

**COLÉGIO TÉCNICO OPÇÃO
GRADUAÇÃO EM TÉCNICO EM MECATRÔNICA**

**DANIELA DE CARVALHO
GABRIEL ALVES FRANZERI
JULIA COSTA RODRIGUEZ
KAUAN FABIO MEIRELES SILVESTRE DO AMARAL
THAFNE CANTOS PIZOL**

BRAÇO SCARA DIDÁTICO

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – SP
2017**

**DANIELA DE CARVALHO
GABRIEL ALVES FRANZERI
JULIA COSTA RODRIGUEZ
KAUAN FABIO MEIRELES SILVESTRE DO AMARAL
THAFNE CANTOS PIZOL**

BRAÇO SCARA DIDÁTICO

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Colégio Técnico Opção
como parte das exigências do Curso em
Mecatrônica, para obtenção do Título de
Técnico.**

Orientador: Prof. Avilmar Silva

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – SP

2017

DANIELA DE CARVALHO

GABRIEL ALVES FRANZERI

JULIA COSTA RODRIGUEZ

KAUAN FABIO MEIRELES SILVESTRE DO AMARAL

THAFNE CANTOS PIZOL

BRAÇO SCARA DIDÁTICO

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colégio Técnico Opção,
como parte das exigências do Curso em
Mecatrônica, para obtenção do Título de
Técnico.**

APROVADO:

Prof.

(Colégio Técnico Opção)

Prof.

(Colégio Técnico Opção)

Prof. Avilmar Silva

(Orientador – Colégio Técnico Opção)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Aos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Gratidão a todos os professores por proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo da formação profissional.

“A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces” (Aristóteles)

RESUMO

Devido ao elevado custo do maquinário industrial, não é viável para as escolas técnicas possuírem um em proporções industriais ou até mesmo um em escalas menores, pois o preço mantém-se alto. Mediante a esta adversidade, traça-se um objetivo de desenvolver um Braço SCARA ("Selective Compliance Assembly Robot Arm") Didático, com o intuito de aumentar o contato dos alunos com o ambiente fabril. Utiliza-se dos conhecimentos de matemática e física para os cálculos necessários à trajetória do robô, de acordo com os comandos. Ele também possui um circuito elétrico simples justamente para diminuir os custos. E finalmente através de seu software, para computadores móveis, permite o controle remoto do robô para que de tal forma alunos possam desenvolver melhor seu aprendizado.

Palavras-chave: SCARA; Braço; robô; didático; escolas.

ABSTRACT

Due to the high cost of industrial machinery, it is not feasible for technical schools to have one robot in industrial proportions or even one on smaller scales because the price remains high. Through this adversity, a goal is developed to develop a SCARA ("Selective Compliance Assembly Robot Arm") Didactic Arm, in order to increase the students' contact with the factory environment. The mathematical and physical knowledge is used for the calculations necessary to the robot's trajectory, according to the commands. It also has a simple electric circuit just to cut costs. And finally through its software, for mobile computers, allows the remote control of the robot so that students can develop their learning better.

Keywords: SCARA; Arm; robot; didactic; schools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3: Arduino Micro®

Figura 4: Fonte DC MPL-3303M da Minipa

Figura 5: Ajuste da fonte

Figura 6: Ajuste da fonte

Figura 7: Esquema Elétrico

Figura 8: Servo Motor SG90

Figura 9: Servo MG996

Figura 10: Fonte de Alimentação Chaveada 6V – 2A Bivolt

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis e torques

Tabela 2: Torques por mecânica clássica

Tabela 3: Tabela de mão de obra

Tabela 4: Tabela de matérias e preço

LISTA DE SÍMBOLO

τ :	torque [N.m]
Δt :	variação de tempo [s]
m :	massa [kg]
I :	momento de inercia [kg.m ²]
L_1, L_2 :	comprimento dos braços [m]
r_2 :	distância do eixo de rotação até o centro de massa do segundo braço [m]
c_2 :	coseno de θ_2
θ :	ângulo [rad]
$\dot{\theta}$:	velocidade angular [rad/s]
$\ddot{\theta}$:	aceleração angular [rad/s ²]
$\Delta\dot{\theta}$:	variação da velocidade angular [rad/s]
Pot :	potência [W]
E_c :	energia cinética [J]
ΔE :	variação da energia
M_t :	Momento Angular, Torque [N.m]
Rot :	rotação [rpm]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. DIDÁTICA	16
3. ESTRUTURA BÁSICA DE UM ROBÔ	17
3.1 Braço mecânico ou Manipulador	17
3.2 Órgão Terminal ou Garra (End-effector)	17
3.3 Atuadores	17
3.4 Controlador	19
3.5 Volume de Trabalho	19
3.6 Sistema de Acionamento	20
4. ROBÔ SCARA	21
4.1 Análise estática	21
4.1.1 Conjunto Garra Junta Prismática	21
4.1.2 Braços	23
4.1.3 Coluna e Base	25
4.2 Dinâmica do Robô	26
4.2.1 Torques das Juntas	26
4.2.2 Torques pela Mecânica Clássica	30
4.3 Cinemática de Robôs	31
4.3.1 Cinemática Direta	32
4.3.2 Cinemática Inversa	33
5. TECNOLOGIAS UTILIZADAS	36
5.1 PROJETO ELÉTRICO-ELETRÔNICO	37
5.2 COMPONENTES FABRICADOS POR OUTRAS EMPRESAS	40
5.3.1 Comunicação Serial	42
6. Projeto de Software	43
6.1 Software de Controle do Manipulador	43

6.1.1 Interface Gráfica	44
6.1.2 Arduino	44
6.1.3 Lógica de programação	45
6.1.4 Planejamento de Trajetória	46
7. CUSTO DO PROJETO	48
7.1 CÁLCULO DA MÃO DE OBRA	48
7.1.1 Cálculo do valor cobrado pela mão de obra	49
7.2 CÁLCULO DO CUSTO DO PROJETO	49
8. CONCLUSÃO	50
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de robôs SCARA e a quantidade de robôs de uso industrial aumentaram significativamente durante os últimos anos. A elaboração de um robô manipulador exige conhecimentos interdisciplinares como informática, mecânica, física e matemática aplicada. Resultado dessa situação e junto ao foco da elaboração de um propósito complementador e multidisciplinar baseado na robótica industrial, realça a competência da elaboração deste trabalho no cenário acadêmico como forma de manter os alunos, venturos técnicos, vinculados a ascensão da ocupação profissional, agregando valor ao perfil profissional e absorvendo conhecimento.

Por outro lado, a fabricação de robôs SCARA encontra-se em um nível tecnológico acima daquele visto nos colégios técnicos. O gasto para aquisição desse projeto é extremamente elevado, o que dificulta sua utilização e tecnologia. O desenvolvimento deste projeto é o baixo custo e menor complexidade onde poderá ser aplicado nos colégios de ensino para fins didáticos, possibilitando o estudo da robótica, sistemas de controle, controle digital, eletrônica e outras disciplinas pertencentes à grade curricular do aluno.

2. DIDÁTICA

Didática é parte da pedagogia que trata das instruções científicas que orientam a educação de modo a torná-la mais eficaz. Ela é a área integradora que constrói a conexão entre o teórico e o real. Logo, em função do ensino, é a responsável por ordenar e estruturar teorias e práticas.

Atualmente tem se tornado mais comum em escolas a utilização da Robótica Educacional ou Pedagógica que através da tecnologia – robôs, computadores, entre outros – atua como uma ferramenta *didática* no ensino das disciplinas a fim de trabalhar com conceitos estudados em sala de aula, promovendo um aprendizado baseado em praticas e teorias indissociáveis.

A partir de uma perspectiva didática o projeto - Braço SCARA Didático - busca favorecer a transdisciplinaridade de diversas áreas, como por exemplo: linguagem, matemática, física, eletrônica e mecânica. Assim, diante desses diversos campos de estudo, o braço robótico desenvolvido promove suas inter-relações ao auxiliar o ensino em nível técnico na introdução: à programação, possuindo uma interface com linguagem de programação simples; à eletrônica, conforme sua montagem incluindo utilização de microcontrolador; à física, na geração de trajetórias com a Cinemática Direta e Inversa; à matemática, através dos pontos e ângulos observados conforme a Geometria Analítica.

Dado o exposto essa didática tem como enfoque a instrumentalização teórica e pratica do professor para aprimorar a aprendizagem do corpo discente. Portanto, uma das funções da escola é de capacitar indivíduos para o mercado do trabalho, e com um Braço SCARA Didático, os alunos de nível técnico desenvolvem muito mais as áreas de conhecimento necessárias, além de também tornarem-se familiarizados com o tipo de equipamento que encontrarão nas grandes indústrias.

3. ESTRUTURA BÁSICA DE UM ROBÔ

Manipuladores possuem estruturas básicas que devem ser analisadas ao projetar-se um robô. O número de articulações em um braço é também referenciado como grau de liberdade, sendo que a maioria dos robôs SCARA tem entre 3 a 5 graus de liberdade.

3.1 Braço mecânico ou Manipulador

Representa o corpo principal do robô, que é constituído por juntas e elos. Os elos geralmente são blocos alongados rígidos, ligados uns aos outros por meio dos elos. Habitualmente associados em série, os elos podem variar suas posições.

3.2 Órgão Terminal ou Garra (*End-effector*)

É a ferramenta utilizada para realizar um trabalho específico (como uma pistola de pintura, um maçarico de solda, uma garra, entre outros), ligados à articulação final do robô.

3.3 Atuadores

Os atuadores são os responsáveis pela movimentação das juntas, sendo elas no caso do robô SCARA, lineares ou prismáticas e rotacionais. As juntas prismáticas permitem que um movimento linear seja feito, onde dois elos estão alinhados um dentro do outro, e então acontece o deslizamento de um dos dois elos para fora, ou para dentro do outro elo.

