

# Manipulador robótico para assistência na iluminação odontológica

Ângelo Jorge Bálsamo  
dept. de Engenharia Elétrica  
FEI  
São Bernardo do Campo, SP  
angelojorge05@gmail.com

Lucas Meirelles Carregaro  
dept. de Engenharia Elétrica  
FEI  
São Bernardo do Campo, SP  
lucasmeirellesc@hotmail.com

Pedro Henrique Silva Domingues  
dept. de Engenharia Elétrica  
FEI  
São Bernardo do Campo, SP  
12pedro07@gmail.com

Renato Camargo Giacomini  
dept. de Engenharia Elétrica  
FEI  
São Bernardo do Campo, SP  
renato@fei.edu.br

**Abstract**—This project aims the improvement of working conditions and time spending in procedures for dentists. For this, a robotic assistant was developed, using a manipulator, replacing the movable axis where the focal light of a conventional dental chair is located. The assistant doesn't touch directly the patient, it only moves autonomously around the face, searching for the best angles and positions to illuminate the oral region. Its operation uses image processing techniques and machine learning to perform a real-time analysis from the images that's originated from the camera positioned near the focal light, at the end of the manipulator. This process communicates with the control of the robot's joints through the ROS - Robot Operating System - in order to carry out the kinematic calculations and optimize the process of finding the ideal position to provide the illumination of the interest region during the procedure.

**Index Terms**—Computer Vision, Robotics, Odontology, Ergonomics

Este projeto tem por objetivo melhorar a condição de trabalho e velocidade de atendimento em procedimentos para dentistas. Para isso, foi desenvolvido e simulado um assistente robótico, utilizando um manipulador, substituindo o eixo móvel onde encontra-se a luz focal de uma cadeira odontológica convencional. O assistente não entra em contato direto com o paciente, apenas move-se de forma autônoma ao redor deste, buscando os melhores ângulos e posições para realizar a iluminação da região bucal. Seu funcionamento utiliza como base técnicas de processamento de imagem e *machine learning*, para realizar análises em tempo real do vídeo de uma câmera posicionada próxima a luz focal, na extremidade do manipulador. Este processo comunica-se com o controle das juntas do robô por meio do ROS - *Robot Operating System* - de forma a realizar os cálculos cinemáticos e otimizar o processo de busca da posição ideal para propiciar a iluminação da região de interesse durante o atendimento do paciente.

**Palavras Chave**—Visão Computacional, Robótica, Odontologia, Ergonomia.

## I. INTRODUÇÃO

As doenças ocupacionais têm ocupado cada vez mais as discussões na área da saúde. Segundo o artigo 20, I da Lei n. 8.213 de 24 de julho de 1991: A doença ocupacional é definida como a enfermidade produzida ou desencadeada pelo exercício constante de um trabalho peculiar à uma determinada atividade. [1]. Um dos âmbitos mais afetados é o da odontologia, pois os profissionais deste ramo estão sujeitos a riscos de insalubridade, como o contato com o sangue dos pacientes, e a grandes desgastes físicos devido à postura de trabalho durante às consultas, e a repetibilidade de movimentos, por exemplo.

Em [2] afirma-se que, para prevenção das doenças ocasionadas por agentes mecânicos, como a má postura do profissional, é fundamental que o dentista entenda dois importantes aspectos, sendo eles: a escolha de equipamentos que possibilitem uma melhor postura, mantendo o conforto do paciente, além de qual a ergonomia correta para a manutenção de uma postura saudável.

Sabe-se que a alta repetibilidade de movimentos que o profissional deve exercer durante o atendimento pode ocasionar Lesões por Esforços Repetitivos (LER) e/ou Lesões por Trauma Cumulativo (LTC) nas regiões que compreendem o pescoço, coluna lombar, região cervical, cintura escapular e membros superiores. Estas lesões foram observadas em um estudo da Faculdade de Odontologia da Universidade de Passo Fundo RS, realizado entre 36 cirurgiões dentistas, no qual identificou-se que 31% apresentavam problemas na lombar, 27% na região cervical, 23% problemas na região dos ombros e 17% na região dos pulsos [3].

