

PROJETO DE UM BRAÇO MANIPULADOR REMOTO REPLICADOR PARA ATIVIDADES PERIGOSAS

Eldrick D' Martins¹, Alexandre de Oliveira Lopes¹

¹Centro Universitário do Sul de Minas, Brasil

RESUMO

Objetivando ampliar o uso de manipuladores para atender as necessidades de proteção do trabalhador em situações de risco, onde não sejam aplicáveis técnicas de proteção ou de uso das tecnologias convencionais de automação e robótica. Foi idealizado e desenvolvido, um protótipo de equipamento que pode ser utilizado diretamente sem necessidade prévia de programação, melhorando sua utilização em tarefas temporárias ou que demandem inteligência superior a computacional disponível atualmente, pois utiliza a replicação direta dos gestos do operador. Assim a interface de operação ocorre de maneira amigável, evitando erros e acidentes durante a operação. Sendo economicamente viável, devido ao uso de motores de corrente contínua e uma interface de menor custo e grande versatilidade.

Palavras-chave: Braço, Manipulador, Replicador, Segurança do trabalho, FET, PWM

ABSTRACT

Aiming to expand the use of handlers to meet the worker's protection needs in situations of risk, where there are applicable protection techniques or use of conventional automation and robotics technologies. It was designed and developed a prototype device that can be used directly without the need for programming, improving its use in temporary tasks or

demanding higher intelligence computational currently available, it uses the direct replication of the gestures of the operator. Thus the operator interface is user-friendly way, avoiding mistakes and accidents during operation. Being economically viable due to the use of dc motors and a lower cost and versatility interface.

Keywords : Arm Manipulator , Replicator , Job Security , FET , PWM

INTRODUÇÃO

Objetivando melhorar e ampliar o uso de braços manipuladores, foi iniciada pesquisa sobre as deficiências dos sistemas existentes, e quais seriam as expectativas de setores ou ramos que ainda não fazem uso normal destes equipamentos.

Sabendo que ainda são comuns atividades que exponham o trabalhador a situações arriscadas, é natural pensar na utilização dos avanços da robótica e da automação, porém para utilização destes avanços, ainda é preciso selecionar áreas que possuam alto retorno financeiro, devido ao custo elevado dos equipamentos.

Para utilizar equipamentos em qualquer atividade, cogita-se o caráter financeiro da questão, inclusive em detrimento das questões éticas que envolvem a segurança e bem-estar do trabalhador.

Para atender as necessidades de proteção e de custo/benefício, fica necessário produzir um sistema versátil, compatível com tecnologias atuais, com custo atrativo e agilidade semelhante ao homem, a fim de substituir sua presença onde houver risco.

SISTEMAS CONVENCIONAIS

Manipuladores de operação direta

Equipamentos que utilizam comando direto do operador para se movimentar, são movidos na maioria por força hidráulica, no exemplo dos grandes guindastes de operação por alavancas, utilizados para movimentar imensas cargas executando grandes montagens, sendo movidos com energia elétrica em alguns casos, em atividades laboratoriais e médicas.

Manipuladores automáticos

Estes manipuladores são empregados principalmente na indústria de fabricação em série, para executarem tarefas repetitivas, substituindo a mão de obra humana de maneira mais eficiente e rápida, além de não necessitarem de descanso. Conforme explicitado por Rosario (2009, p. 23):

“Um conceito mais abrangente de automação pode ser definido como a integração de conhecimento substituindo a observação, os esforços e as decisões humanas por dispositivos (mecânicos, elétricos e eletrônicos, entre outros) e *softwares* concebidos por meio de especificações funcionais e tecnológicas com uso de metodologias”.

As maiores desvantagens dos manipuladores automáticos são a necessidade de programação específica para cada uso, não se adaptam a situações inesperadas e possuem elevados custos.

Manipuladores robóticos

Estes sistemas conhecidos como robôs, estão cada vez mais desenvolvidos, e sua aplicação anda se ampliando, com projetos sofisticados que imitam os gestos humanos quase perfeitamente, também exploram planetas e astros distantes, podendo responder a estímulos externos e adaptar-se a situações pré-programadas.