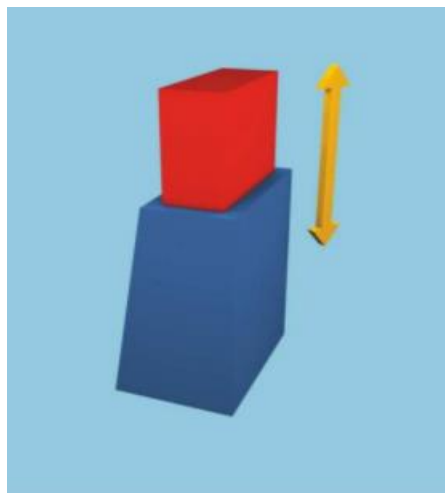


Figura 0-1 Junta linear ou prismática [3]

O outro tipo de junta usada nos robôs SCARA é a rotacional, que permite movimentos de rotação entre dois elos, como acontece nas dobradiças das portas e janelas.

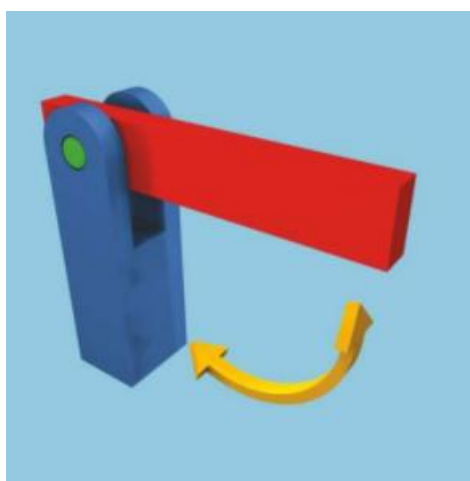


Figura 0-2 Junta rotacional [3]

Como pode ser visto na figura a seguir, a composição padrão do manipulador robótico SCARA, que é a desenvolvida nesse projeto, é a junção de quatro elos por meio de 3 juntas, sendo duas delas rotacionais e uma prismática.



Figura 0-3 Configuração padra de um robô SCARA

3.4 Controlador

O controlador interpreta os comandos enviados pelo computador através da interface, para controlar a movimentação dos atuadores e coordenando o movimento.

3.5 Volume de Trabalho

O volume de trabalho é o termo que se refere ao espaço que o órgão terminal alcança, qualquer ponto fora do volume de trabalho não pode ser atingido pela garra. Este volume é determinado por alguns fatores da composição do robô, sendo eles: quantidade de elos, tamanho dos componentes do robô e a amplitude de deslocamento das juntas. No caso do SCARA-D o volume de trabalho se dá pela seguinte fórmula:

$$V_{\text{trabalho}} = Dz \pi \left[\frac{(L_1 + L_2)^2}{2} + \frac{L_2^2}{2} - \left(\frac{L_1^2 + L_2^2}{2} - \frac{(L_1^2 + L_2^2) * \alpha}{360} \right) \right] \quad (1)$$

Onde:

Dz: Amplitude de trabalho da junta prismática

α : Ângulo de abertura entre os extremos da área de trabalho

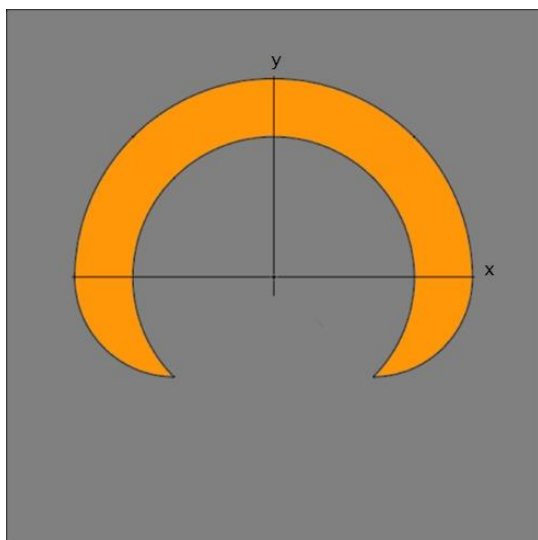


Figura 0-4 Área de trabalho do SCARA-D

A área de trabalho do robô desse projeto fica com o formato da figura 0-4. O ponto O_{xyz} , ou seja, a origem do plano cartesiano no qual o robô irá trabalhar se encontra no centro da primeira junta, e a uma altura de 300mm da base. O volume de trabalho do SCARA-D é de $1300,776\text{cm}^3$

3.6 Sistema de Acionamento

Pode ser elétrico, pneumático ou hidráulico. Esse projeto utilizou acionamento elétrico por ser controlado com mais facilidade e também por ter maior precisão de posicionamento. O uso de servos motores foi escolhido também pelo fato de ser mais barato que os outros sistemas de acionamento, também pelo SCARA-D ser um manipulador de pequeno porte, as funcionalidades de velocidades e torques são muito bem cumpridas com o acionamento elétrico.

4. ROBÔ SCARA

4.1 Análise estática

Esforços mecânicos como tensão de cisalhamento, deflexão de viga e flambagem são calculados nessa análise.

4.1.1 Conjunto Garra Junta Prismática

A garra é responsável por capturar um objeto e deixa-lo preso pelo período de operação desse robô amenos que antes seja acionado algum comando que faça o contrário. Diante disso, deve ser determinada qual a maior massa que a garra aguenta.

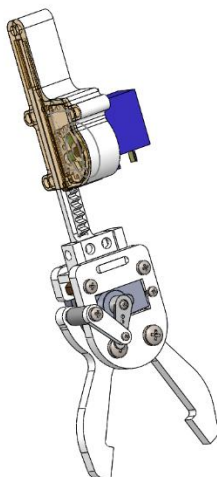


Figura 0-1 Garra Mecânica, Fonte: Próprio Autor

Antes de tudo, é necessário que se saibam as medidas entre os centros das juntas, os ângulos e o torque dos servos motores. Uma vez reunidas essas informações, basta fazer uma análise de torque, primeiramente por substituir os valores:

$$\tau = Fr \sin \theta \quad (2)$$

$$2,5kgfcm = 1,3cm.F.\sin 65 \quad (3)$$

$$F = 2,122 kgf \quad (4)$$

O conector irá transferir essa força para o menor lado da garra.

$$\tau = 2,12 \text{ kgf} \sin 15 \quad (5)$$

$$\tau = 0,549 \text{ kgf cm} \quad (6)$$

E enfim fazem-se os cálculos para determinar a força máxima sobre a carga.

$$0,549 \text{ kgf} = 3.6 * F \quad (7)$$

$$F_N = 0,153 \text{ kgf} \quad (8)$$

Após consultar o manual da protec, adotamos como coeficiente de atrito entre a bola de borracha a ser levantada como carga e a superfície da garra em ABS $\mu = 0,75$. Já que a bola sofrerá força de atrito em dois lados:

$$F_{at} = \mu * F_N * 2 \quad (9)$$

$$F_{at} = 0,229 \text{ kgf} \quad (10)$$

Tendo assim uma resultante equivalente a:

$$F_N - F_{at} = F_R = -0,076 \quad (11)$$

Com o resultado negativo tem-se certeza de que a força resultante está direcionada para cima, ou seja, a bola não irá cair. Fazendo-se uma aproximação pode-se concluir que o peso máximo que a garra consegue levantar é de 228 g.

Diante disso deve ser verificado se a junta prismática aguentará levantar tal peso. O peso da garra mais o peso da carga é igual a 274 g. Para calcular a força tangencial real na cremalheira usa-se:

$$F_{vr} = m(g + a) \quad (12)$$

Onde:

F_{vr} : Força vertical real

m : massa

a : aceleração vertical

g : aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

Adotou-se fator de segurança 1.5, e modificando a aceleração angular do servo motor para linear fazendo um processo que será explicado posteriormente, tem-se como aceleração linear da cremalheira controlada pelo servo motor sg90 de $0,551 \text{ m/s}^2$, então os seguintes cálculos devem ser feitos:

$$M_t = \frac{dp * F}{2} \quad (13)$$

$$25 \text{ kgfmm} = \frac{22,31 * F}{2} \quad (14)$$

$$F = 2,241 \text{ kgf} \quad (15)$$

Dividindo o valor pelo fator de segurança tem-se que a força a ser levantada equivale a:

$$F_{vr} = 1,494 \text{ kgf} \quad (16)$$

Tendo agora como incógnita apenas a massa conclui-se que:

$$m = 0,144 \text{ kg} \quad (17)$$

Como a garra tem massa de 47g, a carga pode ter massa máxima de 97g.

4.1.2 Braços

Nas análises dos braços verificam-se as tensões sobre esses, para isso foi usado o recurso de simulação do Solidworks 2017. Todos os materiais quando submetidos a um carregamento que provoque uma tensão maior que sua resistência mecânica se rompem. Porém, antes de fraturar, a diferença dos materiais frágeis, os materiais dúcteis “cedem”, acontecendo um processo denominado deformação plástica do material.

O software usa o critério de tensão von Mises, que é baseado na teoria de von Mises-Hencky, também conhecida como teoria da energia de cisalhamento ou teoria da energia de distorção máxima. Essa teoria afirma que o material dúctil começa a escoar nos locais onde a tensão de von Mises for igual ao limite de tensão. O Solidworks divide a peça estudada em cores, azul os locais que sofrem

tensões mínimas, em verde tensões medias, e em vermelho tensões críticas, ou seja, locais que estão sujeitos a fraturas.

