



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**Autoy: Brinquedo IoT reconfigurável
para auxiliar no tratamento de crianças
autistas - Uma proposta de interface
tangível**

Laís Bandeira Miranda da Silva

Trabalho de Graduação

Recife
26 de agosto de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA

Laís Bandeira Miranda da Silva

**Autoy: Brinquedo IoT reconfigurável para auxiliar no
tratamento de crianças autistas - Uma proposta de interface
tangível**

Trabalho apresentado ao Programa de CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO do CENTRO DE INFORMÁTICA da UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO.

Orientadora: *Prfa. Dra. Edna Natividade da Silva Barros*

Recife
26 de agosto de 2021

*Para meu pai e minha mãe,
que sempre acreditaram em mim
e me deram a oportunidade de estar
realizando esse sonho de ser uma
engenheira da computação.*

Agradecimentos

A jornada foi longa, mas sinto que aproveitei cada momento e oportunidade que o CIn me deu, esse espaço de conhecimento se tornou minha segunda casa. O Lab ESTUFA sabe cada pesquisa, conversa e componente eletrônico que eu queimei para estar aqui hoje.

Agradeço a Deus por ter abençoado minha vida com pessoas que sempre me fizeram crescer e suportar todas as dificuldades passadas ao longo desses anos de graduação, por ter me confortado em momentos tristes e por ter me dado a energia e alegria de todos os dias.

Agradeço a minha família, que me deu suporte, amor, carinho e coragem. Meu pai, Reinaldo, que por ser um curioso e sempre tentar arrumar os eletrônicos da casa, antes de mandar para um técnico, despertou em mim a vontade de entender e construir dispositivos eletrônicos. Minha mãe, Leila, que com sua calma e amor por plantas, me ensinou que devemos construir coisas que ajudem a melhorar nossa convivência uns com os outros, mas também com a natureza que nos cerca. Minha irmã mais velha, Wirla, que é uma pessoa corajosa, esperta e determinada, sempre aprende de tudo um pouco e com isso tem a coragem de arriscar e ter o empreendedorismo na veia. Minha irmã mais nova, Bia, que com sua dança e alegria alivia o peso das tarefas do dia a dia e com sua disciplina me ajuda a planejar melhor meus dias para que eu busque sempre minha saúde mental. Minha avó paterna, Severina, que me levou ao caminho da oração e mostra todos os dias que os caminhos de Deus sempre são melhores que os meus. Minha avó materna, Leonor, que traz com ela a alegria de viver e mostra que mesmo com as dificuldades da vida devemos ter um tempo para um bom carnaval, ou simplesmente uma boa conversa ao redor da mesa tomando um cafézinho. Minha tia Sol, que é como uma segunda mãe para mim e quando eu era criança, me incentivava nas tarefas de casa, mesmo não sabendo como fazer. Minha amiga, Gleice, que me escuta sempre e me ajuda nas mais mirabolantes invenções, obrigada por me ajudar nas costuras feitas para esse projeto.

Agradeço a minha orientadora Edna Barros, uma mãe que a UFPE me deu desde 2015, e com seu carinho, determinação e alguns puxões de orelha me apoiou e ajudou no meu sonho de me tornar uma inventora. Obrigada por ser tão maravilhosa com cada estudante que passa em sua vida.

Agradeço a todos os meus amigos, que me ajudaram e sempre estiveram presentes para me lembrar que sem Deus nada é possível, que "Vai dá tudo certo!" e que é sempre bom parar um pouco a vida corrida para ter um 'dedin' de prosa deitada num sofá da sala de alguém. Meus agradecimentos em especial a Gabi e Julinha, minhas parceiras nesse projeto tão bonito! A Ladson e Igor, que nessa pandemia foram meus parceiros em quase tudo da UFPE; A Mari e Thiago, que nas poucas conversas que tivemos me incentivaram a não desistir e manter a calma; A Cris e Malu e os bons dias de comer empada quando o salário vem; Por último, mas não menos importante, a Duda e Manu, que mesmo com o distanciamento ou as correrias da

vida, sabemos que podemos contar umas com as outras.

A vontade é de agradecer a todo mundo que passou em minha vida, desde a minha professora do jardim da infância, até agora, mas não há espaço! Porém a todos que me conhecem e que pelo menos um 'oi' já trocou comigo, meu singelo obrigada!

*Viva para que as pessoas
digam que por sua causa
não desistiram dos seus sonhos.*
—DESCONHECIDO

Resumo

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é um termo que define um conjunto de distúrbios marcantes que afetam habilidades cognitivas, comunicação e interação social. Numa pesquisa realizada pelo Center of Disease Control and Prevention em 2018, estima-se que no mundo 1 a cada 160 crianças, possuem TEA. O tratamento por Análise do Comportamento Aplicado – ABA exige em torno de 30 a 40 horas para melhores resultados, sendo executado tanto nas sessões terapêuticas como também em casa. Nesse contexto, o projeto Autoy foi criado com o objetivo reproduzir as atividades do tratamento, gerando o histórico de evolução das atividades, facilitando no assessoramento do terapeuta, como também na continuação dos estímulos, feitos no consultório, em casa junto com o apoio dos pais. Diante das diversas versões do sistema Autoy avaliadas por especialistas, verificou-se a necessidade de uma interface mais amigável que facilitasse seu uso. Assim, o sistema desenvolvido propôs uma nova forma de interface tangível para identificação de figuras, utilizando a leitura de diferentes resistências e uma nova maneira de mobilidade desenvolvida com circuito em tecido. A interface resultante facilita a mobilidade e utilização, ademais o sistema baseado em resistências resulta em um menor consumo de energia.

Palavras-chave: Sistemas Embarcados, Interface tangível, Autismo, Tecnologias Assistiva

Abstract

Autistic Spectrum Disorder (ASD) is a term that defines a set of disorders that affect cognitive skills, communication and social interaction. In research conducted by the Center of Diseases Control and Prevention in 2018, estimated that in the world 1 in 160 children have ASD. Treatment by Applied Behavior Analysis - ABA requires around 30 to 40 hours to improve results, being performed both in therapeutic sessions and at home. In that context, the Autoy project was created to reproduce the activities of the treatment, generating the history of the evolution of the activities, facilitating the counselling of the therapist, as well as the continuation of the stimuli, made in the office, at home with the support of parents. Given the various versions of the Autoy system evaluated by experts, there was a need for a friendlier interface that would facilitate its use. Thus, the developed system proposed a new form of tangible interface for identifying figures, using the reading of different resistances and a new form of mobility developed with a textile circuit. The resulting interface facilitates mobility and use, and the resistance-based system results in lower energy consumption.

Keywords: Embedded Systems, Tangible Interface, Autism, Assistive Technologies

Sumário

1	Introdução	1
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Transtorno Espectro Autista e tecnologia	5
2.2	Análise do Comportamento Aplicado (ABA)	5
2.3	Interfaces Tangíveis	6
3	Trabalhos Relacionados	7
3.1	Pasta PECS	7
3.2	Aboard	7
3.3	Leka	8
3.4	Interface tangível do brinquedo RoPe	9
3.5	Análise Comparativa	9
4	Versões Anteriores do Autoy	11
4.1	Autoy: Brinquedo IoT reconfigurável para auxiliar no tratamento de crianças autistas	11
4.1.1	Especificação	11
4.1.2	Arquitetura	14
4.1.3	Desenvolvimento do Autoy	17
4.1.3.1	Protótipo 1	17
4.1.3.2	Protótipo 2	18
4.1.3.3	Protótipo 3	19
4.2	Brinquedo Traca-Traca	21
5	Interface tangível para leitura de figuras com uso de linhas condutivas	23
5.1	Visão Geral	23
5.2	Casos de Uso	24
5.3	Arquitetura do sistema	26
5.3.1	Módulo de leitura de cartões	27
5.3.1.1	Circuito	27
5.3.1.2	Estrutura	28
5.3.2	Módulo de controle	31
5.3.3	ESP32	32
5.3.3.1	Analog Digital Converter (ADC)	33
5.4	Software	33

5.5	Implementação	33
5.5.1	Experimentos	33
5.5.1.1	Experimento 1: Circuito de leitura com Arduino	33
5.5.1.2	Experimento 2: Circuito de leitura com ESP32	34
5.5.1.3	Experimento 3: Estrutura e linhas condutivas em fitas	35
5.5.2	Construção de uma tabela de leituras de referência	37
5.5.3	Sistema final	38
5.5.3.1	Hardware	39
5.5.3.2	Software	42
6	Testes e Análises	45
6.1	Teste 1: Medição de resistência das posições	45
6.1.1	Descrição e execução	45
6.1.2	Análise	46
6.2	Teste 2: Medição de resistor em diferentes posições	46
6.2.1	Análise	52
6.3	Teste 3: Medição do mesmo valor de resistência em todas as posições	52
6.3.1	Análise	59
7	Conclusão e Trabalhos futuros	61
7.1	Trabalhos Futuros	61

Lista de Figuras

3.1	Pasta PECS	7
3.2	App aBoard	8
3.3	Criança usando o Leka	8
3.4	Mesa tangível do brinquedo RoPe	9
4.1	Arquitetura do sistema Autoy	15
4.2	Modelo 3D do dispositivo Autoy	16
4.3	Primeiro protótipo do Autoy	18
4.4	Segundo protótipo do Autoy	19
4.5	Terceiro protótipo do Autoy	20
4.6	Esquema do terceiro protótipo do Autoy	20
4.7	Reunião com terapeutas	21
4.8	Brinquedo Traca-Traca	22
5.1	Fluxo do projeto	23
5.2	Arquitetura do sistema	26
5.3	Circuito do sistema	27
5.4	Divisão de tensão	28
5.5	Traca Traca	29
5.6	Fita com linha condutiva	29
5.7	Módulo de leitura de cartões detalhado	30
5.8	Módulo de leitura de cartões	30
5.9	Módulo de leitura de cartões com cartões	31
5.10	Cartão com Resistor incógnita (R_x)	31
5.11	ESP32 conectada ao MUX	32
5.12	Pinout ESP32	32
5.13	Experimento 1: Circuito de leitura com Arduino	34
5.14	Experimento 2: Circuito de leitura com ESP32	35
5.15	Experimento 3: Brinquedo e fitas produzidas	36
5.16	Experimento 3: Primeira montagem da estrutura	36
5.17	Fitas costuradas com linha condutiva	39
5.18	Fitas costuradas com linha condutiva	39
5.19	Módulo de leitura de cartões	40
5.20	ESP32 conectada ao MUX	41
5.21	Modelo em 3D do cartão	41
5.22	Cartão com Resistor incógnita (R_x)	42

5.23	Máquina de estados	42
6.1	Interface com numeração de posições	45
6.2	Cartão com $R_x = 0$	46
6.3	Medições de 100 ohm	47
6.4	Medições de 470 ohm	48
6.5	Medições de 1000 ohm	49
6.6	Medições de 2000 ohm	50
6.7	Medições de 3300 ohm	51
6.8	Medições de 100 ohm	53
6.9	Medições de 470 ohm	54
6.10	Medições de 1000 ohm	56
6.11	Medições de 2000 ohm	57
6.12	Medições de 3300 ohm	58

Lista de Tabelas

3.1	Análise comparativa	10
4.1	Descrição de atividades terapêuticas selecionadas	12
4.2	Descrição de requisitos	14
5.1	Resumo de requisitos	24
5.2	Modelo de caso de uso	25
5.3	Casos de uso do sistema	26
5.4	Cálculo de tensões e leituras do ADC	38
6.1	Medição de resistência	46
6.2	Medição de resistência de 100 ohm	48
6.3	Medição de resistência de 470 ohm	49
6.4	Medição de resistência de 1000 ohm	50
6.5	Medição de resistência de 2000 ohm	51
6.6	Medição de resistência de 3300 ohm	52
6.7	Medição de resistência de 100 ohm	53
6.8	Medição de resistência de 470 ohm	55
6.9	Medição de resistência de 1000 ohm	55
6.10	Medição de resistência de 2000 ohm	57
6.11	Medição de resistência de 3300 ohm	58

CAPÍTULO 1

Introdução

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é um termo que define um conjunto de distúrbios marcantes que afetam habilidades cognitivas, de comunicação e interação social [12]. Portadores dessa síndrome possuem dificuldade de transmitir suas vontades e necessidades em seu cotidiano, pois possuem um atraso no desenvolvimento da fala e dificuldade na formação de sentenças. Ademais, enfrentam outros obstáculos como aversão ao contato visual, dificuldade de concentração, de conversar e mostrar seus sentimentos, ou entender os sentimentos de outros e resistência a contatos físicos. Por possuírem essas características, as crianças podem ser isoladas socialmente.

De acordo com o Center of Diseases Control and Prevention (CDC), existe hoje 1 caso de autismo a cada 110 pessoas no mundo [7]. Dessa forma, estima-se que o Brasil, com seus 200 milhões de habitantes, possui aproximadamente 2 milhões de pessoas com autismo e esses milhões de brasileiros ainda sofrem para encontrar tratamento adequado.

No Brasil, há alguns problemas adicionais relacionados ao autismo. Em primeiro lugar, há falta de dados contabilizados no país, o que torna difícil o estudo das estatísticas locais sobre a incidência do espectro na população. Em segundo lugar, os tratamentos para as crianças com autismo não são normalmente acessíveis, o que inviabiliza que pessoas que não têm condições financeiras sigam esses tratamentos. E, finalmente, as iniciativas públicas existentes não suportam a demanda para crianças que possuem autismo no Brasil.

Além disso, estudos mostram que é importante realizar atividades com figuras no tratamento. Dentre os tratamentos mais conhecidos, o PECS (Picture Exchange Communications System) e o ABA – Análise do Comportamento Aplicada (Applied Behavior Analysis) e o TEACHH (Tratamento e Educação para Autistas e Crianças com Déficit Relacionados à Comunicação), utilizam esse recurso em suas atividades. Vale ressaltar que o método ABA, segundo o psicólogo Romariz Barros, permite que cerca de 80% dos casos de TEA tratados com ele resultem em boa ou excelente evolução. Isso mostra que pessoas, que seguem o tratamento, suprem significativamente seus déficits e reduzem comportamento-problema a ponto de socializarem em diferentes ambientes com pouca (ou até nenhuma) ajuda [8].

A metodologia de ensino do ABA é individual e tem um formato estruturado dirigido pelo terapeuta. Caracteriza-se por dividir sequências complicadas de aprendizado em passos pequenos ou “discretos” ensinados um de cada vez durante uma série de “tentativas”, junto com o reforço positivo que for necessário para que o objetivo seja alcançado. A forma ideal de aplicação dessa metodologia é começar em casa, já que a intervenção precoce é importante, exigindo em torno de 30 a 40 horas semanais, contudo essa técnica também beneficia crianças maiores e adultos [8]. Alguns exercícios do ABA utilizam figuras em cartolinas ou papel para serem realizados, como a montagem de sequência de ações para tomar banho, permitindo que a terapeu-

peuta crie um relatório de evolução da criança ao analisar erros, acertos e o tempo de execução da atividade.

Observando as famílias que são atendidas na FAV (Fundação Altino Ventura), cuja equipe terapêutica do Grupo de Suporte ao Autismo, o REABILITEA, utiliza o método ABA no tratamento de crianças, encontrou-se alguns desafios emocionais e técnicos enfrentados por eles ao longo do processo. Em alguns casos, ir às consultas com o terapeuta e continuar os exercícios do tratamento em casa são problemas enfrentados por pessoas com TEA e seus cuidadores.

Uma outra situação comum compartilhada por especialistas é que, durante o intervalo entre duas sessões, o terapeuta passa para os pais algumas atividades para praticar em casa. No entanto, os pais normalmente não lembram de todas as atividades requisitadas, ou o retorno dado aos terapeutas é incompleto. Desta maneira, os terapeutas não possuem todas as informações relacionadas aos exercícios feitos em casa.

Em contrapartida a essas questões, pode-se ressaltar a influência positiva do uso de tecnologia no tratamento de indivíduos com TEA através de estudos feitos pela pesquisadora Linda LeBlanc, da Universidade de Auburn. Ela afirma que a automatização de certas intervenções aliada com o uso da tecnologia pode aumentar sua precisão e consistência, tornando o tratamento mais eficaz, rápido e acessível. Além disso, o computador tem se tornado um importante mecanismo de auxílio à comunicação e à aprendizagem, pois de um modo geral apresenta um ambiente interativo e lúdico, onde o aluno pode explorar o conhecimento e interagir de forma mais atrativa e prazerosa [3].

Ademais, segundo o psicólogo russo Lev Semenovitch Vygotsky, brinquedos são fundamentais para o desenvolvimento infantil, pois é no ato de brincar que a criança revela seu estado cognitivo, visual, auditivo, tátil, motor, seu modo de aprender e entrar em uma relação cognitiva com o mundo de eventos, pessoas, coisas e símbolos [18].

O estímulo de atividades e brincadeiras que estimulem o neurodesenvolvimento da criança é algo fundamental para a formação da criança em diversas áreas como: Processamento de informações, planejamento, execução de ações, organização de suas emoções, autonomia e independência, além de trabalhar a atenção, concentração e memória, e aprender a seguir regras [4].

Sendo assim, buscando unir o ato de brincar a um tratamento que estimula o neurodesenvolvimento de crianças com TEA, surge o projeto de pesquisa proposto, chamado de Autoy, que visa ajudar no processo de aprendizagem e na assistência de crianças com autismo, envolvendo as crianças, pais, médicos e terapeutas no tratamento. Tem o objetivo de reproduzir as atividades de tratamentos como ABA, gerando o histórico de evolução das atividades, facilitando no assessoramento do terapeuta e na continuação dos estímulos feitos no consultório em casa junto com o apoio dos pais.

Considerando as diversas versões do sistema Autoy avaliadas por especialistas, verificou-se a necessidade de uma interface mais amigável que facilitasse seu uso. O objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento dessa interface, conforme descrito a seguir.

