos sistemas para manipulação e controle do braço robótico partindo de uma exigencia inicial que é o login do usuário no sistema. Os passos seguintes referem-se às informações necessárias para manipular o braço. Já o diagrama de seqüência, representa a seqüência de processos que serão executadas pelo computador. Em geral, o diagrama de seqüência é usado para determinar a seqüência dos eventos que serão executados através de uma representação simples e lógica do comportamento dos objetos ao longo do tempo (Booch *et.al*, 2006) de acordo com as atividades previamente definidas. Neste trabalho usamos o diagrama de seqüência para representar os passos de execução do braço robótico a partir dos eventos disparados pela ferramenta computacional em conformidade com os fluxos e os estados do diagrama de atividades. A Figura (3), apresenta os diagramas de atividades (a) e o diagrama de seqüência (b) desenvolvidos.

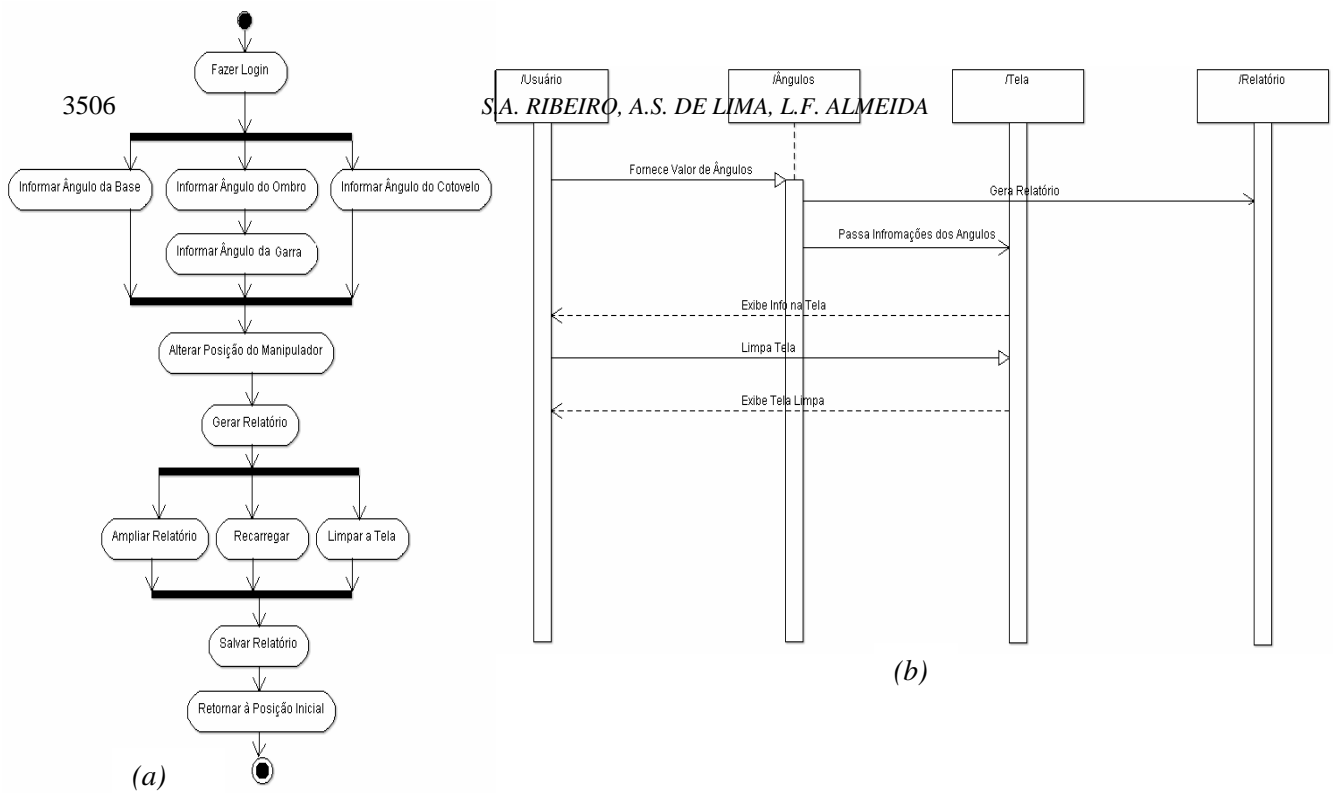


Figura 3: Diagrama Atividades (a) e Diagrama de Seqüência (b)