Estes equipamentos são caracterizados principalmente por possuírem cérebro positrônico, que é um sistema capaz de processar informações trazidas através de sensores, fazendo-o tomar decisões, agindo através de seus meios de interação com o meio ambiente.

Suas principais limitações são o custo e desenvolvimento ainda imaturo, deixando a desejar, principalmente no que se compara a capacidade humana de decisão e agilidade.

PARTES DE MANIPULADORES AUTOMATIZADOS E ROBOTIZADOS.

Os equipamentos robóticos e automáticos, possuem componentes semelhantes, com diferenças principais na maneira que processam a informação recebida dos sensores. Com os robotizados possuindo maior autonomia, mas basicamente ambos os sistemas podem ser divididos de maneira semelhante.

Um braço robótico, pode ser dividido em duas partes primárias: Software (o programa, que não possui existência física) e hardware (as partes físicas da máquina, motores, garras, braços, sensores, etc.).

Software

O software, de um braço robótico, é um conjunto de rotinas pré-programadas que define de que maneira o mesmo deve se portar quando ocorrer acionamento de sensores ou chaves, definindo sua movimentação. Ele normalmente é inserido em um computador que pode ser um PLC. Atua no controle e interpretação dos comandos do braço automatizado ou robotizado.

Hardware

São todas partes físicas da máquina, existem vários tipos e características que os definem, eis aqui as principais:

Controles

É a parte do equipamento que faz a ligação entre o software e os mecanismos motrizes e sensores da máquina, rotineiramente utilizando os CLP para esta função, porém existem circuitos eletrônicos digitais que podem fazer estas funções, ou até mesmo pode-se utilizar um computador, e junto com a programação formam a estrutura do cérebro positrônico.

Sensores

São equipamentos que captam as informações necessárias a alimentação do software, podem ser dos tipos chave de contato, chaves magnéticas, potenciômetros, sensores ópticos ou até mesmo na forma passiva, monitorando a corrente de funcionamento de um motor, estes dispositivos vem sendo cada vez mais desenvolvidos, dando mais precisão aos automatizados e percepção do ambiente aos robôs.

Motores e atuadores

É a parte do equipamento responsável pelos procedimentos dos equipamentos, podendo ser motores, solenoides, válvulas, pistões, entre outros. São a força motriz do equipamento ou a ferramenta utilizada.

Os motores normalmente utilizados são os motores de passo ou servo-motores, sendo raramente utilizados motores de corrente contínua ou alternada, devido a não possuírem sistema de controle de posicionamento na maioria das vezes.

Fonte de alimentação

É o meio pelo qual o equipamento recebe a energia necessária para fazer os motores e atuadores moverem-se, essa fonte pode ser de origem mecânica, hidráulica, pneumática, térmica e elétrica.

Estrutura

Pode variar de acordo com a aplicação do braço, sendo dimensionados de acordo com a necessidade de carga e esforço necessário, ou para adaptar-se a condições específicas de trabalho que precisam de forma especial. Esta parte corresponde a toda a parte passiva do equipamento, sendo semelhante ao esqueleto no corpo humano, e podem ser: hastes, braços, pinças pedestais, bases entre outros.

DESENVOLVIMENTO

Conceito de controle intuitivo

A principal característica que diferencia a configuração deste equipamento dos demais, é a utilização do conceito de operação intuitiva, onde o operador não necessitaria de treinamento prolongado para operação do mecanismo, pois apenas com a movimentação de exoesqueleto acoplado ao seu braço, seria possível execução de movimentos complexos os quais seriam imitados pelo manipulador, os quais seriam de grande dificuldade utilizando os mecanismos convencionais de controle.

Assim o operador utiliza suas habilidades manuais para executar tarefas complexas e delicadas à distância, evitando o risco do contato com ambientes, substâncias e equipamentos perigosos.