Por este motivo foi proposto neste projeto de pesquisa o desenvolvimento de um robô de assistência odontológica responsável por auxiliar na tarefa de movimentação do eixo móvel que ilumina o rosto do paciente.

As seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: A seção II apresenta brevemente a relação da tecnologia e

o meio médico, categorizando o escopo no qual este projeto afeta tal meio. A seção III *Robot Operating System* explica, sucintamente como o sistema *ROS* opera e como foi aplicado no projeto. A seção IV apresenta uma explicação sobre os conceitos de visão computacional, sua relação e importância para este projeto e sua correlação com *machine learning*. A seção V traz uma pequena introdução aos conceitos e modelagens matemáticas do manipulador utilizado nesta pesquisa. A seção VI descreve a metodologia utilizada, separando em duas grandes áreas, sendo elas: o processamento de imagem e a cinemática do robô, ao mesmo tempo que ilustra os resultados obtidos durante os experimentos. Por fim, a seção VII descreve as conclusões do projeto, destacando os principais aspectos e a visão dos autores para o desenvolvimento futuro deste trabalho.

## II. TECNOLOGIA NO MEIO MÉDICO

A medicina, odontologia, e demais segmentos da área da saúde sempre foram alvos de desenvolvimento tecnológico, dado seu impacto direto na vida e bem estar dos pacientes. Com o avanço das pesquisas na esfera da robótica, passamos a ser capazes de desenvolver ferramentas e equipamentos auxiliares a atividades realizadas por pessoas, para automatizar completamente, ou parcialmente, processos que estão sujeitos a falhas humanas ou a repetibilidade, como: movimentos e ajustes de ferramentas, e a iluminação da região do local de trabalho.

Em [4] os autores dividiram a contribuição da robótica em três principais segmentos: a micro-robótica, a bio-robótica e a macro-robótica. Este trabalho terá foco apenas na última, visto que o projeto contempla um robô auxiliar que não entrará em contato com o paciente. Objetiva-se otimizar o tempo gasto em atividades secundárias ao atendimento do dentista, assim como, minimizar o impacto causado por estas atividades na saúde destes especialistas.

## III. ROBOT OPERATING SYSTEM - ROS

O Sistema Operacional de Robôs, ou do inglês, *Robot Operating System (ROS)*, é conhecido por ser um sistema modular, que disponibiliza bibliotecas e ferramentas para auxiliar desenvolvedores de software a criar aplicações robóticas. O sistema fornece uma camada de comunicação estruturada entre: *hardware*, *drivers*, simuladores, transmissores de mensagens, gerenciamento de pacotes, entre outros. O ROS é *Open Source* e licenciado sob a licença *Berkeley Software Distribution (BSD)*. [5]

Os conceitos fundamentais da implementação do ROS neste projeto são: os Nós, os Tópicos e as Mensagens.

### A. Nós

Os nós são processos que executam determinadas tarefas dentro de um sistema. Como o ROS é projetado para ser modular, normalmente os nós tem responsabilidades predefinidas e bem específicas. [6] Neste projeto, foram desenvolvidos três nós, sendo:

- *Main\_Vision*: responsável por todas as tarefas da visão - sendo melhores descritas na subseção VI-A - e enviar para o nó *Main\_Control*, a direção e sentido o qual o manipulador deverá se posicionar;
- *Main\_Control*: responsável por receber a direção e sentido obtido pelo nó *Main\_Vision* e gerenciar o controle do manipulador, de modo que, caso receba uma informação entre  $0.0^\circ$  e  $360.0^\circ$  enviar o comando de "movimentar" junto com o ângulo, e caso receba o valor igual a -1, enviar o comando de "parar" para o nó *Move\_Robot\_Control*;
- *Move\_Robot\_Control*: responsável por receber os comandos de "movimentar" junto com a direção e sentido, e "parar" obtidos pelo nó *Main\_Control*. Para o primeiro comando com o valor da direção, realiza-se os cálculos de cinemática inversa dos dados de posição:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  e das orientações dos quatérnios:  $qx$ ,  $qy$ ,  $qz$ ,  $qw$  - sendo melhores descritas na subseção VI-B1 - e enviar para o nó *Move\_Group*, o qual é responsável por comunicar-se com o simulador e realizar os movimentos do manipulador;