4. CINEMÁTICA DO MANIPULADOR

No estudo de robótica são analisados dois tipos de cinemática, a direta e a inversa. A cinemática direta consiste em se expressar o deslocamento e posição do elemento terminal (garra) considerando as variações angulares conhecidas das suas juntas. É apresentado na Figura (4), um esquema descrevendo o estudo de cinemática direta de coordenadas para um robô com N graus de liberdade.



Figura 4: Cinemática direta de coordenadas (Romano, 2002)

Na cinemática inversa, conhecendo-se a posição do elemento terminal obtêm-se o ângulo de cada articulação. Diferentemente da direta, a inversa não tem uma solução única quando trabalhamos com manipuladores com um número de graus de liberdade superior a dois.

Na Figura (5) é mostrado o esquema do manipulador escopo deste estudo.

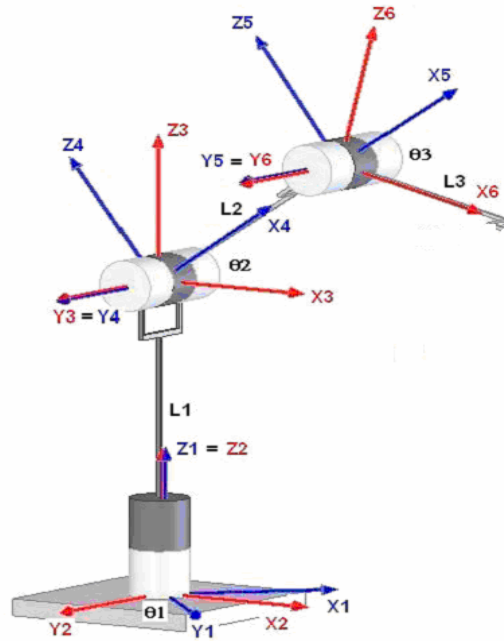


Figura 5: Desenho esquemático do manipulador (Lima, 2005)

As funções para representação computacional dos movimentos do braço foram construídas a partir de um conjunto de matrizes, apresentadas por (Lima, 2005) que representa a cinemática direta para três graus de liberdade. Estas matrizes foram usadas para calcular a cinemática implementada e usada na ferramenta computacional, objeto deste estudo.

Nas Equações (1), (2) e (3) são apresentadas as matrizes de rotação e nas Equações (4), (5) e (6) as matrizes de translação, de acordo com as referências da Figura (5).

$$R(Z, \theta_1) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\text{sen}(\theta_1) & 0 & 0 \\ \text{sen}(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R(Y, \theta_2) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & 0 & \text{sen}(\theta_2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}(\theta_2) & 0 & \cos(\theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R(Y, \theta_3) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & 0 & \text{sen}(\theta_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}(\theta_3) & 0 & \cos(\theta_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T(Z, L_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T(X, L_2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T(X, L_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Através da Equação (7) é calculada a matriz transformada final (MT_{31}).

$$MT_{31} = R(Z, \theta_1) \cdot T(Z, L_1) \cdot R(Y, \theta_2) \cdot T(X, L_2) \cdot R(Y, \theta_3) \cdot T(X, L_3) \quad (7)$$

O resultado da multiplicação de matrizes é dado pela Equação (8).

