

Navegação com Restrição Social para Robótica Móvel baseada na Interação Homem-Máquina

Marcelo Sampaio * Giovane Moreira ** Adriel Souza ***
Érika Correia **** Anderson Leite † João Vilasboas ‡
José Díaz Amado § João Marques †

* IFBA - Vitória da Conquista, mvsampaio98@gmail.com

** IFBA - Vitória da Conquista, giovane.fern.m@gmail.com

*** IFBA - Vitória da Conquista, adrielluiz35@gmail.com

**** IFBA - Vitória da Conquista, erika.brito.correia@gmail.com

† IFBA - Vitória da Conquista, andersonleite.bsi@gmail.com

‡ IFBA - Vitória da Conquista, joaopfvilasboas@gmail.com

§ IFBA - Vitória da Conquista, jose_diaz@ifba.edu.br

† IFBA - Vitória da Conquista, joaoerivando@yahoo.com.br

Abstract: Social robotics is an increasing area that has boosted the integration of robots and people in common environments. Thus, new Human-Robot Interaction (HRI) techniques have emerged to make robots behave in an acceptable and social ways. interaction is one of these new techniques, that dictate the distance between robots and humans. In this sense, robots must respect the proxemic zones of people around them, while navigating in the shared spaces. In this work, we propose a social aware navigation system based on proxemic that responds to voice commands to move around in an environment shared with people. This social navigation system is integrated into GProxemic Navigation, a system that automatically provides the robots location and the proxemic zones that robots must avoid during their navigation, according to the environment characteristics. To demonstrate the functionality and suitability of the proposed proxemic navigation system, we implemented it in an autonomous wheelchair. this implementation, the wheelchair can be activated to make the most efficient path respecting the social constrains of the environment

Keywords: Navigation System; Proxemics; ROS; Integration; Robotics.

Resumo: A robótica social é uma área crescente que tem impulsionado a integração de robôs e pessoas em ambientes comuns. Assim, novas técnicas de *Human-Robot Interaction* (HRI) surgiram para fazer com que os robôs se comportem de maneira aceitável e social. A proxêmica é uma das técnicas que se baseia na distância entre robôs e humanos. forma, o robô deve respeitar as zonas proxêmicas ao redor das pessoas enquanto navega em um ambiente compartilhado. Neste trabalho, propomos um sistema de navegação com consciência social que pode ser acionado por comandos de voz para se movimentar em um ambiente compartilhado com pessoas. Esse sistema de navegação social está integrado ao GProxemic Navigation, um sistema que fornece automaticamente a localização do robô e decide as zonas proxêmicas que os robôs devem evitar durante sua navegação, de acordo com as características do ambiente. Para demonstrar a funcionalidade e adequação do sistema de navegação proxêmico proposto, nós o implementamos em uma cadeira de rodas autônoma. Com esta implementação, a cadeira de rodas pode ser acionada para fazer o caminho mais eficiente respeitando as restrições sociais do ambiente.

Palavras-chaves: Sistema de Navegação; Proxêmica; ROS; Integração; Robótica.

1. INTRODUÇÃO

Na sociedade atual há um crescimento nas pesquisas sobre robôs sociais para prestar serviços em locais como hospitais, museus e centros educacionais o que comprova que a robótica está mais presente no cotidiano das pessoas (Belpaeme et al., 2018), (González-González and Gil-Iranzo, 2021), (Henschel et al., 2020). Por esse motivo, é importante que os robôs compreendam o comportamento

humano e as características do ambiente. uso de ferramentas como o processamento de imagens, reconhecimento de padrões de fala e interações proxêmicas auxiliam no aprimoramento da HRI. Com esse ferramental, é possível analisar a fala, obedecer comandos de voz e respeitar as restrições sociais durante a navegação robótica (Valipour et al., 2017). Em busca de aperfeiçoar a HRI, os robôs devem ser programados para interagir socialmente, adaptando-se a diferentes tipos de ambiente.

A maneira como um robô se desloca interfere na sua aceitação social, em termos de segurança, conforto e legibilidade.

* Esta pesquisa foi apoiada pela Chamada Pública 05/2020 - Seleção de projetos de apoio ao empreendedorismo inovador com foco na Economia 4.0 e pelo PIBIC/PIBITI.