Critérios de desenvolvimento

Para desenvolvimento deste trabalho, foram adotados alguns critérios para servirem de diretriz para sua elaboração:

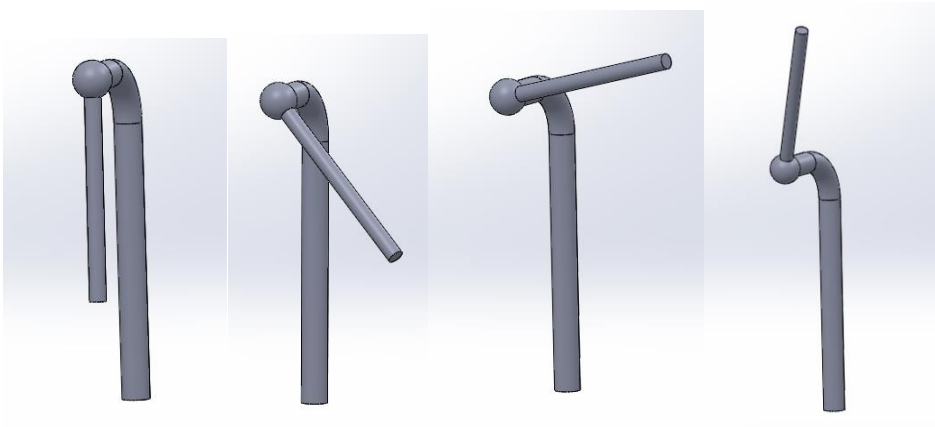
- O manipulador deverá possuir semelhança com a anatomia de um braço humano, para que o operador se identifique com a mobilidade do sistema, operando-o intuitivamente.
- Para facilitar elaboração do protótipo, o manipulador terá 3 graus de mobilidade.
- A operação do manipulador, utilizará sistema que transforme os movimentos do braço do operador em comandos, que possam ser interpretados e transformados em movimento no equipamento.
- O movimento do manipulador não será realizado por motores de passo, reduzindo os custos.
- O operador deverá ficar em distância do manipulador, afastando-o de riscos.

Mobilidade

Foram selecionados três movimentos do braço humano que dariam melhor alcance ao equipamento, para bem explicar o conceito do manipulador.

Movimento de circundação: este movimento é descrito pela formação de um cone com base em um dos vértices na articulação do braço, girando-o circularmente. Este movimento limita-se a 180°:

Figura 1 – Movimento de circundação.



Fonte: o autor (Solidworks)

Movimento de adução e abdução, são os movimentos onde o membro se afasta do corpo na abdução, e na adução o aproxima-se do corpo. Este movimento limita-se a angulação de 90°:

Figura 2: Movimento de Abdução e adução



Fonte: o autor (Solidworks)

Movimento de flexão e extensão são caracterizados pela dobradura do membro e sua extensão. Este movimento será limitado a 135°:

Figura 3: Movimento de flexão



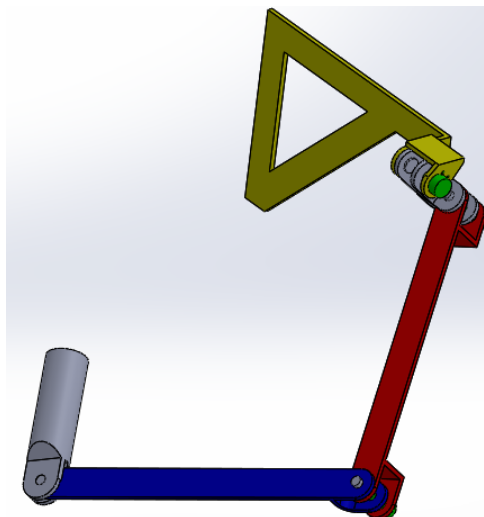
Fonte: o autor (Solidworks)

Comandos

Para executar a imitação dos gestos, é preciso um meio captação dos movimentos do braço do operador. Portanto foi elaborada uma estrutura na qual foram instalados os sensores necessários para captação das informações.