Este documento está dividido em 7 capítulos. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica para o desenvolvimento do projeto, mostrando o contexto em que o projeto proposto está inserido. O capítulo 3 apresenta trabalhos relacionados além de uma análise comparativa entre eles. O capítulo 4 apresenta um as diferentes versões do Autoy, de forma resumida e com o

foco nas diferentes interfaces do projeto durante o tempo. O capítulo 5 descreve o projeto proposto trazendo a visão geral, casos de uso, arquitetura do sistema e implementação. O capítulo 6 mostra os testes realizados no protótipo e suas respectivas análises. Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões e trabalhos futuros para o desenvolvimento de melhorias no projeto proposto.

Fundamentação Teórica

2.1 Transtorno Espectro Autista e tecnologia

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é um termo que define um conjunto de distúrbios marcantes que afetam habilidades cognitivas, comunicação e interação social. Nesse conjunto destacam-se perturbações na linguagem, comportamentos estereotipados e dificuldades na interação social [12].

O desenvolvimento crescente de novas tecnologias contribui constantemente com o avanço em diversas áreas como saúde, educação, varejo, jogos, entre outros. Sendo assim, apresentam uma possibilidade de inovação nos recursos didáticos para o desenvolvimento de crianças que exigem modelos de educação especial [14].

Numa pesquisa realizada pelo Center of Disease Control and Prevention em 2018, é mostrado que 1 a cada 54 crianças possuem TEA nos Estados Unidos da América e estima-se que no mundo são 1 a cada 160 crianças [7]. Ademais, o engajamento e envolvimento da família e/ou reponsáveis mostra trazer maior eficácia as intervenções do tratamento, apresentando um melhor desenvolvimento da criança [6]. A seguir será descrito uma tipo de terapia comumente usado pelos profissionais de saúde que atuam na área.

2.2 Análise do Comportamento Aplicado (ABA)

Análise do Comportamento Aplicado (Applied Behavior Analysis) – ABA, advêm da abordagem científica baseada em comportamentos, que tem como objeto de estudo a análise objetiva do comportamento observável e mensurável. Esta abordagem observa, analisa, como também explica a relação que existe entre o comportamento humano, o ambiente e a aprendizagem [11].

Assim, a terapia ABA apresenta bons resultados, em virtude de possuir a observação e a avaliação do comportamento do indivíduo, no sentido de potencializar a sua aprendizagem, bem como promover o seu desenvolvimento e autonomia.

A metodologia de ensino e terapia do ABA é individual e tem um formato estruturado dirigido pelo terapeuta. Caracteriza-se por dividir sequências complicadas de aprendizado em passos pequenos ou “discretos”, ensinados um de cada vez durante uma série de “tentativas”, junto com o reforço positivo que for necessário para que o objetivo seja alcançado. A forma ideal de aplicação dessa metodologia é começar em casa, já que a intervenção precoce é importante, exigindo em torno de 30 a 40 horas semanais, contudo essa técnica também beneficia crianças maiores e adultos [11].

Além disso, estudos mostram que os exercícios com pistas visuais (como os do tratamento

ABA), e que sejam concretas e estruturadas são mais eficazes para o ensino de crianças com autismo do que dicas verbais. Assim, a realização dessas atividades é uma boa forma de dar previsibilidade a eventos que irão acontecer na vida das crianças, auxiliando em sua rotina, como por exemplo: tomar banho, ir ao dentista, ir ao médico etc [15]. Ademais, Diferentemente de uma tela de celular, brinquedos que buscam serem usados pela criança com assistência de um membro da família ou amigo, funcionam de forma a incentivar a socialização controlada, respeitando o seu limite para o paciente. Isso impacta beneficemente no processo terapêutico, bem como ajuda a criança a desenvolver novas habilidades.

2.3 Interfaces Tangíveis

Interfaces de usuário tangíveis (Tangible User Interfaces - TUI) e interação tangível (Tangible Interaction - TI) são termos que vem ganhando cada vez mais espaço dentro da área de pesquisa de interação humano-computador (Human Computer Interaction - HCI). Nos últimos anos observou-se uma onda de novas pesquisas preocupadas com a junção do mundos físico e digital. Interfaces de usuário tangíveis utilizam representação física, manipulação de dados digitais e oferecem a união de interações de artefatos físicos com informação digital [9].

As interfaces tangíveis, ou TUI, são feitas de objetos que podem ser apreendidos e manipulados diretamente, os quais podem ser sentidos pelo tato. Isso torna importante a motricidade do usuário, visto que a cinestesia se torna uma forma de interação com a interface. Assim, em sistemas com interfaces tangíveis a corporalidade do usuário e a espacialidade do artefato e do ambiente de uso têm muito mais relevância que nas interfaces gráficas, já que nestas há o estímulo apenas de movimentos nos olhos e dedos [17].

Ao realizar uma análise da postura e da maneira do usuário interagir com interfaces gráficas e interfaces tangíveis, é observado que em interfaces gráficas o usuário tem uma postura corporal fixa com movimentos reduzidos (movimentação dos olhos e dedos das mãos), enquanto que nas interfaces tangíveis o usuário busca movimentar-se pelo ambiente, lidando com um espaço que se torna ele mesmo uma interface. Isso também pode acontecer interagindo com um objeto que capta diversas de suas respostas motoras, vocais, emocionais, etc [17].

Segundo o artigo [20], o qual estuda o engajamento e implicações de design de interfaces tangíveis em crianças, a interação direta com as peças foi relatada como mais fácil e menos frustrante para as crianças do que a interação indireta usando um mouse ou touchpad. Ademais, no experimento realizado as crianças montam um quebra-cabeça em 3 diferentes formas de interface (Tradicional, Gráfica e Tangível), assim foi observado que o valor da integração representações dependiam das estratégias cognitivas sendo usado na resolução de problemas.

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo, serão apresentados alguns sistemas que buscam trazer mais ludicidade às atividades de tratamentos para crianças autistas através da tecnologia e/ou interfaces tangíveis.

3.1 Pasta PECS

Um dos tratamentos existentes que visa melhorar a interação social e comunicação do autista é o PECS (Picture Exchange Communication System), o qual utiliza figuras em cartolinas ou papel para que haja a comunicação. O tratamento começa ensinando uma pessoa a dar uma figura de um item desejado para um "parceiro de comunicação", que imediatamente aceita a troca como um pedido. O sistema passa a ensinar a discriminação de figuras e como juntá-las formando sentenças. Nas fases mais avançadas, os indivíduos aprendem a responder perguntas e fazer comentários. O protocolo de ensino PECS é baseado no livro de BF Skinner, "Comportamento Verbal", de tal forma que operantes verbais funcionais são sistematicamente ensinados usando dicas e estratégias de reforço que levarão a uma comunicação independente [5].



Figura 3.1 Pasta PECS

3.2 Aboard

O aBoard é um aplicativo de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) produzido no CIN-UFPE, que tem como objetivo auxiliar os indivíduos com deficiência na comunicação a produzirem frases compreensíveis. O aBoard visa ser um sistema fácil e intuitivo, podendo ser integrado a atividades em clínicas [2].



Figura 3.2 App aBoard

3.3 Leka

O robô social Leka foi criado em 2015 e tem como objetivo captar a atenção e interagir com crianças com deficiências de desenvolvimento (autismo, deficiências múltiplas, síndrome de Down, etc.). Juntamente com um aplicativo, ele permite que você trabalhe em habilidades específicas, como interações sociais e habilidades cognitivas, bem como habilidades motoras finas e grossas com estimulação sensorial (luzes coloridas, vibrações, sons, etc.). Assim, o Leka desperta a curiosidade e incentiva as crianças a permanecerem envolvidas em uma atividade [1].



Figura 3.3 Criança usando o Leka

3.4 Interface tangível do brinquedo RoPe

O trabalho desenvolvido por Júlia Peon, realizado em 2018, na Universidade do Vale do Itajaí, tem como objetivo desenvolver uma interface de programação tangível que ensina conceitos de programação a crianças e estimula o processo de contação de história.

O sistema é composto por uma mesa programadora e um robô que terá seu andar programado por essa mesa. Para a construção dessa é utilizada uma forma de identificação de peças, que utiliza resistores [13].



Figura 3.4 Mesa tangível do brinquedo RoPe

3.5 Análise Comparativa

Nesta seção, será feita uma análise das principais características dos trabalhos relacionados, para que seja feita uma comparação entre o sistema proposto neste trabalho e nos trabalhos vistos nesta seção. Os trabalhos serão analisados com relação aos seguintes critérios:

- Integração com o tratamento ABA: Analisa se o trabalho é utilizado para alguma atividade do tratamento ABA
- Desenvolvimento de habilidades motoras, sensoriais e interação social: Analisa se o trabalho estimula o desenvolvimento de múltiplas habilidades neuropsicológicas
- Monitoramento remoto de dados e integração com equipe terapêutica: Analisa se o trabalho oferece uma forma de análise remota dos dados da criança durante as atividades
- Continuidade de atividades em casa: Analisa se o trabalho torna viável a execução das atividades em casa
- Interface/Suporte: Analisa as formas de interfaces utilizadas, podendo ser uma interface gráfica, tangível ou híbrida.

Tabela 3.1 Análise comparativa

	Pasta PECS	aBoard	Leka	RoPe
Integração com o tratamento ABA	Sim	Sim	Sim	Não
Desenvolvimento de uma interface tangível	Não	Não	Sim	Sim
Monitoramento remoto de dados e integração com equipe terapêutica	Não	Sim	Sim	Não
Continuidade de atividades em casa	Sim	Sim	Sim	Sim
Interface/Suporte	Papel e/ou papelão	Gráfica (app)	Híbrida (app e robô)	Tangível

Os trabalhos relacionados listados apresentam diferentes abordagens de interfaces, e os critérios avaliados são de acordo com os requisitos do sistema proposto que será apresentado nos capítulos seguintes.

Observa-se que a pasta PECS, não traz uma união de um artefato físico com informações digitais, e assim ela não é classificada como interface tangível. Todavia, esse trabalho foi listado por ser um instrumento muito usado na terapia.

Além disso, o sistema proposto é uma forma de trazer a abordagem de interfaces tangíveis a esse instrumento, de forma que mantenha os benefícios de desenvolvimento de habilidades cognitivas e seja obtida as informações de execução das atividades. Assim como é realizado no Leka, o qual realiza a análise da execução das atividades com o robô. Porém, o Leka busca que a criança explore o ambiente junto ao robô, trazendo uma interface tangível com abordagem de espacialidade, enquanto o sistema proposto traz uma interface tangível para explorar habilidades de motricidade.

Versões Anteriores do Autoy

Este capítulo tem como papel apresentar as versões anteriores do sistema autoy, as quais inspiraram e foram base para a construção, levantamento de requisitos funcionais e não funcionais e a arquitetura do sistema proposto.

4.1 Autoy: Brinquedo IoT reconfigurável para auxiliar no tratamento de crianças autistas

O Projeto proposto tem como base o projeto Autoy desenvolvido no Laboratório ESTUFA, da UFPE, pela equipe Autecla. O projeto iniciou em 2016 e teve parceria de projeto de extensão com a Fundação Altino Ventura (FAV) em 2018, onde foram validados os requisitos do sistema. Nessa seção, serão apresentados detalhes do sistema, como especificação e arquitetura do projeto Autoy.

4.1.1 Especificação

O projeto Autoy tem como objetivo auxiliar o processo de aprendizagem de crianças autistas por meio da concepção de um sistema que automatize as atividades do tratamento. Esse sistema permite ao profissional fazer uma melhor análise do progresso e continuidade do tratamento da criança em casa pelos responsáveis.

Para levantamento de requisitos do sistema contou-se com a Fundação Altino Ventura (FAV), que possui um grupo de terapeutas especializado para tratamento de crianças autistas, nomeado ReabiliTEA. Conseqüentemente, o ambiente inicial de teste do sistema foi o consultório terapêutico, para que fosse possível analisar a evolução da criança junto a profissionais de psicologia.

O ambiente de uso do Autoy é realizado por um profissional terapêutico o qual conduz a sessão e da criança que utiliza o dispositivo. Durante a sessão de terapia, o profissional realiza atividades diversas, as quais auxiliam no desenvolvimento de habilidades cotidianas. Dentre essas atividades, há as que utilizam figuras como material de uso; em conjunto com o ReabiliTEA, selecionou-se as atividades presentes na Tabela 4.1 para o protótipo.

Atividade	Descrição	Avaliação terapêutica
Jogo de sequência	A criança coloca de forma sequenciada o passo-a-passo de alguma atividade diária (como por exemplo, a atividade de lavar as mãos).	Avaliar as habilidades pragmáticas, o vocabulário, atenção e concentração, consciência fonológica, fonemas, nomeação, onomatopeias, memorização visual e auditiva, associação da imagem ao som e objeto.
Jogo de emparelhamento	A criança coloca lado a lado as figuras que possuem as mesmas cores ou formas.	Observar como a criança faz a relação entre significante e significado, o vocabulário, percepção visual, as várias coordenações, prolação e a atenção dirigida, escrita espontânea, direção gráfica da escrita e o raciocínio lógico.

Tabela 4.1 Descrição de atividades terapêuticas selecionadas

Além das atividades apresentadas na Tabela 4.1, o grupo ReabiliTEA auxiliou no processo de levantamento de requisitos funcionais e não funcionais do sistema. Para isso, foram realizadas reuniões quinzenais com as terapeutas, além de participar de reuniões de conscientização dos pais em relação ao autismo, como também observar sessões de terapia ABA de algumas crianças.

Os requisitos são descrições das funcionalidades do sistema para satisfazer e guiar o desenvolvimento do que está sendo proposto de acordo com o que o usuário espera.

Requisito funcional define uma função de um sistema de software ou seu componente. O requisito funcional representa o que o software faz, em termos de tarefas e serviços.[1] Uma função é descrita como um conjunto de entradas, seu comportamento e as saídas. Os requisitos funcionais podem ser cálculos, detalhes técnicos, manipulação de dados e de processamento e outras funcionalidades específicas que definem o que um sistema, idealmente, será capaz de realizar.

Requisitos não funcionais são os requisitos relacionados ao uso da aplicação em termos de desempenho, usabilidade, confiabilidade, segurança, disponibilidade, manutenção e tecnologias envolvidas. Estes requisitos dizem respeito a como as funcionalidades serão entregues ao usuário do software.

Os requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF) do projeto Autoy, são apresentados na Tabela 4.2 e são selecionados com os seguintes critérios:

- Requisito Funcional - Esse requisito define uma função de um sistema, representando o que o software ou hardware faz, em termos de funcionalidade. Assim, esses requisitos podem ser cálculos, manipulação de dados, detalhes técnicos e outras funcionalidades específicas que definem o que o sistema, idealmente, será capaz de realizar.

4.1 AUTOY: BRINQUEDO IOT RECONFIGURÁVEL PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE CRIANÇAS AUTISTAS 13

- Requisito Não Funcional - Esse requisito são descrições relacionadas a como as funcionalidades serão entregues ao usuário do sistema. Sendo assim, requisitos relacionados ao uso da aplicação em termos de desempenho, usabilidade, confiabilidade, segurança, disponibilidade, manutenção e tecnologias envolvidas.

Além disso, na Tabela 4.2, os requisitos estão classificados por suas prioridades que são:

- Essenciais – Este tipo de requisito deve ser implementado para que o projeto funcione.
- Importantes – Sem esses requisitos o sistema pode funcionar, porém não da maneira esperada.
- Desejáveis – Este tipo de requisito não compromete o desempenho do sistema.

Nome do requisito	Prioridade	Descrição
[RF 001] Leitura de figuras da atividade	Essencial	Identificar figuras que são utilizadas nas atividades, para que sejam gravados dados como: a forma de montagem, erros e acertos.
[RF 002] Relatório de execução de atividade	Essencial	A interface WEB será responsável por mostrar esses dados coletados à terapeuta.
[RF 003] Cadastro de diferentes atividades	Essencial	Para que haja uma evolução do brinquedo junto à evolução do tratamento da criança, a terapeuta precisa gravar diferentes atividades no dispositivo.
[RF 004] Backup de dados de atividades localmente	Desejável	Manter um backup no dispositivo por um período, mesmo tendo enviado os arquivos para o banco de dados
[RF 005] Enviar dados para o Banco de dados	Essencial	Banco de dados localizado na nuvem, onde através de uma interface a terapeuta terá acesso a dados das crianças que assiste e poderá visualizar a evolução delas
[RNF 001] Mobilidade do dispositivo	Importante	Para que o dispositivo seja levado para casa, ou outros ambientes da criança, mostra-se relevante que seja fácil de levar de um lugar para outro.
[RNF 002] Facilidade para o cadastramento de novas atividades	Importante	Realizar o cadastro de novas atividades de forma intuitiva e que não atrapalhe o fluxo do tratamento
[RNF 003] Duração da bateria	Desejável	Bateria que dure um dia de sessão, o que seria 8h de duração, no mínimo.

Tabela 4.2 Descrição de requisitos

4.1.2 Arquitetura

O sistema é formado por um dispositivo eletrônico (dispositivo Autoy) e uma plataforma WEB (painel terapêutico), como descrito na arquitetura do sistema na Figura 4.1. No dispositivo

eletrônico a criança realiza suas atividades, as quais são solicitadas pelo terapeuta. Após a realização das atividades, a média de erros e acertos, bem como o tempo de duração, são enviados para a base de dados na plataforma WEB através de um aplicativo de celular, o qual é conectado ao dispositivo através do bluetooth.

O profissional, através da plataforma WEB, poderá analisar a evolução de cada criança à qual ele assiste como também solicitar atividades remotamente. Ademais, os terapeutas podem modificar as figuras utilizadas nos cartões de atividades, pois estes são reconfiguráveis, possibilitando a adaptação do brinquedo de acordo com a necessidade de cada criança portadora de TEA.

O uso de cartões e figuras nas atividades do tratamento traz o conceito de interfaces tangíveis para o projeto e tem como objetivo não apenas ensinar algo de forma lúdica, mas também trabalhar outras habilidades do neurodesenvolvimento da criança, como habilidades motoras e de interação social, diferentemente de uma tela de celular. Brinquedos que buscam serem usados pela criança com assistência de um membro da família ou amigo funcionam de forma a incentivar a socialização controlada, respeitando o seu limite para o paciente. Isso impacta beneficemente no processo terapêutico, bem como ajuda a criança a desenvolver novas habilidades.