Assim, os pesquisadores estão se concentrando em fazer os robôs agirem de forma natural,

os aspectos das características sociais, a proxêmica é uma das mais importantes, descrevendo o espaço pessoal de indivíduos em um meio social. Essa distância pessoal está correlacionada com a distância física, sendo dividida em quatro grupos: íntima (definida por uma distância de 0-50cm), pessoal (quando a proximidade das pessoas é de 0,5 a 1m), social (se a distância for de 1 a 4m) e pública (se a distância for maior que 4m) (Ballendat et al., 2010), (Greenberg et al., 2011), (Hall, 1966), (Wolf et al., 2016). Com esse conceito, a proxêmica está se tornando comumente usada para melhorar a HRI e complementar a navegação social robótica. (Daza et al., 2021)

Como exposto anteriormente, a navegação robótica precisa respeitar as zonas proxêmicas e as restrições sociais. Isso, o robô deve considerar uma determinada distância física, com intuito de gerar uma atitude correta em um ambiente compartilhado com pessoas (Mead and Matarić, 2016), (Redondo, 2019).

Neste trabalho, será desenvolvido um sistema de navegação social capaz de analisar a região proxêmica e reconhecer comandos de voz para que o robô se mova no ambiente. Este sistema de navegação social está integrado ao sistema *GProxemic Navigation* (Vilasboas et al., 2021), que identifica a localização do robô e respeita as zonas proxêmicas das pessoas conforme as características do ambiente.

isto a existência de pessoas em condições de tetraplegia que não conseguem operar um *joystick*, o sistema foi implementado em uma cadeira de rodas com opção de acionar um algoritmo por meio de comandos de voz. Com isso, o sistema *GProxemic Navigation* é acionado com objetivo de fornecer a localização da cadeira de rodas para estabelecer as zonas proxêmicas corretas para aquele local. Por fim, a cadeira de rodas irá navegar até o destino desejado considerando as restrições sociais daquele determinado ambiente.

O artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta um estudo dos trabalhos relacionados; A Seção 3 descreve o sistema de navegação e sua integração no sistema *GProxemic Navigation*; A Seção 4 mostra a funcionalidade e eficiência da integração; E a Seção 5 conclui destacando as principais contribuições deste trabalho.

2. ESTADO DA ARTE

Atualmente, existem muitos estudos propondo robôs de atendimento em diversos setores, como em restaurantes, levando os pedidos dos clientes até suas mesas e também sendo responsáveis por receber o pagamento (Akhund et al., 2020), (Qing-xiao et al., 2010). Outra aplicação já estudada é o transporte de equipamentos médicos entre departamentos de um hospital, com intuito de agilizar as atividades realizadas, além de reduzir as chances de custos adicionais em cirurgias (Kuo et al., 2017), (Takahashi et al., 2010). No setor turístico, os robôs sociais estão se destacando em levar os turistas ao seu destino em diferentes lugares (Alexis, 2017) ou explorar um sítio arqueológico (Coad et al., 2019). Para que os robôs realizem essas tarefas, é necessário que eles naveguem no

ambiente sem colisões. Para isso, os robôs são equipados com sensores que reúnem diferentes tipos de informação do ambiente a serem processados por eles (Bettencourt and Lima, 2021).

A visão computacional é uma das técnicas populares usadas para processar essas informações, por exemplo, ler as características das imagens em ambientes estáticos, ou mesmo em ambientes dinâmicos, no qual o ponto de chegada e os objetos se movem ao longo do tempo. No entanto, quando as pessoas estão compartilhando com robôs os mesmos ambientes, é importante considerar novas capacidades de robôs para tornar seus comportamentos mais socialmente compatíveis. A robótica social surge dessa necessidade promovendo pesquisas além da detecção de pessoas e considerando outros aspectos, como reconhecimento de emoções (Fiorini et al., 2020) e interações proxêmicas (Banisetty and Williams, 2021), (Daza et al., 2021), (Ginés et al., 2019), (Mavrogiannis et al., 2019), (Narayanan et al., 2020), para melhorar a HRI e facilitar o processo de navegação.

Devido a necessidade dos robôs fornecerem serviços cada vez mais complexos, a integração de diversas técnicas e abordagens aparecem como soluções mais eficientes. Os autores em (Lee et al., 2014) explicam como a integração de diferentes *frameworks* é importante para a robótica. Ferramentas como geolocalização, combinadas com a IoT e técnicas de visão computacional são úteis para robôs de resgate (Imteaj et al., 2019) ou robôs auxiliando na agricultura (Aguar et al., 2020). Em Vilasboas et al. (2021) é proposto um sistema de navegação proxêmica que recebe um *Internet Protocol* (IP) e consegue definir a localização e o ambiente em que o robô se encontra, bem como as zonas proxêmicas corretas a serem respeitadas.

