

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

NATANAEL FELIPE KREBS RIEDEL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MESA INTERATIVA DE RPG UTILIZANDO
ROBÓTICA ASSISTENCIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2020**

NATANAEL FELIPE KREBS RIEDEL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MESA INTERATIVA DE RPG UTILIZANDO
ROBÓTICA ASSISTENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso, curso de Engenharia Elétrica, departamento de engenharias e ciências da computação Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim. Orientadora: Prof. Ma. Camila Sampaio Dos Reis

**ERECHIM - RS
2020**

NATANAEL FELIPE KREBS RIEDEL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MESA INTERATIVA DE RPG UTILIZANDO
ROBÓTICA ASSISTENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso, curso de Engenharia Elétrica, departamento de engenharias e ciências da computação Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Erechim, 10 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Camila Sampaio Dos Reis (Orientadora)
URI - Erechim

Prof. Me. Glênio Rigoni (Examinador)
URI - Erechim

Prof. Dr. Marco Antônio Sampaio Ferraz de Souza (Examinador)
URI - Erechim

Dedico este trabalho aos meus pais, e amigos e amigas, pelo apoio, carinho, confiança e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fiel amigo. “Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo.” Salmos 23:4.

Agradeço aos meus pais Rudi Aldo Riedel e Nair Krebs Riedel pelo sincero apoio e incentivo durante todo o curso de graduação.

Aos meus amigos, em especial a turma do RPG, Walker Andrei Scalvi (Thamior Nailo), Igor Tonel (Hög), Nicolas Czizeweski (Amamom), que acompanharam essa trajetória desde o sonho até o final.

Agradeço a professora Camila Sampaio dos Reis pela orientação e apoio em todo o projeto.

Aos demais companheiros da graduação pelo apoio e incentivo.

“O que pensamos do mundo? Não temos nem ideia de quais são as regras ou qual é o objetivo. Existem mais de 7 bilhões de pessoas fazendo todas as jogadas que querem. Você sofre penalidade se ganhar ou perder demais. Não dá para passar a sua vez, e se você falar demais, você é banido. Não existem parâmetros e não tem como dizer qual é o gênero. Esse mundo não é nada além de um jogo ruim.”

YuuKamiya – No game no life (2012)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô assistencial com o objetivo de promover maior interação social entre as crianças. Para contextualizar o tema, foi realizada uma revisão de literatura, buscando encontrar possíveis soluções para a abordagem proposta. Foram identificadas tecnologias educacionais disponíveis, metodologias de ensino e formas de aprendizado, se destacando o *role-playing game* (RPG) como ferramenta de ensino. Ao mesmo tempo, foram definidas as atividades e reprodução de efeitos implementados no robô. Para a modelagem dos componentes físicos do robô foi utilizado o *software* Autodesk Inventor e para realizar a integração das metodologias de RPG, ensino e monitoramento foi utilizado o *software online* Roll20, o qual é responsável pelas funções da mesa interativa, executado através de um *Raspberry Pi*. Em seguida foi montado na prática o robô com todos os seus componentes e realizados os devidos testes, tanto dos componentes individuais, quanto a sua interação em conjunto. De modo geral, os resultados apresentam-se divididos. A implementação prática da parte móvel do robô, que inclui os braços e a cabeça não atendeu a expectativa inicial devido a falha de alguns componentes. Entretanto a parte do *software* da mesa interativa de RPG, englobando toda a parte de iluminação e monitoramento do ambiente, em conjunto com o *software* de apresentação da história, superaram a expectativa inicial, dando a estrutura do robô um aspecto amigável e inspirador, bem como a proposta metodológica implantada para atingir o objetivo da interação desejada entre as crianças.

Palavras-chave: Ensino. Mesa interativa. *Raspberry Pi*. Robô assistencial. RPG.