A arquitetura do sistema apresentada na Figura 4.1 é decorrente dos requisitos que foram levantados anteriormente, mas também das diferentes versões que foram apresentadas as terapeutas durante o projeto de extensão. Abaixo é mostrado a arquitetura do protótipo 3 do Autoy, o qual será detalhado no tópico seguinte (4.1.3).

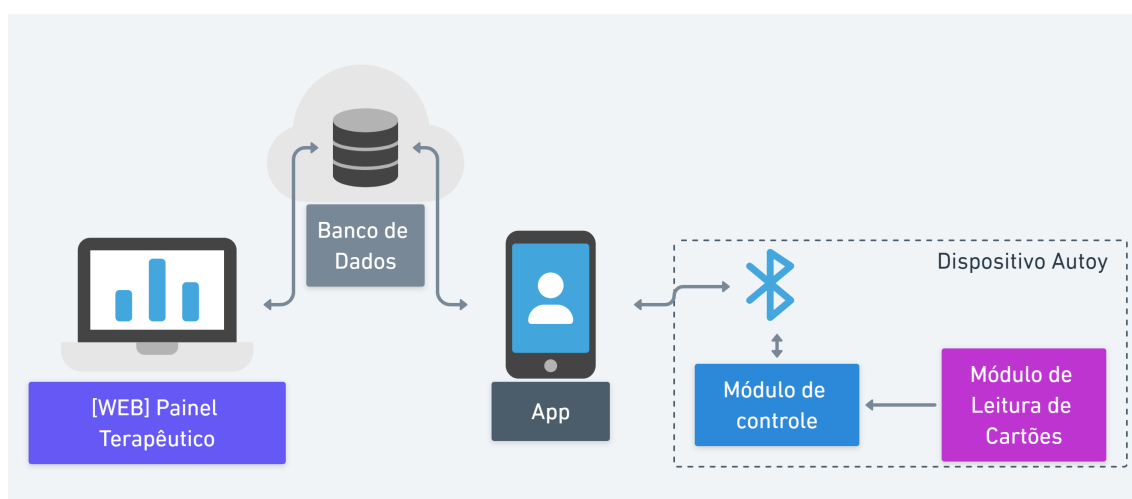


Figura 4.1 Arquitetura do sistema Autoy

O sistema é dividido em 4 grandes partes como mostrado na Figura 4.1: o dispositivo Autoy, Aplicativo, Banco de Dados e Painel Terapêutico.

Dispositivo Autoy: Composto pelos módulos de controle e leitura de cartões descritos abaixo.

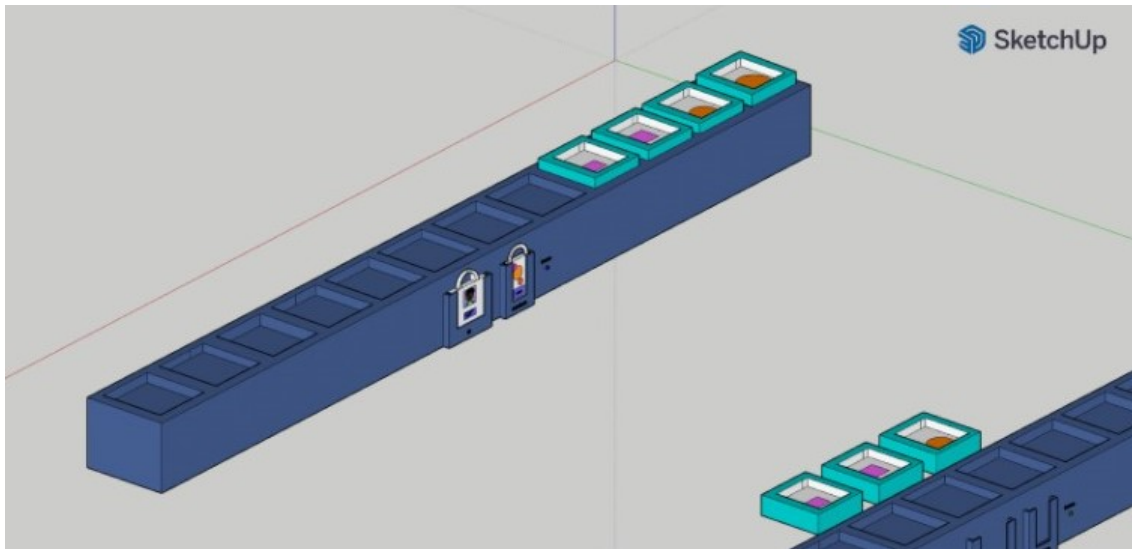


Figura 4.2 Modelo 3D do dispositivo Autoy

- Módulo de controle:

Este módulo é responsável por gerenciar a troca de dados realizada durante a execução das atividades. Para a construção deste módulo, utilizamos: 1 ESP32 e 2 Sensores RFID (rc522).

Os sensores RFID conectados à ESP32 são utilizados em conjunto com as Tags RFID para identificar a atividade que será executada e a criança que está realizando a atividade. Pode-se ver na Figura 4.2 a lateral do dispositivo que contém as Tags de atividade e da identificação da criança. Este módulo funciona da seguinte maneira: Ao colocar uma tag de atividade (sendo ela de sequência ou de emparelhamento) e uma tag de identificação da criança, permite-se que o dispositivo esteja preparado para a realização da atividade pela criança e, após a realização da atividade, que possa salvá-la na memória interna de nosso dispositivo.

Ademais, esse módulo é responsável pela comunicação do dispositivo com o aplicativo via bluetooth, para a gravação de novas atividades e para a reconfiguração dos cartões de atividade. É permitida assim a personalização do brinquedo baseando-se nas necessidades individuais de cada paciente. Por fim, neste módulo, todas as atividades que foram executadas estão salvas na memória interna do dispositivo e serão enviadas para o banco de dados remoto com o auxílio do aplicativo.

- Módulo de leitura dos cartões:

Nesse módulo a criança irá colocar os cartões da atividade escolhida no dispositivo, e o dispositivo Autoy estará salvando em tempo real essa execução, através do módulo de controle. Para a construção dele foi feita uma matriz de RFIDs, formada por: 3 arduinos pro-mini (ATmega328P) e 12 sensores RFID (rc522)

Ao iniciar a atividade através do módulo de controle, o módulo de leitura dos cartões é ativado para a realização da atividade. Os 12 sensores são conectados aos arduinos pro-mini, sendo 4 sensores distribuídos para cada arduino pro-mini. Cada sensor representa um espaço

da atividade, e ao colocar as tags nos sensores, colocamos uma "resposta" para determinada atividade. Na Figura 4.2 podemos observar 12 espaços para tags RFID na parte superior do dispositivo, que representam os espaços para a realização das atividades ABA. Através de um barramento I2C, os arduinos pro-mini enviam a resposta colocada no módulo de leitura dos cartões para o módulo de controle.

Aplicativo: O aplicativo consiste num PWA (Progressive Web Application) e se conecta ao módulo de controle através de comunicação Bluetooth (BLE) e com o banco de dados através de conexão de internet. O módulo é utilizado para cadastrar uma nova atividade (seja de sequência ou de emparelhamento) e servir de ponte entre o dispositivo (módulo de leitura e de controle) e o banco de dados. Ou seja, ele envia um comando para o módulo de controle, recebe os dados armazenados nele e envia esses dados para o banco de dados. O aplicativo é feito utilizando as frameworks Angular e Ionic, na infraestrutura do Google Cloud.

Painel terapêutico: A plataforma consiste num aplicativo web progressivo (PWA), que tem a função de auxiliar o terapeuta a acompanhar a evolução do paciente remotamente, gerando um histórico e um relatório de evolução do paciente, além de auxiliar na reconfiguração de cartões e gravação de novas sequências. A plataforma é feita utilizando as frameworks Angular e Ionic, na infraestrutura do Google Cloud.

4.1.3 Desenvolvimento do Autoy

Diante dos requisitos levantados, durante o desenvolvimento do Autoy foram desenvolvidas 3 formas de interfaces tangíveis diferentes, as quais passaram pelo processo de prototipação, validação e correção. Esse processo ocorre da seguinte forma:

Prototipação: Após o levantamento de requisitos foi desenvolvido um sistema inicial, como forma de materializar a ideia e poder realizar de provas de conceito.

Validação: Com o sistema minimamente construído, realizou-se reuniões com as especialistas, no caso do projeto Autoy, com as terapeutas, para saber se o sistema construído estava atingindo as expectativas.

Correção: Com os comentários das especialistas, observa-se se é necessário correções do sistema e como fazer que com esses ajustes, o sistema atinja as expectativas e objetivos propostos.

4.1.3.1 Protótipo 1

Para o desenvolvimento da interface tangível deste protótipo, utilizou-se um teclado mecânico conectado a uma placa Galileo Gen 2. Assim, as teclas que a criança retirava do encaixe durante a execução da atividade eram computadas quando apertadas e enviadas ao sistema. Inicialmente, esse projeto tinha como objetivo ser um dispositivo que auxiliasse no tratamento PECS, sendo uma forma digital da pasta PECS, comentada no capítulo 3. Entretanto, ao realizar a etapa de validação foi identificado alguns problemas quanto ao requisito de mobilidade (RNF 001 Mobilidade do dispositivo), visto que o dispositivo era grande, pesado e não possuía bateria, não atingindo o requisito RNF 003 (Duração da bateria). Além disso, o sistema de detecção de figuras não se mostrou eficiente, pois dependia da criança apertar a tecla antes de retirar a peça, algo que diminui a usabilidade do dispositivo.

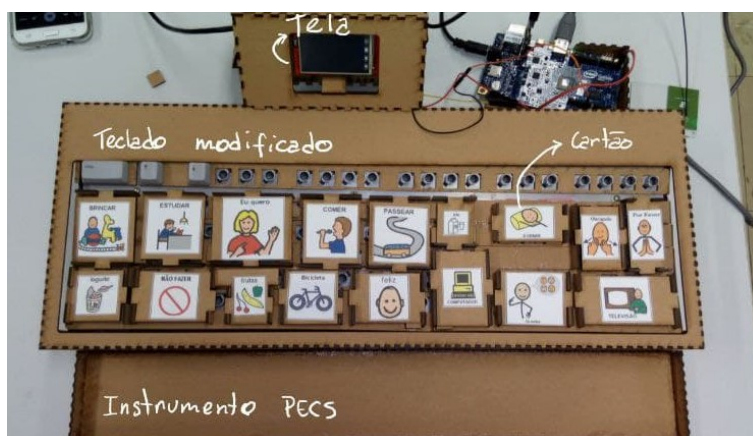


Figura 4.3 Primeiro protótipo do Autoy

Ao observar esses comentários das terapeutas, buscou-se entender mais o ambiente da sessão de terapia e como se dava a realização das atividades. Assim, o projeto passou a ter um foco na abordagem de tratamento ABA e não na abordagem PECS.

4.1.3.2 Protótipo 2

Com o objetivo de ter um sistema de leitura de figuras de melhor usabilidade, construiu-se o segundo protótipo do Autoy utilizando tecnologia de RFID. Além disso, junto a equipe do ReabiliTEA, o dispositivo passou a ter como objetivo auxiliar no tratamento de crianças autistas que utilizam a abordagem ABA. Assim, o projeto passou a ter as especificações descritas anteriormente nesse capítulo. Ao validar a interface do dispositivo com terapeutas, foi analisado que a forma das figuras colocadas para leitura no dispositivo não seguia os princípios das pistas visuais de atividades do tratamento, visto que o dispositivo foi construído no formato quadrado, como mostrado na Figura 4.4.



Figura 4.4 Segundo protótipo do Autoy

4.1.3.3 Protótipo 3

Nesse terceiro protótipo, foi realizada a correção referente ao requisito de ter um formato de leituras com pista visual. Além disso, foi adicionado um sistema de bateria e uma tampa, que indica o lugar no qual a figura deve ser colocada, para melhor captação da TAG pelo leitor RFID.



Figura 4.5 Terceiro protótipo do Autoy

Para realização desse protótipo foram utilizados 3 arduinos pro mini, 12 leitores RFID e 1 ESP32, seguindo o esquema da Figura 4.6

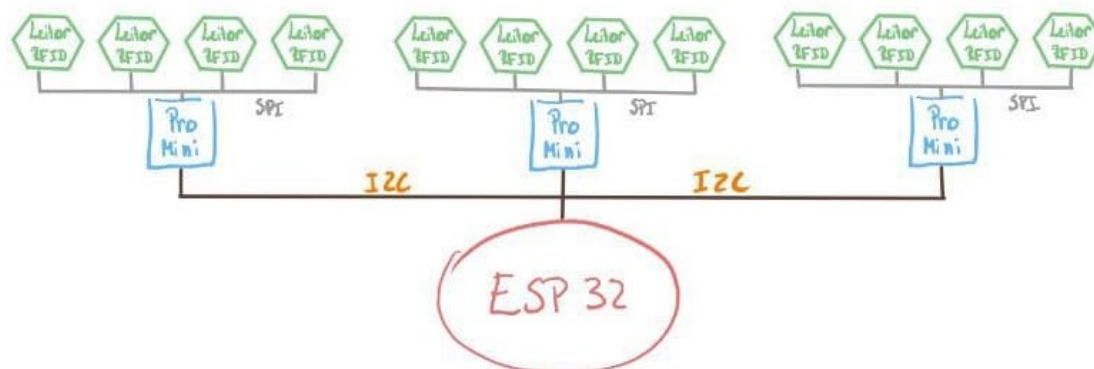


Figura 4.6 Esquema do terceiro protótipo do Autoy

Nesse protótipo, o consumo de bateria do sistema é em média 395 - 459mA, sendo os leitores RFID responsáveis por boa parte desse consumo, conforme detalhado a seguir.

- 3x Arduino pro mini: 15mA
- 12x Leitores RFID: 360mA (30mA cada leitor)
- 1x ESP32: 54mA

Sendo assim, os problemas apresentados nessa interface tangível do protótipo foram o alto consumo de bateria dos leitores RFIDs, o custo para a compra desses leitores e principalmente a mobilidade do sistema.

A etapa de validação dos 3 protótipos foram realizadas junto as terapeutas da Fundação Altino Ventura, o qual realizou-se reuniões de apresentação, onde era mostrado como o sistema funcionava, como pode observar na Figura 4.7.



Figura 4.7 Reunião com terapeutas

Apenas o protótipo 3 chegou a ser utilizado por 3 crianças, de forma a identificar assim a necessidade do dispositivo ser mais móvel, para que o manuseio dele durante a sessão de terapia não fosse limitado.

A questão da mobilidade foi algo comentado na validação dos 3 protótipos, contudo, ocorreu um reforço maior com a execução da etapa de validação do protótipo 3. Assim, na etapa de correção e ajustes desse protótipo, buscou-se novas formas de construção da interface, o qual a tornasse dobrável e assim buscamos inspiração no brinquedo traca-traca.

4.2 Brinquedo Traca-Traca

Este brinquedo é conhecido popularmente no nordeste brasileiro como traca-traca, porém também é conhecido como dominó chinês, escada de jacó, João teimoso ou escada de maraca. Ele é formado por um conjunto de placas de madeiras, ou MDF colados com fitas de cetim e é utilizado para elaborar formas diferentes e/ou no processo de contação de histórias [19].



Figura 4.8 Brinquedo Traca-Traca

A forma de colagem de fitas no brinquedo torna sua interface interface flexível, mesmo possuindo regiões sólidas (MDF). Assim, ele é facilmente dobrável e móvel.

Interface tangível para leitura de figuras com uso de linhas condutivas

Este capítulo tem como papel apresentar uma proposta de interface tangível e de melhor mobilidade para o Autoy, listando os requisitos funcionais e não funcionais, casos de uso e a arquitetura do projeto. Sendo assim, o início da etapa de criação de um novo protótipo do sistema Autoy com uma nova abordagem de interface tangível, baseada no brinquedo traca-traca. Também serão indicados a metodologia utilizada no seu desenvolvimento e as ferramentas usadas.

5.1 Visão Geral

O sistema proposto nesse trabalho consiste em uma nova interface tangível, a qual tem como base os requisitos funcionais e não funcionais: RF001, RNF 001, RNF 003, apresentados na tabela 4.2. O desenvolvimento do sistema seguiu o fluxo de projeto apresentado na Figura 5.1, que consiste em diferentes fases que abordam desde o estudo dos requisitos funcionais e não funcionais até a prototipação e validação.

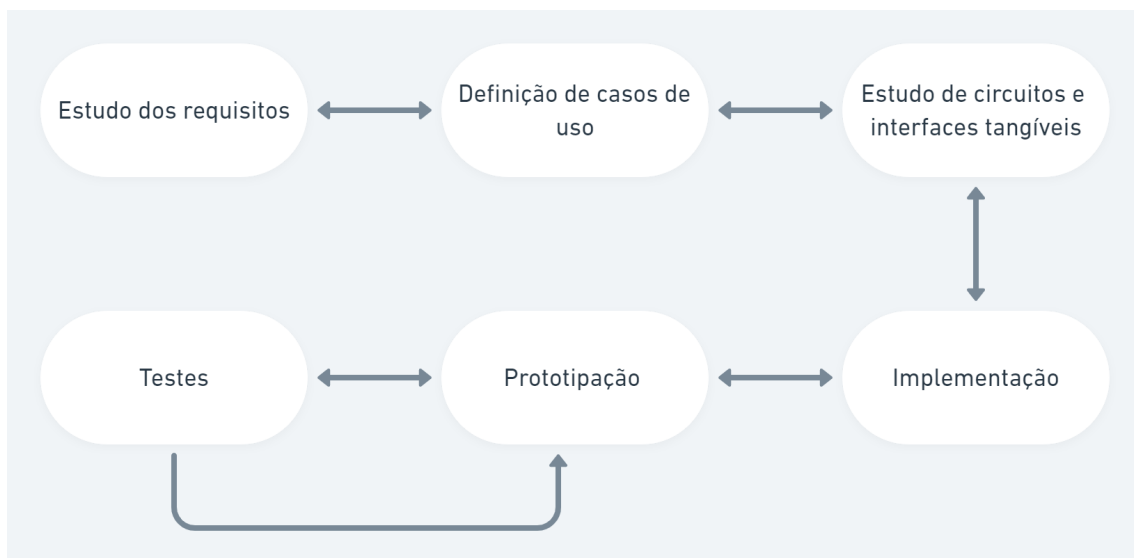


Figura 5.1 Fluxo do projeto

Contudo, adicionou-se um novo requisito funcional, de acordo com o que foi observado

na execução do protótipo 2 do dispositivo Autoy. Ele está descrito melhor na tabela 5.1, que apresenta uma compilação dos requisitos que são base desse projeto.