No entanto, apesar dos recentes avanços nas pesquisas, existem lacunas no desenvolvimento de aplicações para robôs sociais. Assim, ainda existe a necessidade de facilitar a socialização robótica através de processos de HRI com mecanismos neurocognitivos para reconhecer os *insights* críticos da interação, por exemplo, considerando o processamento de voz para HRI, conforme descrito em Henschel et al. (2020). A proposta em U.K. et al. (2020) permite que o robô entenda a solicitação enviada por reconhecimento de voz, medindo a distância para chegar ao objeto e pegá-lo. Além disso, em Saravanan et al. (2020) os botões tradicionais (acima, abaixo, esquerda e direita) são substituídos pelo uso do comando de voz para que acione a navegação.

Neste trabalho, a principal contribuição é integrar três sistemas diferentes para implementar um sistema de navegação com consciência social em um robô de serviço: (i) um algoritmo de navegação proxêmico, que considera as restrições sociais conforme as zonas proxêmicas; (ii) um sistema de geolocalização para determinar a posição atual do robô modelando a proxêmica de acordo ao ambiente; (iii) um sistema de detecção de voz para identificar comandos para fazer o robô se mover.

3. PROPOSTA

Para inserir robôs de serviço em ambientes sociais, é necessário usar técnicas e recursos que suportam a HRI, bem como a navegação autônoma respeitando restrições sociais.

Para elaborar isso, propomos um sistema de navegação composto de três subsistemas: (i) O *GProxemic Navigation system* (Vilasboas et al., 2021); (ii) o algoritmo de navegação social (Daza et al., 2021); e (iii) o sistema de reconhecimento de voz. Na sequência será detalhado cada componente.

O sistema *GProxemic Navigation* Vilasboas et al. (2021) é baseado em mapas georreferenciados por anotações semânticas.

O algoritmo de navegação social é baseado em uma proposta apresentada em Daza et al. (2021), que combina *Social Momentum* e A^* para realizar uma navegação proxêmica autônoma em um mapa conhecido. Esse algoritmo de navegação social considera as zonas proxêmicas de pessoas, e até mesmo de outros robôs que compartilham o espaço para definir o caminho de sua localização atual até a nova localização de destino. Para realizar a navegação autônoma, o robô deve conhecer o ambiente. Então, o autômato deve aplicar um algoritmo tradicional *Simultaneous Location and Mapping*¹ (SLAM) para conhecer previamente o mapa do ambiente. Nessa versão, nós utilizamos o *Adaptive Monte Carlo Localization*² (AMCL) baseado em um filtro de partículas para rastrear a posição de um robô durante sua navegação, enquanto ele constrói o mapa. Assim, a partir do sistema *GProxemic Navigation*, o algoritmo de navegação recebe sua localização atual no mapa e as zonas proxêmicas que devem ser configuradas para definir o caminho.

Um *chatbot* implementa o sistema de reconhecimento de voz, suportado no Dialogflow³. Através deste *chatbot*, o usuário indica um local no ambiente onde deseja que o robô vá (banheiro, quarto, sala, etc.).

A integração desses três sistemas para realizar a navegação social consciente está resumida no Algoritmo 1. Primeiramente, se o robô não conhece o ambiente, ele tem que aplicar um algoritmo SLAM para gerar uma figura do mapa (linha 1). O robô recebe um sinal do satélite indicando sua localização geográfica atual (linha 2), no qual será configurada a zona proxêmica a ser respeitada (linha 3), por meio do sistema *GProxemic Navigation*. Neste momento, o sistema carrega as zonas proxêmicas corretas a serem seguidas: pessoal, social e pública (a zona íntima não será abordada em nenhum ambiente), conforme o ambiente que o robô está localizado. O *chatbot* é acionado por comando de voz para indicar um lugar no ambiente (linha 4).