$$MT_{31} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) \cos(\theta_2 + \theta_3) & -\text{sen}(\theta_1) & \cos(\theta_1) \text{sen}(\theta_2 + \theta_3) \\ \text{sen}(\theta_1) \cos(\theta_2 + \theta_3) & \cos(\theta_1) & \text{sen}(\theta_1) \text{sen}(\theta_2 + \theta_3) \\ -\text{sen}(\theta_2 + \theta_3) & 0 & \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta_1)(L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)) \\ \text{sen}(\theta_1)(L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)) \\ L_1 - L_2 \text{sen}(\theta_2) - L_3 \text{sen}(\theta_2 + \theta_3) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Através da Equação (8) são obtidas as equações da posição do manipulador em x , y e z respectivamente.

$$x = C[\theta_1](L_2 C[\theta_2] + L_3 C[\theta_2 + \theta_3]) \quad (9)$$

$$y = S[\theta_1](L_2 C[\theta_2] + L_3 C[\theta_2 + \theta_3]) \quad (10)$$

$$z = L_1 - L_2 S[\theta_2] - L_3 S[\theta_2 + \theta_3] \quad (11)$$

5. CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA

Com o objetivo inicial de desenvolver uma ferramenta gráfica que possibilite a interface entre o usuário e o braço robótico para executar os movimentos e monitorar o posicionamento do manipulador através de coordenadas informadas pelo usuário, o ambiente aqui proposto irá permitir uma maior flexibilidade nas ações e no controle do componente robótico. O funcionamento do sistema está condicionado aos eventos dispostos na interface gráfica criada, conforme ilustrado na Figura (6), a qual permite ao usuário fornecer os ângulos, além de setas direcionais que permitem um melhor ajuste dos ângulos de entrada e conseqüentemente na navegação do braço robótico.

5.1 Etapas de Desenvolvimento do Sistema

Para desenvolver o manipulador, obedecemos criteriosamente a arquitetura e o modelo proposto na sessão 3, conforme observados nos passos a seguir:

Análise e modelagem do sistema: fase de idealização do sistema e da construção do modelo arquitetural e computacional.

Cinemática direta: cálculo da cinemática direta e implementação das funções correspondentes para o manipulador.

Interface: construção do *display* gráfico de fácil usabilidade para interação entre operador e o componente robótico.

Relatório/Log: Construção de uma função para registrar os eventos realizados.

Comunicação: implementação de uma função para comunicação do sistema com a plataforma robótica através da porta paralela disponível.

Para visualizar e melhor entender as funções implementadas no sistema, a Figura (6) apresenta a interface gráfica do sistema desenvolvido.



Figura 6: Interface do Framework

6. TESTES E RESULTADOS

Aplicamos inicialmente, um teste de funcionalidade para testar o funcionamento do *framework*. Neste teste foi observada a comunicação entre o manipulador e a plataforma robótica através da porta paralela, ou seja, verificamos se o braço respondia aos eventos disparados pelo manipulador de acordo com as coordenadas enviadas. Foi verificado também o tempo de resposta do braço, considerando um computador com configurações básicas. Foi realizada uma simulação para a execução dos movimentos do braço aplicados a uma seqüência de tarefas predeterminadas a partir de um conjunto de coordenadas para os movimentos da base, ombro, cotovelo e da garra. A seqüência ilustrada na Figura (7), apresenta os eventos executados pelo robô.

