



## **MODELAGEM E MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE CONTROLE DE QUALIDADE UTILIZANDO KIT LEGO MINDSTORM E REDES DE PETRI**

**Layon M. de Oliveira** – layonmescolin@hotmail.com

**Juliana D. Franzini** – juliana\_franzini@hotmail.com

**Daniel P. Teixeira** – daniell.pinheiro.eng@gmail.com

**Lindolpho O. A. Júnior** – lindolpho@leopoldina.cefetmg.br  
CEFET-MG

Rua José Peres

36700000 – Leopoldina – Minas Gerais

**Resumo:** *Este artigo apresenta uma abordagem em redes de Petri para um sistema de controle de qualidade através de um braço robótico construído com tecnologia LEGO NXT. Um grande desafio enfrentado pelas instituições durante o ensino de robótica e automação é a aplicação de conceitos teóricos em modelos práticos, seja por falta de recursos ou excesso de especialização de mão de obra. A utilização do kit LEGO NXT provou então ser uma alternativa simples, prática e de baixo custo. Através do mesmo foi elaborada a montagem prática de um braço robótico, com dois graus de liberdade, capaz de selecionar peças de acordo com sua cor, e então destiná-las ao final do processo de produção ou ao descarte. Todo o sistema foi modelado utilizando-se formalismos de redes de Petri, uma abordagem extremamente funcional e prática que vem sendo amplamente utilizada em vários campos de atuação, dos quais se destacam os sistemas de manufatura, comunicação de transporte, informação, logística, e de forma geral, todos os sistemas discretos.*

**Palavras-chave:** *Kit Lego, Redes de Petri, Controle de Qualidade, Robótica.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Em indústrias onde a manufatura de alguns produtos deve seguir um padrão significativo de qualidade, são utilizadas técnicas para garantia de que estes produtos estejam de acordo com as diretrizes do mercado, uma das práticas que garantem a qualidade do produto final é o controle de qualidade, comumente realizada através de uma inspeção dos objetos produzidos em busca de elementos que não condizem com o padrão proposto.

Em uma pesquisa realizada no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Campus Leopoldina (FERRAZ *et al.*, 2012), constatou-se que das inúmeras ferramentas laboratoriais e plantas didáticas do CEFET-MG campus Leopoldina, nenhuma tem como recurso o uso de controle de qualidade, tais ferramentas tem como único objetivo o estudo da dinâmica dos processos ou o controle desses processos.

Desta forma, uma proposta encontrada para a deficiência dos equipamentos laboratoriais é o uso de simulação, método este que tem como objetivo aproximar-se o máximo possível uma atividade encontrada no mercado de trabalho dos engenheiros.

Todavia, a prática de simulações laboratoriais, através de recursos computacionais, é de fundamental importância para a aprendizagem, levando em consideração a aplicação dos conhecimentos teóricos de maneira simplificada.

## 2. PROCESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade é essencialmente um processo de gestão, incluindo uma série de operações interligadas como testar qualidade dos produtos, comparar com os padrões e, assim, fazer alterações, quando necessário (YU & WANG, 2008). Quando não há possibilidade de alteração do elemento produzido, o mesmo é descartado, acarretando prejuízos para empresa. Podemos dizer que esta forma de controle de qualidade funciona ainda como indicativo de erro de um processo. É competência de engenharia a elaboração da estratégia de fabricação, de forma a aperfeiçoar o sistema de produção através dos dados correlacionados entre a produtividade e a viabilidade financeira do processo.

Dentre as metodologias para controle de qualidade empregadas em âmbito industrial, destacam-se o controle visual, realizado por mão-de-obra especializada, e o controle automático, no qual são empregadas ferramentas automáticas para a análise do produto final. Ao utilizar o controle de qualidade automático a indústria se beneficia da redução do custo com mão de obra e aumenta a confiabilidade do sistema. Um exemplo de processo automático de separação utilizando controle de qualidade automatizado pode ser observado na Figura 1.

