
Curso de Sistemas de Informação
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Protótipo Robótico de Baixo Custo para Uso como Recompensa em Intervenções ABA no Tratamento do TEA

Paulo Cesar Batista de Souza

Dr. Diogo Fernando Trevisan (Orientador)

Dourados - MS
2024

Robô de Baixo Custo como Ferramenta de Recompensa em Terapias ABA para Crianças com TEA

Paulo Cesar Batista de Souza

Este exemplar corresponde à redação final da monografia da disciplina Projeto Final de Curso devidamente corrigida e defendida por Paulo Cesar Batista de Souza e aprovada pela Banca Examinadora, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Dourados, 22 de novembro de 2024.

Prof. Dr. Diogo Fernando Trevisan (Orientador)

S717r Souza, Paulo Cesar Batista de.

Robô de baixo custo como ferramenta de recompensa em terapias ABA para crianças com TEA / Paulo Cesar Batista de Souza. – Dourados, MS: UEMS, 2025.
47 p. : il.

Monografia (Graduação) – Sistemas de Informação – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Fernando Trevisan.

1. TEA 2. ABA 3. Robôs 4. Sistema de recompensa I. Trevisan, Diogo Fernando II. Título

CDD 23. ed. - 629.892

Curso de Sistemas de Informação
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Protótipo Robótico de Baixo Custo para Uso como Recompensa em Intervenções ABA no Tratamento do TEA

Paulo Cesar Batista de Souza

Novembro de 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Diogo Fernando Trevisan (Orientador)
Área de Computação – UEMS

Prof. Dr. Evandro Cesar Bracht
Área de Computação – UEMS

Prof. Dr. Cleber Valgas Gomes Mira
Área de Computação – UEMS

*Aos meus pais,
meus alicerces e minha inspiração,
que com amor incondicional, paciência infinita
e a exigência necessária,
me ensinaram a perseverar e acreditar.
Cada conquista minha é reflexo
do apoio e carinho de vocês.*

*À minha amada Gleyce,
minha parceira de todas as jornadas,
que com seu suporte inabalável,
suas cobranças motivadoras
e seu amor constante,
tornou esta caminhada mais leve e possível.
Você é minha força quando penso em desistir.*

*“É preciso sonhar, mas com a condição de
crer em nosso sonho,
de observar com atenção a realidade,
de confrontar a observação com nosso sonho,
de realizar escrupulosamente nossas fantasias.
Sonhos, acredite neles.”*

— Vladimir Lênin

*Agradeço ao meu orientador,
Prof. Dr. Diogo Fernando Trevisan,
pela paciência, dedicação e valiosas orientações
que foram fundamentais para
o desenvolvimento desta pesquisa.*

*À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
(UEMS),
pela oportunidade de formação e por proporcionar
um ambiente rico em aprendizado e crescimento.*

*À Gleyce, minha parceira,
que com sua dedicação me auxiliou nas pesquisas,
nas discussões sobre o tema
e em cada etapa deste trabalho.
Sua contribuição foi essencial
para que este projeto se tornasse realidade.*

*Aos meus pais,
pelo apoio incondicional,
pelos valores ensinados
e por sempre acreditarem em mim.
Esta conquista também é de vocês.*

Resumo

Este estudo aborda três tópicos cruciais relacionados à terapia para Transtorno do Espectro Autista (TEA): o conceito de Análise do Comportamento Aplicada (ABA), a compreensão do próprio TEA e o emprego de robôs como ferramentas terapêuticas. O TEA é uma condição complexa que afeta a comunicação, interação social e comportamento, demandando tratamentos multidisciplinares. A ABA é uma abordagem terapêutica baseada em evidências que visa ensinar novas habilidades e apoiar a regulação emocional e comportamental, sendo aplicada em várias áreas do desenvolvimento. A robótica tem emergido como uma ferramenta promissora na terapia para TEA, permitindo interações previsíveis e consistentes entre crianças e robôs, o que pode melhorar habilidades de comunicação e interação social. Estudos têm demonstrado resultados positivos no uso de robôs na terapia ABA, incluindo atividades como imitação de gestos e diálogos com robôs, proporcionando melhorias nas interações sociais das crianças. É importante mencionar que a personalização e a acessibilidade dos robôs ainda representam desafios, mas inovações continuam a surgir nessa área, como dispositivos robóticos de baixo custo. Portanto, essa pesquisa visa desenvolver um protótipo de robô de baixo custo, simples de controlar, que possa ser usado como recompensa para intervenções ABA, que auxilia no tratamento de crianças diagnosticadas com Transtorno do Espectro do Autismo (TEA). Em resumo, a combinação de ABA e robótica apresenta potencial para melhorar a qualidade de vida de crianças com TEA, promovendo o desenvolvimento de habilidades sociais e comportamentais fundamentais.

Sumário

1	Introdução	5
1.1	Objetivo Geral	7
1.1.1	Objetivos Específicos	7
2	Revisão da literatura	9
2.1	Contexto do Problema	9
2.2	O que é ABA?	10
2.3	Robôs	11
2.4	Raspberry	13
2.4.1	Módulos e Sensores	14
2.5	O Interesse de Crianças com Transtorno do Espectro Autista por Robôs	15
2.5.1	Robô KIBO	15
2.5.2	Robô Bee-Bot	17
2.6	Robôs na Implementação da Terapia ABA para Crianças com Transtorno do Espectro Autista	18
2.6.1	Robô NAO	18
2.6.2	Robô Zeno R-25	20
2.6.3	Robô PABI	21
3	Metodologia	24
3.1	Visão Geral do Projeto	24
3.2	Justificativa e Propósito do Sistema	24
3.2.1	Função do Sistema na Terapia ABA	24
3.2.2	Funcionamento do Sistema de Recompensa	24
3.2.3	Variedade de Reforçadores	25
3.2.4	Acessibilidade e Custo	25
3.3	Modificações em Relação à Proposta Inicial	25
3.4	Arquitetura do Sistema	26
3.4.1	<i>Hardware</i>	26
3.4.2	Projeto do Circuito	26
3.4.3	Montagem Física	26

3.4.4 <i>Software</i>	28
3.5 Implementação	28
3.5.1 Configuração do <i>Raspberry Pi</i>	28
3.5.2 Desenvolvimento do Servidor <i>web</i>	29
3.5.3 Interface de Controle	29
3.5.4 Sistema de Jogos	30
3.6 Estrutura do Código Desenvolvido	33
3.6.1 Arquitetura do Software	33
3.6.2 <i>Backend</i> - Servidor <i>Python/Flask</i>	34
3.6.3 <i>Frontend</i> - Interface <i>web</i>	35
3.6.4 Sistema de Jogos	36
3.6.5 Acesso Online via Ngrok	36
3.6.6 Considerações Técnicas de Implementação	37
3.7 Custos do Projeto	37
4 Resultados Obtidos	39
4.1 Conhecimento Teórico	39
4.2 Revisão da Literatura	39
4.3 Desenvolvimento do Protótipo	39
4.4 Validação Técnica do Sistema	40
4.4.1 Validação de <i>Hardware</i>	40
4.4.2 Validação de <i>Software</i>	40
4.5 Limitações Identificadas	41
4.6 Trabalhos Futuros	41
5 Conclusões	43
5.1 Contribuições	44
5.2 Limitações	44
5.3 Trabalhos Futuros	44
5.4 Considerações Finais	45

Capítulo 1

Introdução

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é uma condição do desenvolvimento neurológico que impacta a comunicação, a interação social e o comportamento. Sua complexidade reside na ampla variação do espectro, abrangendo desde indivíduos com dificuldades sociais e de comunicação leves até aqueles com limitações intelectuais e comportamentais mais graves. Os tratamentos para o TEA são muitas vezes dispendiosos, envolvem equipes multidisciplinares e podem ser desafiadores (ORGANIZATION et al., 2019).

A Análise do Comportamento Aplicada (ABA) é uma abordagem terapêutica baseada em evidências, que se propõe a ensinar novas habilidades e reduzir comportamentos problemáticos em indivíduos com TEA. Utilizando a análise funcional do comportamento, com ensino individualizado através de técnicas de reforço e recompensas, a ABA tem se mostrado eficaz, frequentemente complementada por terapias ocupacionais e fonoaudiologia (TREVISAN et al., 2019).

Neste contexto, a robótica tem emergido como uma ferramenta promissora para auxiliar o profissional que irá aplicar os métodos da terapia ABA nos pacientes com TEA. Os robôs podem ser programados para interagir de maneira consistente com indivíduos com TEA, melhorando a comunicação e a interação social, além de auxiliar no ensino de novas habilidades e na coleta de dados para avaliação terapêutica (TREVISAN, 2021).

Os robôs oferecem um ambiente previsível e controlado que pode ser menos ameaçador, tornando-se um ponto de atração para essas crianças (RODRÍGUEZ, 2022). Um dos princípios fundamentais da terapia ABA é o uso de reforço positivo: após a criança demonstrar comportamentos-alvo ou completar tarefas com sucesso, uma consequência positiva é apresentada, aumentando a probabilidade de repetição desses comportamentos desejados. Neste contexto, robôs têm sido utilizados como reforçadores altamente motivadores.

Como o robô KIBO, um robô de programação sem tela, programado fisicamente por meio da colocação de blocos de programação, cada bloco contém um comando que instrui o KIBO a realizar uma ação específica, como se mover para frente, para trás, virar à

esquerda ou à direita, estimulando o pensamento lógico, o raciocínio sequencial e a solução de problemas (ROBOTICS, 2023).

No estudo de (ALBO-CANALS et al., 2018), conduzido no Centro CASPAN, no Panamá, durante uma semana, participaram 12 alunos entre 6 e 14 anos, todos diagnosticados com TEA grave e deficiências cognitivas. Neste estudo, todos os alunos demonstraram um notável entusiasmo e engajamento com o robô KIBO, inclusive aqueles com TEA grave. Isso sugere que o KIBO pode ser uma ferramenta educacional altamente promissora para crianças com necessidades especiais, proporcionando-lhes uma nova via de interação e aprendizado.

O robô NAO é o mais frequentemente utilizado na terapia comportamental ABA para criar um ambiente de aprendizado envolvente e motivador. Ele pode desempenhar várias funções no contexto da terapia ABA.

O NAO é um robô humanoide compacto, com uma altura de cerca de 58 centímetros, que o torna relativamente leve e portátil. Ele tem braços e pernas articulados que permitem uma ampla gama de movimentos, incluindo gestos e interações físicas simples. É equipado com uma variedade de sensores, incluindo câmeras, microfones, sensores de toque e sensores de pressão nos pés, que permitem que ele perceba seu ambiente e interaja com ele (FAERBER, 2012).

NAO é conhecido por ser altamente programável e personalizável, o que o torna uma escolha atraente para pesquisadores que desejam adaptar o robô de acordo com suas necessidades específicas de pesquisa em ABA. Eles podem criar programas e atividades personalizadas para atender qualquer meta terapêutica.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema robótico de baixo custo projetado especificamente para atuar como ferramenta de recompensa em intervenções ABA com crianças diagnosticadas com TEA. Diferentemente dos robôs comerciais existentes, que possuem custo elevado e complexidade técnica, este projeto visa criar uma solução acessível que possa ser utilizada por terapeutas e instituições com recursos limitados. O robô desenvolvido não substitui o terapeuta nem executa as atividades terapêuticas principais, mas funciona como reforçador positivo: após a criança demonstrar comportamentos-alvo ou completar tarefas com sucesso, o terapeuta libera o acesso ao robô, permitindo que a criança o controle ou utilize os jogos integrados ao sistema, fortalecendo assim a associação entre comportamento adequado e consequências positivas.

Ao longo deste trabalho, exploraremos exemplos e pesquisas que demonstram a utilidade da robótica como ferramenta de recompensa na terapia comportamental ABA e sua aplicação no desenvolvimento de crianças com TEA, com o objetivo de fornecer *insights* e diretrizes que possam contribuir para uma abordagem terapêutica mais acessível e inclusiva para essa população.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um protótipo de robô de baixo custo, controlável via interface web, que possa ser usado como recompensa para intervenções ABA (*Applied Behavior Analysis*) para auxiliar no tratamento de crianças diagnosticadas com Transtorno do Espectro do Autismo (TEA).