4. RESULTADO

Foi implementado o sistema de navegação social em uma cadeira de rodas autônoma conforme mostrado na Figura 1. A implementação foi testada em um ambiente simulado usando *Robot Operating System Melodic*⁴ (ROS Melodic), que disponibiliza bibliotecas e ferramentas para ajudar no desenvolvimento de aplicações robóticas. A cadeira de rodas simulada está equipada com o sensor LiDAR, cuja função é capturar dados do ambiente e, através

¹ <http://wiki.ros.org/gmapping>

² <http://wiki.ros.org/amcl>

³ <https://dialogflow.cloud.google.com/>

⁴ <http://wiki.ros.org/melodic/Installation/Ubuntu>

Algoritmo 1: *Chatbot*, *GProxemic Navigation* e integração da navegação autônoma social

- 1 Se (mapa desconhecido) então crie e interprete mapas com o SLAM.
 - 2 Receba o sinal do satélite e envie ao *GProxemic Navigation*.
 - 3 Identifique o ambiente e defina as zonas proxêmicas.
 - 4 Identifique o comando de voz.
 - 5 Receba a posição destino pelo *chatbot*.
 - 6 Execute a navegação social.
-

do ROS, se comunica com o Gazebo⁵ e o RViz⁶ (para realizar o SLAM) e o software MATLAB⁷ (para executar o algoritmo de navegação social).

O Gazebo foi utilizado para criar os ambientes simulados em que a cadeira de rodas pudesse navegar. O algoritmo AMCL e SLAM foram implementados baseado no pacote *Gmapping* e no *Laserscan* da cadeira de rodas para a viabilidade dos planejadores de navegação. No RViz, é possível controlar os planejadores globais e locais para capturar e gerenciar os dados dos sensores sobre o mapa construído. O sistema de navegação proxêmico foi implementado no MATLAB.

O sistema *GProxemic Navigation* e o *chatbot* se comunicam com a cadeira através da biblioteca *ROSLibJs*, que cria tópicos específicos para cada sistema e envia mensagens para o MATLAB com intuito de armazenar, ler e incorporar os dados e funcionalidades para executar a navegação.

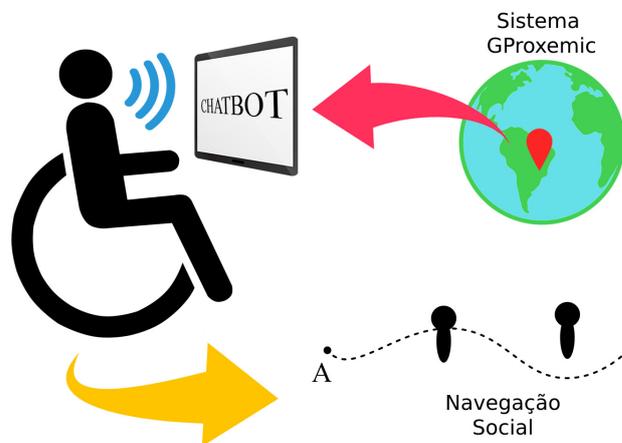


Figura 1. Arquitetura geral do sistema de navegação social.

A integração entre os sistemas contribui com uma maior abrangência de aplicação para diferentes cenários. A Figura 2, mostra um fluxograma onde o sistema recebe a anotação semântica gerada por meio das coordenadas geográficas recebidas dos satélites. Essas anotações serão divididas em três blocos. A primeira representa os ambientes que o robô deve obedecer somente à zona pessoal (escritório, hospital, casa, etc.). A segunda o robô deve obedecer à zona social (museu, escola, restaurante e etc). Já a terceira

⁵ <https://classic.gazebosim.org/>

⁶ <http://wiki.ros.org/rviz>

⁷ <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

o robô deve obedecer à zona pública (mercado, aeroporto, igreja e etc).

Após definir o ambiente que o robô está inserido e a zona proxêmica a ser respeitada, o cadeirante pode acionar via comando de voz para onde deseja ir neste ambiente (Acionando a palavra "banheiro"ou "diretoria").

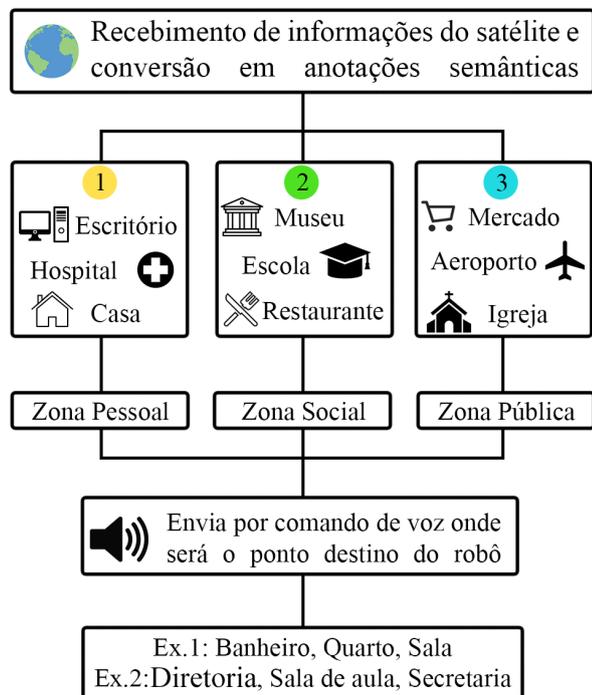


Figura 2. Fluxograma exemplificativo do funcionamento do sistema para atender diferentes aplicações.