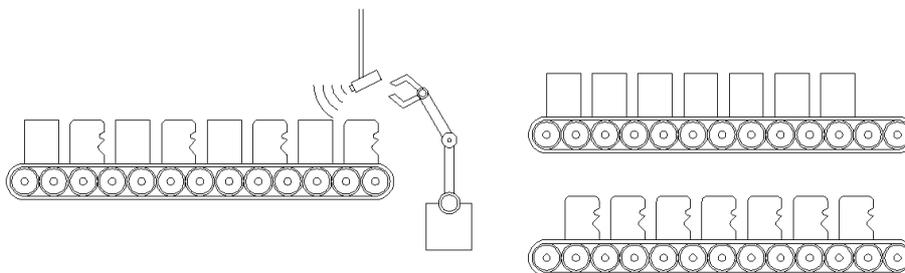


Figura 1 - Processo de controle de qualidade automatizado

Os métodos de sensoriamento podem ser realizados através da comparação de: simetria, pesagem, coloração, PH, entre outros com um padrão pré-estabelecido. O presente trabalho tem por objetivo a simulação do controle de qualidade automático, através do processo de sensoriamento por reflexão de luz utilizando o sensor de luminosidade disposto no KIT LEGO NXT.

## 3. KIT LEGO NXT

Observa-se cada vez mais inseridos no cotidiano a presença de processos automáticos e robótica, tornando imprescindível que as instituições de ensino se adequem a esta evolução, conciliando ensino teórico, prático e simulações, para

obtenção de um modelo de educação profissional. Por apresentar um elevado custo, o ensino prático de robótica e processos automáticos pode se tornar financeiramente inviável.

A fim de suprir a falta destes equipamentos muitas empresas desenvolvem Kits didáticos para simular processos que utilizem robótica e automação LEGO (FIORINI, 2005). Este é o caso do KIT LEGO NXT, que contém peças de montagem e principalmente sensores e motores para aplicações diversas, além de um microprocessador (*smartbrick*) de 32 bits com memória flash ilustrados na Figura 2.



Figura 2 - Processador, Motores e Sensores do KIT LEGO NXT

Os KIT's LEGO NXT permitem que se criem estruturas e comportamentos, admitindo a construção de modelos interativos que auxiliam no ensino de ciências e engenharia.

Com o uso dos elementos anteriormente descritos será realizada a elaboração de um braço robótico seletor, para realizar o controle de qualidade através da verificação da cor do corpo analisado. A imagem do protótipo e da plataforma de sensores pode ser observada na Figura 3.

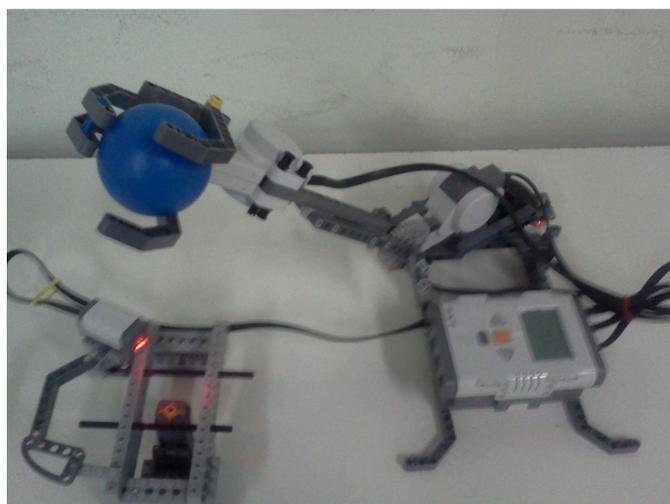


Figura 3 - Plataforma de sensores e braço separador

Neste protótipo foram utilizados três motores, dos quais dois têm como finalidade proporcionar a movimentação do braço seletor e o terceiro é responsável pela movimentação da garra. Serão utilizados ainda um sensor de toque e um sensor de luminosidade, estes sensores estarão na plataforma que receberão os elementos a serem investigados.

### 3.1. Plataforma com sensores

A plataforma retratada na Figura 5 representa o ponto onde o elemento estudado será analisado pelos sensores empregados no projeto.