Tabela 5.1 Resumo de requisitos

Nome do requisito	Prioridade	Descrição
[RF 001] Leitura de figuras da atividade	Essencial	Identificar figuras que são utilizadas nas atividades, para que sejam gravados dados como: a forma de montagem, erros e acertos.
[RF 006] Estrutura linear	Essencial	A estrutura do dispositivo deve seguir os princípios de pista visual para atividades
[RNF 001] Mobilidade do dispositivo	Importante	Para que o dispositivo seja levado para casa, ou outros ambientes da criança, mostra-se relevante que seja fácil de levar de um lugar para outro.
[RNF 003] Duração da bateria	Desejável	Bateria que dure um dia de sessão, o que seria 8h de duração, no mínimo.

O sistema do projeto proposto tem como base os trabalhos desenvolvidos nos artigos [13] [17] e no brinquedo traca traca apresentado no capítulo 4. Ele propõe uma nova forma de identificação de figuras, utilizando a leitura de diferentes tensões e uma nova maneira de mobilidade desenvolvendo circuito em tecidos.

5.2 Casos de Uso

Os casos de uso modelam as funcionalidades do sistema que atendem aos requisitos descritos anteriormente, isto é, eles são as descrições de como o sistema deve se comportar quando os atores interagem com ele. Esse método tem como objetivo guiar as decisões de projeto que são tomadas no decorrer da implementação do sistema. Os atores no projeto proposto são: usuário e o autoy.

Nesta seção será apresentada uma descrição dos casos de uso do sistema proposto. A descrição de cada caso de uso seguirá o modelo apresentado na Tabela 5.2 abaixo.

[Identificador alfanumérico do caso de uso] Nome do caso de uso	Descrição	Breve descrição sobre o objetivo do caso de uso
	Atores	Atores envolvidos no caso de uso
	Prioridade	Essencial, importante, desejável, mesma classificação dos requisitos
	Pré-condições	O que deve acontecer antes da realização do caso de uso
	Pós-condições	Estado do sistema após a execução do caso de uso
	Fluxo principal	Passos do caso de uso
	Subfluxos	Alternativas ao fluxo principal que também são possíveis de ocorrer
	RF Relacionados	Requisito funcional que o caso de uso implementa totalmente ou parcialmente

Tabela 5.2 Modelo de caso de uso

A Tabela 5.3 mostra os casos de uso para o sistema proposto neste trabalho.

[UC 001] Leitura de cartão com erro menor do que 80ohm (ou 0.2v), em diferentes posições da fita	Descrição	Garantir que a leitura do cartão tenha uma variação menor do que 80ohm (ou 0.2v), em diferentes posições da fita
	Atores	Usuário
	Prioridade	Essencial
	Pré-condições	O dispositivo estar carregado e ligado
	Pós-condições	O dispositivo irá armazenar as leituras realizadas
	Fluxo principal	1. O usuário irá montar o dispositivo, deixando-o esticado, na direção horizontal 2. O usuário irá ligar o sistema de leitura 3. O usuário irá colocar os cartões no dispositivo 4. O usuário irá visualizar as leituras realizadas
	Subfluxos	
	RF Relacionados	RF 001, RNF 001, RNF 006
[UC 002] Diminuir no mínimo 50% do consumo de bateria	Descrição	Com a retirada dos leitores de RFID e arduino pro mini, espera-se que o consumo de bateria diminua 50%
	Atores	Autoy
	Prioridade	Importante
	Pré-condições	O dispositivo estar carregado e ligado
	Pós-condições	O pico de consumo de energia ser no máximo 260mA
	Fluxo principal	1. O usuário irá ligar o dispositivo e realizar as leituras de cartões
	Subfluxos	
	RF Relacionados	RNF003

Tabela 5.3 Casos de uso do sistema

5.3 Arquitetura do sistema

A arquitetura do sistema proposto é herdada do sistema Autoy, porém com o foco apenas no dispositivo Autoy que é dividida em módulo de leitura de cartões e módulo de controle, como mostra a Figura 5.2

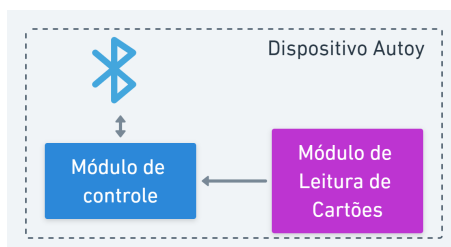


Figura 5.2 Arquitetura do sistema

5.3.1 Módulo de leitura de cartões

Neste módulo, é realizada a leitura dos cartões da atividade selecionada, e enviadas para o módulo de controle as leituras realizadas. Diferentemente do que foi contruído nos protótipos 2 e 3 do dispositivo Autoy, esse sistema não utiliza arduino pro mini e leitores RFID. A base eletrônica para a construção desse módulo foi o circuito proposto no artigo [13] e a base para a construção da estrutura foi o brinquedo traca traca.

5.3.1.1 Circuito

O circuito é um conjunto de divisores de tensão, no qual as variações de leituras de cada cartão será gerada pelas diferentes resistências que estão em cada cartão. Para realizar as múltiplas leituras utiliza-se um Módulo Multiplexador analógico Cd74hc4067, como observado na Figura 5.3. abaixo.

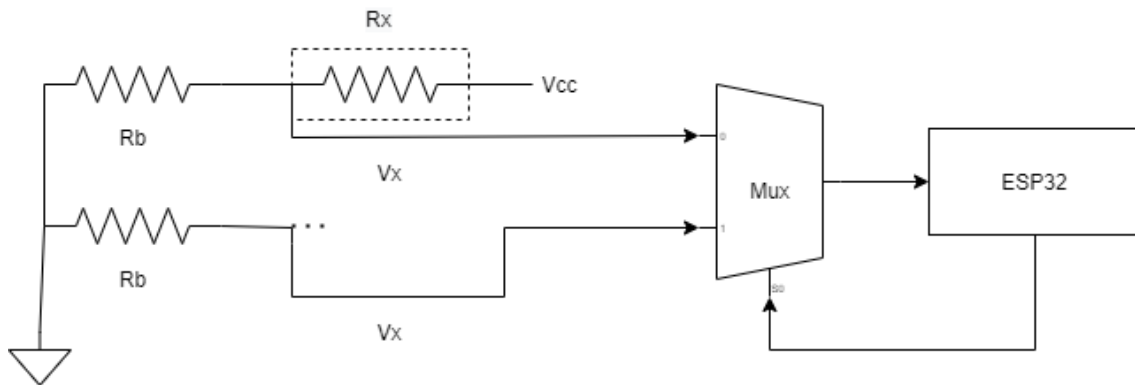


Figura 5.3 Circuito do sistema

A identificação de diferentes figuras utiliza o princípio de divisor de tensão, o qual pode ser observado na Figura 5.4 e na equação abaixo. Assim, o módulo de controle será responsável por calcular a diferença de potencial entre o Resistor base (\$R_b\$), o qual possui um valor fixo, e o terra (GND), que será modificada de acordo com o valor do Resistor incógnita (\$R_x\$) colocado no módulo de leitura.

$$V_x = R_b * \left(\frac{V_{cc}}{R_b + R_x} \right)$$

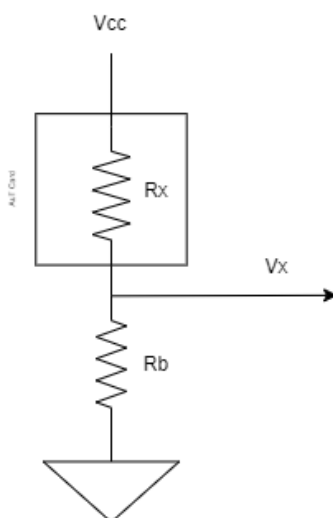


Figura 5.4 Divisão de tensão

O circuito foi idealizado para que, enquanto uma figura não for colocada, a leitura em V_x será nula. Dessa forma a rede consome menos bateria enquanto está em "standby". O valor de V_x , irá para o módulo multiplexador (MUX) e seguirá para o ADC da ESP32, como mostra a Figura 5.3. Para esse sistema, utilizamos o ADC de 12 bits (Resolução = 4096) do ESP32. Sendo assim a leitura da tensão seguirá a seguinte fórmula, onde, L_{ADC} é a leitura digital realizada pelo ADC:

$$V_x = L_{ADC} * \frac{V_{cc}}{4095}$$

5.3.1.2 Estrutura

Para construção da estrutura do dispositivo, seguindo os requisitos RF 006 e RNF 001, observou-se a estrutura do brinquedo traca traca, o qual é flexível, móvel e possui partes sólidas que são um ótimo lugar para colocar os possíveis leitores de figuras.

Contudo, pelo fato de o brinquedo utilizar fitas de tecido em suas conexões, utilizou-se linha condutiva costurada a essas fitas, para a construção do circuito. Ademais, adicionou-se mais duas camadas de fitas como capa, para que as linhas condutivas ficassem protegidas, como mostra a Figura 5.6.

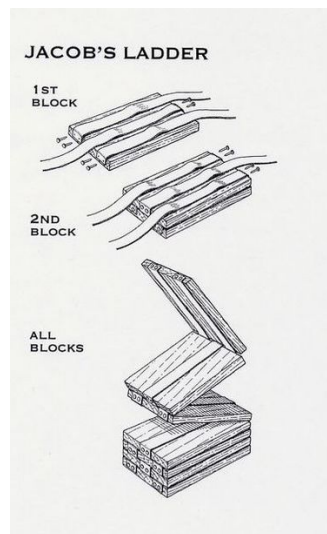


Figura 5.5 Traca Traca

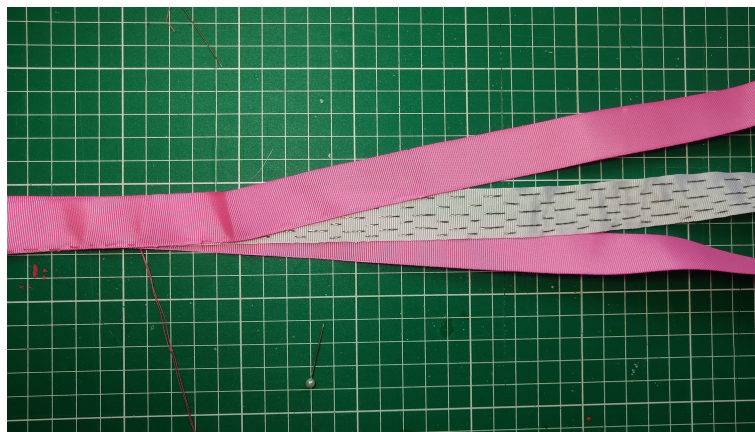


Figura 5.6 Fita com linha condutiva

Para as partes sólidas do brinquedo, adicionou-se pontos de conexões, como mostra a Figura 5.7 , para que o cartão que possui o R_x (Figura 5.9), ao ser conectado, feche o circuito para realização da leitura, como mostra a Figura 5.8.

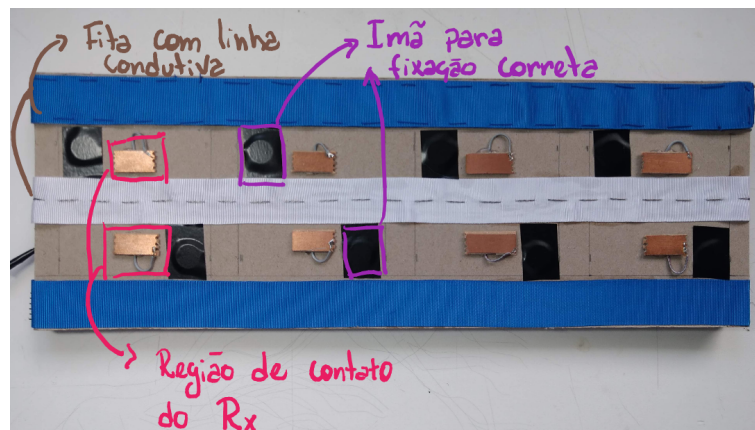


Figura 5.7 Módulo de leitura de cartões detalhado

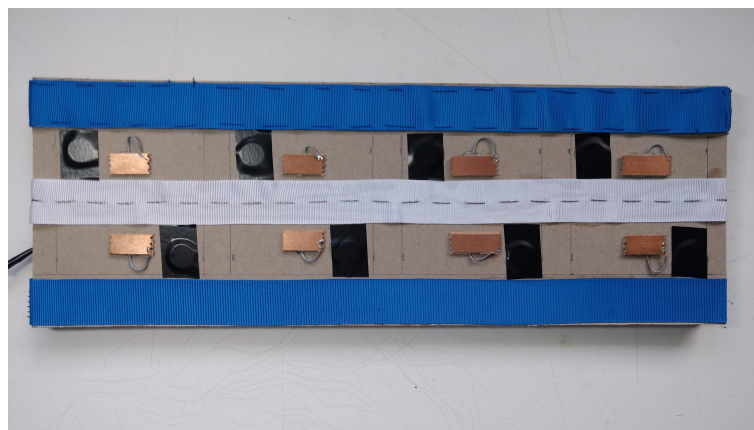


Figura 5.8 Módulo de leitura de cartões

Ao colocar o cartão, o resistor R_x presente no cartão irá fechar o contato entre os pontos e gera uma tensão V_x que é lida pelo ADC e assim usada como identificação.

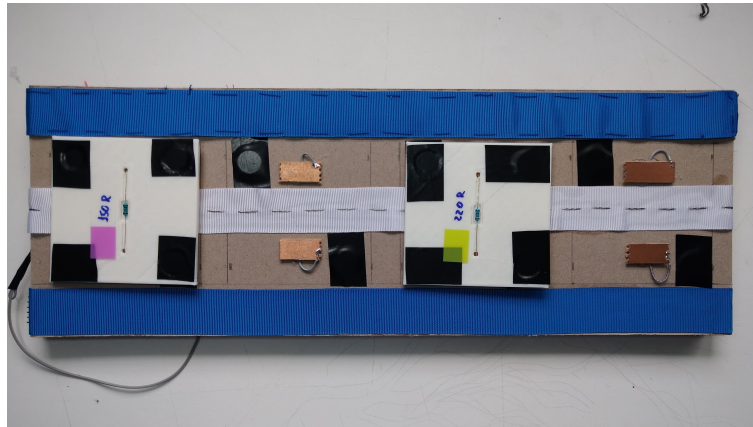


Figura 5.9 Módulo de leitura de cartões com cartões

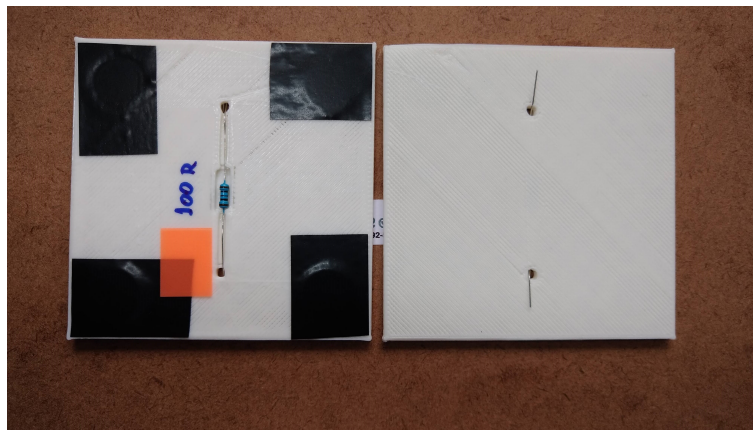


Figura 5.10 Cartão com Resistor incógnita (R_x)

5.3.2 Módulo de controle

Este módulo é responsável pela conversão dos dados obtidos pelo módulo de leitura de cartões em tensões para identificação de cada figura, e visualização das informações obtidas através da porta serial ou interface BLE (Bluetooth Low Power). Esse módulo é composto por uma ESP32 que está conectada ao módulo de leitura de cartões através de um multiplexador (MUX), como mostra a Figura 5.10.

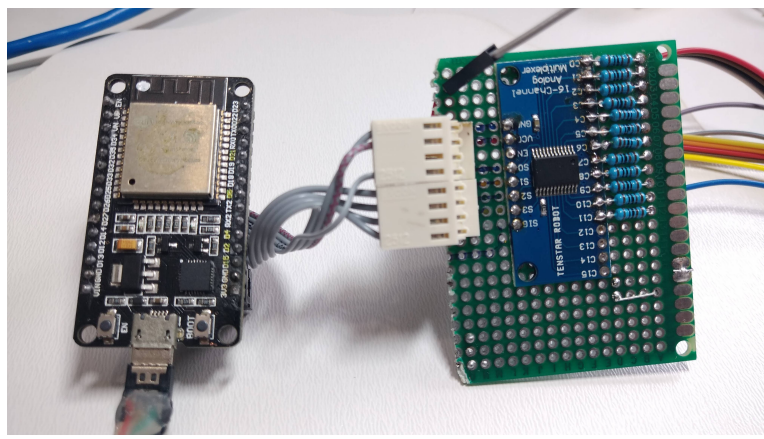


Figura 5.11 ESP32 conectada ao MUX

5.3.3 ESP32

O modelo da ESP32 usado no projeto proposto é a DOIT ESP32 – ESP-WROOM-32. Ela contém uma CPU Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 21 de dois núcleos, arquitetura 32 bits, 160 MHz de Clock, com chip híbrido de conexão WiFi e Bluetooth Low Power (BLE), 512 KB de RAM e 16 Mb de Flash, com 36 pinos GPIO, sendo 15 desses ADC (Analog-to-Digital Converter) e 2 DAC (Digital-to-Analog Converter), e interfaces de comunicação SPI, I2C, UART, I2S e CAN.