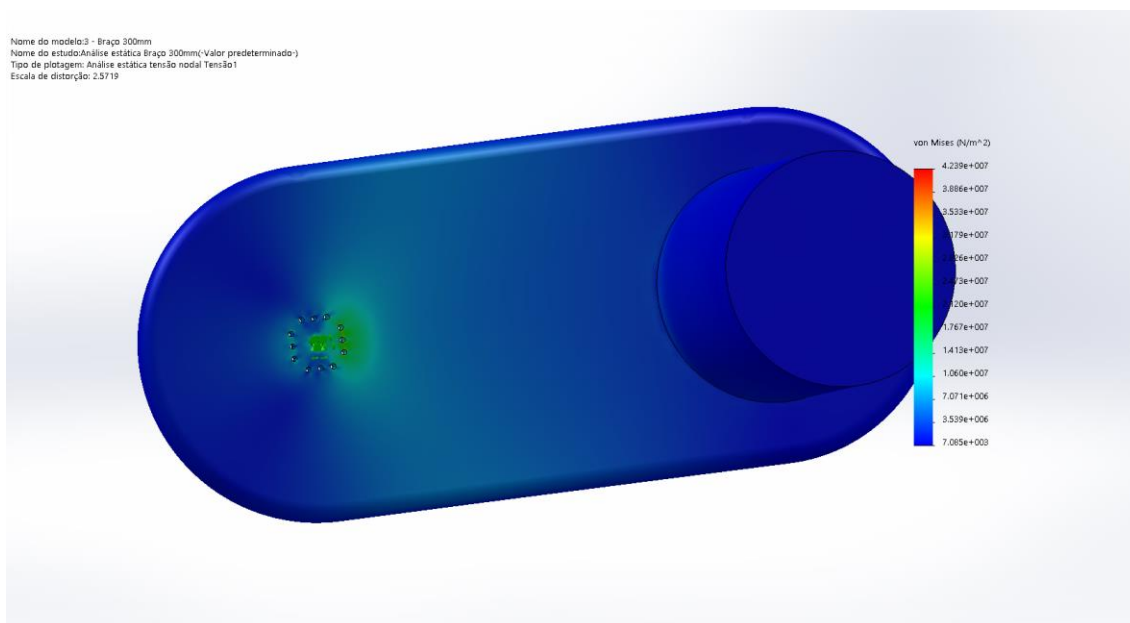


Figura 0-2 Análise das tensões atuantes no segundo braço.

Foi verificado que em nenhum lugar a peça sofre tensões críticas ao carregar o conjunto junta prismática e garra e a carga. Portanto as dimensões do braço são admissíveis.

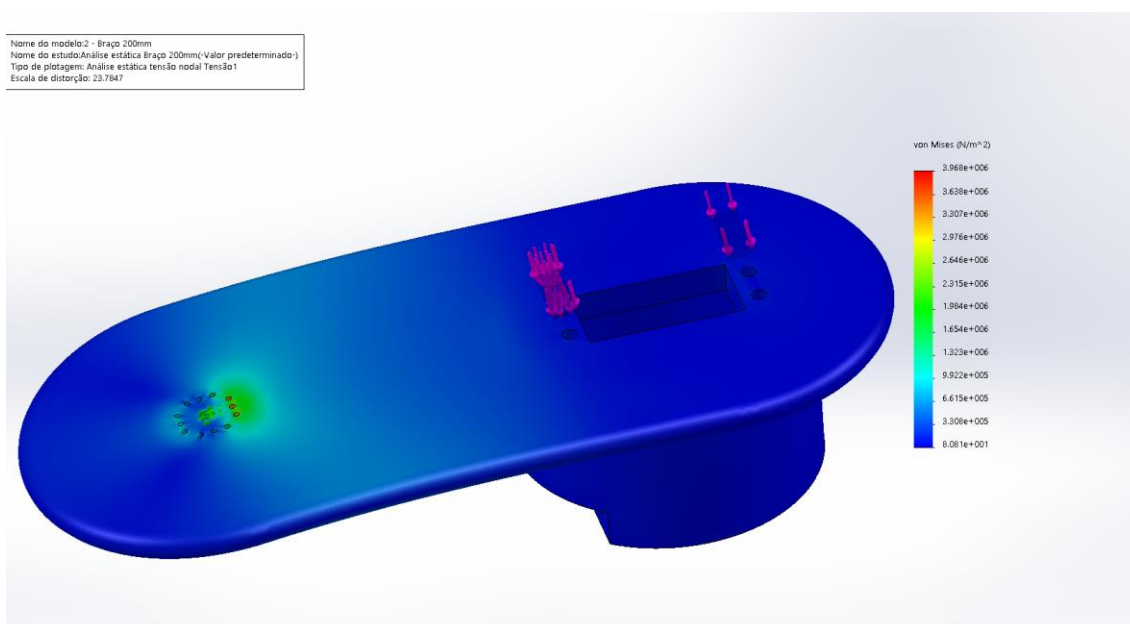
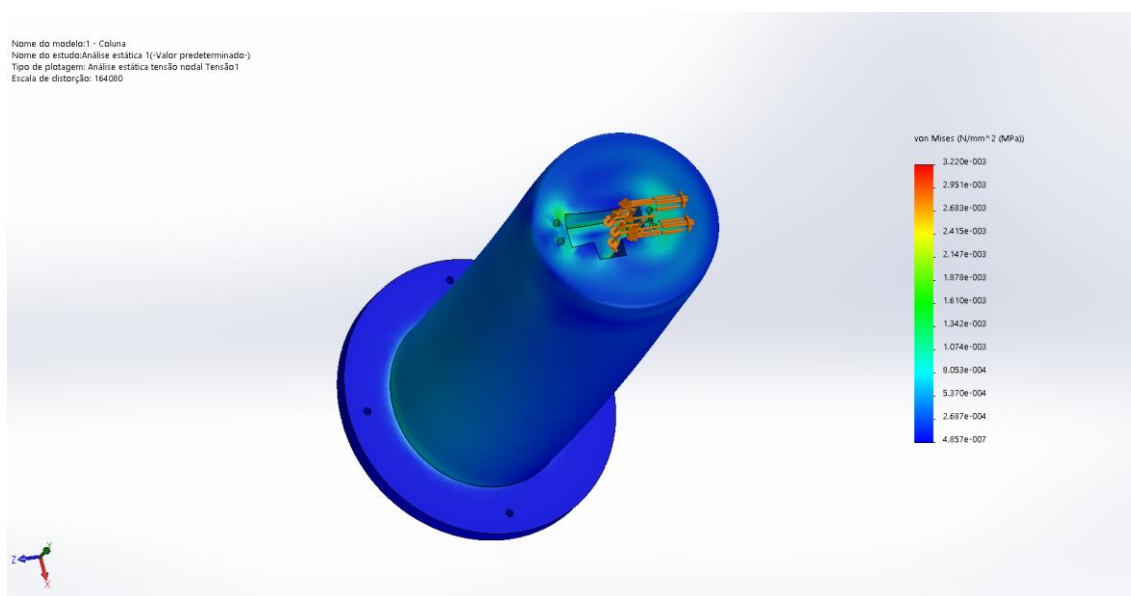


Figura 0-3 Análise de tensões atuantes no primeiro braço

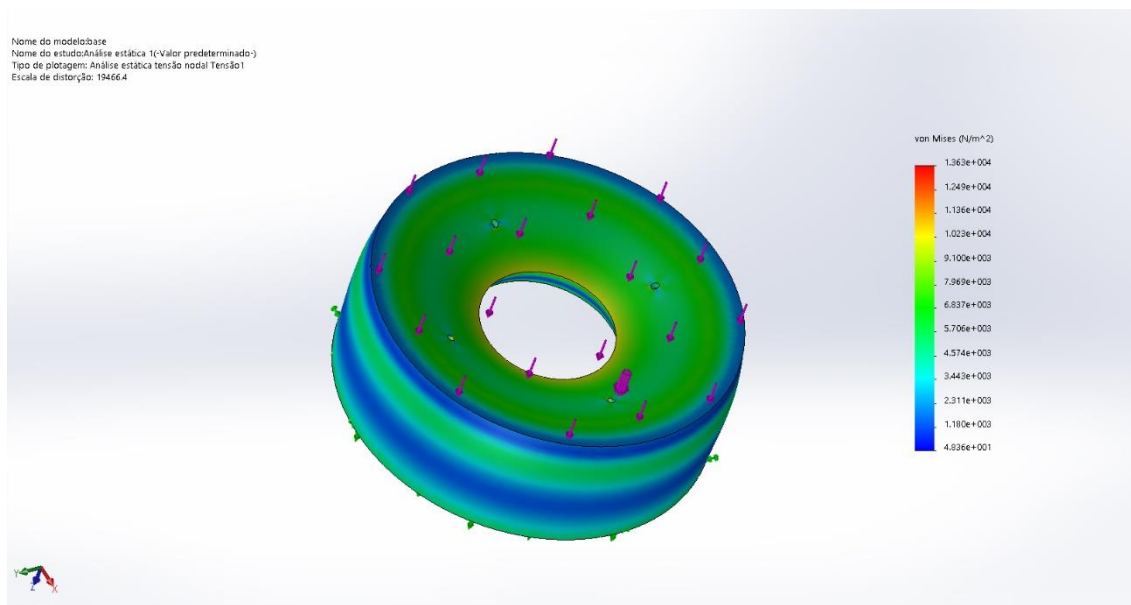
A mesma situação foi verificada no primeiro braço, tornando todas suas dimensões admissíveis para o projeto.

4.1.3 Coluna e Base

A coluna está sujeita a um esforço de flambagem, forçando-a a entortar, e também há as tensões do local onde o servo motor está apoiado.



Foi verificado que pontos muito pequenos do local onde o servo motor está apoiado a tensão é muito próxima da tensão crítica, no entanto por serem locais pequenos isso não provocará nenhuma fratura.