Para exemplificar melhor a aplicação desse sistema foi simulado um museu dividido em diferentes seções, como mostra a Figura 3: Seção 1, representa a entrada do museu; a Seção 2 representa um guia informativo do museu; a Seção 3 é uma sala para encontrar informações iniciais do museu; a Seção 4 é um escritório; a Seção 5 é um corredor com cartazes; a Seção 6 é a entrada do banheiro; e a Seção 7 é a sala central do museu; e a Seção 8 representa a sala de pôsteres de despedida.

O Algoritmo 2 mostra os passos para a navegação com restrições sociais baseada na interação proxêmica, implementada em uma cadeira de rodas autônoma e simulada no ROS/Gazebo.

Em primeiro lugar, a cadeira de rodas mapeia o museu (linha 1). A cadeira então recebe um sinal do satélite indicando sua localização geográfica do *GProxemic Navigation* (linha 2). A partir daí, essas informações são convertidas em anotação semântica e publicadas em um tópico no ROS (linhas 3-5). Nesse momento, o sistema carrega as zonas proxêmicas corretas (pessoal, social e pública), conforme o ambiente em que a cadeira de rodas está localizada (linhas 6-12). O *chatbot* é acionado por comandos de voz e envia uma anotação semântica para outro tópico no ROS (linha 13).

O RViz foi utilizado para comprovar a trajetória real feita pela cadeira de rodas autônoma ao redor do mapa e o MATLAB para mostrar a trajetória teórica. Nos experimentos

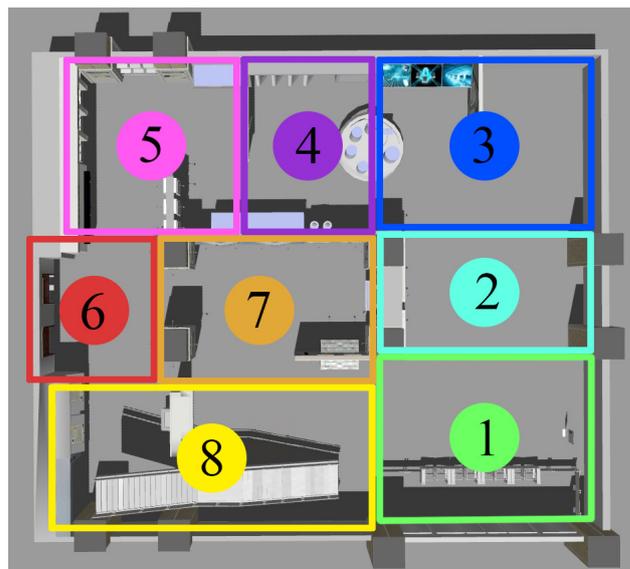


Figura 3. Representação das diferentes seções do museu.

o *GProxemic Navigation* envia uma anotação semântica para a cadeira de rodas indicando que ela precisa obedecer à zona social, pois está no museu.

O usuário irá ativar a cadeira de rodas por um comando de voz e o *chatbot* indica que ele quer ir para a Entrada (Seção 1, na Figura 3). A cadeira de rodas faz a navegação para aquela área considerando as restrições sociais, utilizando o MATLAB, como mostra a Figura 4; os círculos concêntricos representam as zonas proxêmicas de pessoas no museu, cinco pessoas no total, mas apenas duas pessoas estão no caminho da navegação. A navegação prática no RViz é mostrada na Figura 5.



Figura 4. Trajetória da cadeira de rodas respeitando teoricamente as restrições sociais no MATLAB, em um museu e com objetivo a entrada.

A Figura 6 e a Figura 7 mostram a trajetória feita no MATLAB e a trajetória prática no RViz, quando o comando de voz é alterado para centro do museu (Seção 7 da Figura 3). Neste caso, são simuladas apenas duas pessoas que estão no caminho da navegação (ver Figura 6). A cadeira de rodas autônoma reconhece o ambiente onde está inserida e define a zona proxêmica social a ser respeitada, com o suporte do sistema *GProxemic Navigation*.