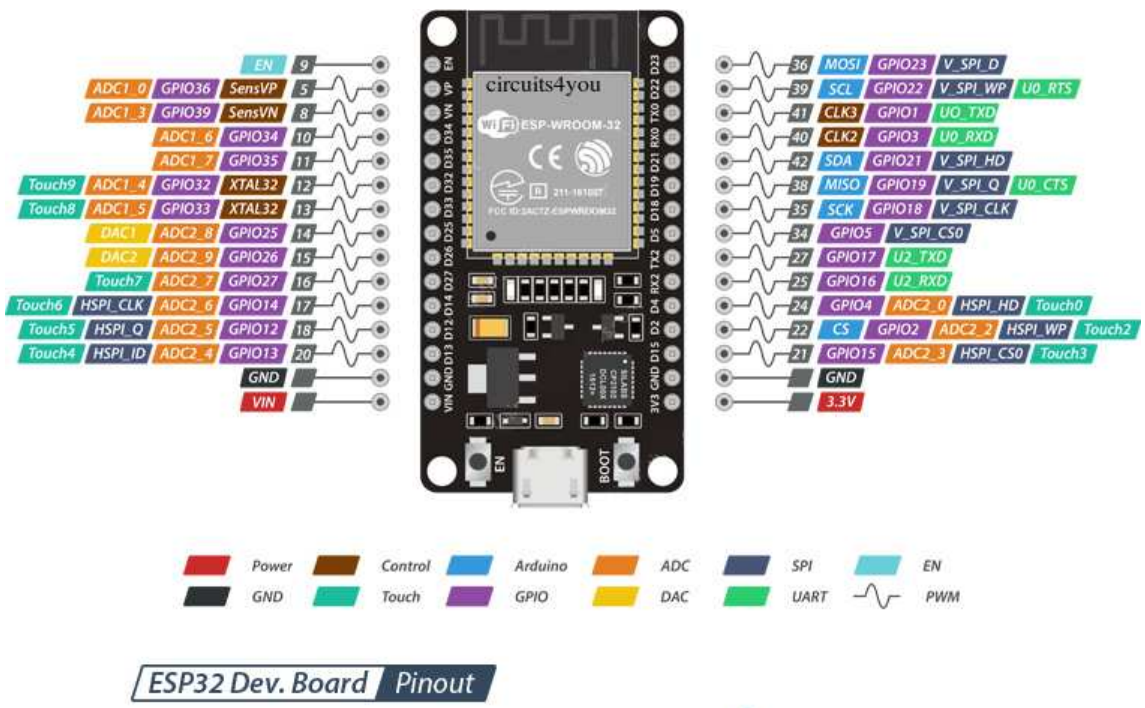


Figura 5.12 Pinout ESP32

5.3.3.1 Analog Digital Converter (ADC)

A ESP32 possui 18 canais de ADC, porém apenas 15 estão disponíveis nessa versão da placa. Por padrão, as tensões de entrada no pino ADC devem estar entre 0,0 V e 1,0 V e com resolução de 12 bits, sendo assim, qualquer valor acima de 1,0 V será apenas lido como 4095. Todavia, tanto sua resolução, como também a atenuação de leitura de tensões são configuráveis, assim, a atenuação deve ser aplicada para aumentar esta faixa de tensão utilizável, seguindo as regras abaixo:

- 0dB de atenuação para leitura de no máximo 1.00v
- 2.5dB de atenuação para leitura de no máximo 1.34v
- 6dB de atenuação para leitura de no máximo 2.00v
- 11dB de atenuação para leitura de no máximo 3.6v

5.4 Software

Para o projeto proposto utilizamos a linguagem de micropython, que é uma implementação enxuta da linguagem de programação Python 3, incluindo um subconjunto da biblioteca padrão do Python, e é otimizada para executar em microcontroladores [16]. Esta linguagem foi escolhida por ser a linguagem utilizada no dispositivo Autoy e assim, poder facilitar a integração do projeto proposto com o dispositivo. Assim, utilizou-se a extensão Pymakr no Visual Studio Code, para programar a placa ESP32. O firmware utilizado neste projeto foi o esp32-idf4-20200902-v1.13, o qual possui limitação para o uso do ADC, os pinos disponíveis são do 32 ao 39, tendo assim apenas 8 pinos disponíveis. Por isso, optou-se pelo uso do MUX para leitura de 12 canais.

5.5 Implementação

Nesta seção, serão apresentados a integração do hardware e software do projeto proposto e os experimentos realizados, assim como decisões tomadas para melhor atingir os objetivos dos casos de uso apresentados na Tabela 5.3.

5.5.1 Experimentos

Antes de iniciar a construção do projeto proposto, realizou-se alguns testes do circuito em protoboard e estudos da montagem do brinquedo traca traca.

5.5.1.1 Experimento 1: Circuito de leitura com Arduino

Neste experimento foi replicado o circuito descrito em [13], e mostrado na Figura 5.13 o qual inclui um Arduino, um circuito multiplexer e 12 Resistores de 1K ohm como Rb.

O objetivo desse experimento foi verificar se havia alterações significantes na leitura do ADC, entender o funcionamento do circuito e verificar o erro. Utilizamos o ADC de 8 bits (Resolução = 256) do Arduino e apenas 3 canais do MUX. Sendo assim a leitura da tensão é dada pela equação:

$$V_x = L_{ADC} * \frac{V_{cc}}{255}$$

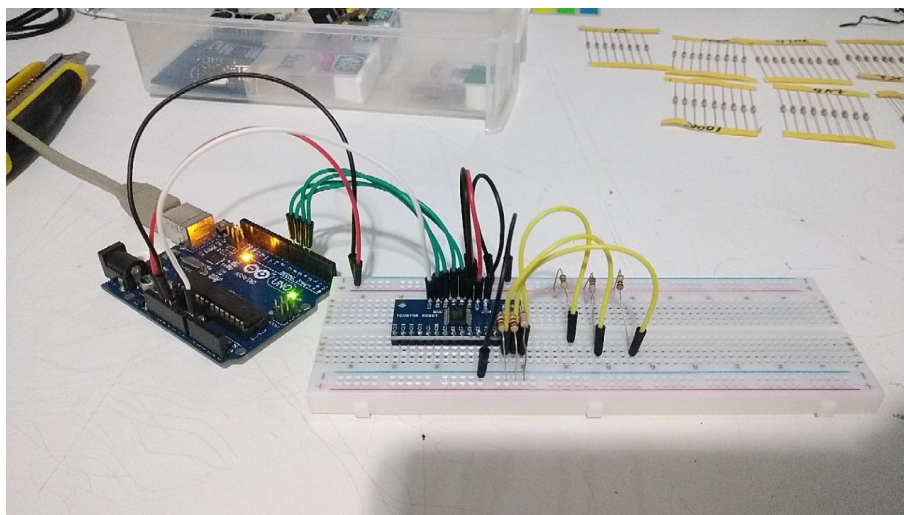


Figura 5.13 Experimento 1: Circuito de leitura com Arduino

Resultados:

- As variações de resistências alteraram a leitura
- Utilizou-se o $V_{cc} = 5V$ e o $V_{cc} = 3V3$, porém as leituras foram melhores com a tensão igual 5V, visto que apresentaram um erro de 0.5V comparado a um erro de 1v em 3.3v

5.5.1.2 Experimento 2: Circuito de leitura com ESP32

Realizou-se o mesmo experimento com a ESP32, tendo como objetivo fazer a refatoração do código para micropython e medir o erro de leitura do ADC da ESP32. O ADC da ESP32 possui uma resolução de 12 bits e assim a tensão é dada pela equação:

$$V_x = L_{ADC} * \frac{V_{cc}}{4095}$$

Além da resolução melhor, optou-se por escolher um resistor com tolerância de 1%, enquanto que no experimento 1, utilizou resistores com tolerância de 5%. Ademais, a atenuação usada para a leitura do ADC foi de 11db, para que a faixa de leitura fosse de 0v a 3.3v.

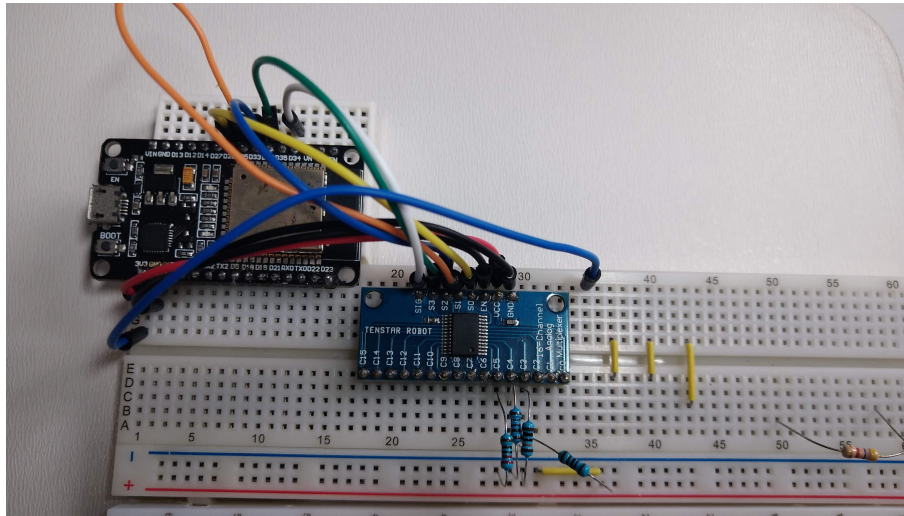


Figura 5.14 Experimento 2: Circuito de leitura com ESP32

Resultados:

- Obteve-se uma primeira versão do código a ser utilizado no projeto
- Leituras de tensão teve uma variação de 0.3V inicialmente, pois a troca de leituras de portas estavam ocorrendo muito rápido e assim foi adicionado um delay de 1s para leitura em cada porta, obtendo assim um erro de 0.1V

5.5.1.3 Experimento 3: Estrutura e linhas condutivas em fitas

Inicialmente foi contruido um brinquedo traca-traca, sendo ele montado e desmontado várias vezes, para que fosse estudado a melhor forma de passar o circuito por ele e encaixar as figuras. Na Figura 5.14, pode-se observar o brinquedo, assim como as fitas produzidas. Optamos inicialmente por utilizar fita de cetim de 1,5cm, com as linhas condutivas costuradas nela.

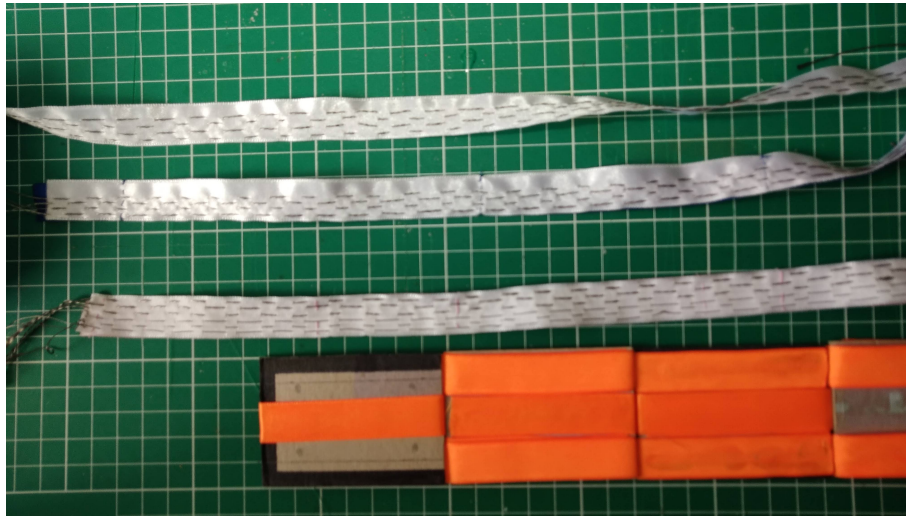


Figura 5.15 Experimento 3: Brinquedo e fitas produzidas

Assim, adicionou-se ímãs como conectores dos cartões das figuras e construiu-se uma primeira versão da estrutura do protótipo, como se pode observar na Figura 5.15.

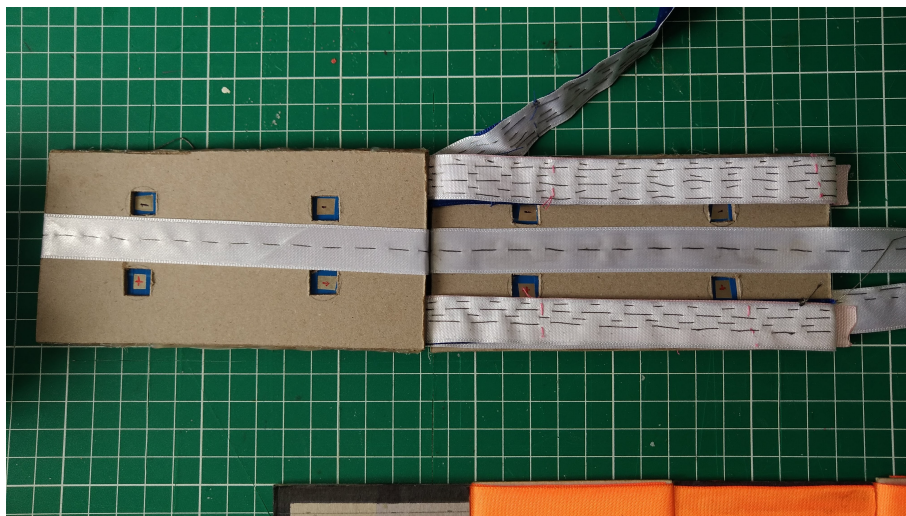


Figura 5.16 Experimento 3: Primeira montagem da estrutura

Resultados

- Observou-se que a fita de cetim é muito escorregadia, além de ser muito pequena, causando assim curto entre as linhas, quando energizadas. Assim, a fita passou a ser fita de gorgurão, como mostra a Figura 5.6 e com largura de 2,5 cm.
- Além disso, por só ter a fita com a costura, quando a montagem da estrutura em linha reta é feita, ocorre de uma fita tocar em outra. Sendo assim, necessário a construção de uma "capa".

- O uso de imãs como conectores tornou a fabricação trabalhosa.

5.5.2 Construção de uma tabela de leituras de referência

Nesta subseção, será apresentada a montagem da tabela de resistores possíveis para realização da identificação de figuras.

Quando a leitura de V_x é realizada pela ESP32, ocorre uma variação no valor, isso ocorre por causa do grau de tolerância dos resistores e também por resistências causadas pelo circuito desenvolvido, principalmente por ele ter sido construído de forma caseira. Assim, com a escolha de uso de resistores com tolerância de 1%, e uma linha condutiva que possui uma resistência de 30 ohm/m, para o sistema de identificação de figuras foi adotado, não um valor fixo e sim um intervalo de valores possíveis para aquele resistor.

A diferença de valor de um resistor a outro definida foi de 40 ohm, e como valor inicial foi decidido utilizar o valor de 100 ohm. Abaixo, na Tabela 5.4 encontra-se os valores de resistores comerciais e com essa diferença junto com o valor calculado da tensão V_x , a leitura do ADC L_{adc} , o intervalo de leitura do ADC e o intervalo de tensão.

O cálculo para obter a tensão V_x , segue a equação a seguir:

$$V_x = R_b * \left(\frac{V_{cc}}{R_b + R_x} \right)$$

Sendo $R_b = 1000ohm$ e $V_{cc} = 3.3v$.

O cálculo para a leitura do ADC (L_{adc}), segue a equação a seguir:

$$L_{ADC} = \frac{V_x * 4095}{V_{cc}}$$

Os intervalos foram determinados de acordo com os cálculos do V_x e L_{adc} dos valores de resistência com margem de erro de 40 ohm, isto é, para o cálculo de $R_x = 100ohm$, calcula-se o valor máximo de V_x e L_{adc} com $R_x = 140ohm$ e o valor mínimo com $R_x = 60ohm$

Tabela 5.4 Cálculo de tensões e leituras do ADC

Resistência R_x (ohm)	Tensão V_x (v)	Leitura do ADC L_{adc}	Intervalo de tensão	Intervalo de leitura do ADC
100	3,0	3723	2,89v - 3,11v	3592 - 3863
150	2,87	3561	2,77v - 2,97v	3441 - 3689
220	2,70	3357	2,62v - 2,8v	3250 - 3470
270	2,60	3224	2,52v - 2,68v	3126 - 3329
330	2,48	3079	2,41v - 2,56v	2989 - 3174
390	2,37	2946	2,31v - 2,44v	2864 - 3033
470	2,24	2786	2,31v - 2,19v	2712 - 2864
510	2,19	2712	2,13v - 2,24v	2642 - 2786
560	2,12	2625	2,06v - 2,17v	2559 - 2694
680	1,96	2438	1,92v - 2,01v	2381 - 2497
820	1,81	2250	1,77v - 1,85v	2202 - 2301
910	1,73	2144	1,69v - 1,76v	2100 - 2190
1000	1,65	2048	1,62v - 1,68v	2007 - 2089
1200	1,50	1861	1,47v - 1,53v	1828 - 1896
1500	1,32	1638	1,30v - 1,34v	1612 - 1665
1800	1,18	1463	1,16v - 1,20v	1442 - 1484
2000	1,10	1365	1,09v - 1,11v	1347 - 1383
2200	1,03	1280	1,02v - 1,04v	1264 - 1296
2700	0,89	1107	0,88v - 0,9v	1095 - 1119
3300	0,77	952	0,76v - 0,77v	944 - 961
3900	0,67	836	0,67v - 0,68v	829 - 843
4700	0,58	718	0,57v - 0,58v	713 - 723
5100	0,54	671	0,54v	667 - 676
5600	0,50	620	0,50v	617 - 624
6800	0,42	525	0,42v - 0,43v	522 - 528
8200	0,36	445	0,36v	443 - 447
9100	0,33	405	0,33v	404 - 407
10000	0,30	372	0,30v	371 - 374

Contudo ao construir a tabela, observa-se que mesmo com a margem de erro em 40 ohm, algumas resistências sobrepõe o limite de outras. É o caso das resistências listadas abaixo e assim, elas foram retiradas da tabela.