A estrutura foi concebida de forma que o operador segure um manete e ao mover seu braço, o mecanismo assumira posição semelhante das articulações do braço do operador.

Figura 4: Exoesqueleto de controle



Fonte: O autor (Solidworks)

Sensores

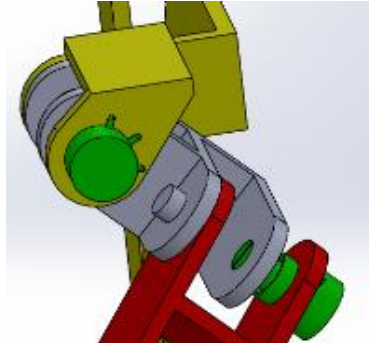
Pesquisando entre os sensores disponíveis no mercado que pudessem atender a esta aplicação, o que se demonstrou mais viável é o potenciômetro, que é um mecanismo onde se gira um eixo, o qual muda a resistividade entre seus terminais.

Figura 5: Potenciômetro



Fonte: <http://www.waltronica.com.br/subcategoria/1215-potenciometro>

Figura 6: Instalação na articulação



Fonte: O autor (solidworks)

Este componente pode ser usado para transformar a angulação de seu eixo em uma tensão elétrica específica sendo referencial de posição do comando e do manipulador.

Os mesmos devem ser instalados nas articulações do sistema, para executar movimentação do eixo sempre que o ângulo da mesma for alterado.

Desta forma, a única ligação entre o operador e o manipulador seria a de alguns fios de baixa voltagem, por onde caminhariam os sinais responsáveis pelo comando do manipulador, podendo o operador estar distante vários metros do equipamento, afastando riscos físicos, radiológicos, químicos, biológicos entre outros.

Motorização

A motorização deve possuir torque e velocidade suficiente para executar os movimentos de maneira rápida e precisa, além possuir custo menor que os servos-motores com motores de passo. Os motores de corrente contínua, preenchem os critérios básicos, porém ainda ficaria o problema do comando para funções de precisão, pois na sua maioria, não foram projetado para esta função.

A opção viável foi o motor de limpador de para-brisas, pois possui tensão de trabalho de 12V, rotação máxima de 100 rpm, torque máximo de 38 N.m, caixa de redução acoplada, regime de trabalho contínuo e alta robustez aplicáveis para execução dos movimentos.

Controle com Pulse-Width Modulation (PWM)

Para execução dos movimentos com precisão, seria necessário modular a velocidade dos motores de maneira gradual, para que ocorressem desacelerações e acelerações adequadas, com perdas mínimas de torque, facilitando sua operação em paradas pontuais.

De acordo com o site da PNCA Robótica e Eletrônica, empresa nacional especializada no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos para serem utilizados no mercado educacional, podemos introduzir um PWM, Pulse-Width Modulation, (modulação por largura de pulso), para variarmos a rotação do motor, sem prejudicar o torque do mesmo.

*“Com esta técnica podemos controlar a velocidade dos motores, mantendo o torque ainda que em baixas velocidades o que garante partidas suaves mesmo quando há uma carga maior sobre os motores. Aspectos que caracterizam o controle **PWM** como ideal para aplicações em robótica. (PNCA Robótica e Eletrônica LTDA - 2014)”*

Ainda, segundo catálogo de produtos Weg “Energia. Linha de Produtos e soluções”, Pag. 10, motores de corrente contínua são capazes de render torque constante (Conjugado), em uma ampla faixa de rotações, característica desejável no sistema.

De acordo com Manual do usuário da Weg, “Conversor CA/CC”, Pag. 81, pode-se alterar a rotação do motor utilizando de alterações da largura do pulso fornecido pelo conversor, sem prejuízo do torque.

Portanto, seria adequado o uso de PWM para controlar os motores de corrente contínua, dando variação de rotação ao sistema antes voltado apenas para fornecimento de movimentação contínua.