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

1. Estudar a ABA e como suas intervenções podem ser implementadas por meio de robôs.
2. Estudar quais funcionalidades do robô desenvolvido em particular vão implementar intervenções de ABA. Listar os casos de uso deste robô.
3. Desenvolver uma interface *web* responsiva para controlar remotamente o robô durante as sessões de terapia ABA.
4. Implementar funcionalidades de movimentação do robô (frente, trás, esquerda, direita) através da interface *web*.
5. Criar jogos educativos interativos integrados à plataforma, que possam ser utilizados como recompensa nas intervenções ABA.
6. Validar o funcionamento do protótipo através de testes técnicos de *hardware* e *software*.

Capítulo 2

Revisão da literatura

Neste Capítulo iremos explicar o conceito de Análise do Comportamento Aplicada (ABA), de Transtorno do Espectro Autista (TEA) e o uso de robôs nas terapias e TEA.

2.1 Contexto do Problema

Transtorno do Espectro Autista (TEA) é uma condição do desenvolvimento neurológico que afeta a comunicação, interação social e comportamento Organization et al. (2019).

A problemática do TEA é complexa, pois não há uma causa específica conhecida e o espectro é muito amplo, variando desde indivíduos com dificuldades sociais e de comunicação leves até aqueles com graves limitações intelectuais e comportamentais. Além disso, os tratamentos para o TEA são geralmente caros e podem exigir uma equipe multidisciplinar de profissionais de saúde, incluindo psicólogos, fonoaudiólogos, terapeutas ocupacionais e médicos Organization et al. (2019). Estima-se que hoje, no mundo, 1 a cada 38 crianças entre 5 a 9 anos, segundo IBGE, possuem TEA Revista Autismo (2025).

A Análise do Comportamento Aplicada (ABA) é uma abordagem terapêutica baseada em evidências que visa a ensinar novas habilidades e a reduzir comportamentos problemáticos em indivíduos com TEA. A ABA envolve a análise funcional do comportamento, ou seja, a identificação dos antecedentes e consequências dos comportamentos problemáticos, e o uso de técnicas de reforço para ensinar novos comportamentos e reduzir comportamentos indesejáveis. A ABA é frequentemente utilizada em conjunto com outras intervenções, como terapia ocupacional e fonoaudiologia Trevisan et al. (2019).

A robótica tem sido cada vez mais utilizada no tratamento do TEA. Os robôs podem ser programados para interagir com indivíduos com TEA de maneira previsível e consistente, o que pode ajudar a melhorar a comunicação e a interação social. Além disso, os robôs podem ser utilizados para ensinar novas habilidades e comportamentos, como a comunicação e a coordenação motora. A robótica também pode ser útil para coletar

dados e avaliar a eficácia do tratamento em tempo real. No entanto, ainda é necessário mais pesquisa para entender melhor como a robótica pode ser usada de forma eficaz no tratamento do TEA [Trevisan et al. (2021)].

2.2 O que é ABA?

A Análise do Comportamento Aplicada (ABA) é uma ciência comportamental que visa ensinar comportamentos específicos e socialmente relevantes a indivíduos com diferentes repertórios. Segundo Cooper, Heron e Heward (2007), a ABA utiliza táticas baseadas nos princípios do comportamento para melhorar comportamentos socialmente significantes. Essa intervenção abrange áreas como linguagem, socialização, autocuidado e habilidades acadêmicas. Embora eficaz, a ABA tradicional demanda uma programação intensiva de 40 horas semanais, um desafio significativo. Em estudos, aproximadamente 47% das crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) expostas à ABA alcançaram comportamentos semelhantes aos de crianças sem TEA, destacando sua utilidade, mas também a necessidade de compromisso [Trevisan et al. (2019)].

A Análise do Comportamento Aplicada (ABA) demonstrou ser eficaz na promoção de melhorias em crianças diagnosticadas com Transtorno do Espectro Autista (TEA), uma condição neurodesenvolvemental que afeta diversas áreas, incluindo habilidades sociais, comunicativas e comportamentais (Smith, Storti, Lukose e Kulesza, 2019). Além disso, a ABA é altamente versátil, permitindo a aplicação em uma ampla gama de comportamentos específicos, com base em elementos essenciais que incluem estímulos antecedentes, respostas do aluno e consequências. Nos últimos anos, o uso de tecnologia tem desempenhado um papel crescente na intervenção de ABA, com estudos anteriores explorando o uso de dispositivos de tela sensível ao toque e outras ferramentas tecnológicas no ensino de habilidades para crianças com TEA. No entanto, é crucial que essas tecnologias sejam projetadas de maneira a serem amigáveis para os profissionais e acessíveis a uma variedade de agentes educacionais. Além disso, o envolvimento das partes interessadas, incluindo crianças, terapeutas e outras partes envolvidas, desempenha um papel fundamental no processo de desenvolvimento dessas tecnologias, garantindo que atendam às necessidades e expectativas de todos os envolvidos [Trevisan et al. (2019)].

Para alcançar estes resultados a terapia ABA conta com o método de recompensa, uma estratégia que envolve a entrega de reforços positivos sempre que um comportamento-alvo desejado é exibido. Esses reforços podem assumir várias formas, como elogios, brinquedos, atividades, comida, atenção ou qualquer outra coisa que o indivíduo valorize. A ideia é que, ao associar recompensas positivas a comportamentos desejados, a probabilidade de esses comportamentos se repetirem aumenta. Esse processo é conhecido como reforço positivo [Trevisan et al. (2018)].

2.3 Robôs

Os robôs são dispositivos mecânicos ou eletrônicos projetados para realizar tarefas específicas de forma autônoma ou controlada por seres humanos. O conceito de robô tem evoluído ao longo do tempo, mas em sua essência, um robô é uma máquina capaz de executar ações físicas ou computacionais sem intervenção humana direta Matarić (2014).

A palavra “robô” foi popularizada pelo dramaturgo tcheco Karel Čapek em sua peça “Robôs universais de Rossum (RUR)” em 1921. Ela tem raízes etimológicas nas palavras tchecas “rabota” (trabalho obrigatório) e “robotnik” (servo), originalmente associadas a tarefas repetitivas e rígidas Matarić (2014).

Conforme definido por Maja J. Matarić, um robô é “um sistema autônomo que existe no mundo físico, pode sentir o seu ambiente e pode agir sobre ele para alcançar alguns objetivos.” Essa abordagem destaca a capacidade dos robôs de interagirem com o mundo real, utilizando sensores para perceber seu ambiente e tomar ações com o propósito de atingir metas específicas Matarić (2014).

Essa definição não apenas sublinha a interação do robô com o ambiente, mas também destaca a capacidade fundamental de um robô: a inteligência autônoma. Isso implica que um robô é capaz de tomar decisões e executar tarefas sem depender de orientações constantes de seres humanos, o que o torna uma entidade autossuficiente e altamente versátil. Essa independência e capacidade de definir e alcançar metas específicas são os pilares da robótica moderna, que desempenha um papel crucial em inúmeras aplicações, desde a automação industrial até a exploração de ambientes hostis no espaço e na Terra Matarić (2014).

A utilização de robôs humanoides tem ganhado destaque em intervenções baseadas na Análise do Comportamento Aplicada (ABA) para crianças diagnosticadas com Transtorno do Espectro Autista (TEA). Tariq e colaboradores (2016) relataram experiências promissoras nesse sentido, onde as crianças foram diretamente envolvidas em interações com robôs, englobando a execução de várias ações, como apontar, manter contato visual, responder a perguntas feitas pelos operadores dos robôs e até mesmo jogar futebol Trevisan (2021).

O mercado oferece uma ampla variedade de robôs que apresentam movimento nos braços, pernas e expressões faciais, sendo destacados modelos como o Aldebaran NAO (Figura 2.1), iRobiQ (Figura 2.2) e Zeno, conforme indicado por Salvador e colaboradores (2015) e Yun e colaboradores (2016). No entanto, a configuração desses robôs e seus softwares proprietários muitas vezes requerem conhecimento técnico especializado, o que pode representar um desafio para a implementação eficaz das intervenções Trevisan (2021).



Figura 2.1: Robô NAO



Figura 2.2: iRobi Q

Pesquisas conduzidas por Tariq et al. (2016) e Yun et al. (2016) têm demonstrado que o uso de robôs tem potencial promissor no ensino de habilidades sociais e é amplamente explorado. Em estudos conduzidos por Mavadati et al. (2016), as interações com os robôs envolveram a imitação de gestos e diálogos com os robôs por meio de seus operadores. Os resultados dessas intervenções têm sido positivos, indicando melhorias nas interações sociais das crianças Trevisan (2021).

Para crianças com TEA, que frequentemente apresentam déficits nas habilidades sociais e de comunicação, o uso de robôs pode se revelar uma ferramenta eficaz para o ensino sistemático dessas habilidades, alinhado com os princípios da ABA. A disponibilidade de robôs comerciais com características humanoides, expressões faciais, movimentos nos braços e pernas, além de softwares para controle e personalização, torna essas intervenções atrativas Trevisan (2021).

No entanto, um desafio significativo é a personalização dos robôs comerciais, especialmente em relação ao software fornecido pelos fabricantes. Para abordar essa questão, Barakova et al. (2013, 2014) desenvolveram ferramentas de programação visual que simplificam o controle dos robôs NAO. Essas ferramentas foram preferidas por profissionais em comparação com o software padrão Trevisan (2021).

Além disso, inovações continuam a surgir no campo dos dispositivos robóticos acessíveis. Ishak et al. (2017) apresentam um dispositivo robótico de baixo custo projetado para facilitar o aprendizado da fala, permitindo interações lúdicas e interativas com comandos

de voz ou através de um *smartphone* Trevisan (2021).

2.4 Raspberry

O Raspberry Pi (Figura 2.3) é um computador em placa única (single-board computer) desenvolvido pela Fundação Raspberry Pi, uma organização sem fins lucrativos sediada no Reino Unido. Possuindo o tamanho de um cartão de crédito, ele é capaz de executar várias tarefas de computação, incluindo programação, navegação na internet, reprodução de vídeo e até mesmo controle de robôs Oliveira, Nabarro e Zanetti (2018). Sua composição é uma placa mãe que integra um processador ARM, memória RAM, portas USB, portas HDMI, uma porta Ethernet e um slot para cartão SD, entre outras interfaces. O sistema operacional é instalado no cartão SD, que é inserido diretamente na placa mãe Oliveira, Nabarro e Zanetti (2018).



Figura 2.3: Exemplo de um modelo de Raspberry Pi 4

A utilização do Raspberry Pi, em projetos robóticos tem se tornado cada vez mais popular devido às suas vantagens em relação a outros computadores embarcados CanalTech (2019). Ele é relativamente barato, possui um hardware de alta performance, é facilmente programável e tem suporte de uma grande comunidade de desenvolvedores.

Além disso, a compatibilidade do Raspberry Pi com vários sistemas operacionais, como o Raspbian, o Ubuntu, o Windows 10 IoT Core, o Arch Linux, entre outros, torna sua implementação em projetos robóticos ainda mais vantajosa, possibilitando uma ampla variedade de opções de programação e customização.

Por essas razões, o Raspberry Pi tem se tornado uma escolha popular entre os criadores de robôs e projetistas, desde hobbyistas até empresas de tecnologia, que desejam criar soluções robóticas acessíveis e eficazes.

Uma das vantagens mais notáveis do *Raspberry Pi* é a capacidade de incorporar módulos e sensores a esse dispositivo, expandindo consideravelmente suas funcionalidades.

Esses módulos e sensores capacitam o *Raspberry Pi* a perceber seu entorno e responder a ele, possibilitando medições precisas e respostas inteligentes. Isso inclui a medição de variáveis como temperatura, movimento, luz, som e muitas outras. Essas capacidades são o que tornam o *Raspberry Pi* tão versátil e atraente para aplicações em diversas áreas, como automação residencial, monitoramento, IoT e muito mais.

2.4.1 Módulos e Sensores

A câmera oficial do *Raspberry Pi* é uma placa que permite a captura de imagens e vídeos de alta qualidade, como mostrado na (Figura 2.4). É útil para projetos de vigilância, visão computacional e fotografia.

O módulo GPS, ilustrado na (Figura 2.5), permite ao *Raspberry Pi* determinar sua localização geográfica precisa. Pode ser usado em sistemas de rastreamento, navegação e mapeamento.



Figura 2.4: Módulo de câmera oficial *Raspberry Pi*

Figura 2.5: Módulo GPS para *Raspberry Pi*

Módulos de display, como o apresentado na (Figura 2.6), são usados para adicionar uma tela sensível ao toque ao *Raspberry Pi*, tornando-o adequado para projetos de robôs, quiosques interativos, monitores de painel e muito mais.