- 150 ohm
- 270 ohm
- 390 ohm
- 510 ohm

5.5.3 Sistema final

Nesta subseção, é apresentada a integração hardware e software do sistema, resultando no protótipo do projeto proposto nesse trabalho.

5.5.3.1 Hardware

Como resultado do experimento 3, a estrutura feita possui fitas com largura de 2,5cm, o qual têm costurada, no máximo duas linhas condutivas. Ademais, adicionou-se mais duas fitas (cor rosa), sem nenhuma linha condutiva, como capa da fita central (cor branca), como mostra a Figura 5.16.

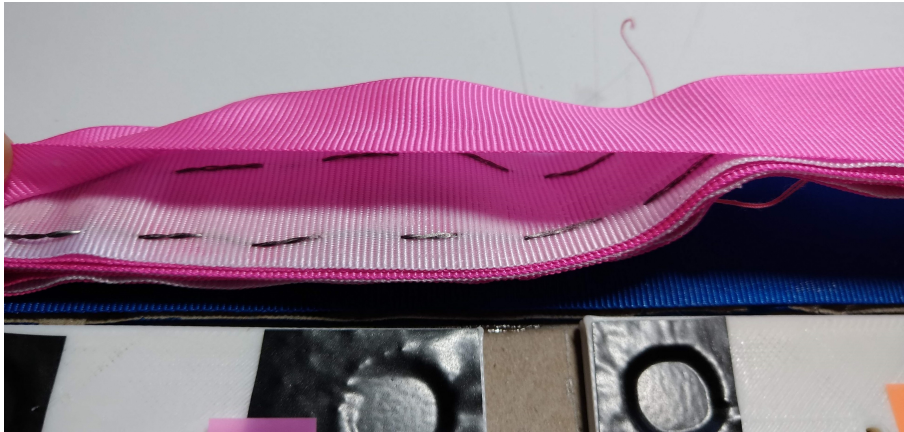


Figura 5.17 Fitas costuradas com linha condutiva

Nas partes sólidas da estrutura, adicionou-se uma região de contato para que o R_x presente no cartão (Figura 5.9) consiga fechar o circuito de divisão de tensão (Figura 5.4) e assim o módulo de controle possa identificar o cartão colocado. Ademais, os ímãs foram mantidos, porém apenas como auxílio para o encaixe correto dos cartões e não como superfície de contato, como proposto no experimento 3 (Figura 5.17).

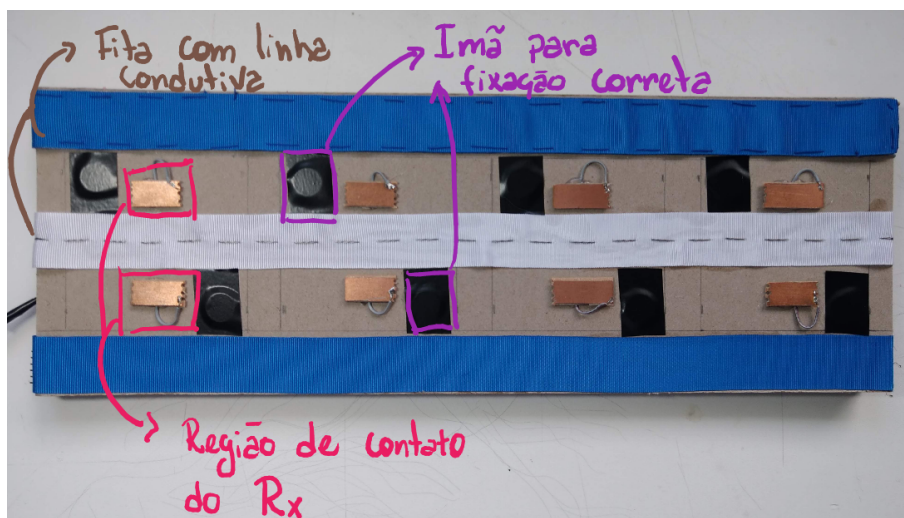


Figura 5.18 Fitas costuradas com linha condutiva

A versão final desse protótipo possui 12 posições de leitura de cartões, sendo elas divididas em 3 partes sólidas e cada uma possui 34,5cm. Com isso o dispositivo, ao ser dobrado possui

o tamanho de 34,5cm, como mostrado na Figura 5.17. Suprindo assim o requisito RNF 001 (Tabela 5.1).

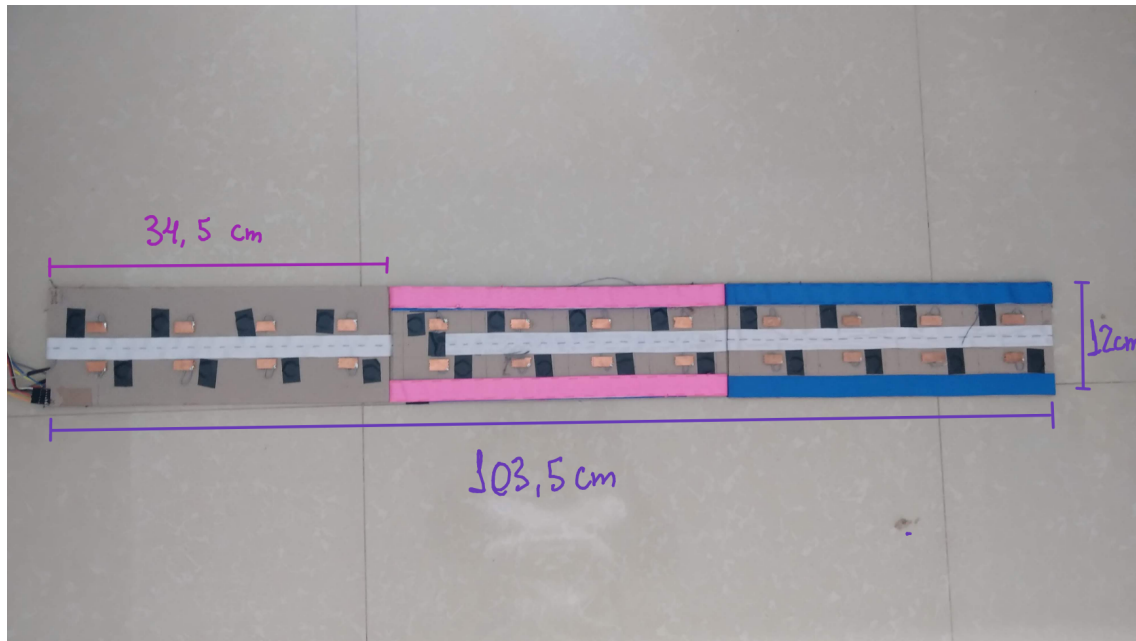


Figura 5.19 Módulo de leitura de cartões

A estrutura montada é conectada ao circuito do MUX, o qual é conectado a ESP32 para realização da identificação dos cartões (Figura 5.19).

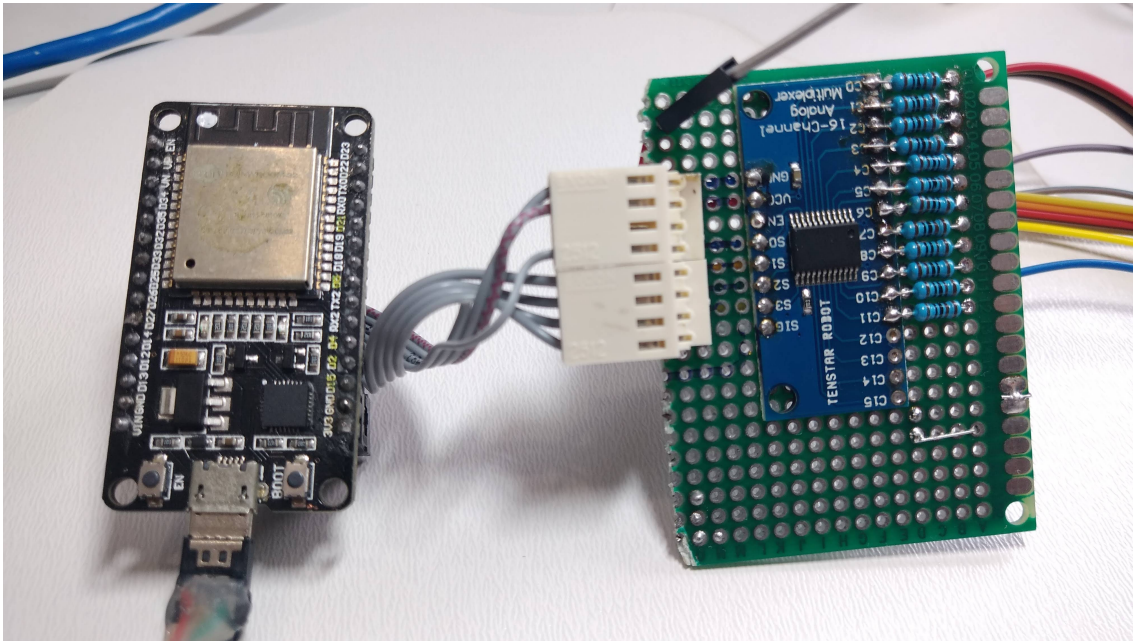


Figura 5.20 ESP32 conectada ao MUX

Os cartões foram modelados em 3D, no Tinkercad e sua versão final possui 4 imãs, o quais garantem que o resistor (R_X) sempre fique na posição vertical, por ter polaridades diferentes nas diferentes posições de forma a restringir que o resistor fique na horizontal. Ademais, os imãs auxiliam para que os resistores fiquem tocando na superfície de contato montada nas partes sólidas.

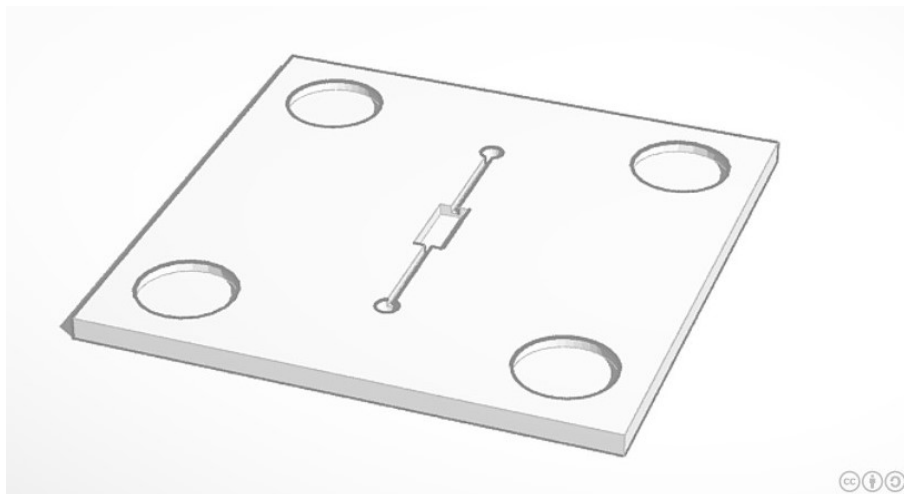


Figura 5.21 Modelo em 3D do cartão

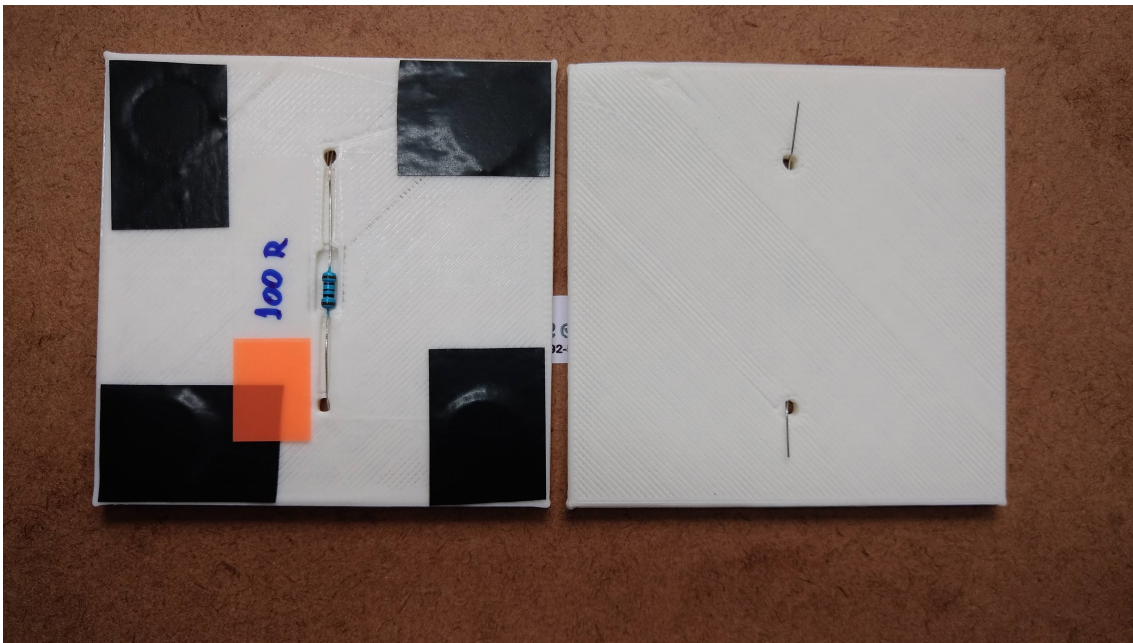


Figura 5.22 Cartão com Resistor incógnita (R_x)

5.5.3.2 Software

O software do sistema recebe a leitura do ADC e realiza os cálculos de tensão e resistência, para assim obter os valores de V_x e R_x , como mostra a Figura 5.23.

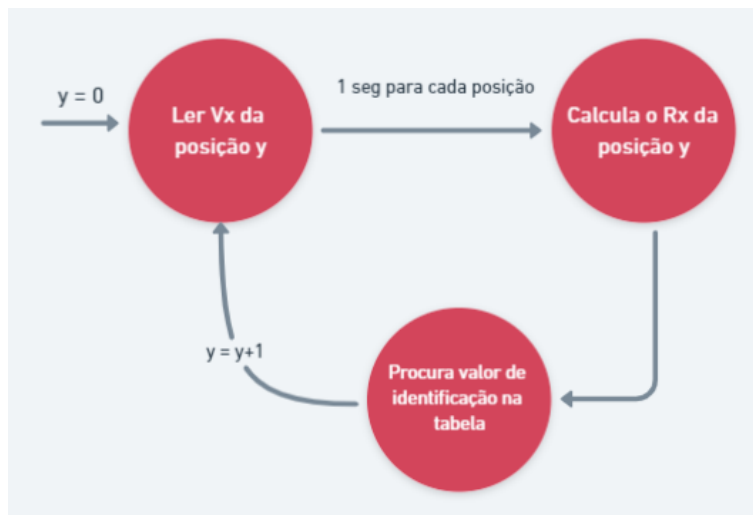


Figura 5.23 Máquina de estados

O cálculo de R_x segue a equação seguinte.

$$R_x = R_b * \left(\frac{4095 - L_{adc}}{L_{adc}} \right)$$

Entretanto, a leitura através da porta ADC contém variações devido a fabricação artesanal do sistema e também as variações de resistência das linhas condutivas de acordo com o tamanho utilizado. Isto é, quanto maior a posição de leitura, maior a variação de resistência. Sendo assim, realizou-se medições com um cartão de resistência 0 ohm (esse teste será detalhado no capítulo a seguir), e com isso, adicionou-se ao código uma função de correção o qual a medida que as posições aumentam é decrementado do L_{adc} o valor da resistência da linha condutiva.

O identificador de cada cartão é a resistência R_x presente nele, dessa forma ao calcular o R_x no código, o sistema procura o valor de identificação na tabela e assim saberá o identificador do cartão. Inicialmente é mapeado apenas os valores de resistências comerciais, como mostrado na Tabela 5.4, além disso, foi estabelecido um intervalo de leitura para cada valor de resistência, sendo 40 ohm a mais ou a menos do valor da resistência. Então, criou-se um mapeamento para esses valores, o qual funciona da seguinte maneira.

Caso o R_x calculado pelo sistema seja 130 ohm, o valor de identificação que a função de mapeamento irá retornar é 100 ohm, dado que o intervalo de leitura definido no sistema foi de 40 ohm.

CAPÍTULO 6

Testes e Análises

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após o desenvolvimento da interface tangível proposta nesse trabalho. A avaliação foi feita a partir de testes criados com base nos casos de uso apresentados na Tabela 5.3 e repetidos abaixo

- **UC 001:** Leitura de cartão com erro menor do que 80ohm (ou 0.2v), em diferentes posições da fita
- **UC 002:** Diminuir no mínimo 50% do consumo de bateria

6.1 Teste 1: Medição de resistência das posições

6.1.1 Descrição e execução

Neste teste foi verificada a continuidade com o multímetro e mediu-se a resistência das linhas condutivas para cada posição sem o dispositivo está ligado ao módulo de controle e energia, como mostra a Figura 6.1.

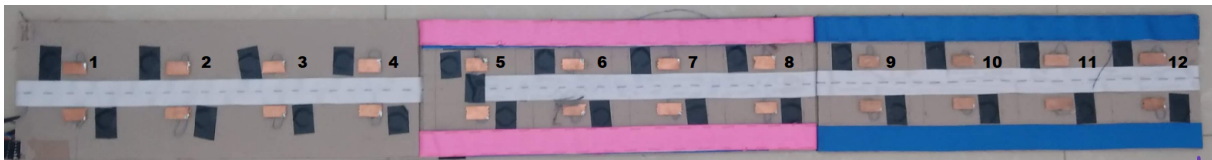


Figura 6.1 Interface com numeração de posições

As medições realizadas em cada posição estão na Tabela 6.1 e foram realizadas com um cartão de $R_x = 0ohm$, como mostra a Figura 6.2. Ao ligar o dispositivo, as medições realizadas pelo módulo de controle ficam em zero por não ter nenhum cartão conectado.