Sistema de comando

Para interpretar os dados fornecidos pelos sensores do manipulador e do controle, torna-se necessária a utilização de plataforma programável capaz de interpretar dados analógicos dos sensores, e também de controlar saídas utilizando controles PWM.

A plataforma escolhida foi o ARDUINO UNO, pois é um sistema programável de grande versatilidade, atendendo a todos os parâmetros de projeto, baseando-se no circuito integrado ATmega, capaz de gravar e executar uma programação escrita em C++.

Esta plataforma possui preço moderado, possuindo as seguintes características:

- Programação em C++, altamente intuitiva, não necessitando de configurações prévias das portas lógicas a exemplo dos PICs;
- Saídas de controle PWM, prontas e de fácil uso;
- Entradas analógicas com conversor digital incorporado;
- Velocidade de resposta compatível;

Utilização de ponte H com transistores FET

Para amplificar o sinal de baixa potência fornecido pelo ARDUINO, faz-se necessária a utilização de ponte H, dotada de transistores do tipo FET.

Segundo Malvino e Bates (2008), os transistores do tipo FET que é a sigla em inglês de *Field Effect Transistor*, que traduzido fica, Transistor de Efeito de Campo, funciona através do efeito de um campo elétrico na junção, com isso tendo como principal característica uma baixa

impedância de entrada, proporcionando um consumo de excitação de *gate* muito baixo, e de voltagem muito inferior a tensão de saída.

Esta escolha, deveu-se a baixa perda de ganho, de que seu comportamento é dócil em conjunto com controles digitais e de possuir baixa voltagem de acionamento, o que foi conveniente para sua interface com o ARDUINO. Segundo MARSTON (2000):

Field-Effect Transistors (FETs) are unipolar devices, and have two big advantages over bipolar transistors: one is that they have a near-infinite input resistance and thus offer near infinite current and power gain; the other is that their switching action is not marred by charge-storage problems, and they thus outperform most bipolars in terms of digital switching speeds.

Devido a condição de altíssima impedância da entrada, tornou-se viável a utilização de um foto-acoplador ligado diretamente a seu *gate*, para isolarmos os FETs do ARDUINO, protegendo o mesmo.

Programação

Para execução dos movimentos, era preciso que o programa englobasse a três critérios que serviriam de parâmetro para direcionar e definir a velocidade do movimento.

Sentido de movimento

Em primeiro faz-se a pergunta lógica se o sinal de do potenciômetro 1 está maior que o 2 e se a resposta for positiva, ele verifica se a diferença é positiva ou negativa, sendo positiva acionava-se a saída 1 do sistema em intensidade máxima movimentando o motor para um sentido, sendo negativa acionava-se a saída 2 do sistema em intensidade máxima movimentando o mesmo para o sentido oposto.

Expressão:

SE “pot1” > “pot2”, “PWM1” acionado máximo.

SE “pot1” < “pot2”, “PWM2” acionado máximo.

Velocidade de rotação

Para evitar oscilação na parada do movimento, fora inserida linha que utiliza a diferença de potencial dos sensores, para ajustar a velocidade do motor, fazendo com que a partida e parada sejam suaves, dependendo da diferença entre os sensores.

Primeiramente foi criada uma variável:

$$\text{“velocidade”} = (\text{“pot1”} - \text{“pot2”}) * (\text{constante})$$

Essa informação é utilizada para causar movimento no motor da seguinte forma:

SE “pot1” > “pot2”, “PWM1” acionado com intensidade = “velocidade”.

SE “pot1” < “pot2”, “PWM2” acionado com intensidade = “velocidade”.

Sendo assim ocorre que quando uma das duas condições é satisfeita, o motor gira na direção correspondente, numa velocidade compatível com a diferença de potencial entre os potenciômetros, sendo multiplicado por uma constante para adequar o sinal, aumentando gradualmente até o valor máximo de rotação.

Estabilidade de parada

Por último foi introduzido um ponto de parada nos momentos onde o valor da variável não esteja em um intervalo designando. Para tanto foi inserida outra expressão a programação, onde há um intervalo para que o programa não execute nenhuma ação, através da expressão:

SE (modulo de “velocidade”) < 5 , loop.

