



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



RAFAEL OLIVEIRA DEL PINO

RETROFIT DE MANIPULADOR ROBÓTICO INDUSTRIAL

Canoas, Dezembro de 2022

Retrofit de Manipulador Robótico Industrial

Rafael Oliveira Del Pino,
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)
ULBRA
Canoas/RS, Brasil
rafaeldelpino@rede.ulbra.br

João Daniel de Oliveira Klein,
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)
ULBRA
Canoas/RS, Brasil
joao.klein@ulbra.br

Resumo – Execução de projeto de *retrofit* do manipulador robótico SCORA-ER 14 a fim de realizar a movimentação de peças de pequeno porte. O estudo técnico do funcionamento original do robô, bem como a avaliação do estado de conservação atual do equipamento, desenvolvimento de *hardware* e *software* estão dentre as etapas de desenvolvimento do projeto. Como prova de conceito, foram executadas rotinas de movimentos repetidos e como resultado final, a precisão ficou dentro da margem dos parâmetros definidos. Apesar disso, este projeto ainda deixa pontos de melhorias para futuras propostas de estudo.

Palavras-chave – Robótica, manipulador robótico, indústria 4.0, robô industrial. (key words)

I. INTRODUÇÃO

No âmbito industrial, é comum existir a necessidade de realizar tarefas com eficiência e precisão sem deixar de lado o aumento da produtividade. Para manter estes critérios em constante crescimento, as indústrias estão recorrendo ao uso de robôs industriais. De acordo com a ISO 8373, um robô industrial de manipulação é um manipulador controlado automaticamente, reprogramável, multifuncional com três ou mais eixos que pode ser utilizado em aplicações industriais de automação em posição fixa ou em movimento [1].

A prática de reaproveitamento de equipamentos em qualquer tipo de setor passa a ser uma opção para reduzir gastos sem afetar a qualidade do produto final. Em função de demanda reprimida na planta laboratorial de robótica da ULBRA – Universidade Luterana do Brasil, campus Canoas, que possui diversos equipamentos na condição de inutilização, o tema deste artigo será o projeto de *Retrofit* de manipulador robótico industrial.

Oriundo do latim em conjunto com o inglês, a palavra *retrofit* é a união dos termos *retro*, cujo significado é movimentar-se para trás em latim, e *fit*, do inglês, que significa adaptação, ajuste. Em resumo, retrofit significa a ação de fazer com que determinado objeto volte a ter as características para a qual foi projetado ou até mesmo melhorá-las. [2]

O objetivo principal do projeto é que o manipulador robótico industrial SCORA-ER-14 mova um objeto de 0,1 kg com precisão de 1 cm a partir comandos enviados através de comunicação serial RS-232. O trajeto da peça da prova de conceito proposto será embasado na provável utilização do manipulador em produção. A Figura 1 ilustra o posicionamento inicial e final da peça na execução do teste com as devidas coordenadas dadas em valores de posição absoluto em cada um dos eixos.

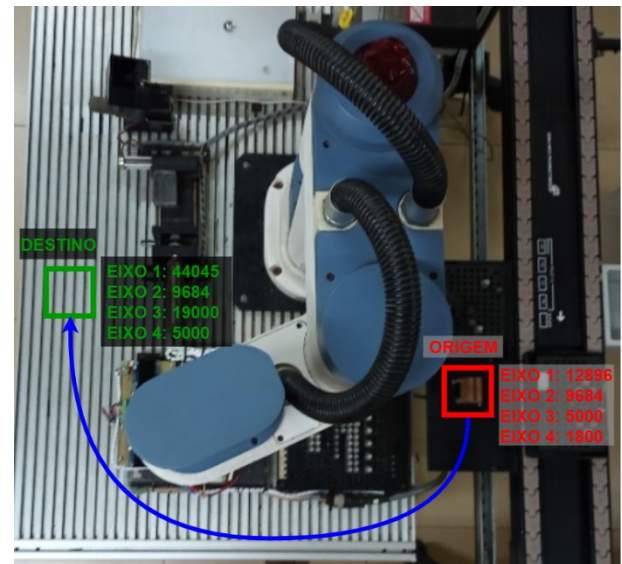


Figura 1: Vista superior do da rota da posição inicial até final da peça

Essa possibilidade de utilização se dá em função do posicionamento do ferramental na bancada em que o robô está instalado.

Por se tratar de um projeto desafiador e devido a sua complexidade, ele foi subdividido em etapas distintas. Dentre elas, o estudo completo do funcionamento do equipamento SCORA-ER-14 através de levantamento de referencial teórico junto às documentações do fabricante, bem como referências bibliográficas pertinentes ao assunto. Avaliar estado de conservação atual do manipulador, pois o equipamento encontra-se parado no laboratório de robótica da ULBRA/Canoas e já foi objeto de pesquisa em outras disciplinas dos cursos ofertados pela universidade.

Após as análises prévias, será desenvolvido o *hardware* e *software* eletrônico necessários que permita alcançar o objetivo proposto, que será averiguado após o levantamento de dados e análise dos resultados com a realização de testes de repetibilidade.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

De um ponto de vista mais abstrato, é possível dividir o sistema robótico em quatro categorias: o manipulador (incluindo seus sensores internos ou proprioceptivos), efetuator (ou ferramenta de trabalho na ponta do braço), controlador e os sensores externos e efetuidores (sistemas de visão e alimentadores de peças) [3].

O SCORA-ER 14 é um robô articulado horizontal, em que as duas primeiras juntas são rotativas e determinam a posição da ferramenta no plano XY (plano horizontal). A

terceira junta é prismática, e determina a altura (coordenada Z) do elemento ferramental e a última rotaciona o efetor final, cada uma delas acionadas por um servomotor, conforme pode ser visto na Figura 2, com as respectivas especificações técnicas[4].

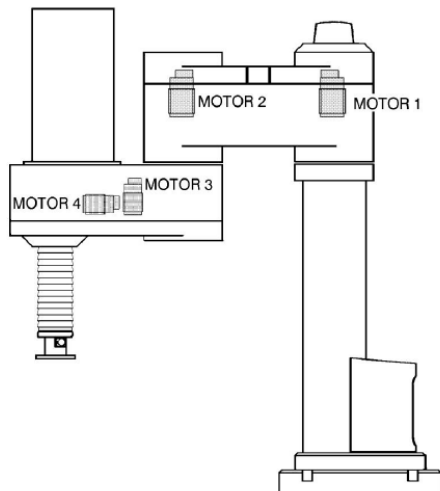


Figura 2: Visão geral do manipulador SCORA-ER 14 [4]

Os motores possuem velocidade angular de 4000RPM para os eixos 1 e 2, e 4500RPM para os eixos 3 e 4, conforme o Apêndice 1, e trabalham com tensão de alimentação de 24 Vdc, conforme Apêndice 2.

Cada um dos servomotores é equipado com um sensor do tipo encoder, que é responsável por gerar pulsos a partir do giro do motor que será enviado a um contador crescente/decrecente do microcontrolador para obter a atual posição da junta [4]. O encoder utilizado em todos os eixos pode ser visto na Figura 3.