ABSTRACT

This work presents the development of an assistance robot with the objective of promoting greater social interaction among children. To contextualize the theme, a literature review was carried out, seeking to find possible solutions for the proposed approach. Available educational technologies, teaching methodologies and forms of learning were identified, highlighting the role-playing game (RPG) as a teaching tool. At the same time, the possible activities and reproduction of effects to be implemented in the robot were defined. For modeling the physical components of the robot, the Autodesk Inventor software was used and to perform the integration of RPG, teaching and monitoring methodologies, the Roll20 online software was used, which is responsible for the functions of the interactive table, executed through a Raspberry Pi. Then the robot with all its components was assembled in practice and the necessary tests were carried out, both for the individual components and for their interaction together. In general, the results are divided. The practical implementation of the mobile part of the robot, which includes the arms and head, did not meet the initial expectations due to the failure of some components. However, the software part of the RPG table, encompassing all the lighting and environmental monitoring, together with the story presentation software, exceeded the initial expectation, giving the robot structure a friendly and inspiring aspect, as well as the implemented methodological proposal will provide the desired interaction between children.

Keywords: Teaching. Interactive table. Raspberry Pi. Assistance robot. RPG.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dados para RPG.....	15
Figura 2 - Placa Arduíno MEGA 2560.....	26
Figura 3 - <i>RaspberryPi</i> 4B.....	27
Figura 4 - ESP32 – CAM.	28
Figura 5 - Sensores de ultrassom.....	31
Figura 6 - Procedimentos metodológicos do trabalho.....	35
Figura 7 - Tela de mapas do aplicativo Roll20 visão do mestre da mesa.....	43
Figura 8 - Simulação de uma rolagem de dados.....	45
Figura 9 - Tela de criação, aplicativo Inkarnate.	46
Figura 18 - Exemplo de <i>handout</i>	49
Figura 10 - Cabeça do robô – Projeto inicial.....	50
Figura 11 - Cabeça atualizada para impressão 3D.....	51
Figura 12 - Peça com erro de impressão.....	51
Figura 13 - Peças da cabeça impressas.....	53
Figura 14 - Corpo do robô – Projeto inicial.....	54
Figura 15 - Montagem do corpo do robô.....	55
Figura 16 - Montagem do robô completa.....	56
Figura 17 - Montagem final – Projeto inicial.	56
Figura 19 - Teste de memória e CPU do <i>Raspberry Pi</i>	57
Figura 20 - Alimentação externa de energia para os atuadores.....	58
Figura 21 - Pulso PWM.....	59
Figura 22 - Servo motor danificado.....	59
Figura 23 - Sensor de presença sem identificação de pessoas.....	60
Figura 24 - Sensor de presença identificando pessoas.....	60
Figura 25 – Teste do Roll20, tela do dungeon master.....	61
Figura 26 - Teste do Roll20, tela do jogador.....	62
Figura 27 - Sistema de execução de sons e músicas.....	62
Figura 28 - Comparativo de temperatura e umidade.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre servos motores.....	39
Tabela 2 - Custos	43
Tabela 3 - Peças da cabeça	52
Tabela 4 - Peças do Corpo.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CC	Corrente Contínua
CPU	<i>Central Process Unit</i>
CWI	<i>Centrum Wiskunde & Informatica</i>
DC <i>motors</i>	Motores de corrente contínua
DOS	<i>Disk Operating System</i>
DSPs	<i>Digital Signal Processor</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IP Cores	<i>Intellectual Property Cores</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LP	Linguagem de programação
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MEC	Ministério da Educação
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NPC	<i>Non-Player Character</i>
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PLA	Ácido Polilático
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RPG	<i>Role-Playing game</i>
RTDs	<i>Resistance Temperature Detectors</i>
SoC	<i>System-On-a-Chip</i>
SOPC	<i>System-on-a-Programmable-Chip</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Tecnologias educacionais e metodologias de ensino	11
2.2 Estágios da criança.....	13
2.3 RPG como ferramenta de ensino	14
2.4 Princípios da robótica	16
2.4.1 Robótica assistencial.....	18
2.4.2 Robótica na educação	18
2.5 Kits de robótica.....	20
2.5.1 Super <i>Robby</i>	20
2.5.2 Projeto Saberlândia.....	20
2.5.3 Kits educacionais de Robótica utilizando Lego.....	21
2.6 Linguagens de programação	21
2.6.1 Linguagem C/C++	22
2.6.2 Linguagem <i>Processing</i>	23
2.6.3 Linguagem Logo.....	23
2.6.4 Linguagem <i>Python</i>	24
2.7 Sistemas embarcados	25
2.7.1 Arduíno	26
2.7.2 <i>Raspberry Pi</i>	27
2.7.3 ESP32.....	28
2.8 Sensores.....	28
2.8.1 Sensores de presença	30
2.8.1.1 Sensores de ultrassom	30
2.8.1.2 Sensores fotoelétricos.....	32
2.8.2 Câmeras	32
2.8.3 Sensores de temperatura	32
2.9 Atuadores	33
2.9.1 Motores tipo servo	33
2.9.2 Motores de corrente contínua (DC motors)	34
2.9.3 Motores de passo	34
3 METODOLOGIA	35
3.1 Projeto da mesa	38
3.1.1 Sistema de movimentação	39
3.1.2 Análise dos componentes.....	41
3.1.3 Descrição do Roll20.....	43
3.1.4 Desenvolvimento de mapas	45
3.2 História.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1 Partes do robô.....	50
4.2 Testes	57
5 CONCLUSÕES	64
5.1 Perspectivas para continuação do trabalho	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICES	69