Com esta condição, em um intervalo onde a diferença de potencial entre os sensores for menor que 5, o valor do movimento será zerado, assim podemos ter um controle de sensibilidade totalmente digital, não havendo problema de parada abrupta e de oscilação no ponto de equilíbrio.

CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

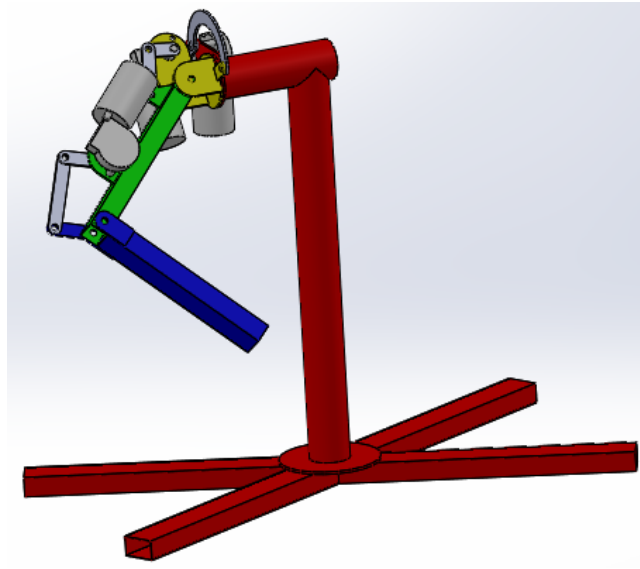
O equipamento foi elaborado visando atender principalmente os critérios didáticos, sendo utilizado para demonstrar a possibilidade de execução dos movimentos atendendo aos critérios necessários de resposta, velocidade e precisão.

Tendo em vista que sua utilização se daria principalmente em ambiente acadêmico, apesar de seu caráter experimental, não poderíamos abrir mão da segurança. Por tanto foi preciso execução criteriosa de todas as etapas de idealização, projeto e execução, sendo ele fabricado todo em aço estrutural A360.

Modelagem do protótipo

Utilizando técnicas de modelagem matemática, foi executado modelo em SolidWorks, para observação das características dimensionais necessárias para adaptação dos motores e também o desenvolvimento e dimensionamento de cada um dos mecanismos.

Neste processo foram seguidos alguns critérios para facilitar sua fabricação, evitando a utilização de perfis não comerciais para não haver dificuldades em sua construção.



Fonte: O autor (Solidworks)

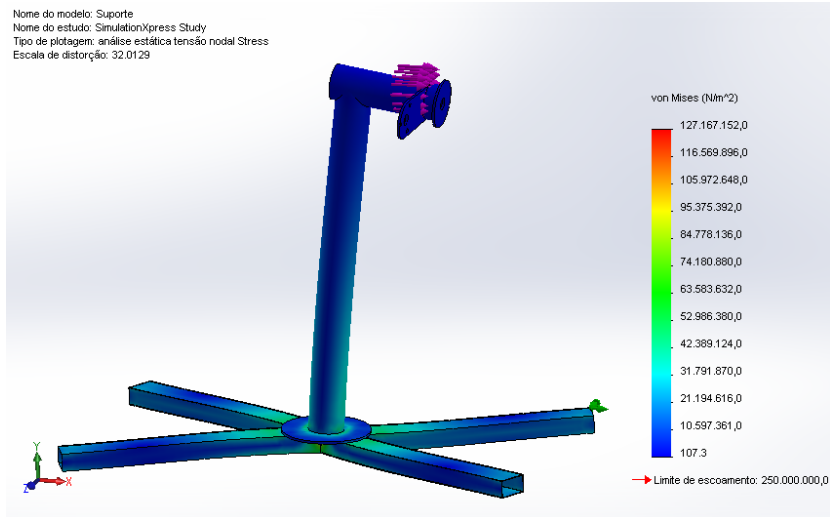
Após a adequação aos esforços executados, todo o modelo pode ser executado utilizando apenas três tipos de perfis.