Na base as mesmas condições foram verificadas e determinou-se que as dimensões desta são admissíveis para o projeto.

4.2 Dinâmica do Robô

O objetivo dos cálculos dinâmicos é determinar qual o torque – momento angular – necessário para os motores nas juntas, girarem os braços. Para isso existem alguns recursos que podem ser usados, como por exemplo, os métodos da mecânica de Euler-Lagrange, a de Newton-Euler ou o método de Krane.

4.2.1 Torques das Juntas

As fórmulas utilizadas nesse projeto para determinar o torque em cada junta foram deduzidas a partir do método Lagrangiano [5]. A derivação é matematicamente intensiva e faz uso das matérias de cálculo 1 e cálculo 2, portanto estando num nível acadêmico superior a dos autores desse projeto, buscou-se a orientação do professor Avilmar Silva que aconselhou o uso da fórmula a ser apresentada. A dedução dessa pode ser encontrada na referência [5].

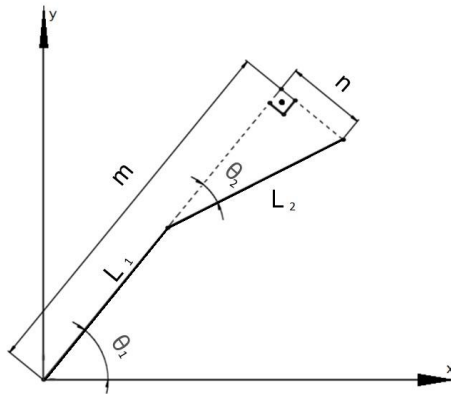


Figura 3.1 – Modelo SCARA para o cálculo da dinâmica

Após calcular o Lagrangiano que é a diferença entre as energias cinética e potenciais do sistema:

$$L = K - P \quad (18)$$

As equações dos torques são dadas por:

$$\tau_1 = \ddot{\theta}_1 \left(\frac{1}{2} I_A + \frac{1}{2} I_D + \frac{1}{2} m_2 L_1^2 + m_2 L_1 r_2 c_2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \right) + \ddot{\theta}_2 \left(\frac{1}{2} I_D + m_2 L_1 r_2 c_2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \right) \quad (19)$$

$$\tau_2 = \ddot{\theta}_2 \left(\frac{1}{2} I_D + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \right) + \ddot{\theta}_1 \left(\frac{1}{2} I_D + m_2 L_1 r_2 c_2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \right) \quad (20)$$

Variáveis:

τ_1, τ_2 : Torques da primeira e da segunda junta;

$\ddot{\theta}_1, \ddot{\theta}_2$: Acelerações angulares da primeira e da segunda junta;

L_1, L_2 : Comprimentos do primeiro e do segundo braço;

I_A, I_D : Momentos de inércia em relação aos eixos de rotação;

m_1, m_2 : Massas do primeiro e do segundo braço;

r_2 : Distância do eixo de rotação do segundo braço até seu centro de massa

c_2 : Cosseno do ângulo θ_2

Fica claro por essas equações que o torque depende da aceleração, da massa, dos tamanhos dos braços, dos momentos de inércia bem como da posição do centro de massa. A construção e montagem das peças e dos braços torna quase impossível calcular os momentos de inércia analiticamente. Contudo, com o uso do SolidWorks 2017, software usado para a modelagem e montagem do manipulador SCARA-D, é possível obter os valores dos momentos de inércia dos braços relativos

ao seu eixo de rotação e também da distância do eixo de rotação até seu centro de massa.

Antes de prosseguir devemos determinar as acelerações angulares dos servos motores que irão movimentar o braço. A velocidade determinada na programação é para que a cada 15 milissegundos os servos motores movimentem-se 1 grau. Tal velocidade angular equivale a $1,164 \text{ rad/s}$ que em rpm tem o valor de $11,111 \text{ rpm}$.

Diante disso pode-se calcular a potência que o servo motor exercerá no sistema pela fórmula aprendida durante o curso técnico de mecatrônica:

$$M_t = \frac{716200 \text{ kgf mm rpm} * Pot}{CV * Rot} \quad (21)$$

Substituindo-se os valores de torque dos servos que rotacionarão os braços e de rotação:

$$110 \text{ kgf mm} * CV * 11,111 \text{ rpm} = 716200 \text{ kgf mm rpm} * Pot \quad (22)$$

$$Pot = 0,002 CV = 1,256 W \quad (23)$$

Pode-se agora igualar a potência à energia cinética do sistema pelo tempo. Já que as velocidades e acelerações angulares de ambos os servos serão as mesmas, o cálculo será aplicado apenas ao pior caso, que é o movimento da primeira junta em conjunto com o movimento da segunda junta. No processo para se encontrar o Lagrangiano foi encontrada a energia cinética de todo o sistema do manipulador. Sua dedução pode ser verificada na referência [5].

$$K = \dot{\theta}_1^2 \left(\frac{1}{2} I_A + \frac{1}{2} I_D + \frac{1}{2} m_2 L_1^2 + m_2 L_1 r_2 c_2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \right) + \dot{\theta}_2^2 \left(\frac{1}{2} I_D + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \right) + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \left(\frac{1}{2} I_D + m_2 L_1 r_2 c_2 + \frac{1}{2} m_2 L_2^2 \right) \quad (24)$$

Substituindo-se os valores dos momentos de inércia, massas, comprimentos e velocidades angulares tem-se: $E_C = 0,030 J = 29,577 \text{ Nmm}$

Diante disso:

$$Pot = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (25)$$

Portanto $\Delta t = 0,024 \text{ s}$.

Para calcular a aceleração deve-se dividir a variação de velocidade pela variação de tempo:

$$\ddot{\theta} = \frac{\Delta \dot{\theta}}{\Delta t} \quad (26)$$

Onde:

$\ddot{\theta}$: aceleração angular

$\Delta \dot{\theta}$: variação da velocidade angular

Δt : variação do tempo

Finalmente chega-se ao valor da aceleração angular:

$$\ddot{\theta} = 49,372 \text{ rad/s}^2 \quad (27)$$

Com a aceleração angular determinada basta substituir os valores das variáveis nas fórmulas dos torques.

Variável	Valor	Unidade de Medida
I_A	2,23	g.m^2
I_D	3,34	g.m^2
m_1	0,221	kg
m_2	0,344	kg
$\dot{\theta}_1$	49,372	rad/s^2
$\dot{\theta}_2$	49,372	rad/s^2
L_1	0,130	m
L_2	0,130	m
r_2	0,083	m
$\cos \theta_2$	1	-

Tabela 1: Valores das unidades

Torque	Módulo do Máximo [N.m]	Módulo do Máximo [kgf.cm]
τ_1	0,847	8,634

τ_2	0,465	4,742

Tabela 2: Resultados dos torques

A escolha por esse método ao invés da mecânica clássica pode ser rapidamente

Justificada por teste. A seguir uma resolução do mesmo problema de torque, usando porém a segunda Lei de Newton.

4.2.2 Torques pela Mecânica Clássica

Considerando-se uma força sobre uma partícula que provocará um movimento angular, então:

$$\tau = Fr = mar = mr(r\alpha) = (mr^2)\alpha \quad (28)$$

Ou seja:

$$\tau = I \alpha \quad (29)$$

Onde I é o momento de inércia.

Para um caso onde consideram-se N partículas sob ação de uma força girando em torno de um eixo, teremos um torque associado à essa força, onde:

$$\vec{\tau} = \sum_{i=1}^N \tau_i = \sum_{i=1}^N \vec{r}_i \vec{F}_i \quad (30)$$

$$\tau = \sum r_i F_i = \sum r_i m_i a_i = \sum r_i m_i (r_i \alpha) = \sum (m_i r_i^2) \alpha \quad (31)$$

$$\tau = I \alpha \quad (33)$$

Onde:

I : momento de inércia

α : aceleração angular

Substituindo os valores dos momentos de inércia de cada braço e das acelerações angulares – mostrados na tabela anterior a esta – podem-se comparar os valores dos torques.

Torque	Módulo Máximo [N.m]	Módulo Máximo [kgf.cm]
τ_1	0,274	2,788
τ_2	0,165	1,681

Tabela 3: Torque por mecânica clássica

A média do erro relativo percentual do valor dos torques é maior que 66%. Conclui-se que o uso de métodos como o de Euler-Lagrange ao invés da mecânica clássica é importante, pois os cálculos dos torques necessários para acelerar os braços não é apenas um caso para se aplicar as equações de torque, mas sim um problema dinâmico que requer uma solução dinâmica.

Após esses cálculos foram escolhidos os servos sg90 para a junta prismáticas e para a garra, e para as juntas dos braços os servos motores mg996r.

4.3 Cinemática de Robôs

A cinemática de um manipulador constitui-se do estudo das relações entre as posições, velocidades e acelerações dos seus elos. Para fazer uma análise completa faz-se necessário a utilização da álgebra linear para estabelecer as relações entre o referencial de origem e o referencial da extremidade do manipulador por meio de matrizes de transformação[1]. Para realizar tal tarefa, o conhecimento acadêmico é universitário, contudo como a configuração do braço robótico SCARA é relativamente simples e por esse trabalho ser de nível técnico serão feitos os estudos de cinemática relativos apenas as posições, podendo assim evitar as transformações lineares[2].