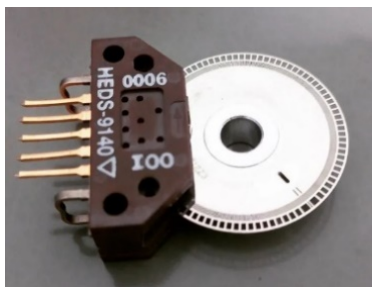


Figura 3: Sensor de posição utilizado nos eixos do SCORA-ER 14

O encoder modelo HEDS-9140-I00, usado no SCORA-ER 14, contém um único LED como fonte de luz e em frente ele, está um circuito integrado detector de luz que contém vários conjuntos de fotodetectores e circuitos para produzir um sinal digital. Um disco giratório perfurado com 512 slots está localizado entre o emissor e o detector e à medida que ele gira entre o emissor e os detectores, o feixe de luz é interrompido pelo padrão de barras e janelas, resultando em uma série de pulsos recebidos pelos detectores [3].

A Figura 4 mostra o circuito interno do HEDS-9140-I00, bem como o sinal de saída:

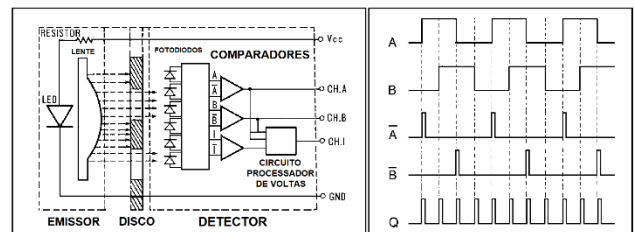


Figura 4: Circuito eletrônico interno do sensor HEDS-9140-I00 e sinais de saída gerados a partir do movimento da roda do encoder [4]

Além dos 512 slots de contagem de posição do disco, um slot adicional no disco do codificador é usado para gerar um pulso de índice (pulso C), uma vez para cada rotação completa do disco. Este serve para determinar a posição inicial do eixo.

Os fotodetectores estão dispostos de modo que os sinais A e B estejam em quadratura, deste modo é possível identificar o sentido do giro ao analisar o nível lógico do pulso A em relação a B [4].

De nada adianta a contagem dos pulsos se o sistema não possuir uma referência inicial para que a informação de posicionamento seja correta. O SCORA-ER 14 usa uma chave ótica em cada eixo para identificar a referência de posição inicial, que ocorre durante o processo de inicialização do sistema do manipulador robótico [4]. A Figura 5 ilustra o comportamento mecânico dos sensores óticos para a detecção da posição *home* de um dos eixos.

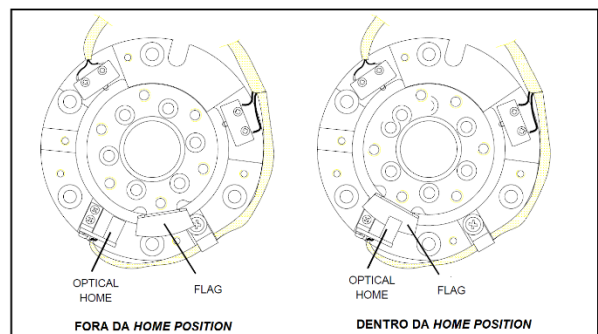


Figura 5: Comparativo fora x dentro da *home position* [4]

A detecção da posição *home* se dá quando a *flag* interrompe o feixe luminoso do sensor ótico [4]. Assim, a contagem dos pulsos a partir desta detecção é referenciada pela chave ótica do eixo em questão.

Para evitar que o eixo se mova até o limite mecânico máximo permitido, o SCORA-ER 14 possui *limit switches*, que são chaves mecânicas de fim de curso posicionadas nos eixos 1, 2 e 3 a fim de evitar danos causados por erro de leitura nos demais sensores existentes. A Figura 6 mostra a implementação da *limit switch* em um dos eixos do manipulador robótico industrial:

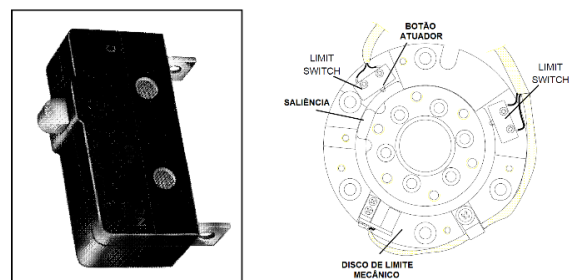


Figura 6: Ilustração mecânica da limit switch [4]

O disco de limite mecânico possui uma saliência, que aciona as chaves mecânicas de fim de curso caso o movimento do eixo atinja a proximidade do limite mecânico do eixo em questão [4]. Por se tratar de um item de segurança, este acionamento é implementado completamente independente do processamento de leitura de posição do controlador. Para isso, um circuito delimitador de movimento é implementado, conforme pode ser visto na figura a seguir.

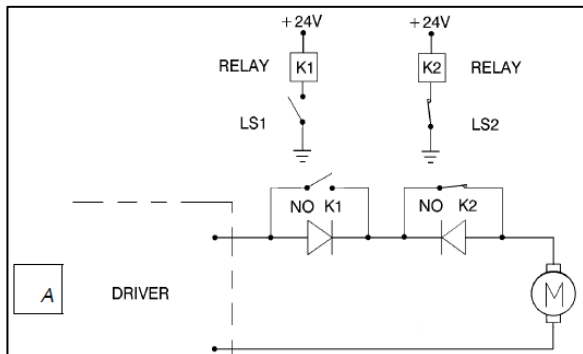


Figura 7: Circuito delimitador de direção de movimento [4]

Os relés são acionados de modo a permitir que o fluxo de corrente no motor flua somente no sentido oposto ao batente do manipulador, a fim de garantir segurança e integridade do equipamento e de tudo e todos que estiverem ao seu redor. Este circuito eletrônico fica localizado na *PCB Board*.

Certas sinalizações visuais são importantes, por este motivo o SCORA-ER 14 possui uma lâmpada de alerta que fica localizada no topo do Eixo 1, conforme Figura 9, e é conectada junto ao controlador do SCORA-ER 14 para sinalização de eventuais problemas.