### B. Mensagens

As mensagens são estruturas de dados, normalmente, de tipos primitivos: número inteiro, ponto flutuante, booleanos e outros, podendo também ser uma mensagem customizada dependendo da aplicação. Neste trabalho, utilizam-se os seguintes tipos de mensagens:

- Mensagem do tipo *Float32*, para descrever a informação que o nó *Main\_Vision* publica para o nó *Main\_Control*, e que este último, publica para o nó *Move\_Robot\_Control*;
- Mensagem do tipo *moveit\_msgs*, o qual serve para descrever as informações do controle do manipulador que o nó *Move\_Robot\_Control* publica para o nó *Move\_Group*;

### C. Tópicos

Os tópicos são os canais de comunicação que o sistema ROS utiliza para que os nós se comuniquem entre si. Por exemplo, neste projeto, têm-se a seguinte estrutura de comunicação:

- O nó *Main\_Vision* publica uma mensagem do tipo *Float32* no tópico *move\_angle*;
- O nó *Main\_Control* inscreve-se no tópico *move\_angle* para receber as informações descritas previamente e publica uma outra mensagem, também do tipo *Float32*, no tópico *move\_robot*;
- O nó *Move\_Robot\_Control* inscreve-se no tópico *move\_robot* para receber os dados necessários e publica uma mensagem, do tipo *moveit\_msgs*, nos tópicos *tf\_static* e *attached\_collision\_object*;
- O nó *Move\_Group* inscreve-se no tópico *move\_robot* para receber as informações de controle do manipulador e publica as mensagens necessárias em outros tópicos, a fim de realizar a simulação do manipulador;

A arquitetura do sistema de comunicação engloba os três conceitos descritos anteriormente e está representada no diagrama (Figura 1) a seguir:



Fig. 1. Arquitetura do sistema de comunicação (Fonte: Autor).

#### IV. VISÃO COMPUTACIONAL E MACHINE LEARNING

Visão computacional é a forma com que um computador interpreta dados pictóricos de maneira similar a como um humano interpretaria, um complemento ao processamento de imagem, tratando os dados e transformando em decisões ou classificações [7] [8].

Aprendizado de máquina, ou *machine learning*, é um conjunto de técnicas para o qual, dado uma entrada bem definida, uma saída conhecida, e um processo complexo, de difícil modelagem algorítmica, encontra-se uma boa aproximação para a transformação da entrada na saída. A desvantagem destas técnicas constitui-se na impossibilidade de interpretar a tomada de decisão, ou seja, a razão de uma entrada gerar um resultado em particular [9].

Neste projeto estas técnicas serão utilizadas em conjunto, através de uma rede neural treinada para realizar a detecção de 68 pontos chave do rosto humano. A rede utilizada é parte da biblioteca *dlib* da linguagem de programação *Python* [10] e foi escolhida por sua robustez e facilidade de implementação.

#### V. MODELAGEM MATEMÁTICA DO BRAÇO ROBÓTICO

Uma das premissas da robótica é a modelagem matemática das partes do robô no espaço tridimensional. Entendê-la permite a modelagem do meio físico, tornando possível todos os cálculos que rodeiam a cinemática e a dinâmica dos manipuladores robóticos. Essa base de representação modela as articulações que unem os *links* de um robô através de um sistema de coordenadas. Cada sistema de coordenadas é capaz de traduzir a posição e a orientação deste no espaço tridimensional [11]. Neste trabalho, os estudos usam como base o sistema de coordenadas da ferramenta do manipulador para posicioná-lo e orientá-lo.

O posicionamento do robô é feito pelo conjunto de coordenadas cartesianas  $x$ ,  $y$  e  $z$ , enquanto a orientação é dada pelo vetor de quatérnions unitários  $q [ qx \ qy \ qz \ qw ]$ . Esta

pode ser definida através da representação ângulo-eixo, no qual qualquer orientação pode ser obtida rotacionando o sistema de coordenadas da ferramenta em torno de um vetor  $K [ kx \ ky \ kz ]$ , de direção tridimensional pelo ângulo  $\theta$ . Assim, define-se o vetor  $q$  como :

$$qx = \sin(\theta/2) * kx \quad (1)$$

$$qy = \sin(\theta/2) * ky \quad (2)$$

$$qz = \sin(\theta/2) * kz \quad (3)$$

$$qw = \cos(\theta/2) \quad (4)$$

Visto que este trabalho se concentra na utilização de um manipulador pré modelado, os tópicos como cinemática inversa e dinâmica não serão abordados, uma vez que essas configurações são fornecidas pelos fabricantes. Entretanto, o entendimento de como posicionar e orientar a ferramenta do braço é crucial para o projeto.