Quando o robô estudado tem vários graus de liberdade somente uma resolução analítica – como a que será apresentada a seguir – não é facilmente deduzida. Existem métodos alternativos, tal como o de matrizes de transformação anteriormente citado. As literaturas que se destacam para esses métodos são[1]:

- Transformações inversas (Paul et al., 1981)
- Matrizes duais (Denavit, 1956)

- *Quaternions* duais (Young & Freudestein, 1964)
- Métodos iterativos (Vicker et al., 1964)
- Abordagens geométricas (Lee & Ziegler, 1984)
- No entanto, em qualquer método têm condições de existência das soluções, sendo as mais importantes:
- O ponto do órgão terminal deve estar dentro do volume de trabalho
- Os limites físicos das juntas não devem ser excedidos

4.3.1 Cinemática Direta

Na cinemática direta, são conhecidas as variáveis das juntas sendo o objetivo obter as variáveis externas, ou seja, as coordenadas do órgão terminal em relação ao sistema de coordenadas de referência[1]. Essa tarefa será realizada geometricamente, desenvolvendo um conjunto de equações que se relacionem com a configuração do robô de tal forma que ao substituir as variáveis das juntas sejam obtidas as coordenadas que indicam a posição do órgão terminal. A f

Figura 1 ilustra o robô SCARA com dois graus de liberdade, desconsiderando a junta prismática.

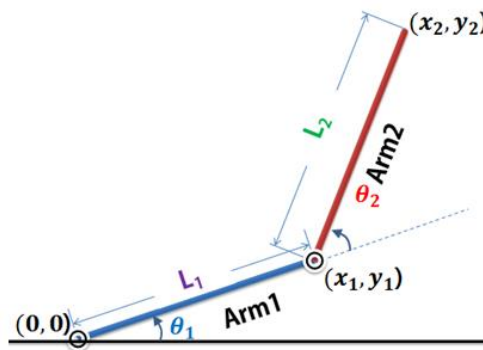


Figura 2-0-4 - Modelo de um robô SCARA planar

Como mostrado na equação (1) fazendo as projeções ortogonais dos braços nos eixos pode-se facilmente calcular a cinemática direta.

$$\begin{cases} x = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \\ y = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (34)$$

Em que a_1 representa o elo com inclinação θ_1 referente ao plano cartesiano e a_2 representa o segundo elo com inclinação θ_2 referente ao primeiro elo.

4.3.2 Cinemática Inversa

No problema da cinemática inversa dos robôs, são conhecidas as coordenadas da garra, desejando-se obter os ângulos das juntas. Do ponto de vista de controle o problema da cinemática inversa tem maior importância que o problema da cinemática direta, uma vez que a maioria das tarefas designadas a robôs demandam o posicionamento do órgão terminal[1].

Partindo das equações da cinemática direta anteriormente deduzidas podem-se isolar os valores dos ângulos em função de x e y .

$$\begin{cases} x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (35)$$

Elevando ambos os membros ao quadrado e somando-os:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 = & L_1^2 \cos^2 \theta_1 + L_1^2 \sin^2 \theta_1 + \\ & + L_2^2 \sin^2(\theta_1 + \theta_2) + L_2^2 \cos^2(\theta_1 + \theta_2) + \\ & + 2L_1L_2 \cos \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) + 2L_1L_2 \sin \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (36)$$

Colocando-se L_1^2 e L_2^2 em evidência, as somas dos quadrados dos senos e cossenos dos mesmos ângulos será igual a 1. Colocando-se também em evidência $2L_1L_2$ e fazendo a adição dos ângulos pelo cosseno e seno obtêm-se:

$$x^2 + y^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 [\cos \theta_1 (\cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2) + \sin \theta_1 (\sin \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_2 \cos \theta_1)] \quad (37)$$

Usando a propriedade distributiva chega-se a:

$$x^2 + y^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 (\cos^2 \theta_1 \cos \theta_2 - \cos \theta_1 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + \sin^2 \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_1) \quad (38)$$

Diante desse caso, dois monômios que se anulam podem ser cancelados e colocando-se em evidência $\cos \theta_2$ a soma do seno e do cosseno do mesmo ângulo será igual a 1.

$$x^2 + y^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 \cos \theta_2 \quad (39)$$

Isolando-se θ_2 temos:

$$\theta_2 = \pm \arccos \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \quad (40)$$

Pode ser verificada a existência de dois possíveis resultados para o ângulo da segunda junta.

Para o θ_1 :

$$\theta_1 = \alpha - \beta \quad (41)$$

Sendo que:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{y}{x} \right) \quad (42)$$

$$\beta = \arctan \left(\frac{m}{n} \right) \quad (43)$$

$$m = L_2 \sin \theta_2 \quad (44)$$

$$n = L_1 + L_2 \cos \theta_2 \quad (45)$$

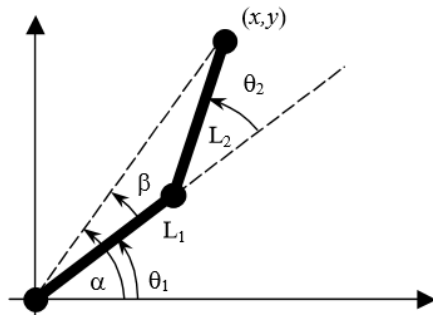


Figura 0-5 Projeções para theta 1

Assim para θ_2 positivo, tem-se θ_1 igual a:

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{y}{x} \right) - \arctan \left(\frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2} \right) \quad (46)$$

E para θ_2 negativo tem-se θ_1 igual a:

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{y}{x} \right) + \arctan \left(\frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2} \right)$$

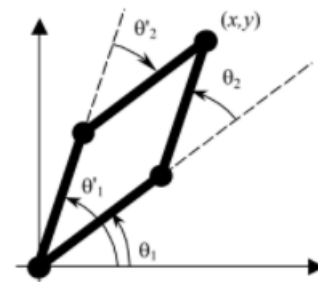


Figura 0-6 Resultados possíveis

(47)

As equações da cinemática inversa são muito usadas para tarefas como planejamento de trajetórias

5. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Utilizou-se como tecnologia de *hardware* Micro Servos SG90, Servos Motores Mg996, um Arduino Micro® e uma fonte de alimentação externa de 6VCC - 2A. Os *softwares* utilizados foram: Microsoft Visual Studio C# 2017®, SolidWorks2017®, e IDE (Ambiente de desenvolvimento integrado) do Arduino®.

A fonte de alimentação é responsável por transformar os 110 ou 220 Volts da rede elétrica em 12V, 9V, 6V, 5V, 3,3V fornecidos nas diferentes saídas, além de atenuar os picos de tensão e filtrar a corrente. Uma fonte chaveada é uma unidade de fonte de alimentação eletrônica que incorpora um regulador chaveado, ou seja, um circuito controlador interno que chaveia a corrente, ligando e desligando rapidamente, de forma a manter uma tensão de saída estabilizada. A fonte escolhida para o projeto é a chaveada, bivolt e possui 6 Volts e 2 Amperes na saída.

O Arduino Micro® é uma placa de prototipagem baseada no microcontrolador ATmega32U4, desenvolvido e produzido na Itália em parceria com Adafruit. Fisicamente bastante compacto, este Arduino® é ideal para a montagem de projetos de pequeno porte ou para instalação fácil em *protoboards* (matrizes de contato). Utilizando o conversor USB-Serial integrado à placa, o Arduino® pode se comunicar com computadores e outros dispositivos que possuem portas USB, permitindo aos usuários realizarem atualizações no *firmware* somente com um clique, sem necessidade de mexer fisicamente na placa. Esse processo é o que torna o Arduino® prático, eficiente e versátil para o desenvolvimento de projetos.

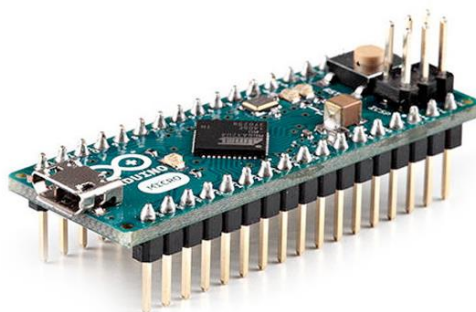


Figura 3: Arduino Micro®

Servos Motores RC (*Radio Control*) são servos pequenos e baratos utilizados para controle de rádio ou para projetos robóticos de baixa escala. São conectados através de uma comunicação de três fios padrão: dois fios para uma fonte de

alimentação CC e um para controle por PWM (Modulação por largura de pulso). Cada servo tem uma conexão separada e sinal PWM do receptor do controlador. Este sinal é facilmente gerado pela eletrônica simples ou por microcontroladores, como o Arduino®. Isto, juntamente ao seu baixo custo, tem levado à sua ampla adoção para robótica e computação física. Os Servos motores utilizados no projeto são o MG996 e o SG90, os dois da Tower Pro.

O SolidWorks® é um *software* de CAD (desenho assistido por computador), comercializado pela Dassault Systèmes S.A., e suas versões funcionam no Windows.

O SolidWorks® é baseado em computação paramétrica, criando formas 3D a partir de formas geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido ou superfície tipicamente começa com a definição de topologia em um esboço 2D ou 3D. A topologia define a conectividade e certos relacionamentos geométricos entre vértices e curvas, no esboço externos ao esboço.

O Visual Studio®, desenvolvido pela Microsoft, é bastante utilizado por programadores. O ambiente de desenvolvimento Microsoft Visual Studio C# 2017® contém todas as ferramentas necessárias para criar aplicativos em C#. Ferramentas como: arrastar e soltar um componente e coloração de código, verificação de sintaxe ajuda com a criação de aplicações. Utilizou-se o C# para o desenvolvimento de uma interface entre o aluno e o robô.

5.1 PROJETO ELÉTRICO-ELETRÔNICO

O microcontrolador ATmega32U4 possui 20 pinos para serem utilizados como entradas e saídas digitais, dos quais 12 podem ser utilizados como entradas analógicas e outros 7 como saídas PWM (Modulação por largura de pulso). Destes 7 pinos PWM, 4 serão utilizados neste projeto para realizar o controle dos servos motores que movimentarão o braço robótico.