Figura 8: Foto da lâmpada de alarme

A *PCB Board* é o único *hardware* eletrônico em placa de circuito impresso implementado no interior do SCORA-ER 14. Ela fica localizada internamente, no *Link 1*, conforme ilustrado a seguir:

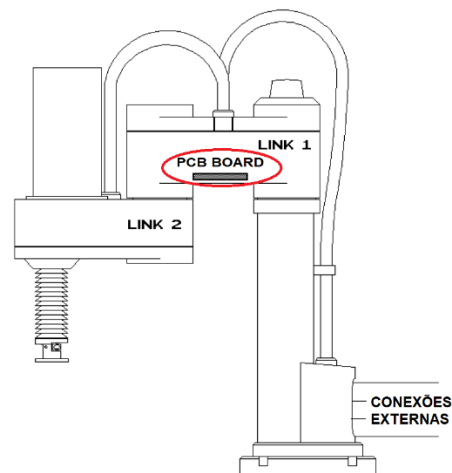


Figura 9: Ilustração da posição da *PCB Board* [4]

Não existe detalhamento técnico sobre a *PCB Board* documentado nos manuais disponibilizados pelo fabricante. Através de análise visual feita durante a identificação das conexões, foi possível constatar que se trata de uma placa de interfaceamento. Ela recebe todos os sinais elétricos de entrada e saída que trafegam entre o manipulador robótico e o controlador. A *PCB Board* então realiza as conversões e implementações necessárias para o casamento de níveis lógicos de tensão do sistema, como por exemplo: circuitos *pull-up*, *buffer*, conversores de tensão, *drivers* de relés, etc.

A interconexão entre a *PCB Board* e o controlador original do SCORA-ER 14 se dá através de multicabos. Existem três conjuntos de multicabos: o primeiro é um multicabo com conexão DB37 utilizado na interconexão dos sinais referentes aos sensores. O segundo multicabo com conexão *Burndy* de dezenove vias é responsável pela interconexão dos sinais que dizem respeito aos acionamentos dos motores, e por fim, uma terceira conexão para acionamento da lâmpada de alarme localizada no topo do manipulador robótico que utiliza um conector *Amphenol* de três vias. O painel com as conexões disponíveis é ilustrado na Figura 10:

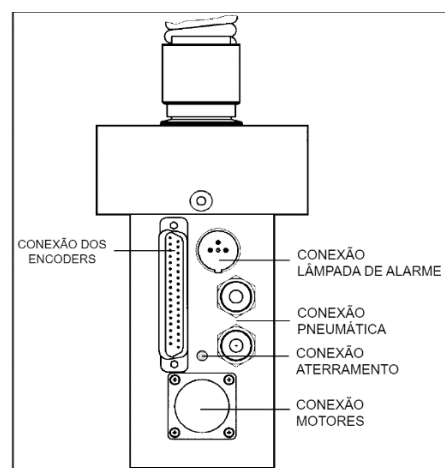


Figura 10: Painel de conexões [4]

A pinagem de cada uma das conexões está disponível no Apêndice 3, que servirá de base para o desenvolvimento do projeto de hardware.

Conforme o Apêndice 2, a garra do manipulador robótico pode ser do tipo elétrica – com acionamento utilizando servo motor – ou pneumática – utilizando acionamento por compressão de ar, que é o caso do SCORA-ER 14 que está sendo estudado, conforme esquematizado na Figura 11.

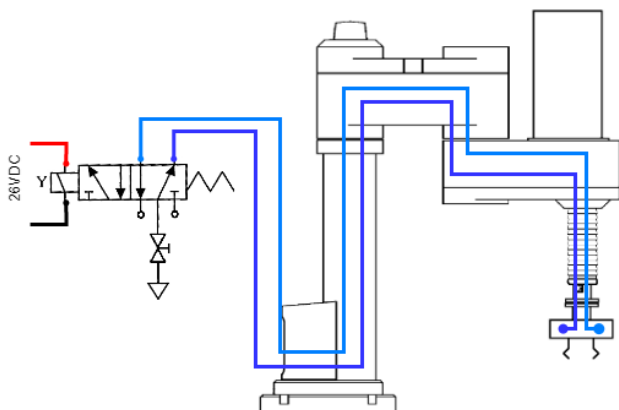


Figura 11: Ilustração do sistema pneumático do SCORA-ER 14

As tubulações pneumáticas do SCORA-ER 14 trafegam dentro dos eixos do robô, juntamente com a fiação elétrica. A válvula eletropneumática é do fabricante Humphrey, modelo 410 39.

III. METODOLOGIA

Tendo plena ciência do modo de funcionamento do manipulador robótico SCORA-ER 14 a partir de estudo das documentações técnicas disponíveis junto ao fabricante, é necessário realizar estudo do estado de conservação do equipamento a fim de planejar as ações necessárias para a criação do projeto de *hardware*, que será o caminho crítico para início do desenvolvimento da primeira versão do *software* do sistema completo.

A. Análise do estado de conservação do manipulador

Foram definidos os itens que seriam testados para que fosse possível identificar quais as etapas deveriam ser

desenvolvidas do princípio e o que, de fato, seria reaproveitado no manipulador. O estado inicial encontrado do SCORA-ER 14 é ilustrado na Figura 12.

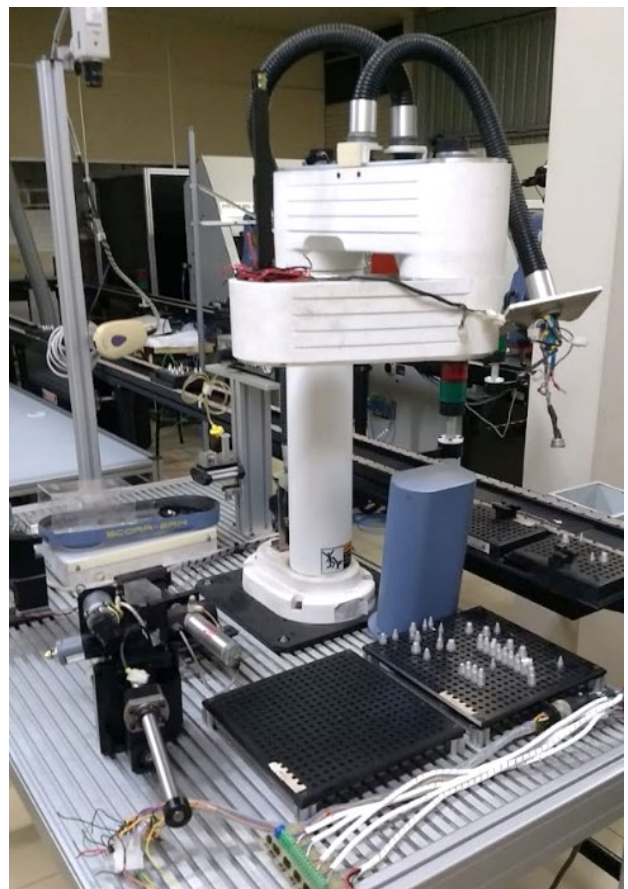


Figura 12: Primeiro contato com o SCORA-ER 14 que terá retrofit

Na Tabela 1, consta cada um dos testes realizados nos itens definidos como cruciais para o desenvolvimento do projeto, resultado do teste e solução, em caso de problemas identificados.