Módulos de controle de motores, como o L298N mostrado na (Figura 2.7), permitem que você controle motores elétricos, tornando-os ideais para projetos de robótica e automação de veículos.



Figura 2.6: Módulo de *display* oficial *Raspberry Pi*

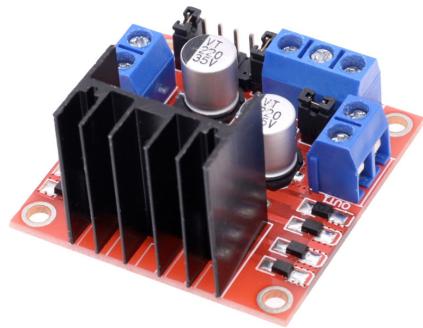


Figura 2.7: Módulo L298N para *Raspberry Pi*

2.5 O Interesse de Crianças com Transtorno do Espectro Autista por Robôs

Crianças com TEA muitas vezes enfrentam dificuldades na interação social com humanos, pois isso pode ser estressante para elas. Os robôs oferecem um ambiente previsível e controlado que pode ser menos ameaçador, despertando o interesse dessas crianças. Estudos iniciais sugerem que a maioria das crianças com TEA demonstra interesse e envolvimento com robôs, principalmente devido à sua natureza repetitiva e estruturada Rodríguez (2022).

Nesta seção, examinaremos projetos e pesquisas que ilustram como esse interesse e interação com robôs têm se revelado uma abordagem terapêutica promissora no contexto do TEA.

2.5.1 Robô KIBO

KIBO é um robô educacional projetado para crianças em idade pré-escolar e dos primeiros anos da escola primária, com idades entre 4 e 7 anos. Desenvolvido com base em mais de 20 anos de pesquisa conduzida pela Dra. Marina Bers e sua equipe no DevTech Research Group da Universidade Tufts, o KIBO tem como objetivo introduzir as crianças ao mundo da programação e da robótica de forma lúdica Robotics (2023).

KIBO é um robô de programação sem tela, o que significa que as crianças o programam sem a necessidade de dispositivos eletrônicos, como tablets ou computadores. Em vez

disso, o KIBO é programado fisicamente por meio da colocação de blocos de programação em seu corpo. Cada bloco contém um comando que instrui o KIBO a realizar uma ação específica, como se mover para frente, para trás, virar à esquerda ou à direita [Robotics \(2023\)](#).

As crianças podem criar sequências de comandos usando esses blocos, estimulando o pensamento lógico, o raciocínio sequencial e a solução de problemas. O KIBO é projetado para promover habilidades de programação, bem como desenvolver a criatividade e a expressão artística, uma vez que as crianças podem personalizar seu robô com adereços e desenhos [Robotics \(2023\)](#).



Figura 2.8: Kit completo do KIBO



Figura 2.9: KIBO versão baleia migratória, feito pela criança

A Figura 2.8 apresenta o kit completo do KIBO, enquanto a Figura 2.9 mostra um exemplo de personalização criado por uma criança, transformando o KIBO em uma baleia migratória.

KIBO é um robô educacional projetado para crianças em idade pré-escolar e dos primeiros anos da escola primária, com idades entre 4 e 7 anos. Desenvolvido com base em mais de 20 anos de pesquisa conduzida pela Dra. Marina Bers e sua equipe no DevTech Research Group da Universidade Tufts, o KIBO tem como objetivo introduzir as crianças ao mundo da programação e da robótica de forma lúdica [Robotics \(2023\)](#).

KIBO é um robô de programação sem tela, o que significa que as crianças o programam sem a necessidade de dispositivos eletrônicos, como tablets ou computadores. Em vez disso, o KIBO é programado fisicamente por meio da colocação de blocos de programação em seu corpo. Cada bloco contém um comando que instrui o KIBO a realizar uma ação específica, como se mover para frente, para trás, virar à esquerda ou à direita [Robotics \(2023\)](#).

As crianças podem criar sequências de comandos usando esses blocos, estimulando o pensamento lógico, o raciocínio sequencial e a solução de problemas. O KIBO é projetado

para promover habilidades de programação, bem como desenvolver a criatividade e a expressão artística, uma vez que as crianças podem personalizar seu robô com adereços e desenhos Robotics (2023).

2.5.2 Robô Bee-Bot

O Bee-Bot (Figura 2.10) é um pequeno robô programável que se move em etapas pre-definidas e pode ser programado para seguir comandos simples, como avançar, virar à direita ou à esquerda. Para crianças com TEA, o Bee-Bot oferece uma maneira estruturada e visualmente atraente de aprender conceitos de programação, bem como habilidades cognitivas e de resolução de problemas Leoste et al. (2022).

O uso do Bee-Bot na educação de crianças com TEA tem se mostrado eficaz para desenvolver habilidades motoras, socialização e pensamento lógico. Terapeutas e educadores têm adaptado o Bee-Bot para atender às necessidades específicas das crianças com TEA, tornando-o um recurso valioso no contexto educacional e terapêutico [Leoste et al., 2022].

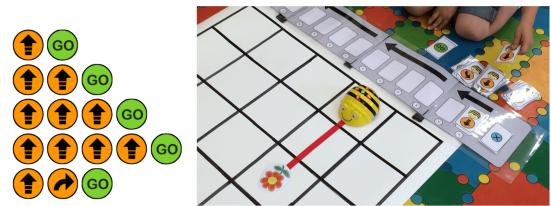


Figura 2.11: Exemplo de uma atividade possível com *Bee-Bot*

Figura 2.10: *Bee-Bot*

No estudo “*Bee-Bot Educational Robot as a Means of Developing Social Skills Among Children with Autism-Spectrum Disorders*”, crianças com TEA que não tinham experiência anterior com o Bee-Bot tiveram a oportunidade de interagir com o robô. Durante o jogo de memória sobre emoções, o Bee-Bot desempenhou um papel crucial ao promover melhorias significativas na comunicação verbal das crianças. Esse resultado promissor, indica que mesmo um dispositivo robótico aparentemente modesto tem o poder de estimular o desenvolvimento das habilidades de comunicação das crianças com TEA Leoste et al. (2022).

Além disso, o estudo revelou que o Bee-Bot conseguiu capturar a atenção das crianças, o que é de suma importância no processo educativo. As melhorias não se limitaram apenas à comunicação verbal, mas também se estenderam ao nível de envolvimento das crianças na atividade, demonstrando o impacto positivo do Bee-Bot em múltiplos aspectos do desenvolvimento infantil [Leoste et al. (2022)].

2.6 Robôs na Implementação da Terapia ABA para Crianças com Transtorno do Espectro Autista

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é um Transtorno do Neurodesenvolvimento que afeta a comunicação social e padrões comportamentais. Nos últimos anos, houve um aumento significativo no diagnóstico de TEA. A intervenção baseada em Análise do Comportamento Aplicada (ABA) é uma abordagem eficaz para o TEA [Alves et al. (2020)].

Além da ABA, estudos exploram o uso de tecnologias assistivas, como robôs, para auxiliar crianças com TEA. Os robôs têm a capacidade de melhorar a comunicação, interação social e comportamentos adaptativos. Com o avanço da tecnologia, a inclusão de robôs na terapia ABA tem demonstrado ser uma abordagem inovadora e promissora [Alves et al. (2020)].

Alguns estudos foram analisados para examinar como os robôs são usados na intervenção baseada em ABA para crianças com TEA. Esses estudos demonstraram que os robôs podem ser eficazes na melhoria de habilidades sociais, comunicação e comportamento em crianças com TEA. No entanto, muitos desses estudos carecem de rigor metodológico e não atendem completamente aos princípios da ABA, como a descrição de uma linha de base clara e a mensuração dos resultados [Alves et al. (2020)].

Este Capítulo explorará com quais tecnologias a área da robótica contribuiu positivamente para proporcionar um ambiente terapêutico eficaz e engajador [Alves et al. (2020)].

2.6.1 Robô NAO

O robô NAO, desenvolvido pela SoftBank Robotics, é um pequeno robô humanoide que possui a capacidade de imitar gestos, pequenas expressões faciais e fala. Com sua aparência e comportamento humanos simulados, o NAO se tornou uma ferramenta valiosa na terapia comportamental de crianças com TEA [Louie et al. (2021)].

O robô NAO é frequentemente utilizado na terapia comportamental ABA para criar um ambiente de aprendizado envolvente e motivador. Ele pode desempenhar várias funções no contexto da terapia ABA.

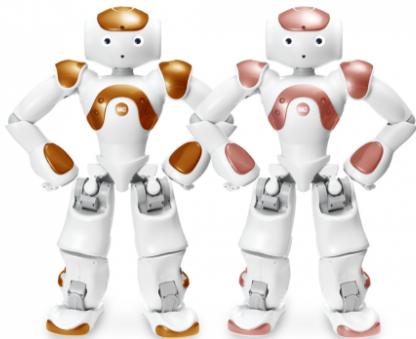


Figura 2.12: NAO V6 *AI Edition*



Figura 2.13: Ensinando habilidades STEM com Robôs NAO

A (Figura 2.12) apresenta o modelo NAO V6 AI Edition, enquanto a (Figura 2.13) ilustra a utilização do robô NAO no ensino de habilidades STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática).

O NAO é um robô humanoide compacto, com uma altura de cerca de 58 centímetros. O peso do NAO varia dependendo da versão específica do robô, mas geralmente fica em torno de 5 e 6 quilos, o que o torna relativamente leve e portátil. Ele tem braços e pernas articulados que permitem uma ampla gama de movimentos, incluindo gestos e interações físicas simples. É equipado com uma variedade de sensores, incluindo câmeras, microfones, sensores de toque e sensores de pressão nos pés, que permitem que ele perceba seu ambiente e interaja com ele [Faerber, 2012].

O NAO é executado em um sistema operacional baseado em Linux e é programado usando linguagens de programação como o Python. Ele pode ser personalizado com aplicativos e comportamentos específicos para atender a diferentes necessidades, incluindo aplicações em pesquisas, educação e entretenimento [Faerber, 2012].

O custo de um robô NAO V6 hoje podem custar a partir de US\$13.000,00 (aproximadamente R\$66000,00) para usuários finais.

NAO é conhecido por ser altamente programável e personalizável, o que o torna uma escolha atraente para pesquisadores que desejam adaptar o robô de acordo com suas necessidades específicas de pesquisa em ABA. Eles podem criar programas e atividades personalizadas para atender qualquer meta terapêutica.

2.6.2 Robô Zeno R-25

O ZENO é um robô humanoide que se destaca por sua capacidade de expressar emoções e se envolver de forma interativa com as crianças. Ele é projetado para ajudar as crianças a aprenderem a reconhecer e interpretar as expressões faciais e as emoções, bem como desenvolver habilidades de comunicação e interação social [RobotsGuide \(2023\)](#).

As expressões faciais realistas do ZENO R25 e suas interações amigáveis o tornam um instrumento valioso na terapia e educação de crianças com TEA e outras necessidades especiais. O robô pode ser programado para oferecer atividades terapêuticas, jogos educacionais e exercícios interativos que auxiliam no desenvolvimento das habilidades necessárias [RobotsGuide \(2023\)](#).