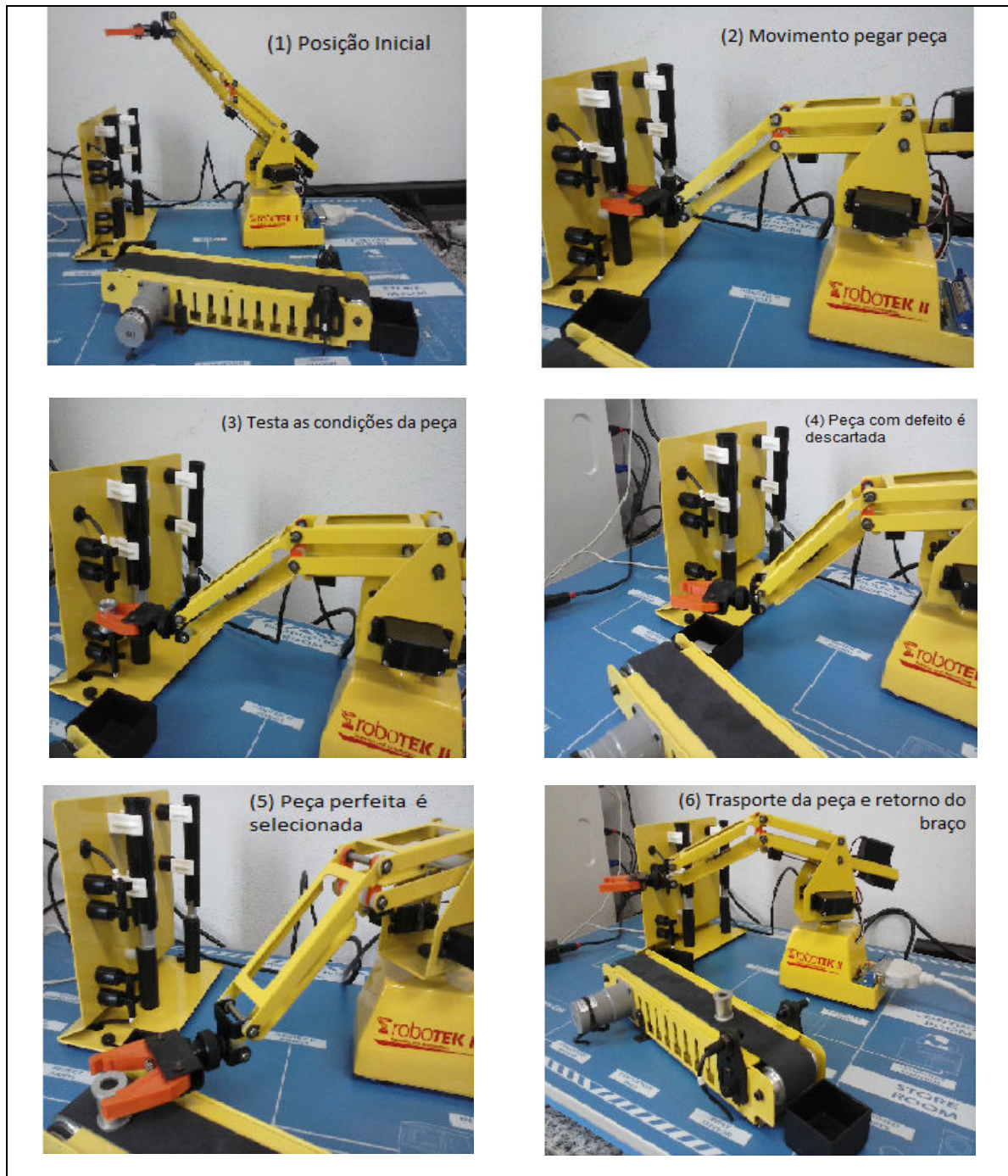


Figura 7: Seqüência de eventos realizados pelo braço robótico a partir das coordenadas e comandos disparados através do software

7. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os resultados da simulação foram satisfatórios, uma vez que o robô respondeu aos estímulos em tempo real. Além disso, o citado estudo servirá de base para se desenvolver novas rotinas de trabalho para o manipulador, a serem executadas pelo robô através da cinemática.