TABELA 1 – TESTES REALIZADOS NOS COMPONENTES DO SCORA-ER 14

Componente	Teste	Resultado	Solução
Controlador	Análise visual	Não liga	Desenvolver novo hardware
Motores	Teste em malha aberta (ON/OFF)	4 motores funcionando corretamente	Nenhuma ação foi necessária
Encoders	Monitoramento dos sinais com osciloscópio	Encoder do eixo 4 não reproduzia sinais durante movimento	Encoder e roda de encoder substituídos
Sensores fim de curso	Teste de acionamento	Sensor do eixo 3 não alternava o status	LED emissor com terminal quebrado. Refeita a solda
Fonte	Medição da saída sem carga	26 V constante	Nenhuma ação foi necessária
PCB Board	Análise por eliminação devido à falta de documentação técnica	Todos os periféricos que falharam não tinham relação com a PCB Board	Nenhuma ação foi necessária
Pneumática	Sistema pneumático foi alimentado	Vazamento devido à mangueiras ressecadas	Troca das mangueiras
Miscelânea	Falta de peças	Garra e suporte, espigão rosqueado da garra quebrado, parafusos do conjunto da garra	Foram encontrados nos depósitos: garra e suporte. Parafusos, porcas e arruelas lisas e de pressão comprados sob medida. Espigão rosqueado substituído

B. Desenvolvimento do hardware

Com o completo entendimento do funcionamento do manipulador SCORA-ER 14 e corrigidos os problemas encontrados durante os testes, deu-se o início no desenvolvimento do *hardware* do controlador. Foi definida a implementação de um sistema microcontrolado que contenha *drivers* de potência, para conversão do acionamento elétrico dos motores, circuito para conversão da leitura dos encoders junto ao microcontrolador, bem como implementação de saída de 26V para acionamento da válvula eletropneumática. O *croqui* do projeto pode ser visto na Figura 13.

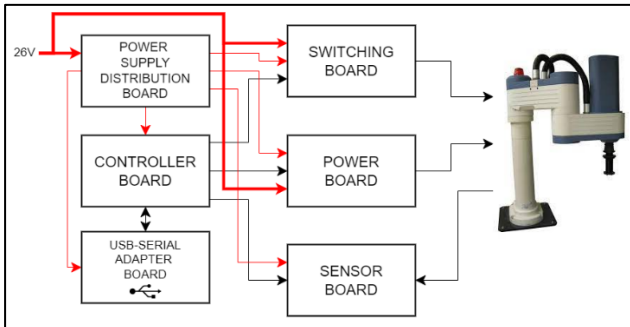


Figura 13: *Croqui* do hardware eletrônico

Com a finalidade de facilitar e agilizar a identificação de falhas e possíveis manutenções, o controlador será implementado de forma modular. Cada um dos módulos desenvolvidos são descritos a seguir.

a) Power Supply Distribution Board: Placa responsável por distribuir as fontes de tensão utilizadas no sistema. A saída de 26 Vdc/23 A da fonte CP6103, do fabricante Fisher-Rosemount Systemsde, é inserida na placa de distribuição de fontes, e então ela é redistribuída e/ou convertida de acordo com a necessidade do sistema.

Na figura a seguir, foto da montagem da *Power Supply Distribution Board*:

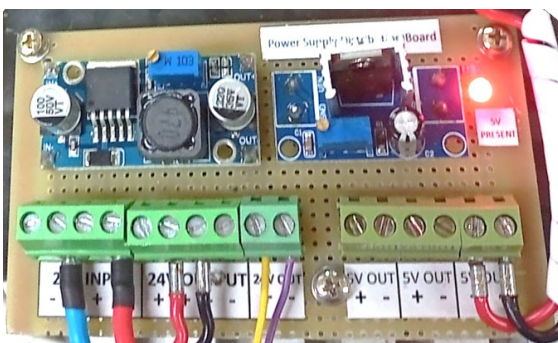


Figura 14: Montagem da *Power Supply Distribution Board*

A montagem foi feita em placa padrão perfurada. Para melhor compreensão do esquema de ligação dos componentes que foram utilizados na *Power Supply Distribution Board*, o esquemático eletrônico pode ser visto na Figura 15:

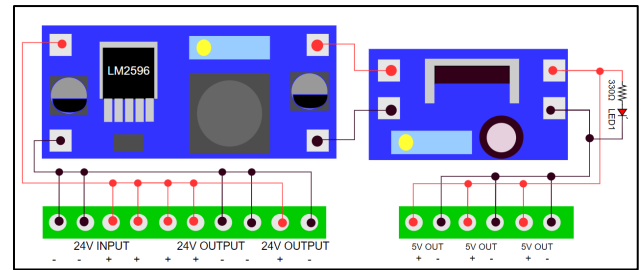


Figura 15: Esquemático da *Power Supply Distribution Board*

As conexões na placa contemplam: entradas da fonte externa de 26V, saída (loop) das fontes de 26 V para energização dos hardwares necessários e saídas de 5V para energização dos periféricos digitais. LED1 tem a finalidade de identificação visual da presença de tensão de saída do conversor de 5V.

b) Power Board: Placa responsável por realizar o acionamento elétrico dos 4 motores do SCORA-ER 14. Está equipada com 4 módulos pré-fabricados que contem a implementação de uma Ponte H utilizando o circuito integrado BTN7970 com capacidade de condução de corrente de 43 A e tensão de operação de até 45 Vdc [7]. Trabalha em conjunto com o C.I. 74HC244 que serve para atuar na seleção de sentido de giro. As conexões da *Power Board* contemplam: conector para entrada de tensão de acionamento dos motores (26 V), conexões para cada um dos enrolamentos dos motores (M1, M2, M3 e M4) e conexão *Latch* de 20 vias onde são recebidos os sinais PWM, sentido de giro e conexões referente à fonte de baixa tensão. Na Figura 16 há uma foto da montagem da *Power Board*.

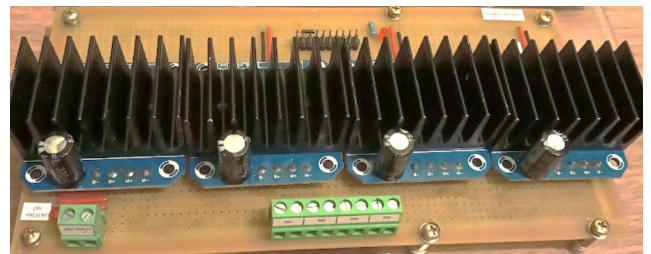


Figura 16: Montagem da *Power Board*

A montagem foi feita em placa padrão perfurada. O esquemático das interconexões pode ser visto na Figura 17.