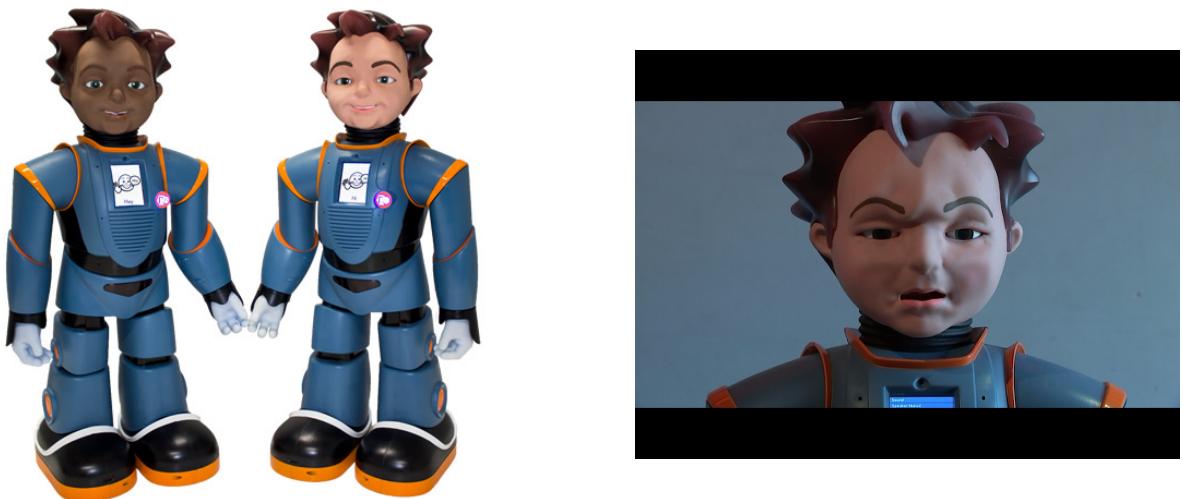


Figura 2.15: Expressão facial robô Zeno

Figura 2.14: Robô Zeno

A (Figura 2.14) mostra o robô Zeno completo, e a (Figura 2.15) demonstra suas capacidades de expressar diferentes emoções através de expressões faciais realistas.

Um estudo intitulado “*Realistic Humanlike Robots for Treatment of ASD, Social Training, and Research; Shown to Appeal to Youths with ASD, Cause Physiological Arousal, and Increase Humano-Human Social Engagement*” utilizou do robô Zeno em um protocolo que envolveu atividades com uma tela sensível ao toque e tarefas de rotulagem receptiva baseadas na Análise do Comportamento Aplicada. Durante a interação, as crianças responderam com entusiasmo, mantendo o foco na sessão e demonstrando comportamentos socialmente positivos, como o desejo de agradar a Zeno e o interesse em futuros encontros com o robô [Hanson et al. \(2012\)](#).

Durante as atividades realizadas com as crianças nos testes com o robô Zeno, elas participaram de tarefas de rotulagem receptiva, nas quais foram solicitadas a associar palavras a objetos exibidos em uma tela sensível ao toque do iPad. As crianças foram

desafiadas a tocar na imagem correta com base nas instruções dadas pelo ZenoHanson et al. (2012).

Os resultados indicaram que as interações com Zeno foram bem-sucedidas, com as crianças demonstrando uma resposta positiva, reduzindo o medo e o desconforto em relação ao robô. Eles expressaram um forte desejo de interagir novamente com Zeno no futuro, sugerindo que essa abordagem poderia ser benéfica para indivíduos com Transtorno do Espectro Autista (TEA)Hanson et al. (2012).

2.6.3 Robô PABI

O *Penguin for Autism Behavioral Interventions* (PABI) é um robô social humanóide que faz expressões faciais, emite sons, rastreia o contato visual e estimula respostas sociais em crianças de forma amigávelDickstein-Fischer e Fischer (2014).

PABI é um robô pinguim pequeno, o que estimula as crianças de segurá-lo, que cria uma conexão física que aumenta os sentimentos de afeição em relação ao robô, prolongando o interesse da criança por eleDickstein-Fischer e Fischer (2014).

A (Figura 2.16) apresenta a primeira versão do robô PABI, mostrando sua estrutura interna e design. A (Figura 2.17) ilustra uma sessão terapêutica real onde o robô PABI está sendo utilizado com uma criança, demonstrando sua aplicação prática em contexto de intervenção ABA.



Figura 2.16: Robô PABI primeira versão

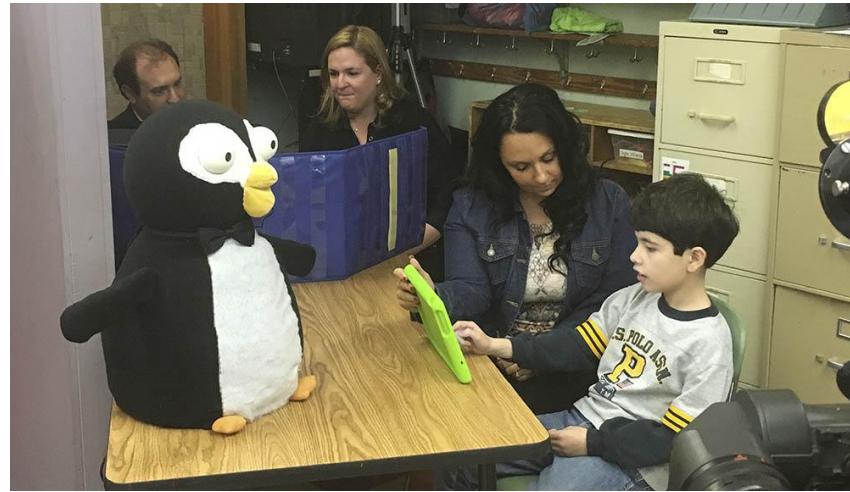


Figura 2.17: Atividade sendo realizada com robô PABI versão de testes

PABI pode demonstrar terapia ABA assistida por robô por meio do Ensino Discreto por Tentativas (EDT), estabelecendo interações com as crianças utilizando um tablet que exibe diversos cartões virtuais. O robô desempenha um papel ativo na interação com a criança, fornecendo instruções e feedback ao longo da terapia ABA. Essa funcionalidade torna o PABI uma ferramenta valiosa no processo de intervenção comportamental e educação de crianças com Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) [Dickstein-Fischer e Fischer \(2014\)](#).

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Visão Geral do Projeto

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi construído um sistema robótico de baixo custo voltado para uso em terapias ABA com crianças diagnosticadas com TEA. O sistema foi projetado para ser acessível, fácil de usar e suficientemente atrativo para servir como recompensa durante sessões terapêuticas.

3.2 Justificativa e Propósito do Sistema

3.2.1 Função do Sistema na Terapia ABA

O sistema robótico desenvolvido neste trabalho foi concebido para funcionar especificamente como ferramenta de recompensa (reforçador positivo) em sessões de terapia ABA com crianças diagnosticadas com TEA. Conforme os princípios da ABA, o reforço positivo é fundamental para aumentar a probabilidade de repetição de comportamentos desejados.

O robô atua como elemento motivador disponibilizado à criança após a execução bem-sucedida de uma tarefa terapêutica ou demonstração de um comportamento-alvo. O terapeuta controla quando e como a criança pode acessar o robô, utilizando-o como consequência positiva para reforçar comportamentos apropriados durante a sessão.

3.2.2 Funcionamento do Sistema de Recompensa

O acesso ao robô funciona da seguinte forma: após a criança completar com sucesso uma atividade proposta pelo terapeuta, por exemplo — nomear objetos corretamente, manter contato visual — ou seguir instruções, o terapeuta libera o acesso ao controle do carrinho ou aos jogos mediante um dispositivo (*tablet*, *smartphone* ou computador). A criança pode então controlar o movimento do carrinho robótico ou jogar um dos jogos

disponíveis pelo tempo determinado pelo terapeuta, estabelecendo uma relação clara entre comportamento adequado e consequência positiva.

O controle do carrinho robótico é realizado inteiramente através da interface web desenvolvida, acessível por qualquer navegador moderno. Quando o terapeuta libera o acesso, a criança utiliza o mesmo dispositivo (*tablet*, *smartphone* ou computador) para visualizar os botões de controle direcional na tela e movimentar o robô pela sala. Não há necessidade de controles físicos adicionais ou *hardware* especializado, tornando o sistema simples e intuitivo de usar.

Os jogos foram projetados intencionalmente sem mecanismos tradicionais de vitória ou derrota, evitando situações que possam gerar frustração na criança. Em vez de pontuações competitivas ou condições de “*game over*”, os jogos oferecem experiências positivas contínuas com feedback encorajador. Por exemplo, no jogo de emoções, todos os acertos são celebrados e os erros simplesmente apresentam a resposta correta sem penalizações. No jardim virtual, as plantas sempre crescem com o cuidado adequado, sem possibilidade de “perder” o jogo. Esta abordagem garante que o período de recompensa seja sempre uma experiência positiva e motivadora.

3.2.3 Variedade de Reforçadores

Os jogos integrados ao sistema foram desenvolvidos para servir como diferentes tipos de reforçadores, permitindo ao terapeuta variar as recompensas conforme as preferências individuais de cada criança. O jogo de reconhecimento de emoções, além de funcionar como recompensa, também trabalha habilidades terapêuticas relevantes. Os jogos clássicos (Snake e Pong) e o jardim virtual oferecem entretenimento puro como reforço, mantendo a motivação da criança ao longo da sessão.

3.2.4 Acessibilidade e Custo

Diferentemente de robôs comerciais que podem custar dezenas de milhares de reais, como o NAO V6 (aproximadamente R\$ 66.000), este sistema foi desenvolvido com componentes de baixo custo e arquitetura baseada em interface *web*, tornando-o acessível para instituições e profissionais com recursos limitados. A escolha por uma solução *web* elimina a necessidade de *hardware* especializado adicional, permitindo que terapeutas utilizem dispositivos que já possuem (*smartphones*, *tablets* ou computadores) para operar o sistema durante as sessões.

3.3 Modificações em Relação à Proposta Inicial

A proposta inicial previa o uso de uma tela *touch* acoplada ao *Raspberry Pi* para controle do robô. No entanto, durante os testes preliminares, foram identificadas limitações

significativas nesta abordagem. A responsividade da tela *touch* não era adequada para o uso pretendido, apresentando atrasos nas respostas aos comandos. Além disso, a necessidade de um controle remoto adicional para o carrinho tornaria o sistema menos integrado, e a tela *touch* limitaria a mobilidade e a distância de operação do sistema.

Diante dessas limitações, optou-se por desenvolver uma solução baseada em interface *web*, que oferece vantagens significativas. Esta abordagem permite controle remoto via qualquer dispositivo conectado à *internet* (computador, *smartphone* ou *tablet*), proporcionando maior flexibilidade de uso durante as sessões terapêuticas. A interface responsiva adapta-se a diferentes tamanhos de tela, integrando o controle do carrinho e os jogos em uma única plataforma.

3.4 Arquitetura do Sistema

3.4.1 *Hardware*

O *hardware* do carrinho robótico foi construído utilizando *Raspberry Pi 3* como microcomputador responsável pelo processamento e controle do sistema. A Ponte H L298N atua como controlador dos motores DC, permitindo o controle bidirecional dos dois motores responsáveis pela movimentação das rodas. A estrutura física consiste em um chassis de acrílico com rodas para locomoção, alimentado por bateria ou *power bank*. A interconexão dos componentes foi realizada por meio de cabos *jumpers*.

3.4.2 Projeto do Circuito

Antes da montagem física, o circuito foi projetado e simulado utilizando a plataforma *Tinkercad*. Esta etapa foi fundamental para verificar a correta conexão entre os componentes, testar a lógica de controle dos motores e identificar possíveis problemas antes da montagem física.

As conexões principais envolveram os pinos GPIO do *Raspberry Pi* conectados às entradas de controle da Ponte H, cujas saídas foram conectadas aos motores DC. A alimentação da Ponte H foi conectada à bateria ou *power bank*, mantendo terra comum entre *Raspberry Pi* e Ponte H para garantir referência elétrica adequada.

3.4.3 Montagem Física

Após a validação no *Tinkercad*, procedeu-se à montagem física do carrinho robótico. O processo foi iniciado com a fixação dos motores DC no chassi de acrílico, seguida pela montagem das rodas nos eixos dos motores. A Ponte H L298N foi instalada no chassi em posição acessível, e o *Raspberry Pi* foi fixado em posição segura. Os cabos foram

conectados conforme o esquema projetado, a fonte de alimentação foi instalada, e testes iniciais de movimentação básica foram realizados para validar a montagem.

O resultado da montagem física pode ser visualizado nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3, que apresentam diferentes perspectivas do protótipo desenvolvido. A vista lateral e superior evidenciam a disposição organizada dos componentes sobre o chassi de acrílico, incluindo o *Raspberry Pi*, a Ponte H L298N e o sistema de alimentação.