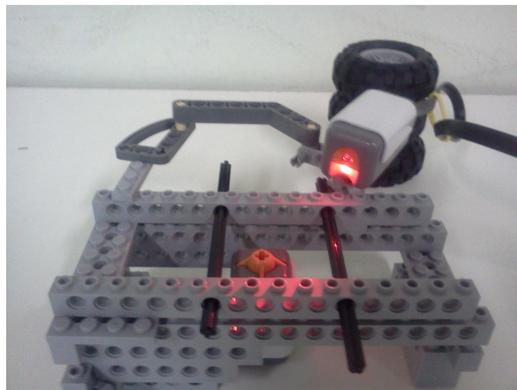


Figura 4 - Plataforma com sensores

Neste ponto o sensor de luminosidade inicia o processo de controle de qualidade, detectando a cor do material analisado através da reflexão do feixe luminoso emitido. O sensor de toque é utilizado neste ponto com a finalidade de se obter a garantia da presença da peça no local de análise, tornando-se desta forma um dispositivo de segurança impedindo que o braço separador realize movimentos desnecessários.

### 3.2. Dinâmica realizada pelo separador

Para realização da separação o braço deve estar a uma determinada distância do objeto a ser recolhido, distância esta dada pelo comprimento total do próprio braço. Desta forma o braço partirá do ponto inicial e terá dois eixos de movimentação para serem executados: irá movimentar-se na vertical (Figura 4-a) e na horizontal (Figura 4-b). Neste projeto os movimentos não ocorrem ao mesmo tempo, o acoplamento do objeto é feito pela garra e demonstrado pela Figura 4-c. A dinâmica realizada é ilustrada pela Figura 4.

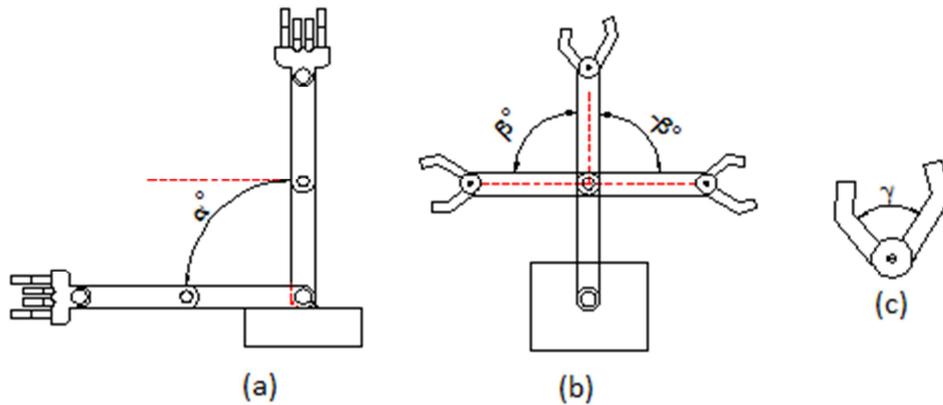


Figura 5 – (a) vista lateral esquerda, (b) vista superior, (c) vista da garra

Os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  tem as suas variações reguladas de acordo com o posicionamento da plataforma onde se encontrará o objeto a ser analisado, podendo ser modificados quando a plataforma também tiver sua posição alterada. O ângulo  $\beta$  pode assumir valores positivos e negativos representando deslocamento para esquerda e direita respectivamente. Já o ângulo  $\gamma$  representa o movimento de fechamento da garra para fixação do elemento a ser movido.

### 3.3. Software LEGO NXT

O kit LEGO MINDSTORM NXT, possui diferentes ambientes de programação que vão desde a programação de alto nível, que facilita a utilização por estudantes que não possuem conhecimento avançado em programação, até linguagens e técnicas mais elaboradas que possibilitam uma infinidade de aplicações (GREGA & PILAT, 2008).

Existem dois softwares básicos que acompanham o kit são eles o NXT 2.0 Programming e o NXT 2.0 Data Logging. Neste trabalho será utilizado apenas o primeiro software citado, por apresentar um ambiente de programação de alto nível, onde os eventos são modelados por blocos de função.

Cada bloco de programação utilizado no simulador será apresentado a seguir acompanhado de uma breve explicação dos ajustes necessários.

Para realizar a movimentação dos motores, responsáveis pelo braço seletor e pela garra, são utilizados blocos "mover" como os da Figura 6.