Esses resultados deixam explícito que o objetivo foi alcançado. O *chatbot* pode enviar o objetivo final da trajetória para a cadeira de rodas, que pode ser acionada

Algoritmo 2: *Chatbot, GProxemic Navigation* e a integração com a navegação autônoma proxêmica: estudo de caso

- 1 Se (mapa desconhecido) então crie e interprete mapas com o SLAM.
- 2 Receba dados do satélite através da *GProxemic Navigation*.
- 3 Envie dados para o ROS.
- 4 Publique um tópico no ROS com informações locais:
 - 5 $topico_proxemica \leftarrow local$
 - 6 **switch** $topico_proxemica$ **do**
 - 7 **case** *escritorio, casa, industria...* **do**
 - 8 | Definir a zona proxêmica pessoal.
 - 9 **case** *restaurante, hospital, museu...* **do**
 - 10 | Definir a zona proxêmica social.
 - 11 **case** *shopping, aeroporto...* **do**
 - 12 | Definir a zona proxêmica pública
 - 13 $topico_dialogflow \leftarrow objetivo$
 - 14 **switch** $topico_dialogflow$ **do**
 - 15 **case** *entrada* **do**
 - 16 | Definir o objetivo para a Entrada.
 - 17 **case** *centro_museu* **do**
 - 18 | Definir o objetivo para o Centro do Museu.
 - 19 **case** *banheiro* **do**
 - 20 | Definir o objetivo para o Banheiro.
 - 21 **case** *outros_ambientes..* **do**
 - 22 | ..
 - 23 | ..
 - 24 | ..
 - 25 Receber a posição do robô pelo *GProxemic Navigation*.
 - 26 Receber onde estão os obstáculos através do ROS.
 - 27 Receber um objetivo do *chatbot*.
 - 28 Executar a navegação social.

por comando de voz. O *GProxemic Navigation* envia o ponto geográfico, para que a cadeira de rodas reconheça o ambiente e a zona proxêmica que deve respeitar. importante ressaltar que ambas as simulações foram feitas com a posição inicial da cadeira de rodas na Seção 8 do museu conforme a Figura 3.

Em relação à navegação com restrições sociais, é significativo que a trajetória teórica representada pelo MATLAB na Figura 4 e na Figura 6 seja tão semelhante à trajetória na prática representada por RViz na Figura 5 e na Figura 7.

O sistema, inclusive, conta com uma simulação otimizada em sua implementação em relação ao real. Na Figura 7, por exemplo, que se refere à trajetória feita no RViz, quando a cadeira de rodas tem sua orientação angular contrária à velocidade linear, ela precisa se deslocar para atingir o alvo final em direção; em outras palavras, o robô precisa girar, e para isso ele se move de forma incorreta, pois não há como fazer uma rotação sem translação em uma cadeira de rodas real. Neste caso, temos uma trajetória diferente da esperada teoricamente no MATLAB na Figura 6, aproximando-se da proxêmica que precisa respeitar, mas



Figura 5. Trajetória da cadeira de rodas respeitando na prática as restrições sociais no RViz, em um museu e com objetivo a entrada.



Figura 6. Trajetória da cadeira de rodas respeitando teoricamente as restrições sociais no MATLAB, em um museu e com objetivo a sala central do museu.

também aproximando-se do caminho que uma cadeira de rodas não simulada faria. Em outros casos, mostrados na Figura 4, Figura 5 e Figura 6 não há esse problema, devido à orientação do robô que não foi totalmente contra ao objetivo.

As simulações foram feitas usando um museu como exemplo de ambiente social. No entanto, seja o local uma escola, um aeroporto, um restaurante ou outro ambiente social, podemos notar que o sistema consegue se adaptar a esses novos cenários. Essa adaptabilidade funciona na integração com o *GProxemic Navigation*, pois visa captar as principais características do local, moldando a navegação proxêmica e autônoma até a localização onde o robô se encontra.

5. DISCUSSÕES

Neste trabalho, a importância de bons componentes para o robô é essencial. É necessário um sensor que consiga captar e possibilitar que o robô possa distinguir diferentes objetos. Por isso, utilizamos o sensor LiDAR, que além de ser veloz e preciso, consegue inclusive funcionar em baixa luminosidade. Como estamos utilizando ambientes fechados em nossa simulação, o LiDAR será adequado para



Figura 7. Trajetória da cadeira de rodas respeitando as restrições sociais, na prática no RViz, em um museu e com objetivo a sala central do museu.

navegar em uma parte do ambiente que esteja mais escuro, como, por exemplo, em um depósito de um mercado.