1 INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário pandêmico global novos desafios estão sendo impostos, gerando necessidades antes não existentes, e com isso novas pesquisas e inovações tornam-se assim necessárias. Neste período de quarentena a sociedade está enfrentando um forte isolamento social, demonstrando a real necessidade da utilização de tecnologias remotas como formas de ensino que não dependam da presença constante de um tutor. Nesse contexto, esse trabalho apresenta-se como um auxílio às crianças, para que possam com a ajuda de seus tutores e amigos, aumentar a interação social, tanto entre si, quanto delas para com os tutores, através de uma forma lúdica e educativa utilizando a robótica assistencial.

A nova geração de estudantes chega às instituições de ensino cada vez mais adepta desta tecnologia, desde a primeira idade, porém muitas vezes não a utiliza de forma produtiva. Em grande parte, usam exclusivamente para entretenimento, mal elaborado e despropositado. Porém, sabe-se que a melhor forma de se transmitir conhecimento, principalmente para crianças é por meio de jogos e brincadeiras. Até mesmo é encontrado no referencial curricular nacional para a educação infantil a definição de Brincadeira como “uma linguagem infantil que mantém um vínculo essencial com aquilo que é o “não-brincar”. Se a brincadeira é uma ação que ocorre no plano da imaginação, isto implica que aquele que brinca tenha o domínio da linguagem simbólica.” (BRASIL, 1998).

A robótica está cada vez mais presente em nossas vidas, sendo de imprescindível importância à interação e aprendizado sobre este tema desde a primeira idade. Da mesma forma que em indústrias ela facilita processos, se bem utilizada como instrumento social pode facilitar o aprendizado de crianças, melhorar a interação delas com o ambiente de uma forma lúdica e interativa, principalmente quando associada a formas metodológicas de ensino, como a utilização do RPG¹.

Dito isso, este trabalho tem por objetivo melhorar a qualidade de vida das crianças, mesclando formas de ensino e diversão supervisionados por meio da robótica assistencial, que visem aumentar a interação social das mesmas, de uma forma produtiva.

¹*Role-playing game*. Será abordado em detalhes no decorrer do trabalho.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em aplicar conceitos da robótica assistencial como forma de promover maior interação social entre crianças por meio do desenvolvimento de um robô tridimensional, em forma de uma mesa interativa de RPG.

Para atender o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram alcançados no presente trabalho:

- Fundamentar os princípios da robótica assistencial;
- Identificar tecnologias educacionais disponíveis;
- Investigar diferentes interfaces e materiais a serem utilizados para a implementação de um kit de robótica assistencial;
- Definir atividades específicas como reprodução de efeitos sonoros ou movimentos a serem executados pelo robô, bem como um protótipo tridimensional da aparência esperada;
- Definir a interface de comando e monitoramento via aplicativo;
- Otimização do modelo tridimensional e *software* visando implementação prática para testes e validação;
- Desenvolvimento de *software* de controle das ações do robô;
- Criação de história fictícia de RPG com fins demonstrativos;
- Implementação do sistema completo para realização de testes em bancada;
- Realização de testes em bancada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre métodos de aprendizagem, estágios da criança, conceitos da robótica assistiva, conceitos da robótica educacional, além de apresentar alguns kits de robótica já existentes, elucidando soluções propostas por outros autores com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento do trabalho.