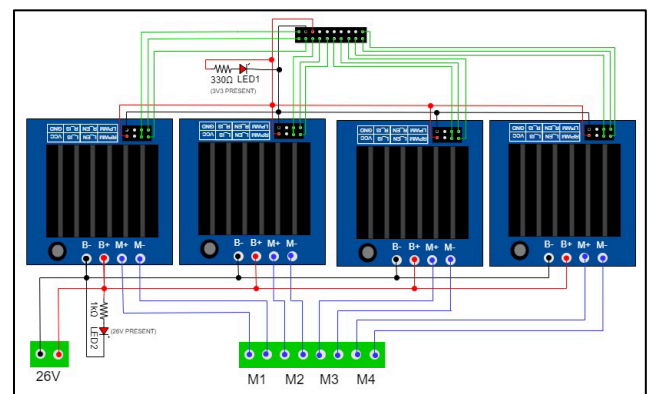


Figura 17: Esquemático da *Power Board*

O LED1 indica visualmente que a tensão de 3,3V está presente na *Power Board*, enquanto que o LED2 serve para indicar a presença da fonte de 26V.

c) *Sensor Board*: A placa prevê evita alguns problemas que possam vir a surgir. Isola qualquer tipo de ruído eletromagnético proveniente do acionamento dos motores. Adapta o nível lógico de tensão da leitura dos encoders para o microcontrolador (5 V para 3,3 V). Tendo como agravante a velocidade de rotação dos motores, que pode resultar em uma amostragem do sinal de posição com alta frequência, foi utilizado o optoacoplador 6N136, com taxa de transmissão de até 1Mbit/s [5]. Além disso, também há necessidade em converter o nível lógico dos sensores *home position*, feito através do optoacoplador PC817 devido ao baixo custo e grande disponibilidade no mercado. A foto da montagem é ilustrada na Figura 18.

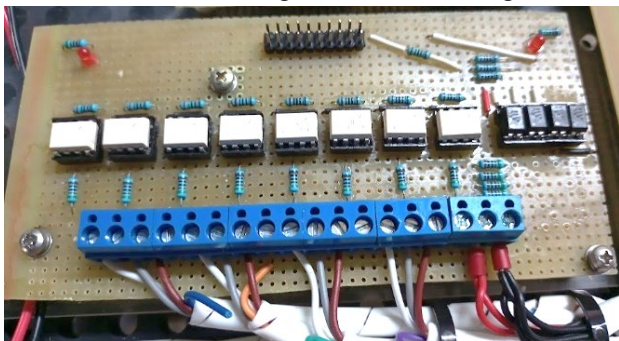


Figura 18: Montagem da *Sensor Board*

A montagem foi feita em placa padrão perfurada. Para melhor compreensão do esquema de ligação dos componentes que foram utilizados na *Sensor Board*, o esquemático eletrônico pode ser visto a seguir:

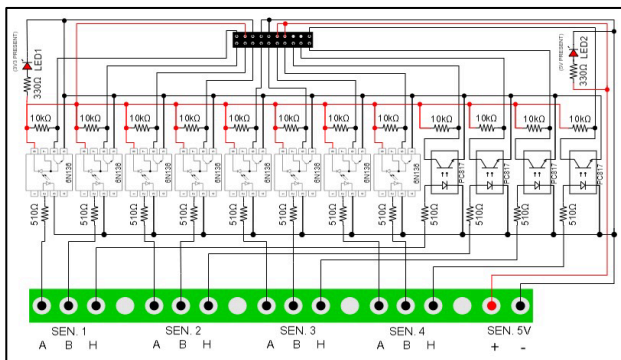


Figura 19: Esquemático da *Sensor Board*

As conexões da placa contemplam: quatro conjuntos de entradas de sinais dos *encoders* A e B e uma conexão de *home position*, além da saída de 5V para alimentação dos sensores. Conexão *Latch* de 20 vias, para transferência dos sinais – já convertidos – para a placa *Controller Board*. LED 1 tem a finalidade de indicar visualmente a presença de tensão de 3,3V, enquanto que o LED 2 tem a mesma finalidade, porém, para a tensão 5V para alimentação dos sensores óticos.

d) *Switching Board*: O acionamento da garra é feito por uma válvula eletropneumática de 24V, incompatível com a saída digital do microcontrolador. Por isso, foi

desenvolvido um circuito com isolamento ótico, diodo de roda livre (diodo *flyback*) e circuito *snubber*, conforme montagem da Figura 20.

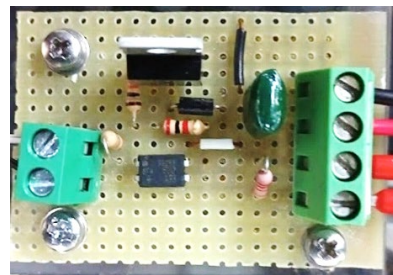


Figura 20: Montagem da *Sensor Board*

O circuito foi montado utilizando componentes eletrônicos PTH e placa padrão. O diagrama eletrônico pode ser visto na Figura 21.

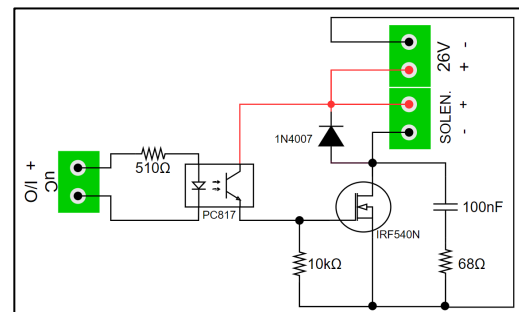


Figura 21: Esquemático da *Switching Board*

As conexões da placa contemplam: uma entrada com o sinal lógico proveniente da *Controller Board*, entrada para fonte de 26V e saída para conexão da bobina da válvula eletropneumática.

e) *Controller Board*: Os pontos que definiram a escolha do microcontrolador que fosse capaz de realizar o controle dos 4 eixos foram: velocidade de CPU, quantidade de terminais de entrada/saída, interface de comunicação, frequência de leitura de interrupção, agilidade no desenvolvimento de *firmware* e saídas PWMs independentes. A escolha se deu pelo microcontrolador STM32F103C8T6, através da utilização da plataforma de prototipagem *bluepill*, conforme Figura 9.

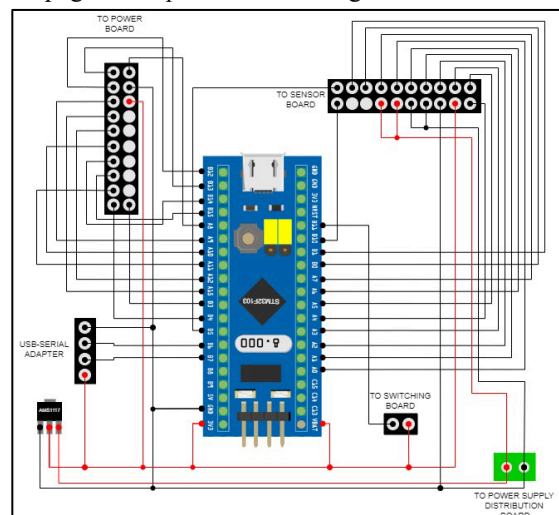


Figura 22: Esquemático da *Controller Board*

O microcontrolador STM32F103C8T6 possui velocidade de CPU de 72MHz, arquitetura ARM, trinta e sete terminais de entrada e saída, três interfaces de comunicação serial, *timers* de quatro canais, possibilitando o controle simultâneo de saídas PWM e largura de pulso detectável por interrupção externa de 10ns [6]. A montagem é ilustrada na Figura 23.