O Arduino Micro® será alimentado pela porta micro USB, por onde também receberá as coordenadas de trabalho dos servos enviadas do programa quando digitada pelo aluno no computador. Os servos motores possuem faixa de alimentação entre 4,8 – 7,2 Volts, adotando-se 6 Volts para

que os servos trabalhem com maior torque e intensidade de corrente elétrica, consequentemente obtendo maior precisão dos servos quando submetidos a esforços externos.

Escolheu-se o Servo MG996 por apresentar um torque maior (11 kgf.cm - 6,0V), assim aplicado onde há maiores esforços (nas duas juntas rotativas do braço robótico). Já o Servo motor SG90 que possui um toque bem menor (1,6 kgf.cm - 6,0V), foi escolhido para a garra e junta prismática.

A fonte de alimentação 6 Volts apresentará uma corrente de 2A, valor aproximado obtido em testes com a fonte DC POWER SUPPLY MPL-3303M da Minipa, em que basicamente ao dar uma tensão uma certa intensidade de corrente é requerida da fonte pelo circuito, e esse valor é indicado na fonte.



Figura 4: Fonte DC MPL-3303M da Minipa

Além do mais, a fonte externa de 6VCC - 2A precisará de um ajuste, pelo fato de ela vir com um *plug* em suas extremidades que impede que os fios de alimentação positivo (+) e negativo (-) encaixem no *protoboard*. Para isso será necessário fazer o seguinte procedimento:

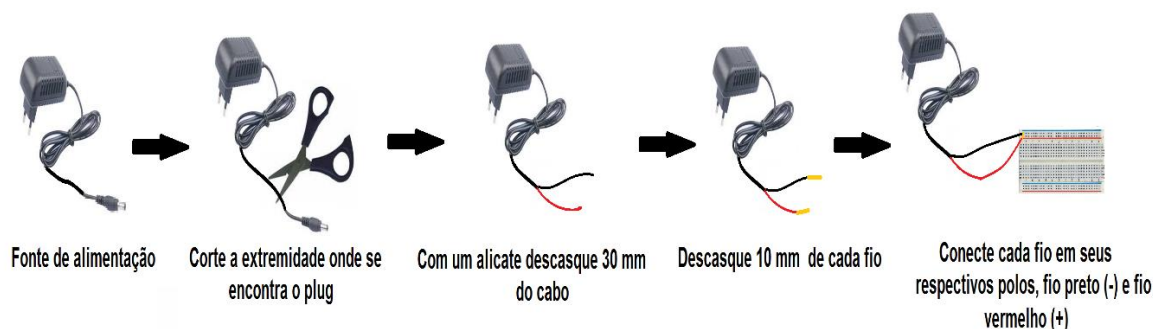


Figura 5: Ajuste da fonte

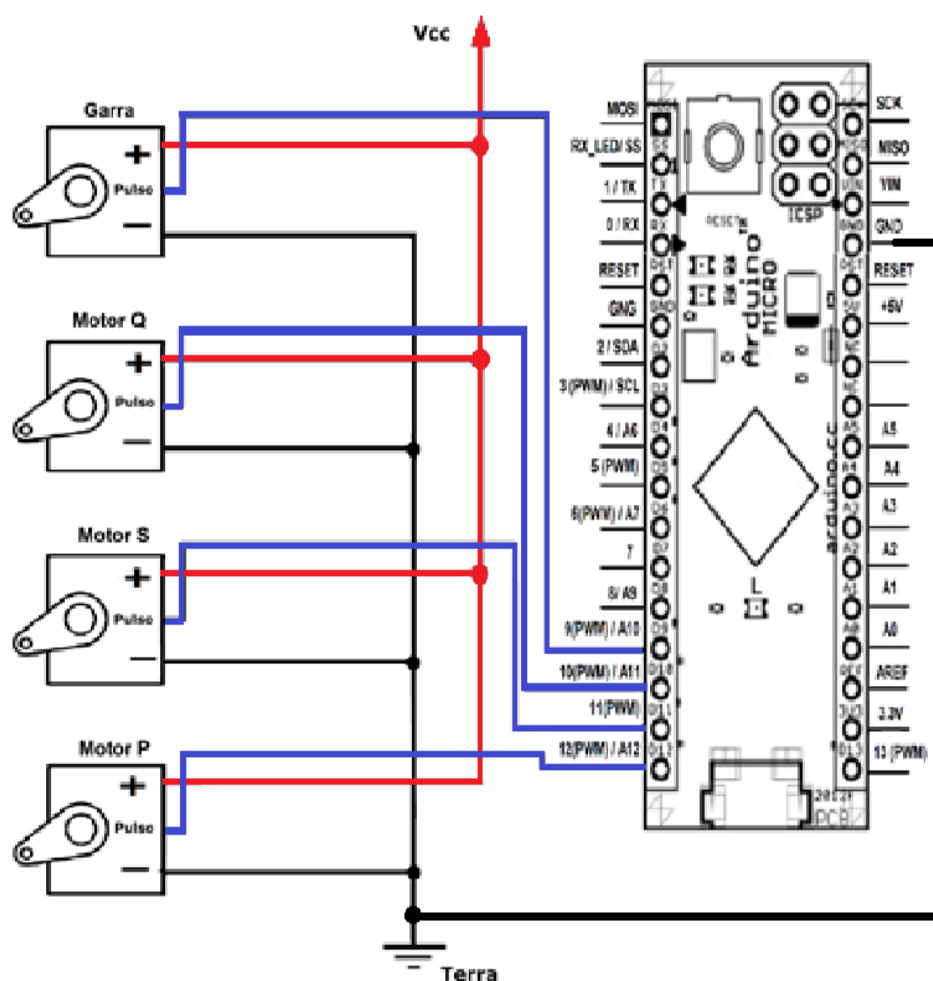


Figura 6: Esquema Elétrico

A legenda abaixo refere-se ao esquema elétrico da figura x:

Garra e Motor Q – Servo Motor SG90

Motor S e Motor P – Motor SG996

Arduino Micro® - Microcontrolador

Pino 9 (PWM) – Conectado ao pulso da Garra

Pino 10 (PWM) – Conectado ao pulso do Motor Q

Pino 11 (PWM) – Conectado ao pulso do Motor S

Pino 12 (PWM) – Conectado ao pulso do Motor P

Observação: conectou-se o terra do Arduino® com o terra da fonte para que eles tenham a mesma referência, ou seja, tornam-se equipotentes. Assim, quando o Arduino® enviar pulsos de PWM para o servo motor que estará conectado a uma fonte externa o servo funcionará corretamente.

5.2 COMPONENTES FABRICADOS POR OUTRAS EMPRESAS

Especificações SG90

- Peso: 9 gramas.
- Tensão de Operação: 3,0 a 7,2V.
- Torque Máximo: 1,2 kgf cm (4,8V), 1,6 kgf cm (6,0V).
- Corrente Máxima: 1,6 A (6,0V).
- Dimensões: 22,2 x 11,5 x 30 milímetros

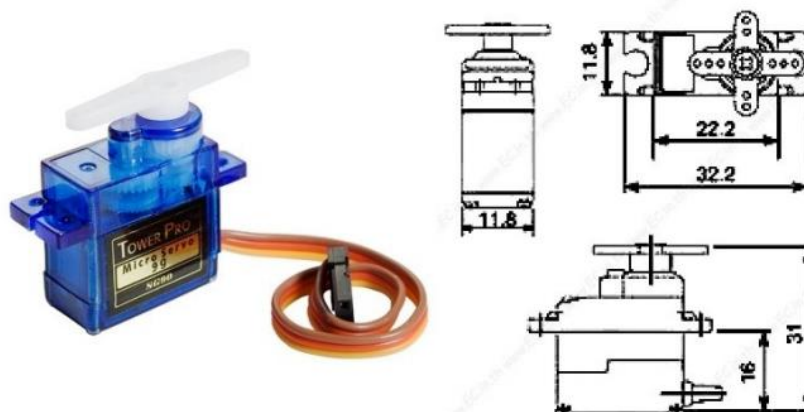


Figura 7: Servo Motor SG90

Especificações MG996

- Peso: 55 gramas.
- Tensão de Operação: 4,8 a 7,2V.
- Torque Máximo: 9,4 kgf cm (4,8V), 11 kgf cm (6,0V).
- Corrente Máxima: 2,5 A (6,0V).
- Dimensões: 40,7 x 19,7 x 42,9 milímetros

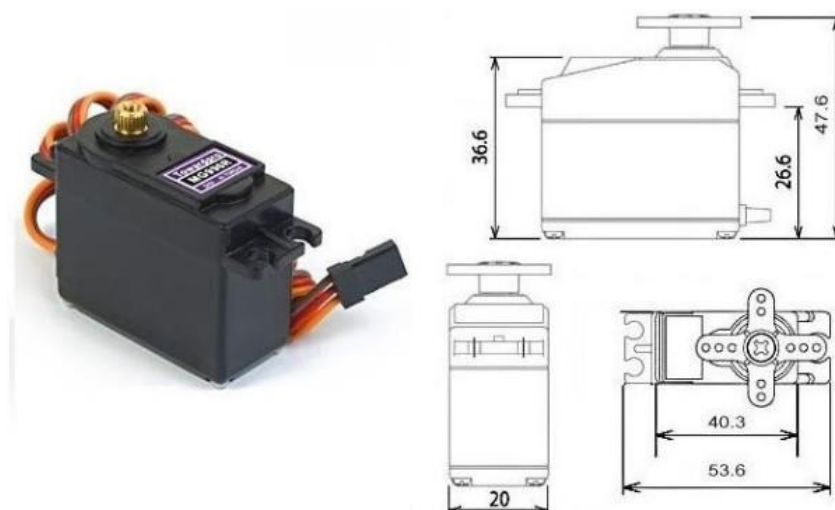


Figura 8: Servo MG996

Especificações Fonte de Alimentação Chaveada 6 V – 2 A Bivolt

-Modelo: CP-0602

-Entrada: 110 a 220 VCA 50/60Hz

-Saída: 6VCC - 2A



Figura 9: Fonte de Alimentação Chaveada 6V – 2A Bivolt

5.3 PROGRAMAÇÃO FIRMWARE

O *firmware*, também conhecido por “software embarcado” é um conjunto de instruções operacionais que são programadas diretamente no hardware de equipamentos eletrônicos. No projeto, o *firmware* desenvolvido utiliza o padrão Serial para se comunicar com o computador, e utiliza uma biblioteca desenvolvida e disponibilizada gratuitamente pelos criadores do Arduino® para realizar o controle dos servos.