2.1 Tecnologias educacionais e metodologias de ensino

Os seres humanos são criaturas que respondem a estímulos. Atividades divertidas, histórias, jogos e brincadeiras são muito mais valorizadas do que um trabalho ou um livro de exercícios por exemplo. É natural que as crianças consigam passar horas brincando, mas sofrem para se manterem focadas ao realizar uma atividade escolar, que à primeira vista não apresente os mesmos atrativos e, portanto, não desperte o interesse necessário para uma aprendizagem adequada.

“A criança inicia na educação infantil um processo de socialização, por meio do relacionamento com outras crianças da mesma faixa etária e com seus educadores.” Portanto apresenta-se como um dos melhores momentos para inovar e inserir novas atividades que incentivem a socialização e aprendizado. (BARBOSA, 2019)

A utilização da tecnologia se torna mais atrativa, e articulando o conteúdo de outra forma, uma maneira mais lúdica e interativa, que cativa a atenção do aluno. O processo de aprendizado representa uma gama de aspectos inter-relacionados, principalmente da junção de processos cognitivos, do aprender e ensinar com a questão afetiva e emocional. (ASSANTE, 2016; BARBOSA, 2019)

O livro Ação Humana afirma que “Comportamento consciente ou propositado contrasta acentuadamente com comportamento inconsciente, isto é, os reflexos e as respostas involuntárias das células e nervos do corpo aos estímulos.” (MISES, 2010)

Como cita Illeris (2013) no livro Teorias contemporâneas da aprendizagem, apresenta a definição de aprendizagem de maneira conceitual como “[...] qualquer processo que, em organismos vivos, leve a uma mudança permanente em capacidades e que não se deva unicamente ao amadurecimento biológico ou ao envelhecimento”, e complementa dizendo: “o conceito de aprendizagem inclui um conjunto muito amplo e complicado de processos, e uma compreensão abrangente não é apenas uma questão da natureza do próprio processo de

aprendizagem. Ela também deve incluir todas as condições que influenciam e sejam influenciadas por esse processo.”

Logo, torna-se essencial compreender o modo como seres humanos, com foco nas idades iniciais, aprendem, assimilam conhecimento e principalmente definir qual o papel do educador e dos recursos que o mesmo utiliza nesse processo essencial.

Nem sempre as crianças expressaram alguma “manifestação exterior” mensurável, e isso em nada significa no processo de aprendizagem. A apatia, ou ausência de reações pode ser considerada por si só uma manifestação. Normalmente ela demonstra um desânimo para com o conteúdo apresentado, o que remete a um aprendizado deficitário, porém, não necessariamente nulo. (ILLERIS, 2013)

Para algumas disciplinas específicas, a prática e a repetição de atividades têm grande impacto no processo de aprendizagem como é bem demonstrado na teoria behaviorista. Ela tem como foco a repetição de uma tarefa, a fim de memorizá-la. Nela, pressupõe-se que o indivíduo reaja a estímulos de forma automática e intuitiva, que advém de costume e treinamento. Como cita (ASSANTE, 2016), esta teoria “baseia-se na análise minuciosa da estrutura da tarefa a aprender e vê o educando como um ser passível e moldável.”

Enquanto isso, a teoria sociocultural de *Vygotsky*², tem como foco principal o tutor. Ele destaca a participação em atividades com pessoas mais experientes, inspirando-se, e adquirindo seu conhecimento por meio da observação e experimentação. (ASSANTE, 2016)

Deste modo o conhecimento de cada pessoa, se daria, pela soma dos aprendizados adquiridos com todas as pessoas com as quais ela teve convívio, ou seja, uma interação social e cultural, adquirido do todo, e assimilado individualmente.