Mesmo que o LiDAR seja um sensor muito relevante no mercado, já existem tecnologias desenvolvidas especificamente para a atividade de navegação em ambientes internos. Um exemplo é o Marvelmind Starter Set HW v4.9-NIA (915MHz) composto por quatro sensores fixos, um sensor móvel e um roteador. Os sensores fixos captam informações e conseguem se comunicar com o roteador sem fio na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*). O sensor móvel capta informações com coordenadas calculadas ($\pm 2\text{cm}$) e envia ao roteador. O roteador é o controlador central do sistema que calcula a posição do sensor móvel 16 vezes por segundo com base nos dados dos sensores. Eles se comunicam via USB (*Universal Serial Bus*) com painel e com sensores sem fio na banda ISM. A grande vantagem desse *kit*, é a quantidade de informação obtida mesmo em pequenas distâncias. Com quatro sensores fixos e um móvel seria possível monitorar de forma mais otimizada o ambiente, evitando que a cadeira de rodas colida com algum obstáculo que não esteja no campo de visão de apenas um sensor.

6. CONCLUSÃO

Através da integração entre o sistema de geolocalização, o *chatbot* e o algoritmo de navegação social foi possível desenvolver a navegação autônoma aplicando os conceitos de zonas proxêmicas, proporcionando o uso deste sistema em vários robôs de serviço. No estudo de caso foi possível notar que o sistema pode ser usado em serviços de assistência para melhorar a reinserção social das pessoas com deficiência motora. Logo, pode-se concluir que a navegação autônoma desenvolvida para este trabalho é adaptativa, flexível e proxêmica.

Ao utilizar o sistema *GProxemic Navigation* para a integração, o caminho a ser percorrido pelo cadeirante consegue respeitar os conceitos de restrições sociais, adaptando-se a outros ambientes, culturas ou lugares sociais.

O *chatbot* utilizado na integração possui recursos de interação homem-máquina, o que possibilitou uma maior acessibilidade para usar esse sistema. Então, podemos provar que os resultados alcançados são pontos de interesse nessa pesquisa, pois na integração entre os sistemas mencionados contribuímos tanto para o meio acadêmico, quanto para a sociedade que se beneficiará dos recursos tecnológicos desenvolvidos.

Como sugestão para trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um algoritmo capaz de realizar navegação proxêmica autônoma detectando grupos de indivíduos, bem como sua implementação em um robô de serviço real.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia e ao Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica - GIPAR por seu apoio e ajuda.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, A.S., dos Santos, F.N., Cunha, J.B., Sobreira, H., and Sousa, A.J. (2020). Localization and mapping for robots in agriculture and forestry: A survey. *Robotics*, 9(4), 97.
- Akhund, T.M.N.U., Siddik, M.A.B., Hossain, M.R., Rahman, M.M., Newaz, N.T., and Saifuzzaman, M. (2020). Iot waiter bot: a low cost iot based multi functioned robot for restaurants. In *2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO)*, 1174–1178. IEEE.
- Alexis, P. (2017). R-tourism: Introducing the potential impact of robotics and service automation in tourism. *Ovidius University Annals, Series Economic Sciences*, 17(1).
- Ballendat, T., Marquardt, N., and Saul, G. (2010). Proxemic interaction: designing for a proximity and orientation-aware environment. In *Proc. of Internat. Conf. on Interactive Tabletops and Surfaces, Saarbrücken, Germany, 7–10 November*, 121–130.
- Banisetty, S.B. and Williams, T. (2021). Implicit communication through social distancing: Can social navigation communicate social norms? In *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 499–504.
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., and Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science robotics*, 3(21), eaat5954.
- Bettencourt, R. and Lima, P.U. (2021). Multimodal navigation for autonomous service robots. In *2021 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, 25–30. IEEE.
- Coad, M.M., Blumenschein, L.H., Cutler, S., Zepeda, J.A.R., Naclerio, N.D., El-Hussieny, H., Mehmood, U., Ryu, J.H., Hawkes, E.W., and Okamura, A.M. (2019). Vine robots: Design, teleoperation, and deployment for navigation and exploration. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 27(3), 120–132.
- Daza, M., Barrios-Aranibar, D., Diaz-Amado, J., Cardinale, Y., and Vilasboas, J. (2021). An approach of social navigation based on proxemics for crowded environments of humans and robots. *Micromachines*, 12(2), 193.