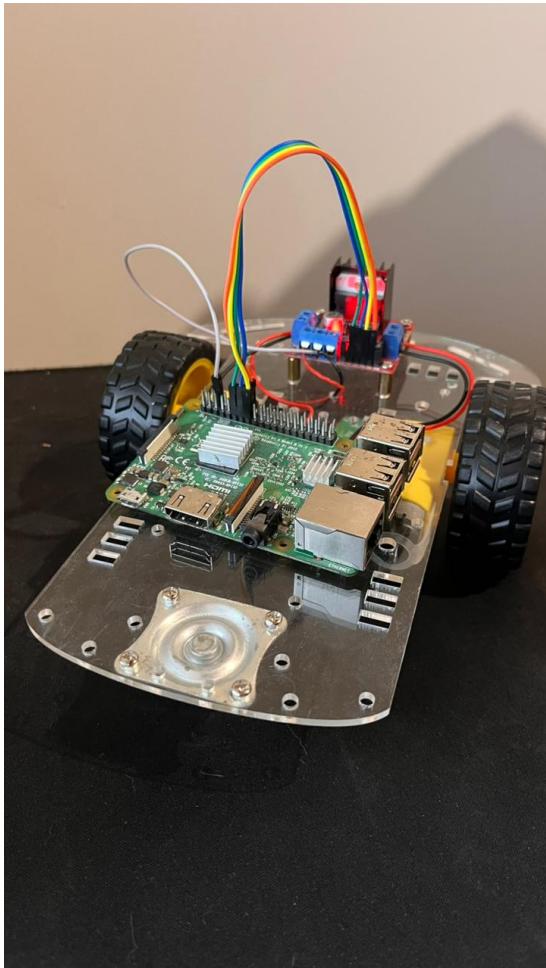


Figura 3.1: Protótipo do Carrinho Robótico (Vista Lateral)

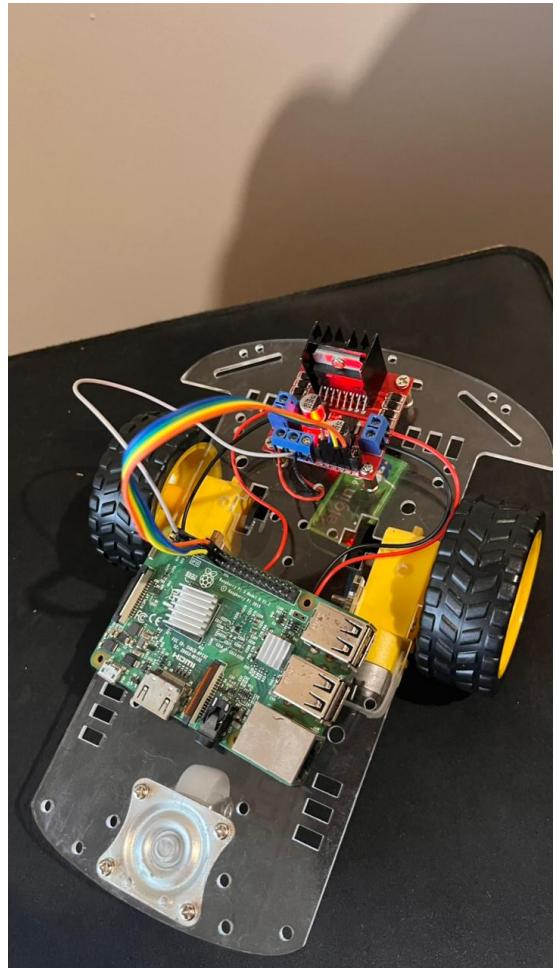


Figura 3.2: Detalhe da Montagem do Protótipo (Vista Superior)

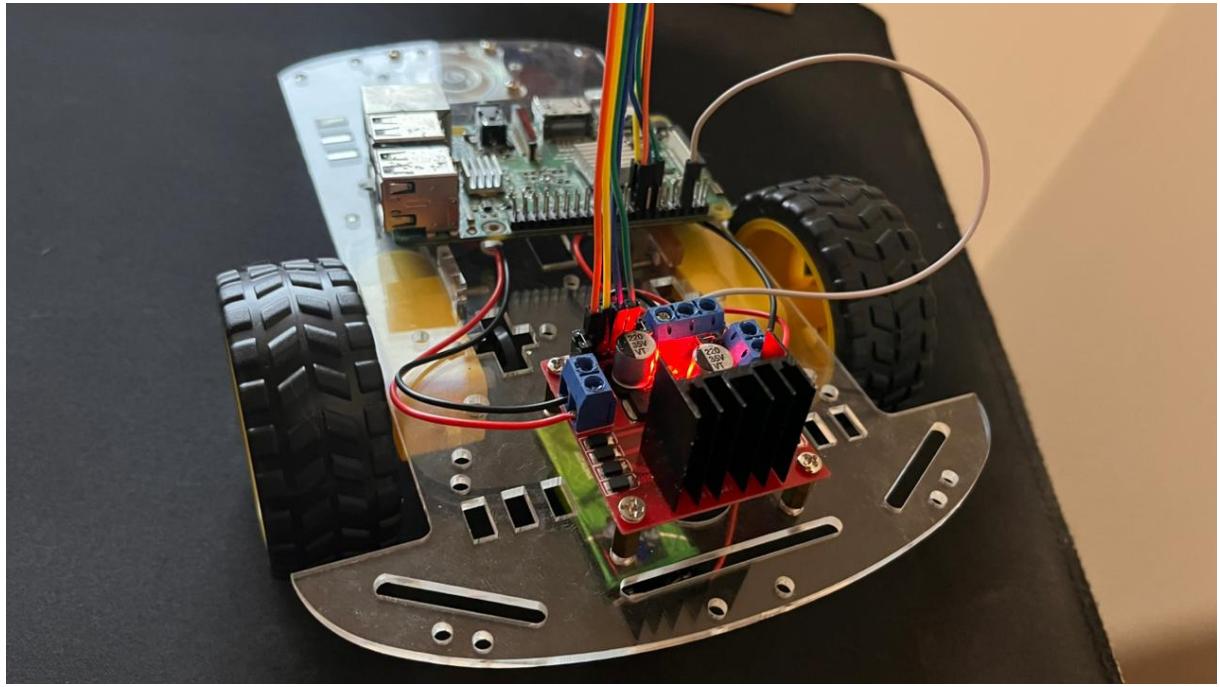


Figura 3.3: Protótipo Completo do Carrinho com *Raspberry Pi 3*

3.4.4 *Software*

O *software* desenvolvido divide-se em duas partes principais: *backend* e *frontend*. O *backend*, executado no *Raspberry Pi*, foi desenvolvido em *Python* utilizando o *framework* *Flask*, responsável por receber comandos via *HTTP*, controlar os pinos *GPIO* do *Raspberry Pi*, gerenciar a lógica de movimentação do carrinho e servir a interface *web* para os dispositivos clientes. O *frontend*, acessível via navegador *web*, foi desenvolvido utilizando *HTML5*, *CSS3* e *JavaScript*, implementando botões direcionais para controle do carrinho (frente, trás, esquerda, direita, parar), controle de velocidade ajustável, *feedback* visual do estado de conexão, indicadores de *status* dos motores, menu de seleção de jogos, jogos interativos como recompensa, sistema de pontuação e interface adaptada para fácil compreensão.

3.5 Implementação

3.5.1 Configuração do *Raspberry Pi*

O *Raspberry Pi* foi configurado iniciando com a instalação do *Raspberry Pi OS lite*, seguida pela configuração de rede *Wi-Fi*. As bibliotecas necessárias (*RPi.GPIO*, *Flask*, entre outras) foram instaladas, a inicialização automática do servidor *web* foi configurada, e testes de conectividade e acesso remoto foram realizados para validar a configuração.

3.5.2 Desenvolvimento do Servidor *web*

O servidor *web* foi estruturado utilizando Flask, um *framework web* minimalista para *Python* que permite a criação rápida de aplicações *web*. Flask foi escolhido por sua simplicidade, leveza e extensa documentação, adequado para aplicações de pequeno e médio porte como a desenvolvida neste trabalho. O servidor foi organizado com rotas principais hierarquicamente estruturadas: a rota raiz (/) serve a página principal com interface de controle; a rota /controle funciona como API para receber comandos de movimentação; a seção /jogos apresenta os jogos interativos disponíveis; e o endpoint /status permite verificação de status do sistema, como apresentado na Figura 3.4.

A Figura 3.4 apresenta a página principal do sistema, que funciona como ponto de entrada para todas as funcionalidades disponíveis. A interface foi projetada com design limpo e intuitivo, apresentando duas opções principais: acesso ao controle do carrinho e acesso à seção de jogos. Adicionalmente, a página exibe informações de status do sistema em tempo real, incluindo o estado da conexão GPIO, status dos motores e o jogo atualmente ativo, permitindo ao terapeuta ou responsável monitorar rapidamente o funcionamento do sistema.

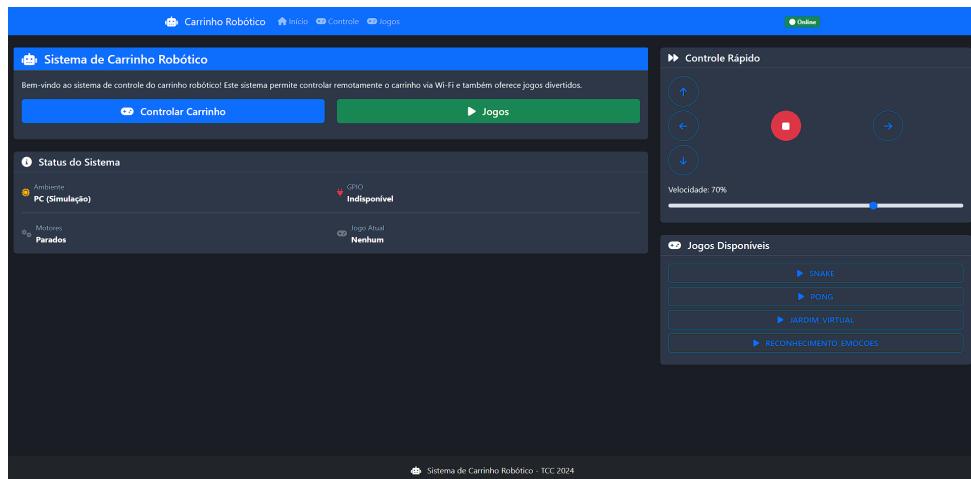


Figura 3.4: Página principal do *site*

3.5.3 Interface de Controle

A interface de controle foi projetada considerando usabilidade por meio de botões grandes e intuitivos, responsividade com adaptação a diferentes tamanhos de tela, acessibilidade por meio de cores contrastantes e *feedback* visual claro, e desempenho garantindo resposta rápida aos comandos do usuário (Figura 3.5).

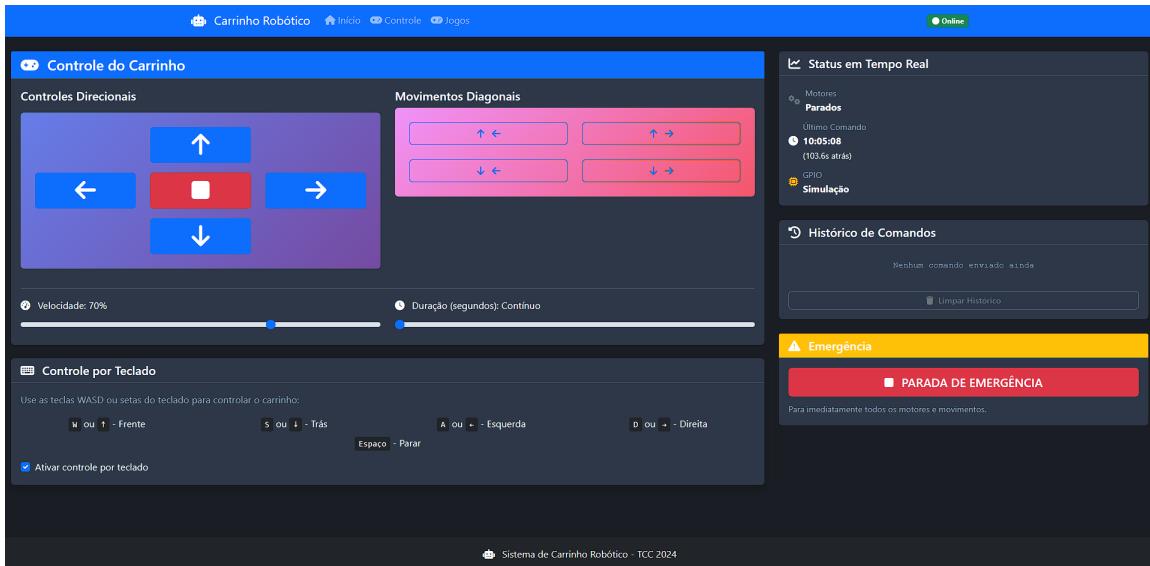


Figura 3.5: Página de controle completo do carrinho.