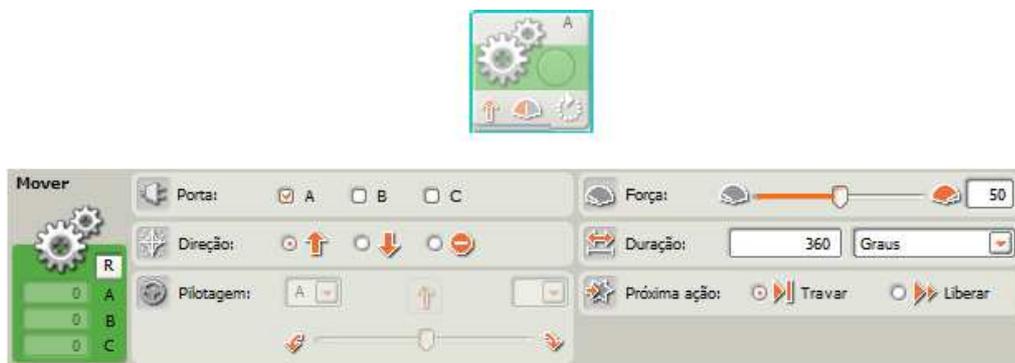


Figura 6 - Especificações do bloco “mover”

No bloco "mover" pode-se escolher a qual motor a função estará atribuída, selecionando entre as portas A, B e C. É possível também escolher o sentido, bem como a força exercida por este motor, o deslocamento angular é dado pelo valor previamente visto dos ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

Os sensores são utilizados como chaves condicionais, executando duas tarefas diferentes de acordo com as condições estabelecidas pelo usuário, as representações dos sensores de luminosidade e toque podem ser vistas nas Figuras 7 e 8 respectivamente.

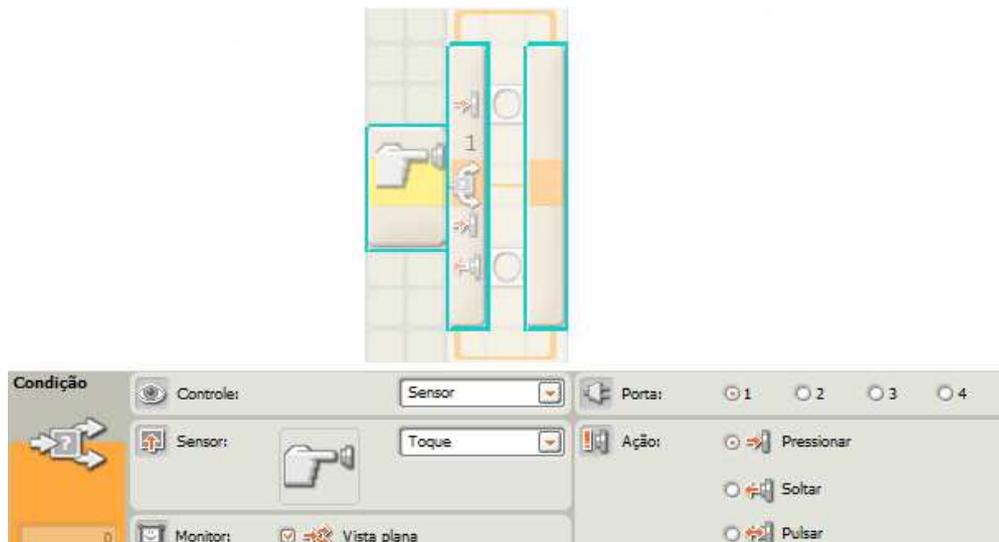


Figura 7 - Bloco condição para sensor de toque

Neste bloco define-se a qual porta o sensor estará associado podendo ser 1,2,3 ou 4, as condições são escolhidas, para a situação em análise o valor será verdadeiro quando o sensor de toque estiver pressionado e falso quando estiver estendido.