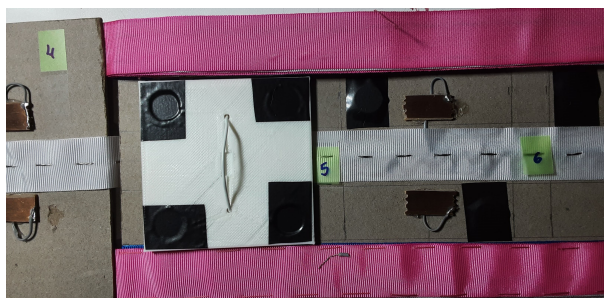


Figura 6.2 Cartão com $R_x = 0$

Tabela 6.1 Medição de resistência

Posição	Resistência (ohm)
1	8
2	7
3	7
4	7
5	26
6	28
7	25
8	28
9	70
10	60
11	78
12	70

6.1.2 Análise

O protótipo foi feito de forma artesanal, por isso, espera-se que exista algumas resistências a mais no circuito, decorrente dessa forma de fabricação. Ademais, a linha condutiva possui uma resistência de 40 ohm/m e sendo ela utilizada para conectar os dois pontos de contato de R_x , existe então uma resistência de 80 ohm/m. Com esse teste espera-se que a leitura dos cartões tenham um adicional no valor da resistência, respectivo a posição de leitura colocada, isto é, ao colocar a resistência de valor 100 ohm na posição 12, a leitura será 162 ohm.

6.2 Teste 2: Medição de resistor em diferentes posições

Nesse teste foi avaliada a taxa de erro do sistema para diferentes distâncias de linha condutiva. A interface foi conectada ao módulo de controle e a medição foi realizada tanto no multímetro, como pelo módulo de controle. Com isso selecionou-se as posições 1, 3, 6, 9 e 12, da Figura 6.1 como teste. Ademais, o consumo de energia também foi medido durante a execução do teste.

Os resistores para realização desse teste foram:

- 100 ohm
- 470 ohm
- 1000 ohm
- 2000 ohm
- 3300 ohm

Para cada medição foi montado um gráfico, o qual mostra a leitura realizada pelo multímetro (linha azul clara), a leitura realizada pelo sistema (linha azul escura) e a leitura esperada de acordo com os testes realizados no teste 1 (linha laranja).

Medição para 100 ohm:

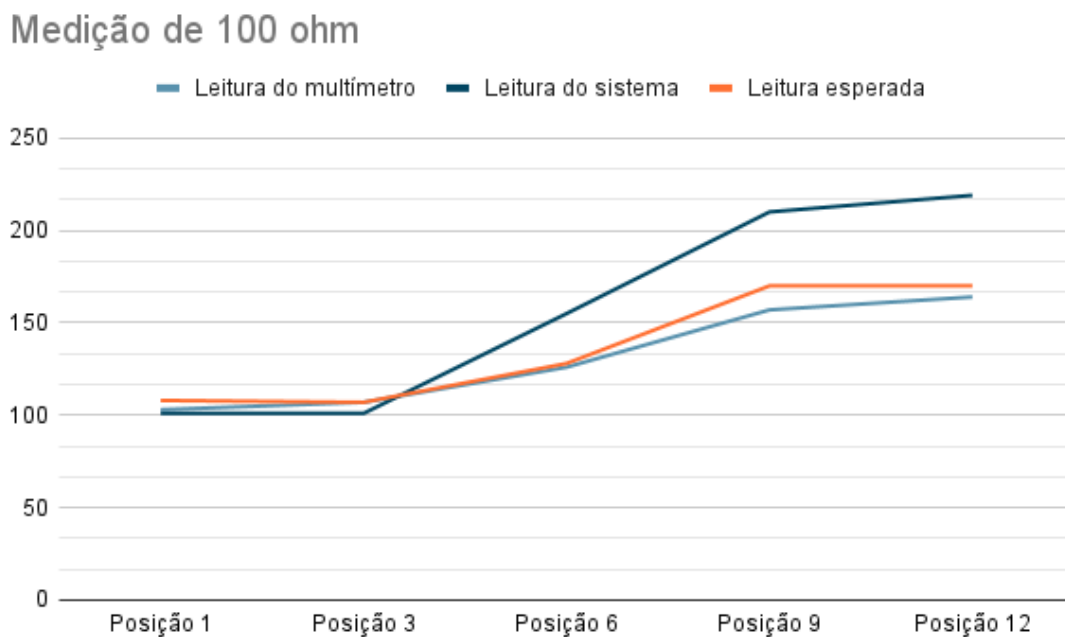


Figura 6.3 Medições de 100 ohm

Tabela 6.2 Medição de resistência de 100 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo multímetro	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	103	101
3	107	101
6	126	155
9	157	210
12	164	219

A medição com o multímetro foi realizada com o sistema desligado e ocorreu variações pequenas no valor da resistência, estando dentro do esperado de acordo com os resultados do teste 1, como mostra o gráfico, na Figura 6.3. Contudo, ao ligar o sistema e a leitura ser realizada pelo ADC da ESP32 obteve-se um erro de em média 55 ohm a mais do que o esperado, como por exemplo ao olhar a Tabela 6.2, a posição 12, o qual esperava-se uma leitura de no máximo 170 ohm de acordo com o teste 1 e obteve-se 219 ohm.

Medição para 470 ohm:

Medição de 470 ohm

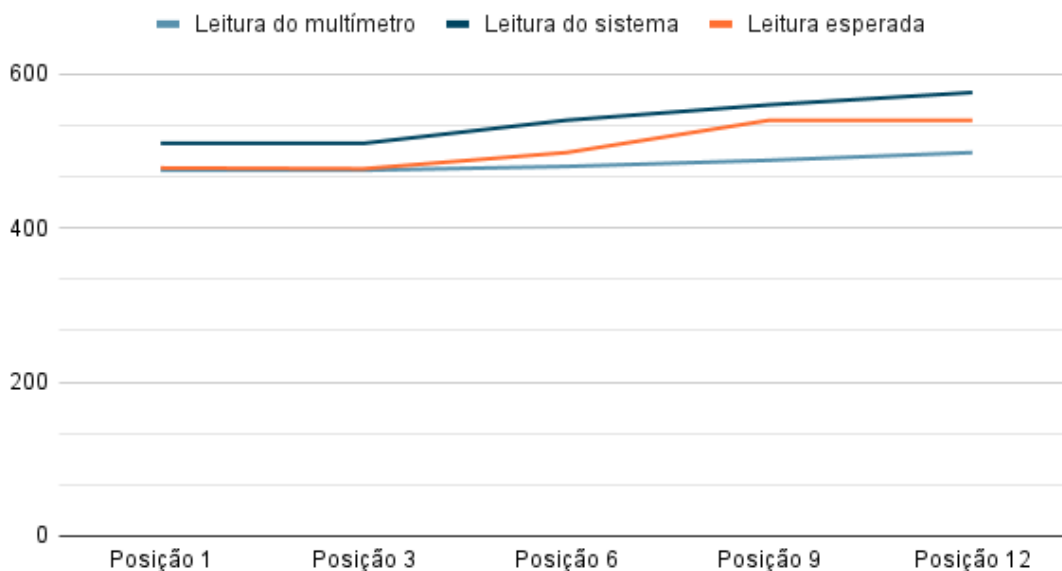
**Figura 6.4** Medições de 470 ohm

Tabela 6.3 Medição de resistência de 470 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo multímetro	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	475	510
3	475	510
6	480	540
9	488	560
12	498	576

A medição com o multímetro assim como os testes como no $R_x = 100\text{ohm}$, ocorreu dentro do esperado de acordo com os resultados do teste 1, como pode ser observado no gráfico da Figura 6.7. Todavia, nas posições 9 e 12 ocorreram um erro de 20 a 36 ohm maior do que o esperado, como pode ser observado na Tabela 6.3.

Medição para 1000 ohm:

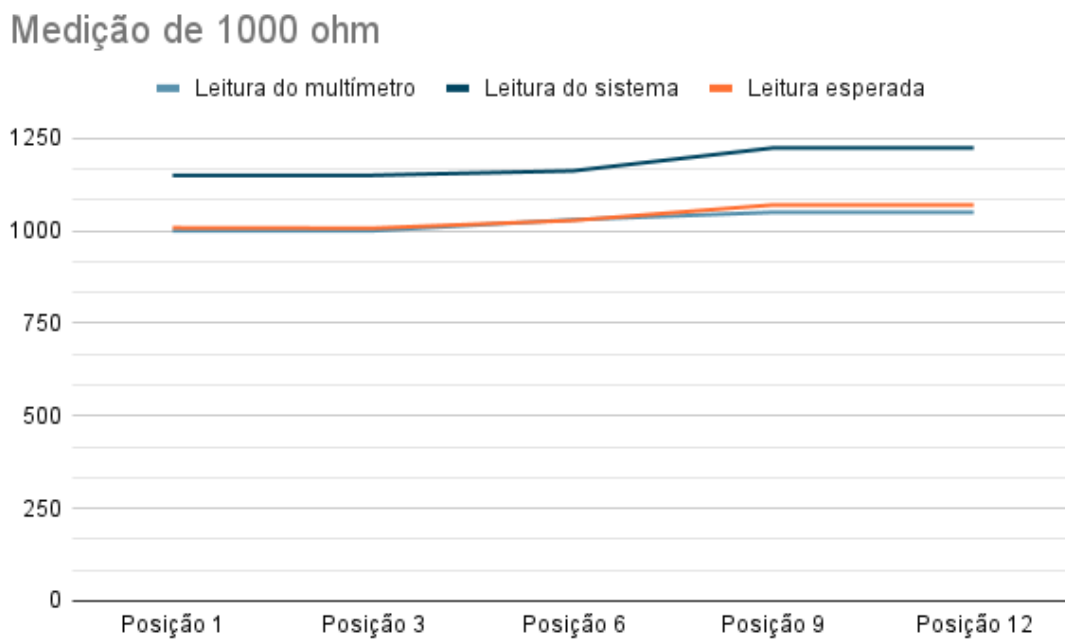
**Figura 6.5** Medições de 1000 ohm

Tabela 6.4 Medição de resistência de 1000 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo multímetro	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	1000	1150
3	1000	1150
6	1030	1162
9	1050	1224
12	1050	1224

A medição com o multímetro assim como os testes anteriores, ocorreu dentro do esperado de acordo com os resultados do teste 1. Enquanto isso, os valores lidos pelo ADC d ESP32 apresentaram um erro de 100 a 154 ohm a mais do que o esperado.

Medição para 2000 ohm:

Medição de 2000 ohm

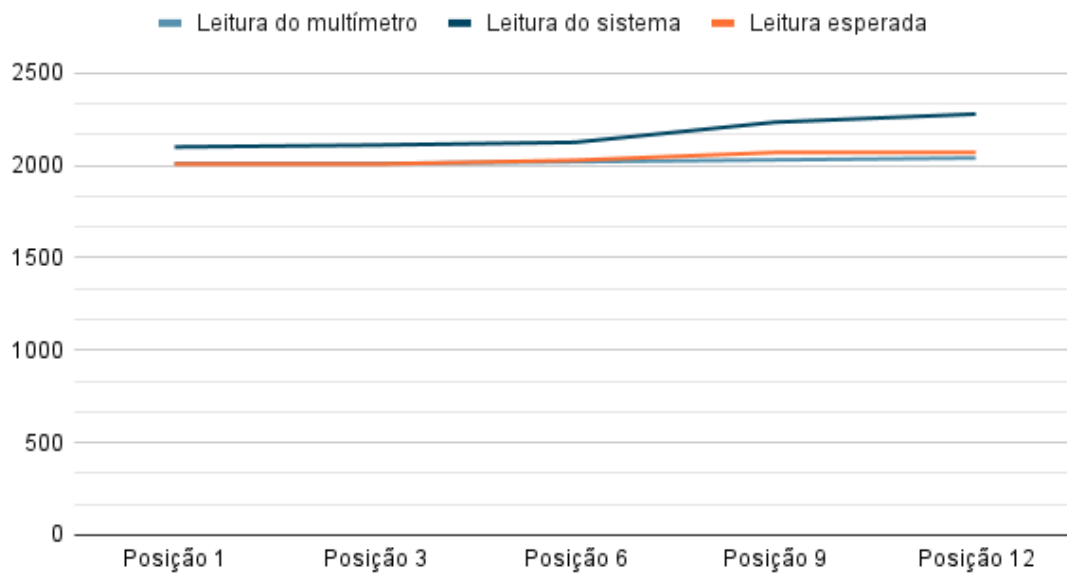
**Figura 6.6** Medições de 2000 ohm

Tabela 6.5 Medição de resistência de 2000 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo multímetro	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	2010	2100
3	2010	2110
6	2020	2125
9	2030	2234
12	2040	2278

A medição com o multímetro assim como os testes anteriores, ocorreu dentro do esperado de acordo com os resultados do teste 1. Enquanto isso, os valores lidos pelo ADC d ESP32 apresentaram um erro de 100 a 208 ohm a mais do que o esperado.

Medição para 3300 ohm:

Medição de 3300 ohm

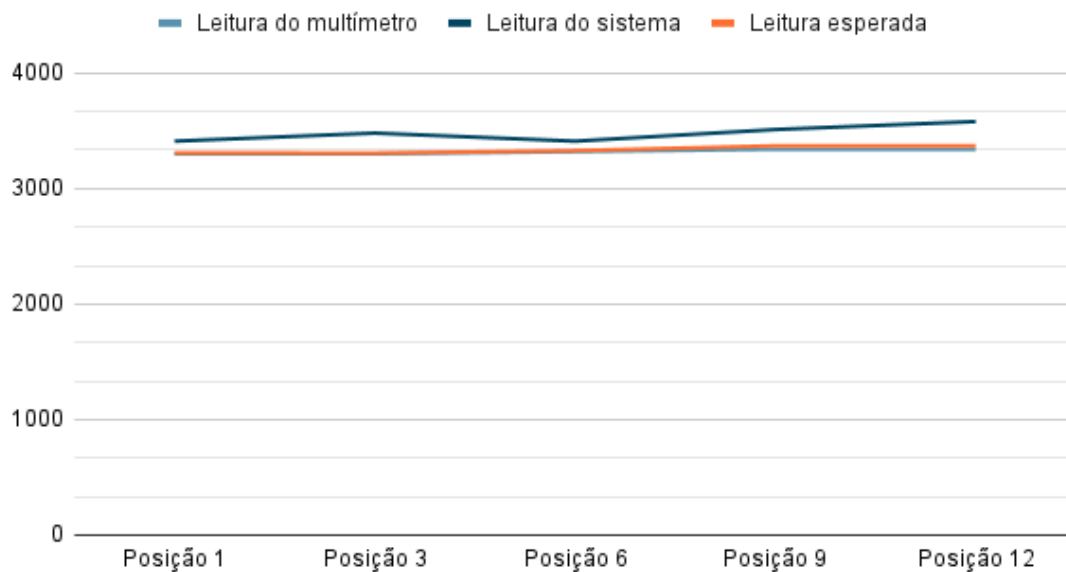
**Figura 6.7** Medições de 3300 ohm

Tabela 6.6 Medição de resistência de 3300 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo multímetro	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	3300	3410
3	3300	3480
6	3320	3410
9	3340	3511
12	3340	3580

A medição com o multímetro assim como os testes anteriores, ocorreu dentro do esperado de acordo com os resultados do teste 1. Enquanto isso, os valores lidos pelo ADC da ESP32 apresentaram um erro de 100 a 210 ohm a mais do que o esperado.

6.2.1 Análise

Mesmo as leituras de resistência realizadas pelo sistema, com erros maiores do que 80 ohm, as leituras realizadas pelo multímetro, obteve o erro menor do que 80 ohm, podendo ser observado nos gráficos, onde as linhas azul clara e laranja ficam muito próximas. Isso mostra que é necessário um ajuste melhor de medição na porta do ADC. Ademais o consumo de energia do módulo de leitura de cartões durante as medições atingiram o pico de 3mA, algo esperado visto que a corrente do circuito proposto segue a seguinte equação.

$$I = \frac{V_{cc}}{R_b + R_x}$$

Ao colocar $R_x = 100ohm$, $V_{cc} = 3.3v$ e $R_b = 1000ohm$, temos que $I = 3mA$

6.3 Teste 3: Medição do mesmo valor de resistência em todas as posições

Nesse teste foi avaliado a taxa de erro do sistema para diferentes distâncias de linha condutiva. A interface foi conectada ao módulo de controle e a medição foi realizada apenas pelo módulo de controle. Ademais, o consumo de energia também foi avaliado durante a execução do teste.

Os resistores para realização desse teste foram:

- 100 ohm
- 470 ohm
- 1000 ohm
- 2000 ohm
- 3300 ohm

Para cada medição foi montado um gráfico, o qual mostra a leitura realizada pelo sistema (linha vermelha) e a leitura esperada de acordo com os testes realizados no teste 1 (linha azul).

Medição para 100 ohm:



Figura 6.8 Medições de 100 ohm

Tabela 6.7 Medição de resistência de 100 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	101
2	107
3	101
4	108
5	150
6	210
7	210
8	220
9	210
10	270
11	280
12	220

As posições 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram um valor de R_x dentro do intervalo esperado, porém as outras posições, mesmo com a correções na leitura do ADC, não tiveram. Entretanto, observa-se que o valor da resistência aumenta de acordo com o aumento das posições, um comportamento que era esperado, como mostra o gráfico na Figura 6.8. Porém a posição 11 se destaca com o maior valor lido, algo que pode ser decorrente de algum ruído na conexão.