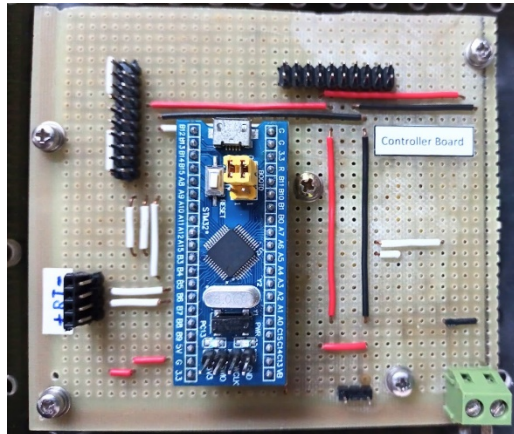


Figura 23: Montagem da Controller Board

As conexões da placa contemplam: Duas conexões *Latch* de vinte vias para conexão com a *Power Board* e *Sensor Board*, conexão borne de dois terminais para alimentação de 5V, conexão utilizando chicote de duas vias simples para interligação com a *Switching Board* e uma conexão de quatro vias para ligação de adaptador USB-Serial (neste projeto, utilizado o módulo com circuito integrado FT232RL).

C. Desenvolvimento do software

O projeto de *software* possui três etapas de implementação diferentes: *firmware* que será executado no microcontrolador; interface gráfica que será executada em dispositivo PC externo utilizando comunicação serial, a fim de permitir configurar os movimentos a serem executados de modo amigável e protocolo serial que garanta integridade na passagem dos dados.

a) Protocolo de comunicação: Foi desenvolvido um protocolo para a comunicação que será utilizado na troca de dados entre computador e controlador. O computador se comportará como principal, e o controlador como secundário, ou seja, o computador enviará os comandos que serão processados e executados pelo controlador, que enviará uma resposta confirmando correto recebimento do comando, conforme esquematizado na Figura 24.

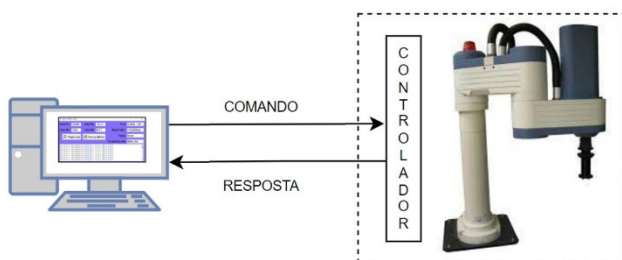


Figura 24: Funcionamento do protocolo de comunicação

O pacote da mensagem possui *bytes* de identificação de tipo de mensagem e dispositivo transmissor, contagem de caracteres, caracter verificador de bloco (BCC) e a mensagem, conforme ilustrado na Figura 25:

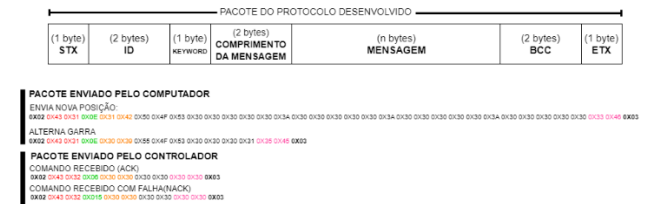


Figura 25: Ilustração do protocolo de comunicação desenvolvido

Maiores informações sobre o protocolo e seu funcionamento estão comentados *hardcode* no repositório do projeto, disponível em: https://github.com/delpitec/C_STM32_Robotic_Arm_Project

b) Interface gráfica de configuração: Interface que serve para envio das posições que se deseja o envio do movimento desenvolvida em Python. Uma imagem da aplicação pode ser vista na Figura 26:

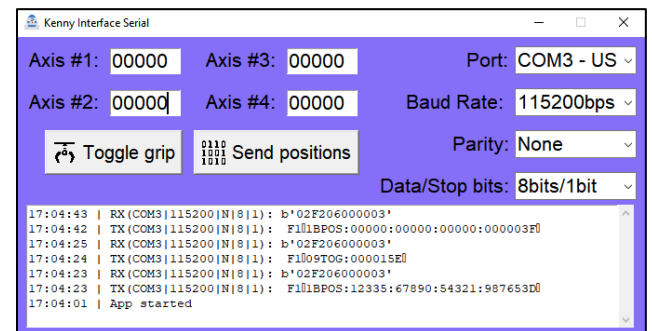


Figura 26: Interface gráfica de controle do manipulador

A porta serial do microcontrolador está configurada em 115200bps, sem bit de paridade, 8 bits de dados e 1 stop bit, por isso a interface deve estar assim parametrizada. Cada um dos campos pode ser preenchido com o valor da posição absoluta máximo de cada um dos *encoders* (Axis 1: 60000, Axis 2: 50000, Axis 3: 20000, Axis 4: 10000) e são atualizados no controlador apenas quando o manipulador não estiver em processo de movimentação. O botão *Toggle grip* serve para abrir e fechar a garra e assim como o botão *Send positions*, somente é interpretado pelo controlador quando não houver rotinas de movimento em execução.

c) Desenvolvimento do *firmware*: O *firmware* foi desenvolvido sob o conceito de máquina de estados contendo alguns blocos condicionais. Ao ser energizado, o sistema calibra a posição dos encoders através de movimentos buscando os sensores *home position* e aguarda recebimento de dados de movimento proveniente da interface gráfica, via porta serial. A partir do recebimento destes dados, o movimento é executado. A Figura 27 mostra o fluxograma básico do *firmware*.

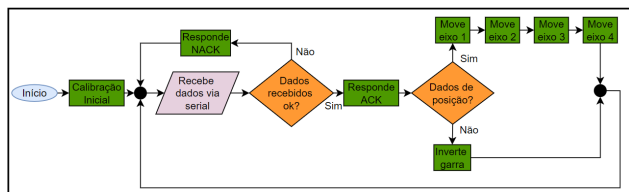


Figura 27: Fluxograma do *firmware*

Caso o movimento recebido seja para movimento dos eixos, este é realizado e então o controlador volta a aguardar recebimento de outro comando. Processo idêntico ocorre caso seja recebido dado de alternância de estado da garra.

Os eixos 1, 2 e 4 utilizam controle PID em cascata para as variáveis de velocidade e posição, em função de suas características de sensibilidade devido à sua natureza construtiva. A sua sintonia foi utilizando apenas os parâmetros proporcional e integrador dos controladores de velocidade, enquanto que os controladores de posição utilizam apenas os parâmetros proporcionais de seus controladores.

IV. RESULTADOS

O trajeto da prova de conceito do objetivo previamente definido foi executado com uma amostra total de trinta repetições. A cada repetição, os dados eram inseridos na interface gráfica e enviada ao controlador a fim de testar todo o processo de recebimento e tratamento de dados. O ambiente do teste é ilustrado na Figura 28.