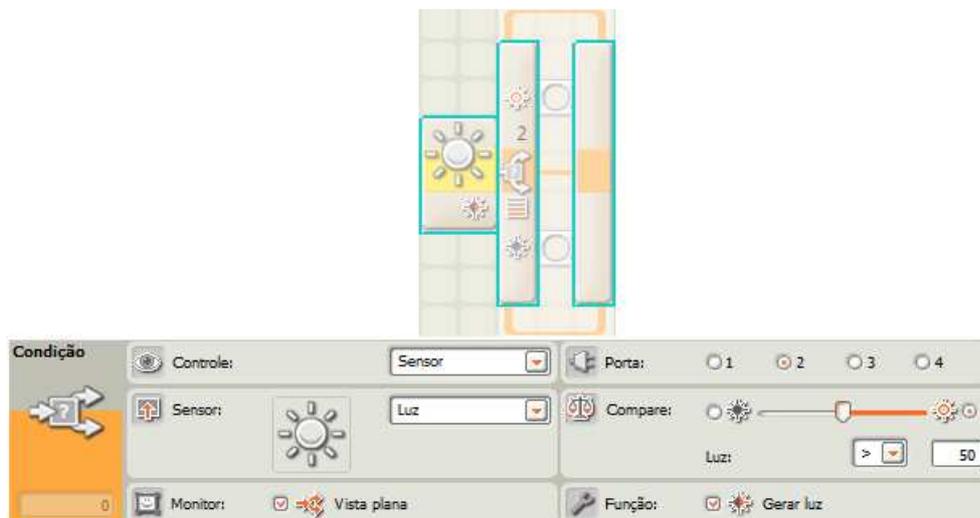


Figura 8 - Bloco condição para sensor de luz

O bloco condição com sensor de luz deve ser vinculado à porta onde será ligado o sensor de luz, podendo também variar entre as portas 1,2,3 e 4 mas nunca associado

com uma porta já em uso. Para a condição verdadeira deste bloco a reflexão da luz deverá ser maior que um valor escolhido e para condição negativa basta que este valor seja menor que o escolhido.

Além dos blocos funcionais de sensores e motores é necessária a utilização do bloco loop, para que a tarefa se repita inúmeras vezes, tal bloco pode ser demonstrado na Figura 9.

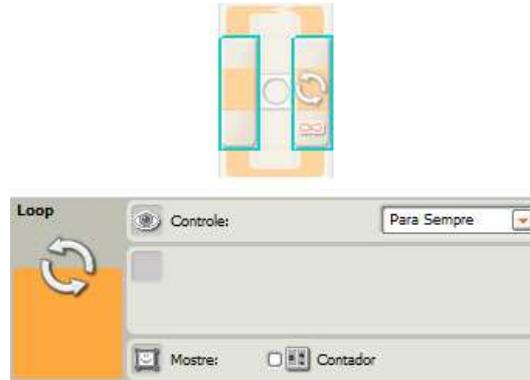


Figura 9 - Bloco loop

O bloco loop pode ser modificado para atuar de acordo com: repetições, tempo ou para sempre.

#### 4. MODELAGEM DO SISTEMA EM REDE DE PETRI

O aumento da complexidade dos sistemas industriais modernos, como a produção automatizada, controle de processos, etc, cria inúmeros problemas para os desenvolvedores de sistemas. Ao utilizar o recurso de modelagem de sistemas é possível a detecção de alguns desses problemas ainda na fase de planejamento.

Como ferramenta gráfica a Rede de Petri proporciona um meio poderoso de comunicação entre o desenvolvedor, e o cliente, demonstrando de forma ilustrativa a evolução do processo estudado. Unida a ferramentas computacionais as redes de Petri colocam nas mãos do engenheiro uma ferramenta de grande importância no desenvolvimento de sistemas complexos (ZURAWSKI & ZHOU, 1994).

Para o processo de controle de qualidade a modelagem em rede de Petri é bem indicada por este processo tratar-se de um sistema à eventos discretos. O processo é ilustrado utilizando a ferramenta computacional *VisualObjectNet* e pode ser observado na Figura 10.