3.5.4 Sistema de Jogos

Foram desenvolvidos jogos simples e atrativos que servem como recompensas variadas durante as sessões de terapia ABA. A variedade de jogos permite que o terapeuta escolha reforçadores adequados às preferências individuais de cada criança, um princípio fundamental da ABA que reconhece que diferentes estímulos têm valor reforçador distinto para cada indivíduo.

O acesso aos jogos funciona como parte do sistema de reforço positivo: após a criança completar com sucesso uma atividade terapêutica proposta (por exemplo, identificar objetos corretamente, manter contato visual adequado, ou seguir instruções), o terapeuta libera o acesso a um dos jogos através da interface *web*. A criança pode então jogar pelo tempo determinado pelo terapeuta, estabelecendo uma relação clara entre comportamento adequado e consequência positiva.

O jogo de reconhecimento de emoções, compatível com os princípios da terapia ABA, trabalha a identificação de sentimentos por meio de situações cotidianas, funcionando simultaneamente como recompensa e como atividade terapêutica complementar. Foi desenvolvido com auxílio do Claude *Code* nas etapas iniciais e para correção de erros. Este jogo apresenta três níveis de dificuldade, permitindo ao terapeuta ajustar o desafio conforme o nível de desenvolvimento da criança.

O jardim virtual (Figura 3.7) permite plantar, regar e colher plantas em ambiente simulado, oferecendo uma experiência relaxante e gratificante que ensina paciência e responsabilidade por meio de rotinas de cuidado. Este jogo é particularmente eficaz como reforçador para crianças que apreciam atividades estruturadas e previsíveis.

Os jogos clássicos, como o jogo da cobra (Snake) e Pong, oferecem entretenimento com

mecânica simples e familiar, servindo como reforçadores altamente motivadores devido à sua natureza lúdica e desafiadora. Estes jogos são especialmente úteis para manter o interesse da criança ao longo de sessões mais longas.

A organização dos jogos disponíveis no sistema é apresentada na Figura 3.6. A interface separa os jogos em duas categorias principais: jogos especiais desenvolvidos especificamente para TEA, que incluem o Jardim Virtual e o jogo de Reconhecimento de Emoções, e jogos clássicos como Snake e Pong. Esta categorização facilita a seleção pelo terapeuta conforme os objetivos terapêuticos da sessão, sendo que os jogos especiais recebem destaque visual através do selo “TEA Friendly”.

Todos os jogos são acessados através da mesma interface *web* utilizada para controlar o robô, permitindo ao terapeuta controlar facilmente quando e qual jogo será disponibilizado como recompensa após a criança atingir os objetivos estabelecidos para aquela sessão terapêutica.

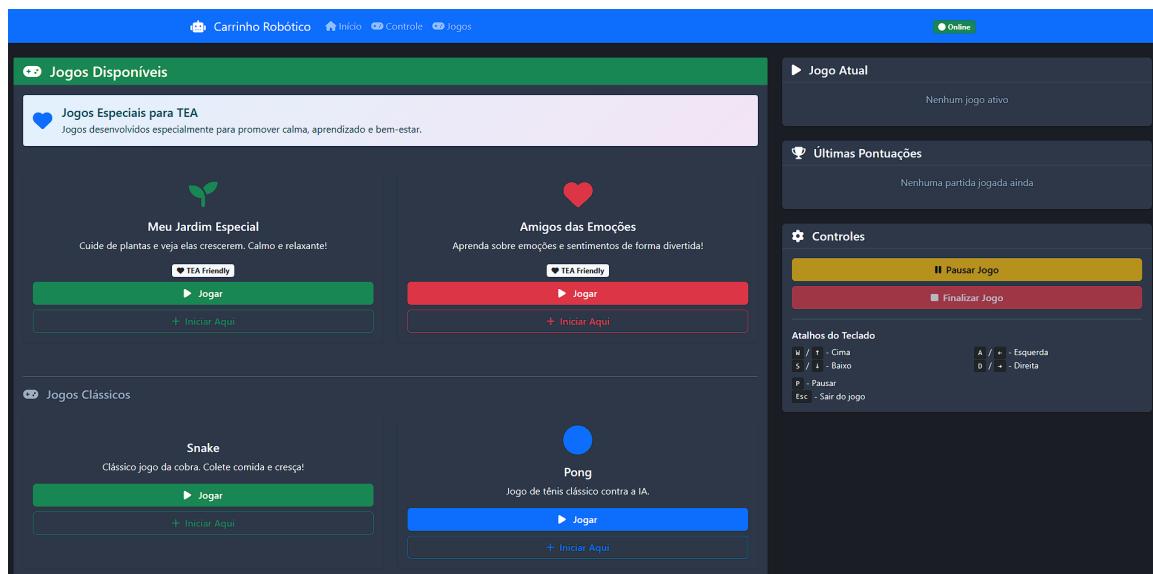


Figura 3.6: Tela principal dos jogos

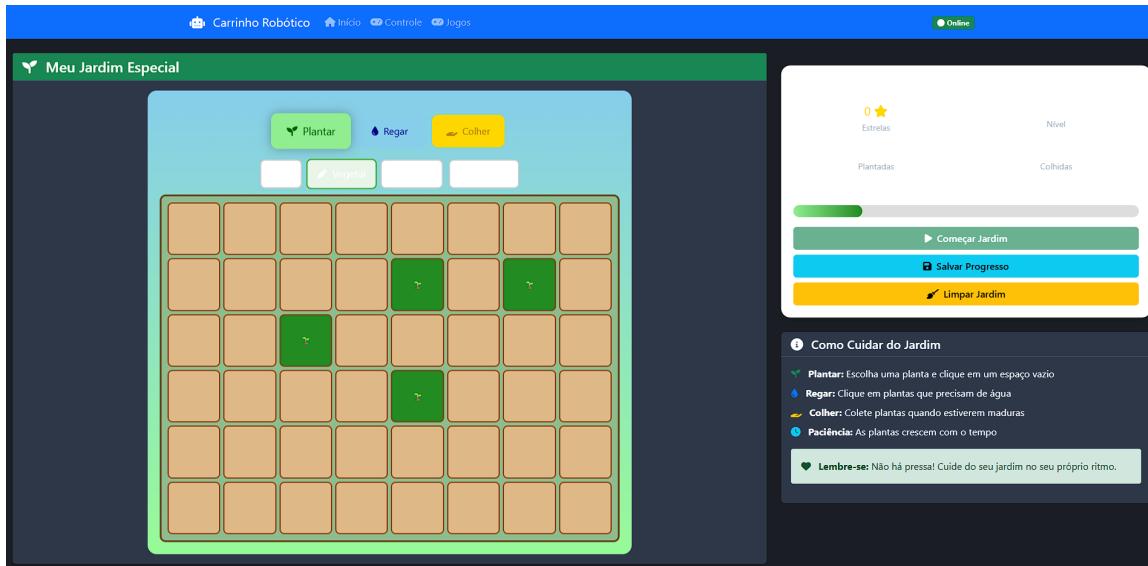


Figura 3.7: Jardim Virtual

O jogo de reconhecimento de emoções apresenta três níveis de dificuldade, conforme ilustrado nas Figuras 3.8 e 3.9. No modo fácil, a criança identifica emoções básicas por meio de expressões faciais simples com somente duas opções de resposta. À medida que o nível de dificuldade aumenta, são introduzidas situações contextualizadas do cotidiano e mais opções de resposta, incluindo emoções mais complexas como surpresa e medo. O sistema de progressão com barras visuais e contadores de acertos proporciona *feedback* imediato e motivação para continuar jogando.

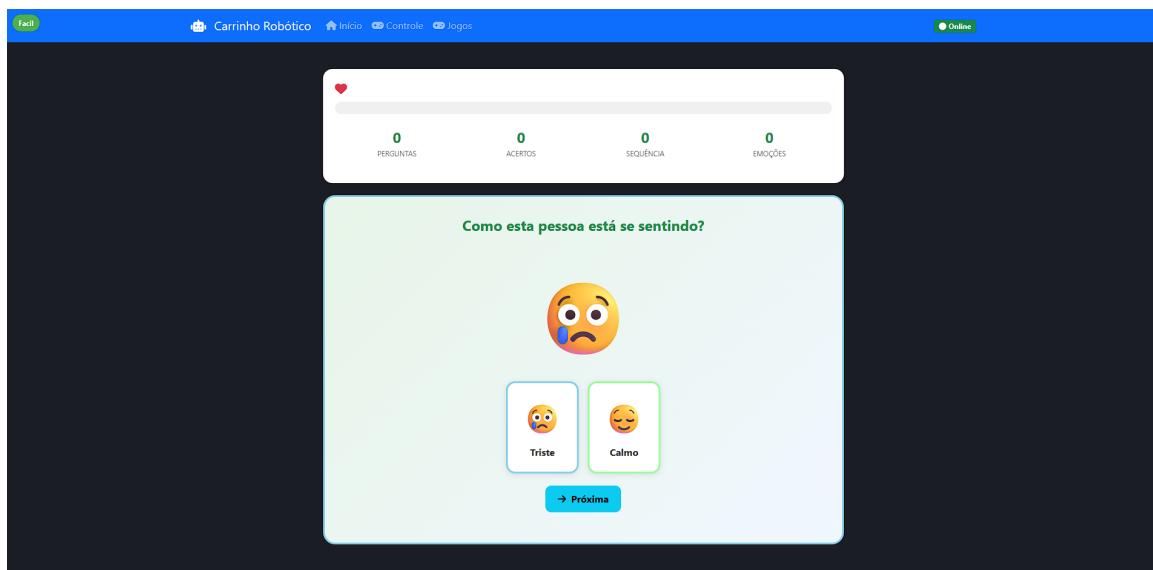


Figura 3.8: Jogo das Emoções no modo fácil.

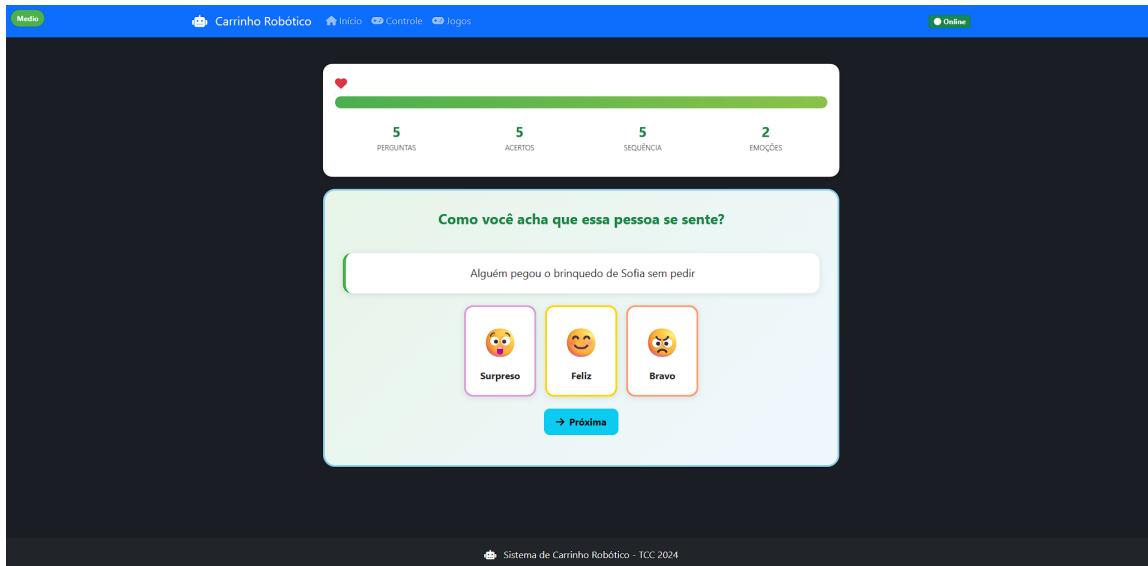


Figura 3.9: Jogo das Emoções no modo médio

O jogo do Jardim Virtual, representado na Figura 3.7, apresenta uma interface visual baseada em *grid* onde cada célula representa um espaço de plantio. A criança interage por meio de três ações principais: plantar sementes em espaços vazios, regar plantas que necessitam de água, e colher plantas maduras. O sistema de progressão é visível através das estrelas acumuladas e dos contadores de plantas plantadas e colhidas, incentivando o cuidado contínuo com o jardim. As instruções são apresentadas claramente no painel lateral, utilizando ícones visuais associados a cada ação para facilitar a compreensão.