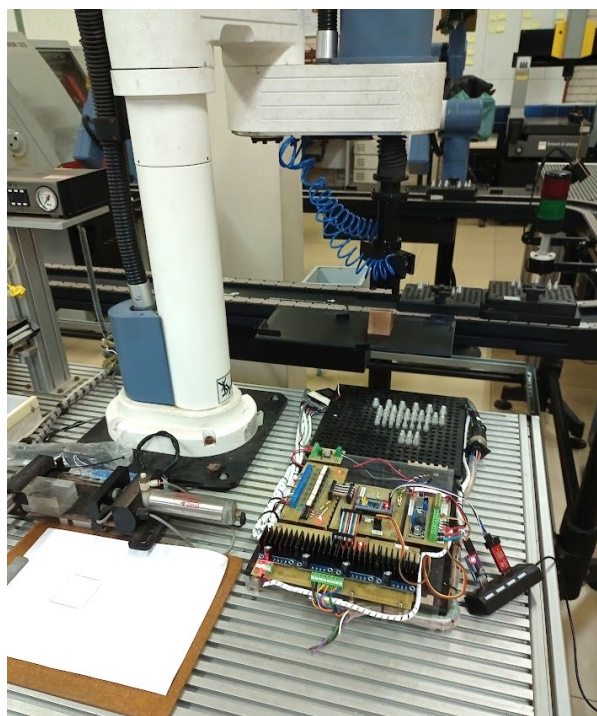


Figura 28: Montagem do ambiente de prova de conceito

A cada fim de execução de ciclo, ou seja, a cada remoção da peça da posição de origem e posicionamento na posição de destino, uma demarcação foi registrada no exato local em que a peça era posta pelo SCORA-ER 14, que gerou o resultado da Figura 29.

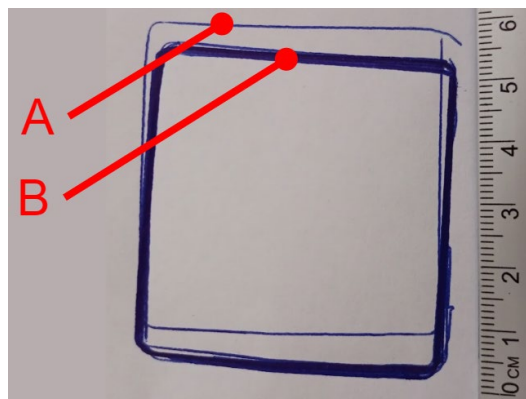


Figura 29: Resultado do teste de repetição

O ponto A é resultado do primeiro movimento que parte da *home position*, a partir de então, a linha do ponto B é o resultado das outras vinte e nove repetições de mover a peça de um local ao outro. Ele sofreu variação de aproximadamente 0,5 cm, e este pode ser considerado o valor de *overshoot* da variável manipulada de posicionamento. A diferença entre o ponto A e B varia entre 0,6 cm e 1 cm.

O tempo de execução de cada ciclo era de aproximadamente 20 s para o trajeto proposto. Ele varia de acordo com a distância do trajeto que está associado aos valores de sintonia do controlador PID.

Movimentos inesperados por parte do sistema de controle ocorrem ao forçar movimentos manuais simulando alguma barreira mecânica em algum dos eixos do manipulador antes e durante a execução do movimento.

O resultado de investimento em matéria prima, ao longo dos 12 meses de desenvolvimento, também foi registrado, com montante total de R\$1.074,90 que está detalhado na Tabela 2.

TABELA 2 – CUSTOS DE MATÉRIA PRIMA DO PROJETO

Componente	Valor unitário	Qtd.	Valor total
Placa padrão 200mmx300mm	R\$115,00	1	R\$115,00
Módulo Bluepill (STM32F013C8T6)	R\$30,00	1	R\$30,00
Módulo Ponte H (BTN7970)	R\$76,00	4	R\$304,00
Módulo regulador de tensão	R\$13,00	2	R\$26,00
Módulo USB - Serial	R\$14,00	1	R\$14,00
Optoacoplador 6N136	R\$3,60	8	R\$28,80
Optoacoplador PC817	R\$1,00	5	R\$5,00
IRF540N	R\$5,00	1	R\$5,00
Conector <i>Latch</i> 20 vias	R\$1,40	4	R\$5,60
Conector Borne	R\$7,50	15	R\$112,50
Sensor HEDS-9140-I00	R\$95,00	1	R\$95,00
Roda Sensor HEDS-9140-I00	R\$60,00	1	R\$60,00
Parafusos e espaçadores de PCB	R\$90,00	1	R\$90,00
Estanho para solda 250g	R\$95,00	1	R\$95,00
Resistores, LEDs, cabos, diversos...	R\$35,00	1	R\$35,00
Mangueira pneumática lisa	R\$9,00	2	R\$18,00
Mangueira pneumática espiral	R\$10,00	2	R\$20,00
Espigão rosqueado	R\$8,00	2	R\$16,00

V. CONCLUSÃO

O projeto de *retrofit* de manipulador robótico se deu inicialmente através de análise técnica do manipulador SCORA-ER 14 e de seu estado de conservação. A partir disso, foi desenvolvido o *hardware* juntamente com o *firmware* que atendesse o controle de movimento de peças. Para definição das coordenadas de posicionamento, foi desenvolvida uma interface gráfica juntamente com um protocolo de comunicação que permite a portabilidade do controle para outros tipos de sistemas que utilizem comunicação serial RS232.

O desenvolvimento deparou-se com percalços técnicos, logísticos e comerciais que foram superados a tempo de possibilitar a reprodução de resultados qualitativos que permitem concluir que é viável o projeto de *retrofit* de um manipulador robótico do nível do SCORA-ER 14.

O projeto de pesquisa e desenvolvimento acadêmico se justifica pelo fato de muitas áreas da engenharia serem abordadas durante sua execução. Embora funcional, o protótipo apresentou pontos de atenção que abrem outros campos de estudo a fim de implementar melhorias que incrementem o nível qualitativo dos resultados, uma vez que não será mais necessário investir tempo em desenvolvimento de *hardware* e *software* desde o seu princípio.

As vertentes de objetos de estudo, existe a possibilidade de melhoria de(a): sintonia dos controladores PID; amostragem da velocidade instantânea dos eixos; calibração da posição inicial; interface gráfica com inserção de funcionalidades e melhoria no tratamento de troca de dados.

Do ponto de vista prático, os resultados financeiros podem ser considerados atrativos diante do potencial de retorno de investimento que o protótipo oferece. Apesar disso, se faz necessário analisar os custos de mão de obra e desenvolvimento de produto final a fim de uma análise monetária completa sobre viabilidade de aplicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos(as) que, de alguma forma, fizeram este trabalho se tornar real, dentre eles(as) minha esposa Franciele Fraga, meus filhos Logan e Eduardo e minha sogra Salete Luciana, que sempre está disposta a ajudar no que for preciso. Ao meu pai Decarli Del Pino e minha mãe Jane Del Pino (*in memoriam*), pois eu sou fruto de todos os ensinamentos e cuidados que recebi deles ao longo de toda minha vida tanto em plano terreno como espiritual.