- Fiorini, L., Mancioppi, G., Semeraro, F., Fujita, H., and Cavallo, F. (2020). Unsupervised emotional state classification through physiological parameters for social robotics applications. *Knowledge-Based Systems*, 190, 105217.
- Ginés, J., Martín, F., Vargas, D., Rodríguez, F.J., and Matellán, V. (2019). Social navigation in a cognitive architecture using dynamic proxemic zones. *Sensors*, 19(23), 5189.
- González-González, Carina Soledad e Violant-Holz, V. and Gil-Iranzo, R.M. (2021). Social robots in hospitals: a systematic review. *Applied Sciences*, 11(13), 5976.
- Greenberg, S., Marquardt, N., Ballendat, T., Diaz-Marino, R., and Wang, M. (2011). Proxemic interactions: the new ubicomp? *interactions*, 18(1), 42–50.
- Hall, E.T. (1966). *The Hidden Dimension: An anthropologist examines man's use of space in private and public*. New York: Anchor Books; Doubleday & Company, Inc.
- Henschel, A., Hortensius, R., and Cross, E.S. (2020). Social cognition in the age of human–robot interaction. *Trends in Neurosciences*, 43(6), 373–384.
- Imteaj, A., Chowdhury, M.I.J., Farshid, M., and Shahid, A.R. (2019). Robofi: autonomous path follower robot for human body detection and geolocalization for search and rescue missions using computer vision and iot. In *2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*, 1–6. IEEE.
- Kuo, C.M., Chen, L.C., and Tseng, C.Y. (2017). Investigating an innovative service with hospitality robots. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
- Lee, M.H., Ahn, H.S., Wang, K., and MacDonald, B. (2014). Design of an api for integrating robotic software frameworks. In *Proceedings of the 2014 Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA 2014)*, volume 2, 1. Citeseer.
- Mavrogiannis, C., Hutchinson, A.M., Macdonald, J., Alves-Oliveira, P., and Knepper, R.A. (2019). Effects of distinct robot navigation strategies on human behavior in a crowded environment. In *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 421–430. IEEE.
- Mead, R. and Matarić, M.J. (2016). Perceptual models of human-robot proxemics. In *Experimental Robotics*, 261–276. Springer, Berlin, Germany.
- Narayanan, V., Manoghar, B.M., Dorbala, V.S., Manocha, D., and Bera, A. (2020). Proximo: Gait-based emotion learning and multi-view proxemic fusion for socially-aware robot navigation. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 8200–8207. IEEE.
- Qing-xiao, Y., Can, Y., Zhuang, F., and Yan-zheng, Z. (2010). Research of the localization of restaurant service robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 7(3), 18.
- Redondo, M.E.L. (2019). Comfortability detection for adaptive human-robot interactions. In *2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW)*, Cambridge, UK, 3–6 September, 35–39. IEEE.
- Saravanan, M., Selvababu, B., Jayan, A., Anand, A., and Raj, A. (2020). Arduino based voice controlled robot vehicle. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 993, 012125. IOP Publishing.
- Takahashi, M., Suzuki, T., Shitamoto, H., Moriguchi, T., and Yoshida, K. (2010). Developing a mobile robot for transport applications in the hospital domain. *Robotics and Autonomous Systems*, 58(7), 889–899.
- U.K., J., V., I., Ananthakrishnan, K., Amith, K., Reddy, P.S., and S., P. (2020). Voice controlled personal assistant robot for elderly people. In *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 269–274. doi:10.1109/ICCES48766.2020.9138101.
- Valipour, S., Perez, C., and Jagersand, M. (2017). Incremental learning for robot perception through hri. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2772–2777. doi:10.1109/IROS.2017.8206106.
- Vilasboas, J.P., Sampaio, M.S.C., Moreira, G.F., Souza, A.B., Diaz-Amado, J., Barrios-Aranibar, D., Cardinale, Y., and Soares, J.E. (2021). Application of social constraints for dynamic navigation considering semantic annotations on geo-referenced maps. In *IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1–7. doi:10.1109/IECON48115.2021.9589235.
- Wolf, K., Abdelrahman, Y., Kubitzka, T., and Schmidt, A. (2016). Proxemic zones of exhibits and their manipulation using floor projection. In *Proc. of ACM Internat. Symposium on Pervasive Displays, Oulu, Finland, 20–22 June*, 33–37.