#### VI. METODOLOGIA E RESULTADOS

Para desenvolvimento foram impostas duas premissas:

- 1) O dentista deve estar utilizando máscara durante todo o procedimento. Este ponto não é um impedimento para o funcionamento, mas auxilia no melhor desempenho ao evitar a presença de mais uma face em conjunto ao paciente na imagem.
- 2) O dentista e qualquer assistente devem utilizar luvas brancas. Isto é importante para o cálculo do centro de massa explicado em VI-A3

Inicialmente, foi criado um diagrama do fluxo de informação do projeto de forma genérica (Figura 2), que teve por objetivo ajudar na definição de dois segmentos independentes e conectados por um canal de comunicação. São estes o processamento de imagem e o processamento cinemático.

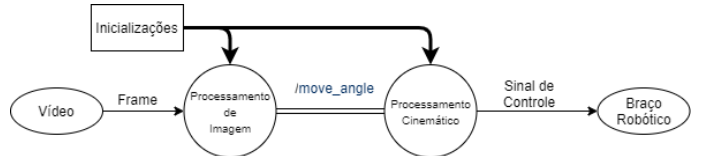


Fig. 2. Diagrama de fluxo de dados simples (Fonte: Autor).

O fluxo geral de informação consiste na captura do vídeo da câmera, o qual alimenta o processo de visão computacional, que por sua vez deve detectar o rosto do paciente e, em caso de obstrução deste, comunicar o ângulo proveniente da obstrução ao processo de controle cinemático, para que o robô mova-se de forma a encontrar novamente o rosto. Ao constatar que o rosto foi encontrado novamente, o nó responsável deve repassar esta informação para que o manipulador pare.

##### A. Processamento de imagem

Refinando o diagrama da Figura 2 de forma a salientar as etapas que constituem o processo de visão computacional, obtêm-se o fluxograma da Figura 3, o qual resume o processo detalhado nos itens subsequentes.