Agradeço ao meu orientador Me. João Klein por todo o suporte nesta jornada e aos funcionários do laboratório da ULBRA Lucemar Kich e Emerson Tavares pela disponibilidade e grande auxílio nas várias noites que estive trabalhando no projeto *in loco*.

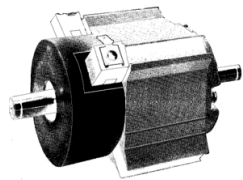
REFERÊNCIAS

- [1] ISO8373:2012 Robots and robotic devices - Vocabulary. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en> Acesso em Julho de 2022.
- [2] BARRIENTOS, M. I. G. G. Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. 2004. 189 f. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Rio de Janeiro, 2004.

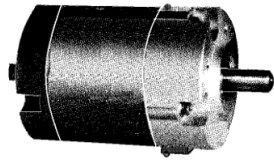
- [3] CRAIG, J. J. Robótica. 3a edição. [S.l.]: São Paulo: Editora Pearson, 20123. Pg. 221.
- [4] Scora ER 14 manuas
- [5] INTERTECHNOLOGY, Vishay. 6N135, 6N136. Rev. 1.9, 11/2015. Pg 1. Disponível em: <https://br.mouser.com/datasheet/2/427/6n135-1767229.pdf> . Acesso em Novembro de 2022.
- [6] STMicroelectronics STM32F103x8 - Medium-density performance line ARMbased 32-bit MCU. STMicroelectronics. Rev 18, 03/2022 Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00161566.pdf>. Acesso em Novembro de 2022.
- [7] Infineon Technologies AG. High Current PN Half Bridge BTN7970. Rev. 1.1, 11/2021. Disponível em: https://www.mouser.com/datasheet/2/196/BTN7970_DS_11-255465.pdf. Acesso em: Novembro de 2022.

APÊNDICE 1: ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS DOS MOTORES

Especificações dos motores		
	Motor Eixos 1 e 2	Motor Eixos 3 e 4
Torque nominal de pico	143oz-in	27,8oz-in
Torque nominal	32oz-in	12,5oz-in
Velocidade máxima de operação	4000RPM	4500RPM
Peso	1,29kg / 2,84lb	0,28kg / 0,62lb



Motor Eixos 1 e 2



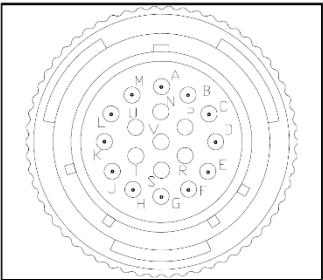
Motor Eixos 3 e 4

APÊNDICE 2: ESPECIFICAÇÕES DO SCORA-ER 14

Especificações do Manipulador Robótico		
Estrutura mecânica	Articulador Horizontal (SCARA)	
Comprimento do manipulador		
Link 1	270mm (10,6")	
Link2	230mm (9,0")	
Movimento do Eixo	Variação do eixo	Velocidade efetiva
Eixo 1: Rotação	301,5°	87°/s
Eixo 2: Rotação	301,5°	118°/s
Eixo3: Translação	198mm	152mm/s
Eixo4: Giro; sem cabo da garra	irrestrito	265°/s
ou Giro com cabo da garra	± 527°	
Links 1 e 2 combinados		1,5m/s
Raio máximo de operação	Mínimo 250mm (9,84") Máximo 500mm (19,69")	
Atuador final (ferramenta)	Garra pneumática Garra elétrica com servomotor	
Sensor Fim de curso	Chave ótica e pulso indexado do encoder em cada eixo	
Sensor de posição	Encoder incremental com pulso indexado em cada eixo	
Motores	Servomotor de 24VDC em cada eixo	
Transmissão	Engrenagens de acionamento harmônico, correia e parafuso de avanço	
Carga máxima (incluindo a garra)	3kg (6,6lb) (com aceleração reduzida) 2kg (4,4lb)	
Repetibilidade de posição	±0,05mm (±0,002")	
Peso	45kg (100lb)	
Temperatura ambiente de operação	29°C - 40°C (36°F - 104°F)	

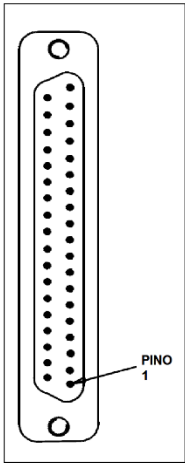
APÊNDICE 3: PINAGEM DOS CONECTORES DO PAINEL

PINAGEM DO CABO DE MOTORES		
ID DO PINO	DESCRIÇÃO DO PINO	COR DO FIO
A	Motor 1 -	Preto
M	Motor 1 +	Marrom
C	Motor 2	Preto
L	Motor 2 +	Vermelho
E	Motor 3 -	Preto
H	Motor 3 +	Azul
B	Motor 4 -	Preto
K	Motor 4 +	Amarelo
D	Motor 5	Preto
J	Motor 5 +	Verde
R	+24V to PCB	Branco
S	24VRET to PCB	Preto



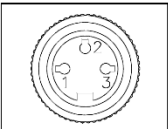
Conector Burndy de 19 vias

PINAGEM DO CABO DE SENSORES			
ID DO PINO	DESCRIÇÃO DO PINO	EIXO	COR DO FIO
1	+5V	-	vermelho
2	+5V	-	preto
5	A1 (Encoder Pulso A)	1	marrom
6	B1 (Encoder Pulso B)		preto
7	C1 (Encoder Pulso Volta)		marrom
8	COMUM 1		vermelho
31	H1 (Home)		branco
			com J2 - 32
9	A2 (Encoder Pulso A)	2	vermelho
10	B2 (Encoder Pulso B)		branco
11	C2 (Encoder Pulso Volta)		vermelho
12	COMUM 2		azul
32	H2 (Home)		preto
			com J2 - 31
13	A3 (Encoder Pulso A)	3	laranja
14	B3 (Encoder Pulso B)		preto
15	C3 (Encoder Pulso Volta)		laranja
16	COMUM 3		vermelho
33	H3 (Home)		azul
			com J2 - 34
17	A4 (Encoder Pulso A)	4	amarelo
18	B4 (Encoder Pulso B)		preto
19	C4 (Encoder Pulso Volta)		amarelo
20	COMUM 4		vermelho
34	H4 (Home)		preto
			com J2 - 33
21	A5 (Encoder Pulso A)	5	verde
22	B5 (Encoder Pulso B)		preto
23	C5 (Encoder Pulso Volta)		verde
24	COMUM 5		vermelho
35	H5 (Home)		verde
			com amarelo livre



Conector DB37

PINAGEM DO CABO DA LÂMPADA DE ALARME		
ID DO PINO	DESCRIÇÃO DO PINO	COR DO FIO
1	NO	vermelho
2	COMUM	preto



Conector Amphenol 3 vias