5.3.1 Comunicação Serial

A comunicação serial é usada para comunicar o computador a outros dispositivos, como o teclado e mouse, e transferir dados bit a bit, em sequência. Em contrapartida, na comunicação paralela os dados podem ser enviados simultaneamente, sendo usada na comunicação de impressoras por exemplo. Cada bit representa uma condição de voltagem, 1 (ligado) ou 0 (desligado), em um dos pinos da porta serial para envio ou recebimento de dados.

A velocidade de transmissão de dados seriais costuma aparecer em “Baud rate” (taxa de transmissão) ou em “bps” (bits por segundo). Isto simplesmente representa quantos zeros e uns podem ser enviados por segundo.

O microcontrolador ATmega32U4 possui internamente um periférico UART (Receptor/ Transmissor Assíncrono Universal) que é utilizado para receber e transmitir os dados em série. Este periférico de comunicação utiliza níveis TTL (Lógica transistor-transistor). Em uma comunicação serial de nível TTL os limites sempre serão 0V e VCC. No Arduino®, o VCC geralmente é de 5V ou 3,3V, em que o bit “1” é representado por VCC e o bit “0” é representado por 0V.

6. Projeto de Software

O objetivo do software desenvolvido é controlar o posicionamento do manipulador SCARA-D. Podendo receber como entradas as posições de destino e o tipo de trajetória: interpolação linear ou sem interpolação.

O software foi dividido em duas partes, uma como interface responsável pelos cálculos, elaborada em c#. Outra responsável pelo controle e acionamento dos servos motores, implementada na linguagem nativa do microcontrolador usado.

6.1 Software de Controle do Manipulador

O software de controle do manipulador foi desenvolvido na linguagem C#, com o auxílio do ambiente de desenvolvimento Visual Studio 2017 da Microsoft, e algumas bibliotecas para a comunicação serial com o Arduino e para a simulação dos movimentos do robô. Por ter simulação, o software não precisa necessariamente estar conectado ao Arduino para ser executado, o Arduino pode ser conectado em qualquer momento do processo. A figura 4.1 mostra a interface do software.

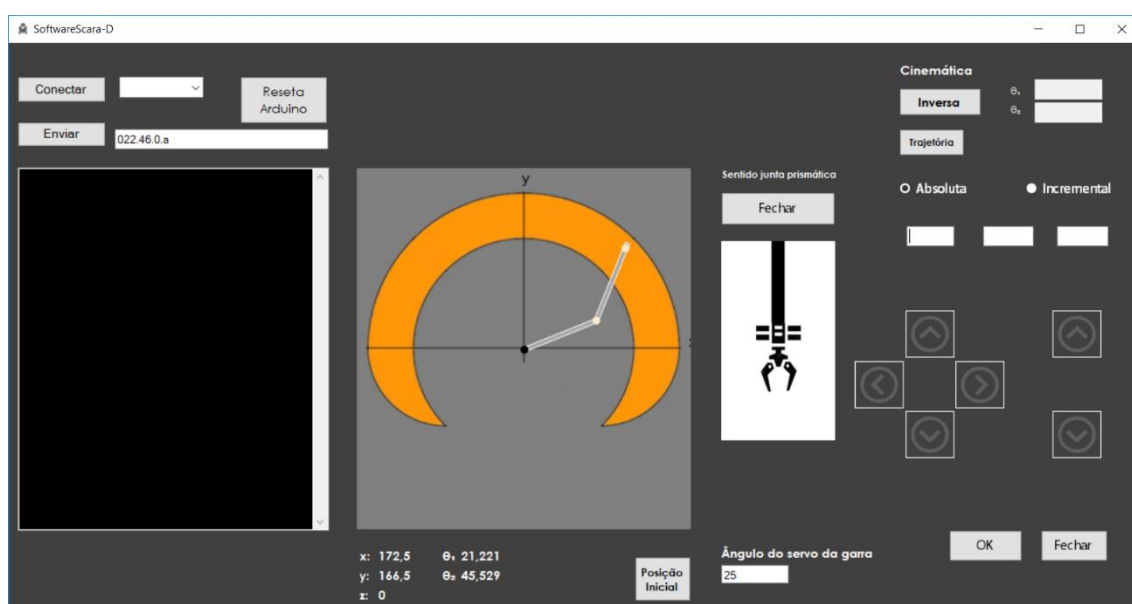


Figura 0-1 - Interface do Manipulador

6.1.1 Interface Gráfica

Logo a direita do botão “Conectar” ficam indicadas as portas seriais disponíveis para fazer conexão, assim podendo conectar com o Arduino. A direita do botão “Enviar” aparecem os códigos que são enviados na porta serial conectada para que o Arduino interprete. Na área preta são escritos os retornos do Arduino, como os ângulos e coordenadas. A direita tem o simulador do robô, nele é possível acompanhar a movimentação do manipulador, sempre dentro da área de trabalho. Abaixo do simulador encontram-se os indicadores de coordenadas e de ângulos. Logo a direita do simulador de movimentação planar está o simulador da junta prismática e da garra.

Na parte superior direita da interface é possível mudar as entradas de cinemática inversa, para cinemática direta, e vice-versa. Abaixo desse botão encontra-se o botão de trajetória, que determinará se o percurso que o manipulador fará entre dois pontos será um percurso livre ou em linha reta. Logo abaixo é possível colocar as entradas das coordenadas, sejam elas absolutas ou incrementais. No caso de ser incremental é possível fazer o controle do posicionamento da garra por meio dos botões com setas, apenas devendo determinar qual a variação nos eixos ao clicar uma vez em algum dos botões com setas. As coordenadas x e y do SCARA-D podem também ser controladas diretamente no simulador ao pressionar o botão esquerdo do mouse, contanto que esteja dentro da área de trabalho, área laranja.

6.1.2 Arduino

O programa do Arduino possui as mesmas configurações lógicas do programa em C# - que serão aprofundadas posteriormente - pois após vários testes constatou-se que não é possível atualizar o Arduino a cada passo de uma trajetória que o simulador realiza, portanto primeiro o simulador faz a movimentação, e somente depois de ter terminado, envia os dados para o Arduino movimentar o robô.

O software em C# envia um dado contendo as coordenadas e ângulos - dependendo do caso – separadas por um ponto. Então quando o Arduino recebe esse dado, o separa para que possa interpretar cada coordenada e ângulo.

6.1.3 Lógica de programação

Os nomes das funções citadas a seguir encontram-se no programa C#, no entanto, as mesmas logicas são utilizadas no programa em C do Arduino.

Uma das funções mais importantes do programa é a “*moveTo()*” pois é a que faz a cinemática inversa, ou seja, dadas as coordenadas em que a garra deve se encontrar, essa função calcula quais ângulos as juntas devem ter. Em conjunto com essa, outra função importante é a “*MoveVelocities()*”, pois ela compara as variações dos ângulos, do ponto em que a garra se encontrava para o novo ponto escolhido pelo usuário, assim decidindo o sentido para o qual cada junta vai girar e por quanto tempo. A cada grau que as juntas se deslocam, a função *MoveVelocities()* atualiza a imagem do simulador, dando o efeito de animação na interface. Quando as juntas terminam de se movimentar, ou seja, quando a rotina da função *MoveVelocities()* termina, uma cadeia de caracteres representando os novos ângulos do manipulador é enviada ao Arduino, que dividirá a cadeia e definirá a qual caso as variáveis enviadas pertencem. Diante disso o Arduino utiliza a mesma lógica comparando as variações dos ângulos, no entanto ao invés de atualizar o simulador, é atualizada a posição real do robô.

Ambas as funções trabalham em conjunto na maioria dos casos do programa. No entanto cuidam apenas da movimentação planar, então uma função separada cuida da movimentação do eixo Z. Portanto quando o usuário digitar as coordenadas tridimensionais da posição do órgão terminal, acontece primeiro o deslocamento da junta prismática e depois o deslocamento das juntas. Tal configuração foi escolhida pois assim sendo torna-se possível deslocar a garra sobre um eixo apenas quando usados os botões com setas na disposição incremental.

Codificou-se uma função para movimentar a garra, no ato de abrir e fecha-la. Para a abertura da garra, o ângulo já foi definido e será sempre o mesmo, no entanto o usuário poderá escolher o ângulo para fechar a garra.

Seja no software em C# como no Arduino há uma lógica para interpolação linear. Portanto, nota-se que são casos diferente, e todos devem ser interpretados pelo Arduino. Para fazer tal tarefa, no final da cadeia de caracteres enviadas pelo software em C# está uma letra, que será diferente dependendo do caso. O programa do Arduino após dividir a cadeia de caracteres, compara as letras para saber a qual

caso a cadeia de caracteres pertence. Ao tomar essa decisão o robô começa sua movimentação.