Existe uma linha de estudo que visa a construção de um conjunto de serviços e rotinas para que seja possível manipular o braço robótico remotamente através da *web*. Neste caso, além das funções de software será adaptado à plataforma uma porta para conexão de rede com conexão *RJ45* padrão *fast ethernet* e uma câmera de vídeo *web (webcam)*, para o monitoramento do braço em tempo real com exibição direta na interface gráfica do software.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, F., Lengerke, O., Dutra, M.S., Development and Control of A Mechanic Arm for Educational Purpose, *21st International Congress of Mechanical Engineering, COBEM 2011*, Natal, Brazil 2011.
- Bonacorso, N. G.; Noll V.; Gevaerd B. M., *Desenvolvimento de um Driver de Corrente Didático para Acionamento de Motores de Passo Aplicados ao Ensino de Eletrônica de Potência e Mecatrônica*; Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - CEFET/SC. Santa Catarina-SC; Brasil; 2009.
- Booch, G., Rumbaugh, J, Jacobson, I; *UML: Guia do Usuário*; Ed. Campus; Rio de Janeiro-RJ; Brasil, 2006.
- Booch, G.; Jacobson, I.; Rumbaugh, J. *The Unified Modeling Language User Guide. 1a. Edition*; Ed. Addison-Wesley. Massachusetts – MA; USA 1998.
- Coad, P.; Youydon, E.; *Análise Orientada a Objetos e Projeto Orientado a Objetos*; Editora Campos – Rio de Janeiro – RJ; 2002.
- Elnagar; A., Lulu, L.; *A Visual Tool for Computer Supported Learning: The Robot Motion Planning Example; From Proceeding On Artificial Intelligence and Applications*; Innsbruck , Austria; - 2004.
- Ghader, M.; *Control of a Six-Joint Robot Arm Using the Two-Axis Motion Controller*; 1992; < <http://ushotsearches.com/arm-robot~0.html>>; Acessado em Maio de 2012.
- Koyuncu, B., Güzel; M.; Software Development for the Kinematic Analysis of a Lynx 6 Robot Arm; *I International Journal of Engineering and Applied Sciences*; 2008.
- Laffont, I., Biard, N., Chalubert, G., Delahoche, L. Marhic, B., Boyer, F. C., Leroux, C.; *Evaluation of a Graphic Interface to Control A Robotic Grasping Arm: A Multicenter Study*; Arch Phys Med Rehabil. 2009; Montpellier; France;2009.
- Larman, C.; Utilizando UML e Padrões – *Uma Introdução à Análise e ao projeto Orientado a Objetos e ao desenvolvimento Interativo*; 3ª. Edição – Bookman; 2007.
- Lima, A. S., *Concatenação dos Movimentos do Manipulador e da Câmera de um ROV*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- Narangoda, N.A.P.S.K., Lakmal, D. A. N., Weerakkody, T. M., Samsodeen, P., Nanayakkara; T.; *Implementation Of Mobile Robotic Arm*; <http://www.elect.mrt.ac.lk/ug_papers/p11_apr04.pdf>; acessado em: julho de 2012.

- Patel, H.K., Verma, P., Ranka, S.; Design and Development of Co-ordinate Based Autonomous Robotic Arm; Engineering (NUiCONE 2011); *International Conference on Print Purchase at Partner; IEEE Conference and Publications*, 2011.
- Romano, V. F., *Robótica Industrial – Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos*, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 2002.
- Simões, A. S.; Ricchetti, P. F.; Projeto e Implementação de um Braço Robótico de Baixo Custo: Uma Plataforma Multidisciplinar para Motivação do trabalho em Grupo; *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*; Rio de Janeiro-RJ; Brasil; 2003.
- Vialle, S. De Vivo, A. Sabatier, F.; A Grid Architecture for Comfortable Robot Control; *EGC'05 Proceedings European conference on Advances in Grid Computing*; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2005.
- Yordán-Nones; A.; Heterogeneous Modeling & Design of a Robot Arm Control System, press EECS Berkeley Programs; *University of Puerto Rico, Mayagüez; Porto Rico*; 2003.
- Will, D. J.; *Design and Implementation of Robotic Control for Industrial Applications*; PhD Thesis of Engineering Electrical In the Faculty of Engineering; Port Elizabeth Technikon University; Port Elizaeth South Africa; 2004.