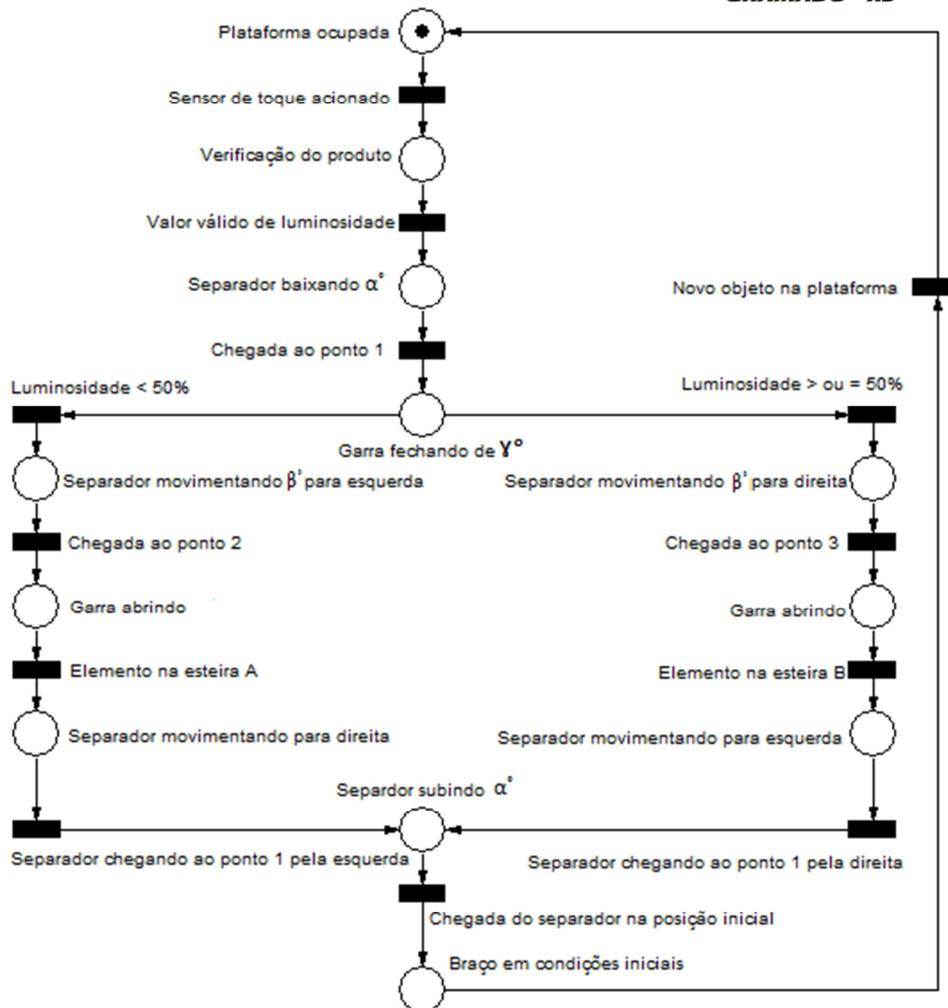


Figura 10 - Modelagem do processo de controle de qualidade em rede de Petri

No estado inicial temos a representação da plataforma ocupada, indicando que existe um objeto a ser avaliado. Na Figura 10 é possível perceber a marca neste estado indicando o início do processo.

A transição “Sensor de toque acionado” é acionada quando um valor lógico 1 for enviado pelo sensor de toque.

Com o disparo da transição a marca se desloca do estado “Plataforma Ocupada” para o estado “Verificação do produto”.

Ao ser detectado um valor válido de luminosidade, será executada a transição e o seletor irá trafegar rumo ao estado “Separador baixando”.

Quando a marca atinge o estado “Separador baixando  $\alpha^\circ$ ”, o braço começa a se movimentar  $\alpha^\circ$  para baixo.

O separador atinge a transição “Chegada ao ponto 1” quando termina de realizar o movimento descrito pelo item anterior, nessa etapa o braço atinge a altura da esteira e analisa o primeiro produto.

O Separador retém o produto no ponto 1 e a garra se fecha no estado “Garra fechando de  $\gamma^\circ$ ” para fixação do mesmo. Nesta etapa existe um paralelismo, o caminho a ser seguido pela peça depende da decisão entre os pontos “Luminosidade  $< 50\%$ ” e “Luminosidade  $\geq 50\%$ ”, onde a primeira destina o produto para uma esteira de produtos

defeituosos e a segunda para uma esteira de produtos com qualidade adequada (os valores de luminosidade são apenas exemplos podendo ser alterados de acordo com o elemento que se quer analisar).