Como as juntas são controladas por servos motores, a amplitude de rotação é de 180 graus por junta, no entanto se apenas um posicionamento for considerado, referente as equações (46) e (47) nem todos os pontos da área de trabalho são alcançáveis, para resolver esse problema foram determinadas posições positivas para o θ_2 na maioria dos casos, tornando-se negativas apenas quando o x for positivo e o y for negativo. Há alguns casos em que o x , o y e o θ_2 são positivos, mas a solução do θ_1 é negativa, então entre outras condições, na função *moveTo()* foi adicionada a condição de que se o θ_1 tiver um resultado negativo, o posicionamento do braço se invertirá, como mostrado na *Figura 0-3*.

Para qualquer entrada que a saída for nula, ou tiver resultado infinito – isso acontece quando a entrada é algum ponto fora da área de trabalho – o programa não faz nada além de mostrar um aviso para o usuário.

6.1.4 Planejamento de Trajetória

Trajetória é o percurso ou caminho que o órgão terminal faz para deslocar-se de um ponto a outro. Será abordada aqui o tipo de trajetória mais usada, a que percorre uma linha reta.

Os métodos para determinação da trajetória são: deslocamento ponto a ponto, deslocamento com velocidades fixadas, deslocamento com acelerações fixadas e movimento com B-spline.

Nesse projeto foi adotado o método de deslocamento ponto a ponto, que é caracterizado pelo fato de que no controle da trajetória apenas se levam em conta os pontos inicial e final da trajetória. Para isso foram programadas funções – seja no Arduino que no programa em C# - que determinam o percurso. Já que as condições para que o robô desloque a garra em linha reta, mostram que a extremidade do manipulador está num ponto do plano cartesiano, e deve ir até o ponto desejado pelo usuário. Pela geometria analítica é possível determinar a equação da reta que passa pelos dois pontos, então por uma análise de deslocamento em função do x para determinar a direção para qual a garra irá, uma função vai incrementando ou decrementando os valores de x , assim para cada x tem-se um y , e então as funções

moveTo() e *MoveVelocities()* são chamadas para movimentar o braço para cada ponto x e y encontrados, percorrendo um caminho reto.

Para evitar erros durante a execução da linha, foi adicionada ao programa uma função que calcula a distância do segmento a ser plotado à origem. Se essa distância for menor que o raio menor da área de trabalho, ou seja, existem pontos desse segmento fora da área de trabalho, o programa não faz nada além de alertar o usuário por meio de uma mensagem na tela.

7. CUSTO DO PROJETO

7.1 CÁLCULO DA MÃO DE OBRA

Parte Digital			
Desenvolvimento do (a)	Software utilizado	Tempo estimado (horas)	Mão de obra (R\$/h)
Firmware placa controladora	IDE Arduino	12	13,65
Interface	Microsoft Visual Studio C#	47	13,65
Parte Mecânica			
Desenho dos componentes	SolidWorks	15	13,65
Montagem Virtual		5	13,65
Custo da mão de obra:	R\$ 1078,35		

Tabela 3: Tabela de mão de obra

$$\text{Custo da mão de obra (R\$/h)} = \text{R\$ 1.800 (Salário mensal Junior)} \div 22 \text{ dias} \\ \div 6 \text{ horas} = \text{R\$13,65}$$

O custo da mão de obra por hora foi estimado com base em informações cedidas por um funcionário de uma empresa local, sendo assim:

$$1 \text{ hora} = \text{R\$13,65}$$

$$79 \text{ horas} = \text{R\$?}$$

Assim obteve-se 1078,35 reais como custo total da mão de obra (valor extraído do preço da hora (R\$13,65) em 79 horas.)

de obra:

$$100\% = 1078,35 \text{ reais}$$

$$5\% = ? \text{ reais}$$

O valor cobrado pela mão de obra será de: 54 reais

7.1.1 Cálculo do valor cobrado pela mão de obra

O *software* será gravado em um CD, contanto não há necessidade de cobrar o preço total da mão de obra para o comprador. Isso se dá pelo fato de a programação ser única para todos os Braços SCARA Didáticos, sendo produzida uma única vez e tendo apenas o gasto do trabalho do programador. Assim, estimou-se a cobrança de 5% do total do gasto da mão de obra.

7.2 CÁLCULO DO CUSTO DO PROJETO

De apenas um Braço SCARA Didático:

Preço total = taxa de 5% da mão de obra + Custo total dos materiais

Total do Projeto = 54 reais + 332,93 reais = 386,93 reais

ITEM	DESCRIÇÃO	QTD	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	FORNECEDOR
1	Servo Motor MG996	2 unid.	R\$ 29,99	R\$ 59,98	Mercado Livre
2	Micro Servo SG90	2 unid.	R\$ 9,79	R\$ 19,58	Mercado Livre
3	Arduino Micro	1 unid.	R\$ 35,62	R\$ 35,62	Baú da Eletrônica
4	Fonte de alimentação chaveada 6V-2A Bivolt	1 unid.	R\$ 19,00	R\$ 19,00	Mercado Livre
5	Jumper	14 unid.	R\$ 0,30	R\$ 4,20	Mercado Livre
6	Parafuso M4 x 35	4 unid.	R\$ 0,40	R\$ 1,60	CCP virtual
7	Parafuso M2 x 10	12 unid.	R\$ 0,03	R\$ 0,35	CCP virtual
8	Parafuso M3 x 16	2 unid.	R\$ 1,00	R\$ 2,00	Mercado Livre
9	Parafuso M1,6 x 5	4 unid.	R\$ 1,50	R\$ 6,00	Mercado Livre
10	Parafuso M4 x 16	2 unid.	R\$ 1,40	R\$ 2,80	Mercado Livre
11	Parafuso M3 x 25	1 unid.	R\$ 1,80	R\$ 1,80	Mercado Livre
12	Parafuso M3 x 8	4 unid.	R\$ 1,70	R\$ 6,80	Mercado Livre
13	Porca M3	2 unid.	R\$ 0,05	R\$ 0,10	Mercado Livre
14	Porca M2	2 unid.	R\$ 0,05	R\$ 0,10	Mercado Livre
15	Porca M4	4 unid.	R\$ 0,05	R\$ 0,20	Mercado Livre
16	Plástico ABS	1,8Kg	R\$ 96,00 (1Kg)	R\$ 172,80	Makerbot
			Custo Total:	R\$ 332,93	

Tabela 4: Tabela de matérias e preço

8. CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto é capaz de ajudar a aprendizagem de alunos de ensino técnico, uma vez que um robô de caráter originalmente industrial é trago para as bancadas de laboratórios. Por meio das coordenadas digitadas pelo aluno na interface, os dados são enviados para o Arduino que comanda os servos motores, que por sua vez giram, posicionando o braço nos pontos definidos e executando o trabalho solicitado (pegar um objeto por exemplo). Desta forma os discentes têm contato com a parte elétrica, programável e mecânica do Braço SCARA Didático, podendo adquirir maior conhecimento nas áreas de seu curso, além do custo ser acessível para as escolas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OLIVEIRA, M. R. N. S. (org.). Didática: Ruptura, compromisso e pesquisa. 2ª ed. Campinas/SP: Papirus, 1995.
 - <<http://www.roboticanaescola.com.br/> > Acesso em: nov. de 2017.
- <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-708731168-fonte-de-alimentacao-chaveada-6v-2a-bivolt-plugue-p8-_JM > Acesso em: jun. de 2017.
- <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/32679C566F4B9700862576A20051FE8F> > Acesso em: jun. de 2017.
- <<http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/04/firmware-o-que-e-e-como-atualizar.html> > Acesso em: out. de 2017.
 - <<http://blog.novaeletronica.com.br/circuito-ttl/> <acesso em ago. de 2017.
 - <<https://www.arduoeletro.com/arduino-micro> > Acesso em: abr. de 2017.
- <<https://www.filipeflop.com/produto/micro-servo-9g-sg90-towerpro/>> Acesso em: nov. de 2017.
 - <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/> <acesso em abr. de 2017>
- <<http://www.hardware.com.br/livros/hardware/fonte-alimentacao.html>> Acesso em: ago. de 2017.
- <<http://www.hardware.com.br/termos/fonte-de-alimentacao> > Acesso em: ago. de 2017.
- <<https://www.eleтроpecas.com/Produto/fonte-de-alimentacao-digital-simetrica-minipa-mpl-3303m> > Acesso em: ago. de 2017.
 - <http://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/Datasheet_Servo_SG-90.pdf > Acesso em: abr. de 2017.
- <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.megacomponentes.com.br/produto/047818/fonte-chaveada-copeco-cp0602-6v-2a&gws_rd=cr&dcr=0&ei=FPz6WZOqDMm2mwGZ6K7wDQ> Acesso em: nov. de 2017.
 - <<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1191/0900766b8119187a.pdf>> Acesso em: nov. de 2017.

- < http://fei.edu.br/sbai/SBAI1999/ARTIGOS/IV_SBAI_25.pdf> Acesso em: jun. 2017
 - <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/14934/1/2016_OtavioPellicanoMoreiraDeMello_tcc.pdf> Acesso em: Mar. 2017
- <<http://www.ece.ufrgs.br/~rventura/RoboticalIndustrial.pdf>> Acesso em: Mar. 2017
 - <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfbesAD/pmr2560-elementos-robotica-teoria-introducao-2006>> Acesso em: Mar. 2017
- <<http://2dofpenplotter.blogspot.com.br/2014/02/2-dof-articulated-pen-plotter-beng.html#more>> Acesso em: Mar. 2017
 - <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/11_rotacao.pdf> Acesso em: Abr. 2017
- <http://fics.edu.br/index.php/augusto_guzzo/article/view/193/285> Acesso em: Mar. 2017
 - <http://help.solidworks.com/2012/Portuguese-brazilian/SolidWorks/cworks/prot_vonm.htm?id=3abc3d3ea83d4d8fb9cc776007bd04da> Acesso em: Set. 2017