3.6 Estrutura do Código Desenvolvido

O software desenvolvido para o sistema compõe-se de *backend* executado no *Raspberry Pi* e *frontend* acessível via navegador *web*. Foram priorizadas simplicidade, modularidade e facilidade de manutenção no desenvolvimento, utilizando tecnologias amplamente conhecidas e documentadas.

3.6.1 Arquitetura do Software

A arquitetura do sistema segue o padrão cliente-servidor, onde o *Raspberry Pi* atua como servidor hospedando a aplicação *Flask*, e os dispositivos de controle (*smartphones*, *tablets*, computadores) atuam como clientes acessando a interface *web*. Esta arquitetura foi escolhida por oferecer flexibilidade de acesso e facilitar futuras expansões do sistema.

O código foi organizado em módulos independentes, cada um responsável por uma funcionalidade específica. O arquivo *config.py* centraliza todas as configurações do sistema. O módulo *motor_controller.py* gerencia o controle dos motores via GPIO. O

`game_engine.py` implementa a lógica dos jogos. O arquivo `web_interface.py` contém o servidor Flask e rotas da API.

3.6.2 Backend - Servidor *Python/Flask*

O *backend* foi implementado em *Python* 3 utilizando o *framework* *Flask*, escolhido por sua simplicidade e adequação para aplicações *web* de pequeno e médio porte. A estrutura modular permite que cada componente seja desenvolvido e testado independentemente.

Módulo de Configuração (`config.py`)

O arquivo de configuração centraliza todos os parâmetros do sistema, facilitando ajustes sem necessidade de modificar múltiplos arquivos. As configurações de GPIO foram definidas especificando os pinos físicos conectados ao *driver* L298N, permitindo fácil adaptação para diferentes montagens. O GPIO 17 (pino físico 11) foi configurado para controlar IN1 de direção do motor esquerdo, GPIO 27 (pino físico 13) para controlar IN2 do mesmo motor, enquanto GPIO 22 (pino físico 15) e GPIO 23 (pino físico 16) controlam IN3 e IN4 do motor direito, respectivamente.

As configurações de rede foram especificadas definindo *host* e porta para o servidor *web*, configurado para aceitar conexões de qualquer IP através do endereço 0.0.0.0:5000. As configurações dos motores foram definidas estabelecendo parâmetros de velocidade padrão, velocidade máxima e tempo máximo de comando, implementando limites de segurança.

Controlador de Motores (`motor_controller.py`)

Este módulo encapsula toda a lógica de controle do *hardware*, oferecendo uma interface para movimentação do carrinho. Foi implementada uma característica importante de detecção automática do ambiente de execução, permitindo desenvolvimento em PC com simulação do *hardware*.

Durante a inicialização, o controlador verifica se está executando em um *Raspberry Pi* através da identificação da arquitetura do processador. Em caso positivo, tenta-se configurar os pinos GPIO com múltiplas tentativas para garantir robustez. A biblioteca RPi.GPIO foi configurada no modo BCM (*Broadcom*), que referencia os pinos pela numeração GPIO ao invés da numeração física. Todos os pinos de controle foram configurados como saída, e o modo de aviso foi desabilitado para evitar mensagens desnecessárias durante a execução.

Movimentos básicos foram implementados através da manipulação dos estados lógicos dos pinos GPIO. Para movimento para frente, ambos os motores giram no mesmo sentido com IN1=*HIGH* e IN2=*LOW*. Para curvas, um motor inverte sua direção enquanto o outro mantém, criando rotação no próprio eixo. Foi incluída proteção contra comandos

inválidos e *timeout* automático. Se nenhum comando é recebido por mais de 1 segundo, o sistema automaticamente para os motores por segurança.

Quando executado em ambiente não-*Raspberry Pi*, o controlador opera em modo simulação, imprimindo no console os comandos que seriam enviados ao *hardware*, facilitando o desenvolvimento e teste da interface *web* sem necessidade de acesso físico ao carrinho.

Servidor Web (*web_interface.py*)

Foi implementado no servidor *Flask* tanto a interface *web* quanto uma *API RESTful* para controle programático do carrinho. A aplicação foi configurada com CORS (*Cross-Origin Resource Sharing*) habilitado, permitindo acesso de diferentes origens.

A rota raiz (/) serve a página principal com navegação para controles e jogos. A rota /**controle** apresenta a interface de controle do carrinho, e /**jogos** lista os jogos disponíveis. Foi implementada rota dedicada para cada jogo, permitindo acesso direto.

Foram implementados *endpoints* específicos na API para diferentes operações. O endpoint **POST /api/carrinho/mover** recebe comandos de movimento com parâmetros de direção, velocidade e duração. O endpoint **POST /api/carrinho/parar** para imediatamente todos os motores. O endpoint **GET /api/carrinho/status** retorna o status atual do sistema. Todos os *endpoints* foram configurados para retornar respostas em formato JSON, facilitando integração com outras aplicações.

Foi implementada uma classe **EstadoGlobal** que mantém o estado atual do sistema, incluindo conexões ativas, estado do jogo atual e informações de telemetria. Uma *thread* dedicada atualiza periodicamente este estado, garantindo que a interface *web* reflete sempre a condição atual do sistema.

3.6.3 *Frontend - Interface web*

A interface *web* foi desenvolvida com HTML5, CSS3 e *JavaScript* puro, priorizando compatibilidade máxima e facilidade de manutenção. O design responsivo adapta-se automaticamente a diferentes tamanhos de tela.

As páginas HTML foram estruturadas seguindo estrutura semântica, utilizando *tags* apropriadas para melhor acessibilidade. A página de controle foi projetada com layout centrado apresentando botões direcionais dispostos em cruz, um botão de parada de emergência central e controles de velocidade. Metadados específicos foram implementados garantindo renderização apropriada em dispositivos móveis, incluindo configuração de *viewport* e modo de exibição em tela cheia.

Os estilos foram desenvolvidos com foco em usabilidade e acessibilidade. Foi utilizada paleta com cores calmantes, evitando contrastes extremos. Todos os botões foram configurados para apresentar estados visuais distintos com transições suaves entre estados. Ao pressionar um botão, foi programada redução de escala e mudança de sombra para simular

profundidade. Os botões de controle foram definidos com dimensões mínimas de 80x80 *pixels* em *desktop* e 70x70 *pixels* em *mobile*, facilitando o toque preciso. *Media queries* foram implementadas para ajustar layout e tamanhos para diferentes dispositivos.

Foi implementado no *JavaScript* a lógica de comunicação com o servidor e gerenciamento da interface. Todas as requisições ao servidor foram configuradas para utilizar a *Fetch API* com *async/await*, garantindo que a interface permaneça responsiva durante operações de rede. *Debounce* foi implementado nos comandos de movimento para evitar sobrecarga, com intervalo mínimo de 100ms entre envios. Foi adicionado suporte para controle por teclado, com setas direcionais mapeadas para os movimentos correspondentes. Um indicador de conexão permanente foi implementado para informar visualmente o estado da comunicação com o servidor.

3.6.4 Sistema de Jogos

Foi implementado no módulo de jogos uma *engine* genérica que facilita a adição de novos jogos. Cada jogo herda de uma classe base *JogoBase* que define uma interface comum para inicialização, atualização, processamento de entrada e serialização de estado.

O jogo de reconhecimento de emoções foi implementado como ferramenta terapêutica específica para trabalhar reconhecimento de expressões faciais. O jogo apresenta situações do cotidiano e pede que a criança identifique a emoção correspondente. As emoções foram representadas por cores específicas (feliz=dourado, triste=azul claro, bravo=salmão) ao invés de somente texto, facilitando o reconhecimento para crianças com diferentes níveis de desenvolvimento.

O jogo do jardim virtual foi desenvolvido focando em rotinas e responsabilidades. A criança planta sementes, rega as plantas e colhe frutos quando amadurecem. O crescimento das plantas ocorre em tempo real, ensinando paciência e cuidado contínuo. O *grid* do jardim foi representado por meio de uma matriz bidimensional, com cada célula podendo conter uma planta.

3.6.5 Acesso Online via Ngrok

Para permitir acesso ao sistema pela internet, foi desenvolvido *script* de automação utilizando Ngrok, uma ferramenta que cria túneis seguros entre a rede local e a internet pública, permitindo que aplicações executadas localmente sejam acessadas remotamente por meio de URLs públicas temporárias. O *script* `start_carrinho_online.sh` automatiza todo o processo, verificando o diretório correto do projeto, instalando Ngrok automaticamente se necessário, detectando a arquitetura do processador, iniciando o servidor *Flask* em *background*, aguardando inicialização completa, criando túnel público e exibindo URLs de acesso.

3.6.6 Considerações Técnicas de Implementação

Embora o sistema tenha sido projetado para uso em ambiente controlado, foram implementadas medidas básicas de segurança como *timeout* automático de comandos, validação de entrada em todos os *endpoints*, limites de velocidade e duração, e botão de parada de emergência sempre acessível.

O código foi desenvolvido pensando em operação contínua durante sessões terapêuticas, com tratamento abrangente de exceções, reconexão automática em caso de perda temporária de rede, *logging* detalhado e inicialização com múltiplas tentativas. A estrutura modular facilita futuras modificações, com separação clara entre lógica de negócio e interface, configurações centralizadas e convenções de nomenclatura consistentes.

3.7 Custos do Projeto

Foi realizada uma análise comparativa de custos para demonstrar a viabilidade econômica do protótipo, como mostra a Tabela 3.1

Tabela 3.1: Comparação de custos com robôs comerciais

Item	Custo (R\$)
<i>Raspberry Pi 3</i>	300-500
Ponte H L298N	15-25
Kit com Chassi, rodas e Motores DC	40-60
Bateria/Power Bank	50-100
Cabos e acessórios	20-30
Total Estimado	425-715
NAO V6 (referência)	66.000

O protótipo desenvolvido representa uma redução de custo superior a 99% em relação a robôs comerciais como o NAO, mantendo funcionalidades adequadas para uso como recompensa em terapias ABA.

Capítulo 4

Resultados Obtidos

4.1 Conhecimento Teórico

Foi obtido um conhecimento abrangente sobre os princípios da Teoria Comportamental ABA e sua aplicação na terapia de crianças com Transtorno do Espectro do Autismo (TEA), fundamentado em revisão bibliográfica sistemática. Este conhecimento permitiu compreender os mecanismos de reforço positivo, modelagem de comportamentos e técnicas de ensino estruturado que fundamentam as intervenções terapêuticas baseadas em ABA.

4.2 Revisão da Literatura

Foi realizada uma revisão abrangente da literatura, identificando pesquisas relacionadas que abordam o uso de tecnologia na terapia de TEA. Foram analisados projetos como KIBO, Bee-Bot, NAO, Zeno R-50 e PABI, compreendendo suas abordagens, vantagens e limitações. Esta análise comparativa proporcionou uma visão crítica das soluções existentes e identificou lacunas que poderiam ser exploradas no desenvolvimento de alternativas mais acessíveis.

4.3 Desenvolvimento do Protótipo

Foi desenvolvido com sucesso um robô terapêutico funcional que aplica conceitos da Teoria Comportamental ABA como ferramenta de recompensa. O sistema é controlável remotamente via interface web e oferece custo significativamente inferior a soluções comerciais existentes no mercado. A plataforma integra controle de movimentação e jogos interativos em uma única interface, sendo acessível a partir de múltiplos dispositivos, incluindo computadores, *smartphones* e *tablets*.

A arquitetura desenvolvida permite que terapeutas e responsáveis controlem o robô de forma intuitiva, sem necessidade de conhecimentos técnicos avançados. Os jogos im-

plementados foram especialmente projetados para trabalhar habilidades relevantes no contexto de terapia ABA, como reconhecimento de emoções e desenvolvimento de rotinas de cuidado.

4.4 Validação Técnica do Sistema

Após concluir a montagem do protótipo e desenvolver o software, foi iniciada uma fase abrangente de testes para validar o funcionamento do sistema. Esta etapa foi fundamental para identificar possíveis problemas, realizar ajustes necessários e confirmar que o robô atende aos requisitos estabelecidos para uso como ferramenta de recompensa em terapias ABA.