- Tubular redondo de 80mm x 2mm
- Tubular retangular de 30mm x 50mm x 1,2
- Barra chata de $\frac{3}{4}$ " x 2mm

Ensaio em elementos finitos

Após a elaboração do modelo que mais atendia aos critérios de formato necessários a similaridade com o braço humano e ao posicionamento dos motores, foram executados testes em elementos finitos, com dimensionamento idealizado no torque máximo fornecido pelos motores, dimensionando os elementos de forma concordante com os perfis do mercado.

Figura 8: Ensaio em elementos finitos



Fonte: O autor (solidworks)

Execução do projeto

Foi utilizada solda com eletrodo revestido do tipo E7018, em todas as suas juntas, pois possui boa resistência e a solda pode ser executada em todas as posições, corte utilizando-se polí-corte e lixadeira e furadeira de bancada para as furações dos elementos.

Figura 9: Protótipo finalizado



Fonte: O autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a construção do protótipo, foi possível demonstrar a praticidade dos “comandos intuitivos” em relação aos comandos diretos do tipo alavanca ou botão, podendo trazer um novo patamar de interação entre homem e máquina, melhorando a segurança dos sistemas de comando do mercado.

Com desenvolvimento, seria perfeitamente viável a construção de equipamentos de menor custo para a execução de tarefas perigosas, evitando assim danos físicos causados aos trabalhadores, como também os custos provocados pelas indenizações trabalhistas provenientes de ocorrências de acidentes laborais.

Poderíamos substituir a presença humana sem a substituição de sua mão de obra em atividades perigosas, com essa ou outras tecnologias baseadas no mesmo conceito de operação intuitiva de equipamentos à distância.

Para tanto tem-se que levar em conta o caráter social e ético da questão, que se encontra no problema do custo da aquisição deste equipamento que apesar de reduzido em relação a

outras opções, ainda é alto comparado a facilidade de substituição de um ser humano ferido por outro saudável no campo de trabalho.

O sistema exposto poderia revolucionar a situação laboral no mundo, pois teria o poder de fazer com que mais nenhum trabalhador esteja exposto a situações de risco, criando assim um novo mundo, onde não existiriam mutilados e doentes por executar seu trabalho.

É comum em nossos dias fazermos a afirmação de que se uma ideia é muito simples, certamente alguém já a executou, isso se demonstra cada vez mais como inverdade. Não devemos esquecer que sempre há aquele ponto o qual estamos em condição de contemplar a situação de forma que outros não o podem.

REFERÊNCIAS

MALVINO, Albert; BATES, David J, Eletrônica, Volume 2, McGraw Hill Brasil, 7ª Edição, Porto Alegre/RS, 2008.

MARSTON, Ray PRINCIPLES AND CIRCUITS – FIELD EFFECT TRANSISTORS - Nuts & Volts Magazine – mai/2000 - T & L Publications, Inc., 2000

PNCA. Entenda o PWM. PNCA. Disponível em: <http://www.pnca.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=67:pwm&catid=42:saiba-mais&Itemid=150>. Acesso em: 15/set/2014.

ROSÁRIO, João Maurício. **Automação Industrial**. 4. ed. São Paulo: Baraúna, 2009

WEG. Manual do Usuário, Série: CTW900, Idioma: Português, N° do Documento: 10001528547/02, Versão de Software: 1.0X, Data da Publicação: 05/2014, WEG Drives & Controls – Automação LTDA. WEG. 2014. Disponível em: <http://www.pnca.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=67:pwm&catid=42:saiba-mais&Itemid=150, >. Acesso em: 07/out/2014.

WEG. DT – 3 CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA E CONVERSORES CA/CC, WEG Drives & Controls – Automação LTDA. WEG. 2014. Disponível em: <http://www.pnca.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=67:pwm&catid=42:saiba-mais&Itemid=150, >. Acesso em: 07/out/2014.