Medição para 470 ohm:

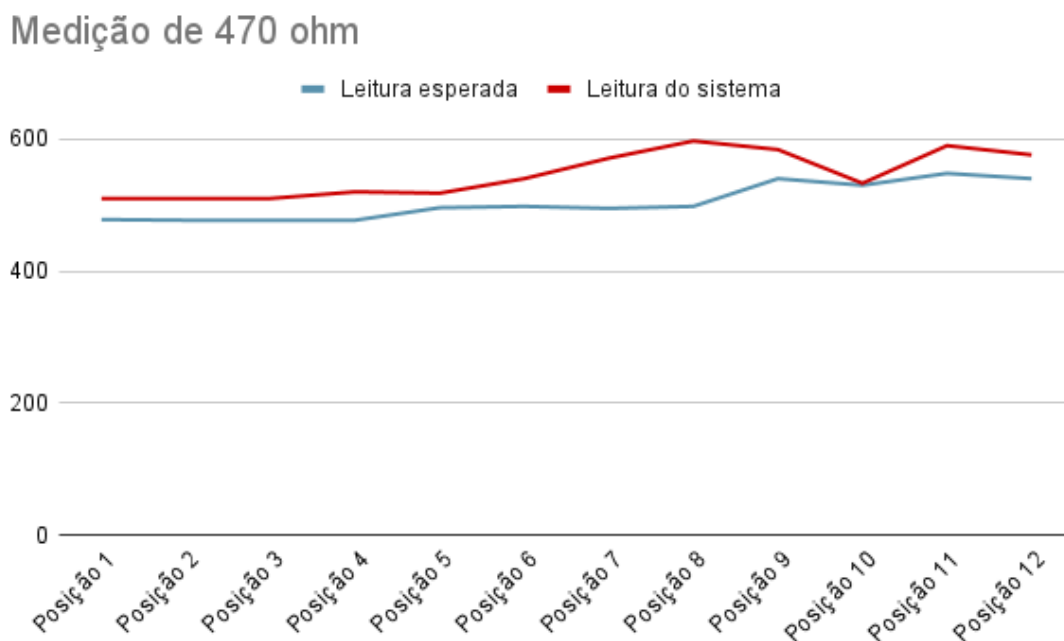


Figura 6.9 Medições de 470 ohm

Tabela 6.8 Medição de resistência de 470 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	510
2	510
3	510
4	520
5	518
6	540
7	571
8	597
9	584
10	533
11	590
12	576

As posições 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10 apresentaram um valor de R_x dentro do intervalo esperado, porém as outras posições, mesmo com as correções na leitura do ADC, não tiveram. Entretanto, observa-se que o valor da resistência aumenta de acordo com o aumento das posições, um comportamento que era esperado, como mostra o gráfico na Figura 6.9. Porém a posição 11 se destaca com o maior valor lido, algo que pode ser decorrente de algum ruído na conexão.

Medição para 1000 ohm:

Tabela 6.9 Medição de resistência de 1000 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	1150
2	1160
3	1150
4	1152
5	1192
6	1162
7	1200
8	1162
9	1224
10	1245
11	1300
12	1250

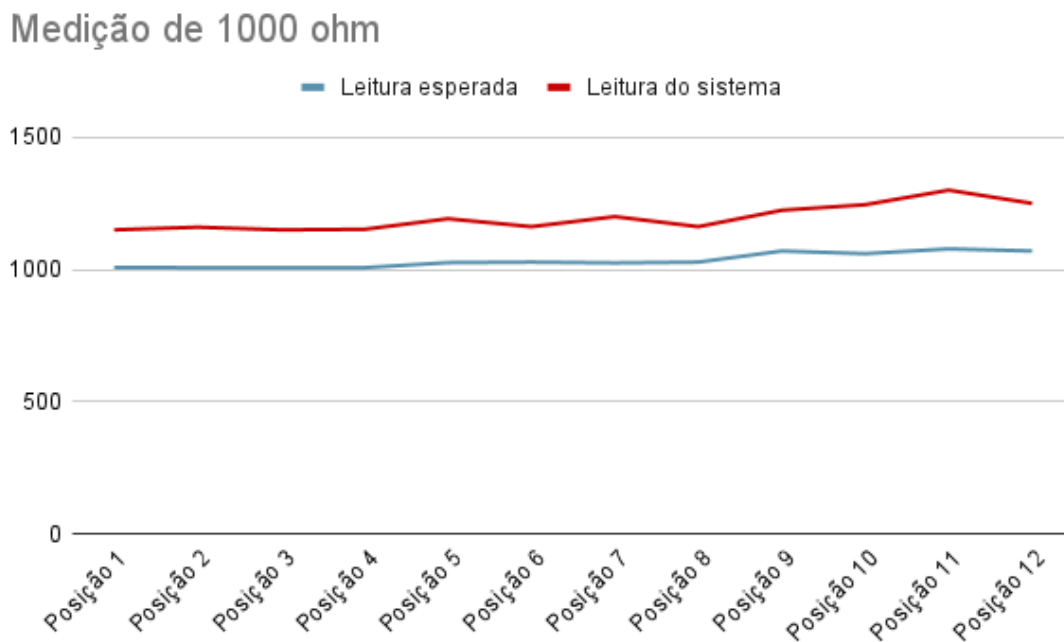


Figura 6.10 Medições de 1000 ohm

Os valores medidos com $R_X = 1000\text{ohm}$, tiveram uma variação maior do que o esperado, porém com uma diferença entre uma leitura e outra pequena em algumas posições, tendo no máximo uma diferença de 150 ohm entre as medições, como mostra o gráfico na Figura 6.10. Destacando, novamente a posição 11 que apresenta a maior leitura.

Medição para 2000 ohm:

Medição de 2000 ohm

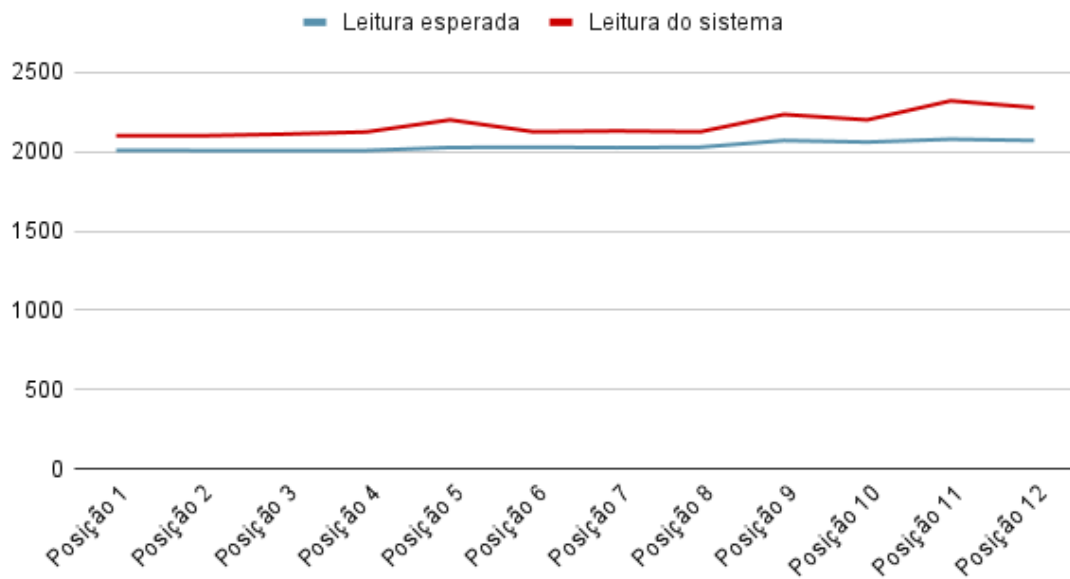
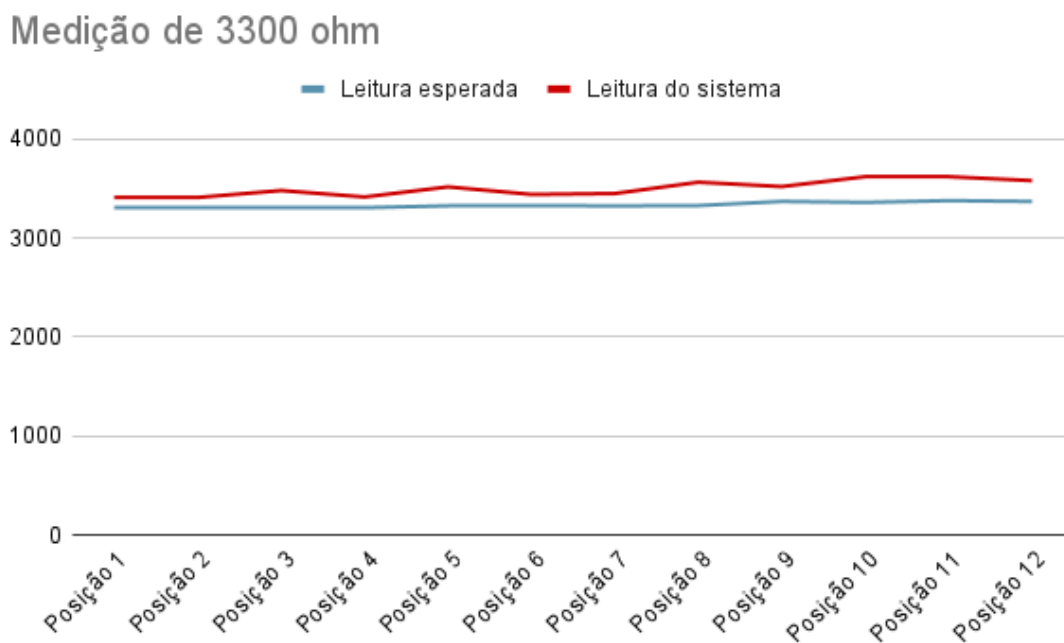


Figura 6.11 Medições de 2000 ohm

Tabela 6.10 Medição de resistência de 2000 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	2100
2	2100
3	2110
4	2124
5	2200
6	2125
7	2130
8	2125
9	2234
10	2200
11	2320
12	2278

Os valores medidos com $R_X = 2000\text{ohm}$, tiveram uma variação maior do que o esperado também, porém com uma diferença entre uma leitura e outra de no máximo 220 ohm, como mostra o gráfico na Figura 6.11. Destacando, novamente a posição 11 que apresenta a maior leitura.

Medição para 3300 ohm:**Figura 6.12** Medições de 3300 ohm**Tabela 6.11** Medição de resistência de 3300 ohm

Posição	Medição de resistência (ohm) pelo sistema
1	3410
2	3410
3	3480
4	3415
5	3517
6	3441
7	3450
8	3564
9	3520
10	3620
11	3620
12	3580

Os valores medidos com $R_X = 3300\text{ohm}$, tiveram uma variação maior do que o esperado também, porém com uma diferença entre uma leitura e outra de no máximo 210 ohm, como

mostra o gráfico na Figura 6.12. Destacando, novamente a posição 11 que apresenta a maior leitura.

6.3.1 Análise

O sistema proposto, ao utilizar o ADC da ESP32 e linhas condutivas, apresentou erros de leitura de até 220 ohm, fazendo com que a aplicação tenha apenas 18 valores de identificação disponíveis. Ademais, o uso de linhas condutivas em aplicações ainda está em evolução e possui vários tipos de materiais diferentes disponíveis no mercado. Para esse projeto foi utilizado linhas de aço inox, por apresentarem menor resistência por metro, porém são linhas difíceis de soldar.

Ao observar os resultados do teste 3, nota-se que os valores das posições 1, 3, 6, 9, 12, mantiveram-se, em sua maioria, os mesmos medidos no teste 2. Além disso, apesar das leituras apresentarem um erro não esperado, as medições aumentaram a medida que as posições aumentavam também. Um comportamento esperado, já que a medida que as posições aumentam, há o aumento da resistência da linha condutiva. Todavia, destaca-se a posição 11 que apresentou um comportamento peculiar, tendo as maiores medidas em todas as leituras. Assim, a identificação de cartões através de resistores, mostra-se viável para aplicações que não precisem de tráfego ou armazenamento de dados.

O consumo de energia do módulo de leitura de cartões durante as medições atingiram o pico de 3mA, semelhante ao ocorrido no teste 2. Ademais foi medido também o consumo de energia do sistema (módulo de controle junto ao módulo de leitura de cartões), que atingiu um pico de 7mA, sendo o módulo de controle responsável por 4mA desse consumo.

Conclusão e Trabalhos futuros

Este projeto teve como objetivo apresentar uma proposta de interface tangível e de melhor mobilidade para o Autoy, o qual realiza-se a identificação de figuras de forma simples e com baixo custo. O sistema desenvolvido propôs uma nova forma de identificação de figuras, utilizando a leitura de diferentes resistências e uma nova maneira de mobilidade desenvolvida com circuito em tecido. Foi implementado inicialmente um protótipo em protoboard, de forma experimental e depois realizada a fabricação de forma artesanal de uma placa para o circuito eletrônico e uma interface tangível baseada no brinquedo traca-traca, para realização dos objetivos desse projeto.

No documento foram apresentados os testes e resultados, os quais mostraram ser satisfatórios para a construção de um sistema de identificação de cartões simples, os quais não necessitem de armazenamento de dados e sim apenas uma forma de diferencia-los e identifica-los. Ademais, os testes realizados mostram que o consumo de energia do sistema é baixo, atingindo assim o objetivo de diminuição de consumo energético.

Contudo o sistema precisa de ajustes para um melhor funcionamento e assim ser aplicado no Autoy, os quais serão listados a seguir.

7.1 Trabalhos Futuros

Os possíveis trabalhos futuros para o desenvolvimento dessa interface envolve melhorias no hardware e na precisão das leituras, assim como integração com o sistema Autoy.

- **Estrutura:** Nesse primeiro protótipo da interface desenvolvida tem um tamanho de 103,5cm, conseqüentemente as linhas condutivas costuradas nas fitas possuem o mesmo valor, aumentando assim a resistência do sistema. Isso é algo que pode ser melhorado e a estrutura pode ser diminuída. Além disso a superfície de contato do R_x é feita de placas de cobre, o qual facilmente é oxidada, quando exposta ao ambiente, sendo necessário uma limpeza antes de cada leitura. Esse material pode ser modificado de forma a oxidar menos. Além disso, a forma em que o R_x mantém o contato com essa superfície é de uma forma muito simples, o qual também pode ser modificado por um conector pogo pin, ou algo semelhante.
- **Cartões:** Atualmente não possuem as figuras das atividades do Autoy, mas futuramente será necessário modelar melhor o cartão para poder adicionar as figuras.
- **Leitura do ADC:** A leitura do ADC pela ESP32 apresentou alguns erros de forma não linear, mesmo com as correções realizadas. Sendo necessário entender melhor se terá que adicionar um filtro, um CI de ADC externo ou modificações na forma de correção.

- **Integração com o Autoy:** Para a integração com o sistema Autoy é necessário a realização de ajustes na leitura para uma identificação de figuras mais precisa. Todavia, com o sistema de identificação ajustado, será realizado a atualização da máquina de estados do dispositivo para a integração dessa nova interface.

Referências Bibliográficas

- [1] Leka. Site. <https://leka.io/en/about.html>.
- [2] Tutorial para uso rápido do aboard. Site. https://www.cin.ufpe.br/assissive/Tutorial_aBoard.pdf.
- [3] Tecnologia pode ajudar no tratamento de pessoas com autismo. <<https://www.dicyt.com/noticia/tecnologia-pode-ajudar-no-tratamento-de-pessoas-com-autismo>>, 2012.
- [4] BRUNA ALVES. Brinquedos são fundamentais para o desenvolvimento infantil. <<https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/redacao/2021/07/07/brinquedos-sao-fundamentais-para-o-desenvolvimento-infantil-entenda-porque.htm>>, June 2021.
- [5] ANDY BONDY. Sistema de comunicação por troca de figuras (pecs). Site. <https://pecs-brazil.com>.
- [6] KARINE SOUZA BURLET, LÚCIA BELINA RECH, et al. Envolvimento familiar na clínica do autismo. *Revista CIPPUS*, 2017.
- [7] Centers for Disease Control and Prevention. Autism spectrum disorder. Site. <<https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>>.
- [8] HYNDARA FREITAS. O be-a-bá da terapia aba: O que é, como é aplicada e para o que é indicada? <<https://emails.estadao.com.br/noticias/bem-estar,o-be-a-ba-da-terapia-aba-o-que-e-como-e-aplicada-e-para-o-que-e-indicada,70002511376>>, 2018.
- [9] E. Hornecker and J. Buur. Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction. pages 437–446, 2006.
- [10] Mcclannahan L. E. Krantz, P. J. Social interaction skills for children with autism: A script-fading procedure for beginning readers. *Journal of Applied Behavior Analysis*, pages 191–202, 1998.
- [11] K. LEAR et al. Help us learn: A self-paced training program for aba part 1:training manual. Technical report, 2004.
- [12] NEUROSABER. Autismo o que é? definição e características. <<https://institutoneurosaber.com.br/autismo-o-que-e/>>, 2015.

- [13] JÚLIA PERON. Desenvolvimento de uma interface de programação tangível microcontrolada para o brinquedo rope que estimule atividades de contação de histórias. 2018.
- [14] ELISA SCHLUNZEN et al. A tecnologia como inclusão de pessoas com necessidades especiais (pne). Technical report, Rio de Janeiro, 2005.
- [15] Katz R. C. Wilder D. A. Beauchamp K. Taylor C. R. Fischer K. J. Shabani, D. B. Increasing social initiations in children with autism: Effects of a tactile prompt. *Journal of Applied Behavior Analysis*, pages 79–83, 2002.
- [16] FÁBIO SOUZA. Primeiros passos com micropython. Site, 2018. <https://www.embarcados.com.br/micropython-no-esp8266/>.
- [17] ALESSANDRO VIEIRA, BERENICE DOS SANTOS, et al. Interfaces tangíveis: Condição e avaliação. *Revista (online): Estudos de Design*, pages 92 – 111, 2016.
- [18] VIGOTSKI. *A formação social da mente*. 6 ed edition, 1998.
- [19] WIKIPEDIA. Escada de jacó. Site. https://pt.wikipedia.org/wiki/Escada_de_jac
- [20] Lesley Xie, Alissa N. Antle, and Nima Motamedi. Are tangibles more fun? comparing children's enjoyment and engagement using physical, graphical and tangible user interfaces. In *Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI'08)*,. Tangible and Embedded Interaction, 2008.