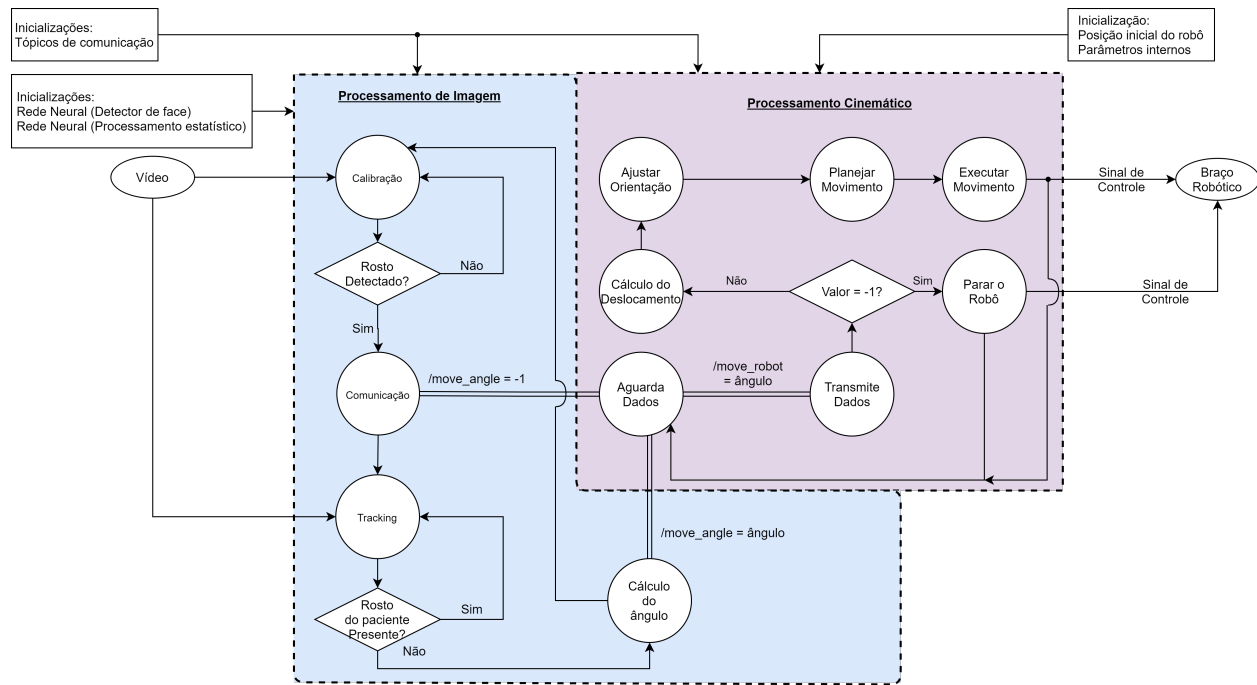


Fig. 3. Diagrama de fluxo de dados refinado (Fonte: Autor).

1) *Calibração*: O objetivo da calibração é aumentar a robustez do processo de detecção do paciente. Esta etapa é realizada uma vez no início da consulta e repetida toda vez que o rosto do paciente for perdido ou categorizado pelo assistente robótico como obstruído.

Durante a calibração é utilizada uma rede neural profunda que utiliza *landmarks* - pontos chave que são encontrados na face de qualquer pessoa - para realizar a detecção.

A rede em questão foi escolhida devido a sua grande robustez em relação a rotações do rosto e por ser capaz de a partir da detecção parcial dos *landmarks*, realizar a estimativa da posição dos demais, o que traz vantagem na aplicação deste no projeto, pois outros algoritmos de detecção facial implicariam em situações recorrentes de falsos negativos, ou seja: obstruções de regiões da face como olhos ou nariz que não interfiram na boca seriam passadas para o assistente robótico da mesma forma que oclusões reais, que impedem o robô de iluminar a boca.

Para concluir a etapa de calibração, duas regras devem ser cumpridas. São estas:

- O paciente deve ser o único rosto presente na imagem durante todo o tempo;
- A rede neural responsável pela detecção deve ser capaz de manter a face detectada por um número parametrizado de quadros consecutivos, com este número sendo variável e relativo ao momento em que a calibração está sendo realizada. Este período de tempo em aguardo para satisfazer o requisito é importante para evitar ruídos e possíveis intervenções externas que causem uma interpretação errônea dos dados.

Com a face detectada pelo número de quadros definido,

um sinal é enviado pelo canal de comunicação do ROS (apelidado de `/move_angle`) informando ao nó responsável pelo processamento cinemático que é possível detectar o paciente a partir da posição atual da câmera no espaço. Ao mesmo tempo, o quadro com o rosto e a posição deste na imagem são enviados para a etapa de *tracking*.

2) *Tracking*: Esta é a principal etapa do processo de visão computacional, é nela que o robô deve passar maior parte do tempo de funcionamento. Suas tarefas incluem: controle e atualização da posição do rosto do paciente na imagem; Separação da face do paciente das demais eventualmente presentes; Detecção de obstrução bucal que interfira na boa iluminação desta região; Constatação da necessidade de movimentação da posição da câmera.

Para realizar a atualização da posição do rosto na nova imagem, a rede neural responsável avalia o quadro mais recente proveniente da câmera, detectando todas as faces na imagem. Com isto, itera-se sobre todos os retângulos oriundos da detecção, calculando a distância euclidiana do centro destes até o centro do retângulo no qual o rosto do paciente encontrava-se no último quadro em que estava presente. A posição do rosto que possuir erro menor do que um valor de corte especificado é definido como sendo a nova posição do paciente.