4.4.1 Validação de *Hardware*

Os testes de hardware foram conduzidos em ambiente controlado, permitindo a avaliação sistemática de cada componente e sua integração no sistema completo. Inicialmente, foram realizados testes isolados de cada motor DC para verificar seu funcionamento básico. Cada motor foi conectado diretamente à Ponte H e a rotação foi testada nos dois sentidos. Foi verificado que ambos os motores respondiam adequadamente aos sinais de controle, apresentando torque suficiente para movimentar o chassi com todos os componentes montados.

Em seguida, foi testada a movimentação coordenada dos dois motores para realizar os movimentos básicos do carrinho. Durante os testes de movimento para frente, foi observado que o carrinho mantinha trajetória razoavelmente reta, com pequenos desvios corrigíveis pelo operador. Os comandos de giro mostraram-se eficientes, permitindo rotações precisas através da diferenciação de velocidade ou inversão de sentido entre as rodas.

A estabilidade mecânica foi avaliada através de testes de movimentação em diferentes superfícies. O carrinho foi testado em pisos lisos, carpetes de pelo baixo e superfícies levemente irregulares. Em pisos lisos, o carrinho demonstrou excelente desempenho, com movimentação suave e sem trepidações. Em carpetes, foi observada ligeira redução de velocidade devido ao aumento de resistência, mas o torque dos motores mostrou-se suficiente para superar o atrito adicional.

4.4.2 Validação de *Software*

Os testes de software abrangeram tanto o *backend* executado no *Raspberry Pi* quanto o *frontend* acessado pelos dispositivos clientes. A interface web foi testada em diversos dispositivos para garantir compatibilidade e responsividade. Foram utilizados *smartphones* *Android* e *iOS*, *notebooks* e diferentes tamanhos de tela.

Em *smartphones*, a interface adaptou-se adequadamente à tela menor, com botões dimensionados para facilitar o toque. Os controles direcionais permaneceram facilmente acessíveis, permitindo operação com uma única mão. Em computadores *desktop* e *notebooks*, foi testado tanto o controle via mouse quanto via teclado. A possibilidade de controle através das teclas direcionais do teclado ofereceu uma alternativa ao clique nos botões da interface, ampliando as opções de interação com o sistema.

4.5 Limitações Identificadas

Durante o desenvolvimento, foram identificadas algumas limitações que devem ser consideradas. A dependência de conexão à internet para acesso remoto pode ser um fator limitante em alguns ambientes terapêuticos, especialmente em regiões com infraestrutura de rede inadequada. O robô desenvolvido não possui recursos de inteligência artificial ou reconhecimento de padrões, funcionando exclusivamente com comandos diretos do usuário.

Adicionalmente, a validação efetiva com pacientes reais não foi realizada neste trabalho devido a limitações de tempo e à necessidade de aprovação por comitê de ética para pesquisas envolvendo crianças com TEA. Portanto, os resultados apresentados baseiam-se em testes funcionais do sistema, sem avaliação de sua eficácia terapêutica em contexto clínico real.

4.6 Trabalhos Futuros

Como possibilidades de trabalhos futuros, sugere-se a validação do sistema com terapeutas e crianças com TEA em ambiente real, mediante aprovação ética apropriada. Esta validação seria fundamental para avaliar a aceitação do robô pelas crianças e sua efetividade como ferramenta de recompensa nas sessões terapêuticas.

A implementação de funcionalidades de inteligência artificial poderia ampliar significativamente as capacidades do sistema, permitindo adaptação automática ao perfil de cada criança e reconhecimento de padrões comportamentais. O desenvolvimento de mais jogos terapêuticos integrados, focados em diferentes habilidades trabalhadas em terapia ABA, expandiria a utilidade da ferramenta.

A criação de um sistema de coleta e análise de dados das sessões permitiria aos terapeutas acompanhar o progresso das crianças de forma objetiva e quantificável. Melhorias na autonomia e robustez do hardware, incluindo maior duração de bateria e proteção contra quedas, tornariam o sistema mais adequado para uso prolongado em ambientes terapêuticos.

Por fim, o desenvolvimento de uma versão mobile app nativa poderia melhorar a experiência do usuário e eliminar a dependência de conexão à internet para funcionalidades

básicas, permitindo operação offline com sincronização posterior dos dados coletados.

Capítulo 5

Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um robô terapêutico de baixo custo voltado para uso como recompensa em intervenções ABA para crianças com TEA. A pesquisa abrangeu desde a revisão bibliográfica até a implementação efetiva de um protótipo funcional.

A combinação de tecnologia acessível (*Raspberry Pi*) com interface web demonstrou ser uma abordagem viável e promissora. O sistema desenvolvido oferece funcionalidades adequadas para uso terapêutico a um custo significativamente inferior às soluções comerciais disponíveis no mercado, representando uma redução de custos superior a 99% em relação a robôs como o NAO V6.

Durante o desenvolvimento, foram realizadas modificações importantes em relação à proposta inicial. A substituição da tela *touch* por uma interface web acessível via qualquer dispositivo conectado à internet resultou em um sistema mais flexível e adequado às necessidades do contexto terapêutico. Esta decisão eliminou problemas de responsividade e ampliou as possibilidades de controle remoto, permitindo que terapeutas operem o robô de diferentes distâncias durante as sessões.

A integração entre controle do carrinho robótico e jogos interativos em uma única plataforma *web* demonstrou ser eficaz, proporcionando uma ferramenta versátil para terapeutas que utilizam a metodologia ABA. O caráter recompensador do robô, fundamental para as intervenções comportamentais, foi preservado e potencializado pela interface atrativa e pelos jogos desenvolvidos.

Os testes realizados confirmaram o funcionamento adequado do sistema em diferentes aspectos: resposta dos motores, autonomia de bateria, conectividade *web*, compatibilidade com múltiplos dispositivos e usabilidade da interface.

5.1 Contribuições

Este trabalho contribui para a área ao demonstrar a viabilidade de desenvolvimento de ferramentas robóticas de baixo custo para terapia ABA, tornando a tecnologia assistiva mais acessível para clínicas e famílias com recursos limitados. A acessibilidade econômica do protótipo desenvolvido, com custo entre R\$ 425,00 e R\$ 715,00, representa uma contribuição significativa para a democratização de ferramentas robóticas terapêuticas, tornando-se viável para instituições e profissionais que não dispõem de recursos para a aquisição de robôs comerciais que podem custar dezenas de milhares de reais.

A proposta de uma arquitetura baseada em web aumenta significativamente a flexibilidade de uso, permitindo que o sistema seja operado a partir de dispositivos que os terapeutas e famílias já possuem, sem necessidade de aquisição de hardware especializado adicional. Esta abordagem elimina barreiras tecnológicas e facilita a adoção da ferramenta em diferentes contextos terapêuticos.

O processo completo de desenvolvimento foi documentado de forma detalhada, desde a concepção até a implementação final, incluindo decisões de projeto, desafios encontrados e soluções adotadas. Esta documentação serve como referência para pesquisadores e desenvolvedores interessados em criar ferramentas similares, reduzindo a curva de aprendizado e facilitando a replicação ou adaptação do projeto. Adicionalmente, foi criada uma base sólida para futuras pesquisas e desenvolvimentos na área, com código modular e arquitetura extensível que facilita a adição de novas funcionalidades e jogos terapêuticos.

5.2 Limitações

O trabalho apresenta limitações importantes que devem ser reconhecidas. A principal delas é a ausência de validação com usuários reais - crianças com TEA e terapeutas em contexto clínico efetivo. Os testes realizados foram técnicos e de usabilidade básica, sem avaliação do impacto terapêutico real.

A dependência de conexão à internet pode ser um fator limitante em alguns ambientes terapêuticos. Embora a maioria das clínicas e consultórios disponha de rede *Wi-Fi*, situações de instabilidade de conexão podem afetar a experiência de uso. A implementação futura de um modo de operação offline, ainda que com funcionalidades reduzidas, poderia mitigar essa limitação.

5.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, sugere-se a validação do sistema com terapeutas e crianças com TEA em ambiente clínico real, o desenvolvimento de mais jogos terapêuticos alinhados a objetivos específicos da ABA, a implementação de sistema de coleta e análise de

dados das sessões para acompanhamento do progresso terapêutico, e o desenvolvimento de aplicativo *mobile* nativo como alternativa à interface web.

5.4 Considerações Finais

Em síntese, este trabalho demonstrou que é possível desenvolver soluções tecnológicas efetivas e acessíveis para apoio a terapias comportamentais. O protótipo desenvolvido confirma a viabilidade técnica e econômica de ferramentas robóticas de baixo custo, contribuindo para tornar a tecnologia assistiva mais acessível no contexto brasileiro do tratamento do TEA.

Bibliografia

ALBO-CANALS, J. et al. A pilot study of the kibo robot in children with severe asd. *International Journal of Social Robotics*, Springer, v. 10, p. 371–383, 2018.

ALVES, F. J. et al. Robôs como suporte às intervenções baseadas em aba para o transtorno do espectro autista: uma revisão narrativa. *FRANÇA, G.; PINHO; KR Autismo: Tecnologias e formação de professores para a escola pública*. Palmas: i-Acadêmica, p. 136–146, 2020.

CANALTECH. *Raspberry Pi chega a 30 milhões de unidades vendidas no mundo*. 2019. [\(https://canaltech.com.br/hardware/raspberry-pi-chega-a-30-milhoes-de-unidades-vendidas-no-mundo-158249/\)](https://canaltech.com.br/hardware/raspberry-pi-chega-a-30-milhoes-de-unidades-vendidas-no-mundo-158249/). Acesso em: 11 out. 2023.

DICKSTEIN-FISCHER, L.; FISCHER, G. S. Combining psychological and engineering approaches to utilizing social robots with children with autism. In: IEEE. *2014 36th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society*. [S.l.], 2014. p. 792–795.

FAERBER, N. O robô não humano. *Linux Magazine*, v. 93, 2012.

HANSON, D. et al. Realistic humanlike robots for treatment of asd, social training, and research; shown to appeal to youths with asd, cause physiological arousal, and increase human-to-human social engagement. In: *Proceedings of the 5th ACM international conference on pervasive technologies related to assistive environments (PETRA '12)*. [S.l.: s.n.], 2012.

LEOSTE, J. et al. Bee-bot educational robot as a means of developing social skills among children with autism-spectrum disorders. In: SPRINGER. *Robotics in Education: RiE 2021 12*. [S.l.], 2022. p. 14–25.

LOUIE, W.-Y. G. et al. A study on an applied behavior analysis-based robot-mediated listening comprehension intervention for asd. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, v. 12, n. 1, p. 31–46, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/pjbr-2021-0005>.

MATARIĆ, M. J. *Introdução à Robótica*. [S.l.]: Editora Blucher, 2014.

OLIVEIRA, C. L. V.; NABARRO, C. B. M.; ZANETTI, H. A. P. *Raspberry PI descomplicado*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2018.

ORGANIZATION, W. H. et al. *Autism spectrum disorders*. [S.l.], 2019.

Revista Autismo. *Brasil conhece pela 1ª vez seu número oficial de pessoas com diagnóstico de autismo: 1 em 38*. 2025. ⟨<https://www.canalautismo.com.br/noticia/brasil-conhece-pela-1a-vez-seu-numero-oficial-de-pessoas-com-diagnostico-de-autismo-1-em-38/>⟩. Acesso em: 23 maio 2025.

ROBOTICS, K. *KIBO - KinderLab Robotics*. 2023. ⟨<https://kinderlabrobotics.com/kibo/>⟩. Acesso em: 11 out. 2023.

ROBOTSGUIDE. *Zeno Robot*. 2023. ⟨<https://robotsguide.com/robots/zeno/>⟩. Acesso em: 11 out. 2023.

RODRÍGUEZ, R. L. *Interação entre Robôs e Crianças com Autismo*. 2022. ⟨<https://amenteemaravilhosa.com.br/interacao-robos-e-criancas-com-autismo/>⟩. Acesso em: 11 out. 2023.

TREVISAN, D. et al. A review of the use of computational technology in applied behavior analysis. *Adaptive Behavior*, v. 27, p. 183–196, 06 2019.

TREVISAN, D. F. Framework computacional para intervenções comportamentais. 2021.

TREVISAN, D. F. et al. Uso do robô coji para ensino de habilidades pré-verbais para estudante com autismo. *CBEE - Congresso Brasileiro de Esducação Especial*, 2018.