As ações a serem tomadas a seguir pelo simulador se diferenciam apenas nos deslocamentos do separador em relação ao ângulo  $\beta^\circ$ . Ao seguir pelo caminho da esteira de defeitos, feito pela Transição de “Luminosidade  $<50\%$ ”, o separador se movimenta no ponto “Separador movimenta  $\beta^\circ$  para esquerda”.

Na transição “Chegada ao ponto 2” um sinal é enviado indicando que o separador já se movimentou  $\beta^\circ$  para esquerda e alcança a esteira “A” com produtos defeituosos. Na transição “Chegada ao ponto 3” o mesmo ocorre porém o movimento do separador é de  $\beta^\circ$  para direita alcançando a esteira “B” com produtos de qualidade

Após chegar aos pontos 2 ou 3 a garra se abre  $\gamma^\circ$ , assim o produto atinge a esteira “A” ou “B” de acordo com as instruções anteriores.

Com o produto na esteira, o separador deve retornar  $\beta^\circ$  para a direita no estado “Separador movimentando para direita”, com essa movimentação o separador chega no ponto 1, através da transição “Separador chegando ao ponto 1 pela esquerda”. Para esteira “B” o estado “Separador movimentado para esquerda” indica que o separador esta movimentando  $\beta^\circ$  para esquerda e dispara a transição “Separador chegando ao ponto 1 pela direita”.

Na convergência do paralelismo o estado “Separador subindo” indica que o separador regressará a posição inicial, subindo  $\alpha^\circ$ .

Após passar pelo estado “Separador subindo”, a marca atinge a transição “Chegada do separador na posição inicial” e posteriormente o estado “Braço e condições iniciais”.

Agora com o separador nas condições iniciais do processo, retorna-se toda a operação com um novo objeto na plataforma, para isso a marca percorre a transição de “Novo objeto na plataforma” reiniciando o ciclo da rede de Petri.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ser um modelo simples, o simulador aqui proposto retrata de forma básica e análoga os princípios de um sistema de controle de qualidade industrial, processo muito encontrado em sistemas de manufatura, propiciando ao estudante de engenharia um arquétipo do que poderá ser uma possível área de atuação ao formar-se.

Através da modelagem em rede de Petri e utilização do Kit LEGO Mindstorm NXT é possível absorver o conhecimento sem a necessidade de aquisição de plantas industriais didáticas especializadas com elevado valor monetário.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao MEC/SESu/PET, FNDE, FAPEMIG, CAPES e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GREGA, W.; PILAT, A. Real-time Control Teaching Using LEGO® MINDSTORMS® NXT Robot. IMCSIT, v.3, p. 625-628, 2008.

FERRAZ, Ana Luíza; *et al.* Condições de infraestrutura laboratorial no CEFET/MG - Leopoldina: estudo de caso na engenharia de controle e automação. Anais: XL – Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia. Belém: UFPA, 2012.

FIORINI, Paolo. LEGO kits in the lab. IEEE Robotics & Automation Magazine - IEEE ROBOT AUTOMAT , vol. 15, no. 2, pp. 10-11, 2008.

YU, Tao; WANG, Gaoshan. Research of On-line Process Quality Control System. International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China September, 2008.

ZURAWSKI, Richard; ZHOU, MengChu. IEEE. TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 41, NO. 6, DECEMBER 1994.

## **MODELING AND ASSEMBLE OF A PROTOTYPE OF QUALITY CONTROL USING MINDSTORM LEGO KIT AND PETRI NET**

***Abstract:** This paper presents a Petri net approach to a system of quality control through a robotic arm built with LEGO NXT technology. A major challenge faced by the institutions for teaching robotics and automation is the application of theoretical concepts into practical models, either for lack of resources or excessive specialization of labor. The use of the LEGO NXT kit proved to be a simple alternative, practical and inexpensive. Was prepared by the same practice of mounting a robotic arm with two degrees of freedom, able to select parts according to their color, then target it to the end of the production process, or to disposal. The entire system was modeled using formalisms of Petri nets, an approach extremely functional and practice that has been widely used in various fields, among which are manufacturing systems, communication, transportation, information, logistics, and In general, all discrete systems.*

***Key-words:** LEGO kit, Petri net, Quality Control, Robotics.*