Para avaliar se a boca de um rosto detectado esta oclusa e portanto, não possui a devida iluminação, recorta-se o retângulo referente a estimativa da posição desta feita pela rede neural e a partir deste retângulo é montado um histograma dos canais de cores RGB e em escala de cinza, conforme demonstrado na Figura 4. São então calculados os valores de média, mediana e desvio padrão destes histogramas e estas

informações são passadas para uma segunda rede neural *feed forward* que realiza a classificação da boca em duas classes: oclusa e visível.

Caso um ou mais processos citados anteriormente indiquem falha, ou seja, oclusão da boca, falha na detecção da face ou perda completa da posição desta no meio, um *timer* é iniciado, e na condição de acionamento deste, o processo de *tracking* é parado e a próxima etapa é iniciada.

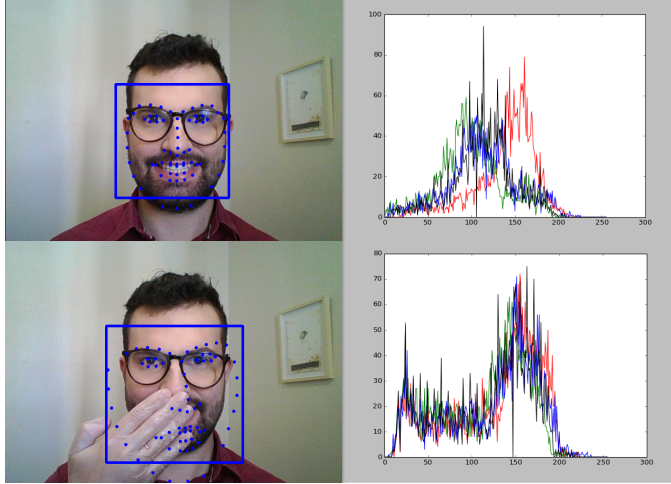


Fig. 4. Histogramas com e sem oclusão (Fonte: Autor).

3) *Ângulo*: Como citado na seção VI-A2, este ciclo do processo é chamado somente quando o um movimento do braço robótico se faz necessário, seja por uma obstrução bucal ou por perda da referência do rosto.

Para iniciar este passo, são necessárias duas imagens: uma referente ao recorte do rosto do paciente, provindo da etapa de calibração, e outra imagem, que também é um recorte do rosto, porém extraído no momento em que a face foi obstruída ou perdida. Estes recortes passam então pela seguinte ordem de processos:

- 1) Primeiro os recortes são convertidos em escala de cinza, com o objetivo de tornar os cálculos e procedimentos seguintes mais rápidos, uma vez que o número de canais de cores é reduzido de três para um.
- 2) Ambos passam por um mesmo filtro gaussiano, para tornar o gradiente de cores mais homogêneo e eliminar ruídos, o que melhora os resultados das etapas seguintes;
- 3) Após a aplicação do filtro, realiza-se o cálculo de centro de massa nas duas imagens conforme as equações 5 e 6.

$$M_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y); \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \bar{x} &= M_{10}/M_{00} \\ \bar{y} &= M_{01}/M_{00} \end{aligned} \quad (6)$$

Onde  $I(x, y)$  indica a intensidade de cor do pixel neste ponto e  $(\bar{x}, \bar{y})$  a coordenada do centro de massa na imagem.

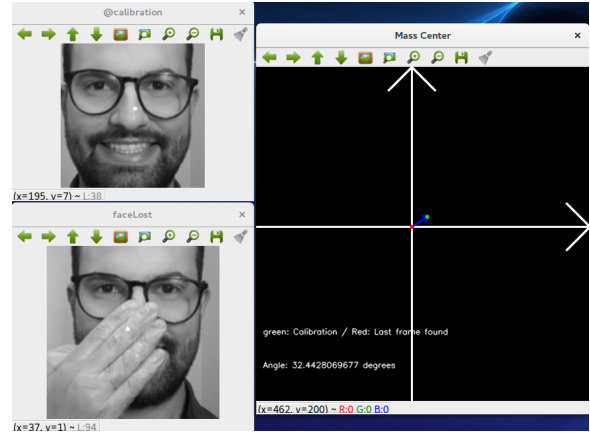


Fig. 5. Deslocamento do centro de massa após obstrução (Fonte: Autor).

Como o dentista estará utilizando luvas brancas, haverá um deslocamento claro deste ponto nas duas imagens (conforme demonstrado na Figura 6), sempre na direção oposta ao *cluster* de tonalidade clara gerado pela presença da luva, o que permite a realização do próximo passo.

- 4) Os centros de massa das duas imagens são normalizados entre 0 e 1, com base na altura e largura de cada quadro.
- 5) Após normalizados, um vetor é encontrado utilizando os pontos e seu ângulo condiz com a direção oposta a obstrução, conforme indicado na Figura 5. Esta informação é transmitida a diante por meio do ROS, através do tópico nomeado */move\_angle*

## B. Processamento cinemático

O processo cinemático referenciado na Figura 3 é detalhado nas seções subsequentes.

1) *Cálculo de Deslocamento*: O cálculo do deslocamento tem por objetivo encontrar a posição final do braço diante de uma entrada em valor angular, que direciona o movimento de tal forma a posicionar o eixo de coordenadas da ferramenta, como parte do processo responsável por desviar de qualquer tipo de obstrução que esteja entre a câmera e a boca do paciente.

O movimento do braço deve ocorrer dentro de um espaço de trabalho limitado a fim de garantir a segurança dos profissionais e do próprio paciente. Por isso, o campo de trabalho foi limitado à um quarto de esfera e tomando como ponto de vista o braço robótico de frente ao paciente deitado, conforme demonstrado em azul na Figura 6, definindo-se algumas restrições:

- 1) O centro da esfera deve ser a boca do paciente;
- 2) A posição da ferramenta deve ter no mínimo a mesma altura da boca do paciente;
- 3) O 1/4 de esfera deve estar na frente e acima da boca do paciente;



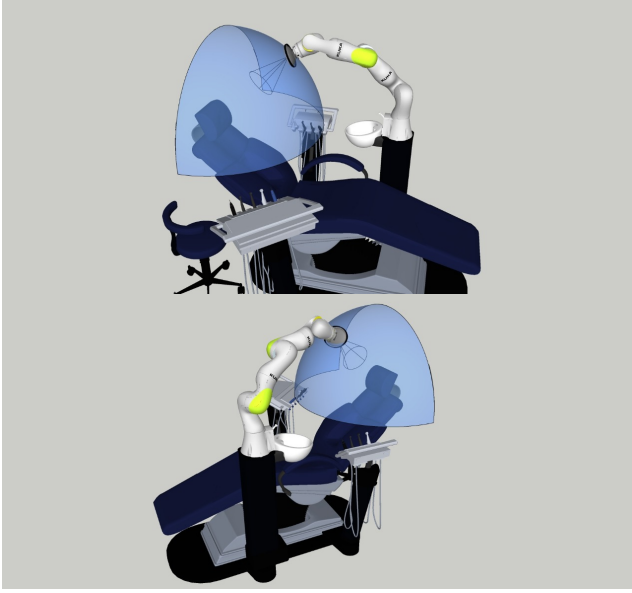


Fig. 6. Área de trabalho do manipulador (Fonte: Autor).

Desta forma, define-se a posição final do manipulador no espaço tridimensional como:

$$y = y - \cos \text{angulo}/20 \quad (7)$$

$$z = z - \sin \text{angulo}/20 \quad (8)$$

$$x = \sqrt{R^2 - (y - b)^2 - (z - c)^2} + a \quad (9)$$

onde  $R$  é o raio do espaço de trabalho, e os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  simulam a posição de referência do robô como o centro da circunferência, ou seja, a boca do paciente.

2) *Ajuste da Orientação*: O ajuste da orientação responsabiliza-se por corrigir a direção do eixo  $z$  do sistema de coordenadas da ferramenta para o centro da circunferência. Sendo assim, define-se como ângulo objetivo, ângulo atual e ângulo de rotação para os eixos  $x$  e  $y$  respectivamente do sistema de coordenadas da ferramenta:

$$\begin{aligned} \theta_o &= \sin y_o/R \\ \theta_a &= \sin y_a/R \\ \theta_r &= \theta_o - \theta_a \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \alpha_o &= \sin z_o/R \\ \alpha_a &= \sin z_a/R \\ \alpha_r &= \alpha_o - \alpha_a \end{aligned} \quad (11)$$

Obtidos os ângulos de rotação por eixo, é realizada a conversão para o quatérnio de rotação e por fim, multiplica-se pelo quatérnio com a orientação atual para obtenção da orientação final da ferramenta através do pacote [12] em *Python*.

3) *Planejar Movimento*: O planejamento do movimento é feito pela definição dos pontos que serão percorridos entre a posição inicial e a posição final da ferramenta mantendo a orientação inicial.

4) *Executar Movimento*: No processo de execução do movimento é gerado um sinal de controle que fará o manipulador executar o trajeto planejado. Neste processo, é importante ressaltar que caso a posição final do manipulador extrapole a região de trabalho delimitada, o manipulador voltará para a posição inicial.

## VII. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

Neste projeto propôs-se o desenvolvimento de um braço robótico responsável por iluminar a boca de um paciente e capaz de, por meio de técnicas de visão computacional, posicionar-se no espaço de forma a evitar obstruções que impeçam-no de realizar sua tarefa.

Em VI-A3 foi demonstrado que a estratégia proposta de cálculo do centro de massa para dedução de um ângulo de movimentação do robô é funcional, evitando pontos de oclusão onde a luz não atinge a região bucal do paciente. A técnica demonstrou ser precisa e robusta o suficiente para esta aplicação, apresentando leves inconsistências quando duas ou mais mãos estão presentes na imagem.

Pela simulação foi validado que o deslocamento e a orientação do manipulador, previstos nas subseções VI-B1 e VI-B2, responderam corretamente à entrada angular proposta na VI-A3, promovendo um melhor ângulo de iluminação para a boca do paciente.

Conclui-se então, que as técnicas utilizadas neste projeto atenderam os requisitos necessários para o funcionamento do Assistente Robótico.

Para trabalhos futuros sugere-se duas abordagens: A primeira é a inclusão de uma forma de percepção de obstáculos e pessoas presentes na região de operação do robô, com isto, evitando possíveis colisões. A segunda proposta inclui a integração de mais tarefas de assistência secundárias ao atendimento, como por exemplo: a implementação da montagem automática de prontuários de pacientes, com base em anotações de voz dadas durante o atendimento.

## REFERÊNCIAS

- [1] JUNIOR, Waldemar Ramos. Doença ocupacional: conceito, características e direitos do trabalhador. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <https://saberaei.jusbrasil.com.br/artigos/378215786/doenca-ocupacional-conceito-caracteristicas-e-direitos-do-trabalhador>.
- [2] SAQUY, Paulo César et al. A ergonomia e as doenças ocupacionais do cirurgião-dentista. Revista Odontológica do Brasil Central, v. 7, n. 23, 1998.
- [3] MICHELIN, Cely Fróes; MICHELIN, Alexandre Fróes; LOUREIRO, Carlos Alfredo. Estudo epidemiológico dos distúrbios musculoesqueléticos e ergonômicos em cirurgiões-dentistas. Revista da Faculdade de Odontologia-UPF, v. 5, n. 2, 2000.
- [4] DARIO, Paolo et al. Robotics for medical applications. IEEE Robotics & Automation Magazine, v. 3, n. 3, p. 44-56, 1996.
- [5] CASHMORE, Michael et al. Rosplan: Planning in the robot operating system. In: Twenty-Fifth International Conference on Automated Planning and Scheduling. 2015.
- [6] QUIGLEY, Morgan et al. ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA workshop on open source software. 2009. p. 5.
- [7] NIXON, Mark; AGUADO, Alberto. Feature extraction and image processing for computer vision. Academic Press, 2019.
- [8] BRADSKI, Gary; KAEHLER, Adrian. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. "O'Reilly Media, Inc.", 2008.
- [9] ALPAYDIN, Ethem. Introduction to machine learning. MIT press, 2020.

- [10] KING, Davis E. Dlib-ml: A machine learning toolkit. *Journal of Machine Learning Research*, v. 10, n. Jul, p. 1755-1758, 2009.
- [11] CRAIG, John J. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 2. ed. [s. l.]: Addison-wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.
- [12] FOOTE, Tully. tf: The transform library. In: *2013 IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*. IEEE, 2013. p. 1-6.