Existem ainda outras teorias, mas no geral, culminam na necessidade de se atentar a dois processos distintos e muito importantes quando se trata de educação. A recepção da informação, ou seja, a interação do indivíduo com o ambiente e informação a ser transmitida, e o processo psicológico, que se baseia no entendimento, percepção e memória, ou seja, aprendizagem em si. Assim sendo, para melhorar ou modificar esse sistema, podemos agir em três dimensões: conteúdo, incentivo e ambiente. (ILLERIS, 2013; ZILLI, 2004)

O conteúdo costuma ser descrito como conhecimento e habilidades, porém, de uma forma mais ampla ele representa tudo aquilo que pode ser aprendido. “A busca do indivíduo envolve construir significado e capacidade para lidar com os desafios da vida prática e, assim, desenvolver uma funcionalidade pessoal geral.” (ILLERIS, 2013)

²Lev Vygotsky (1896-1934) foi um psicólogo bielo-russo que realizou estudos sobre teorias de aprendizado.

A dimensão do incentivo compreende elementos como sentimentos, emoções e principalmente, motivação. É o direcionamento da energia mental, foco ou disciplina, necessário para uma aprendizagem satisfatória. “Sua função, em última análise, é garantir o equilíbrio mental contínuo do indivíduo e, assim, desenvolver simultaneamente uma sensibilidade pessoal”. (ILLERIS, 2013)

E, por fim, o ambiente, também chamado de interação, engloba os impulsos físicos, sociais ou mentais que levam ao aprendizado. Ela ocorre por meio das outras dimensões, “[...] na forma de percepção, transmissão, experiência, imitação, atividade, participação, etc.” (ILLERIS, 2013)

2.2 Estágios da criança

“Para *Piaget*³ os estágios e períodos do desenvolvimento caracterizam as diferentes maneiras do indivíduo interagir com a realidade, ou seja, de organizar seus conhecimentos visando sua adaptação, constituindo-se na modificação progressiva dos esquemas de assimilação.” O conteúdo vai se acumulando, fazendo o efeito “bola de neve”, no qual todos os aprendizados se somam e ampliam o todo, em uma sequência constante. (ASSANTE, 2016; ZILLI, 2004)

A seguir é apresentada a teoria a respeito dos estágios de desenvolvimento das crianças. Estes estágios não são fixos, apenas uma estimativa que relaciona a idade com as atividades que a criança possivelmente estaria apta a desenvolver. Respeita-se a individualidade de cada pessoa, e entendem-se estes estágios apenas como um guia, para que seja apresentados métodos de interação mais adequados a cada criança. Este estudo foi adaptado do trabalho de Assante (2016), que tem como principal referência a obra de Piaget.

No estágio Sensório-Motor, mais ou menos de 0 a 2 anos a criança não mentaliza os objetos, portanto, suas ações com relação a eles se dão de forma direta e fundamentam sua atividade intelectual futura. Mantem foco principal nas atividades sensoriais e motoras, e os estímulos que o ambiente lhes entrega interferirão diretamente no seu comportamento futuro frente a objetos. (ASSANTE, 2016)

O estágio avançando, dos 4 a 6 anos, compreende ao estágio pré-operacional, no qual a criança elabora para si a interpretação simbólica para associação de palavras. A partir desse ponto, ela passa a não depender somente de sensações e consegue entender o significado de

³Jean William Fritz Piaget (1896 – 1980) foi um biólogo, psicólogo e epistemólogo suíço. Também citado pela sua contribuição em teorias do aprendizado.

uma palavra que represente um objeto. A criança, ainda muito egocêntrica, capta apenas estados momentâneos, e não junta o todo. Deve-se ressaltar o lúdico. O pensamento simbólico é muito importante para que desenvolva a capacidade de assimilar o todo. (ASSANTE, 2016)

No estágio das ações concretas, entre os 7 aos 11 anos, a criança já possui uma organização mental, onde ela consegue ter uma visão geral da ação como um todo. “Apesar de ainda trabalhar com objetos, agora representados, sua flexibilidade de pensamento permite um sem número de aprendizagens.” Ou seja, neste estágio do desenvolvimento, a criança aflora sua capacidade de absorção para uma incontável quantidade de informações. Neste estágio a criança tem uma capacidade de interiorização de conhecimentos exacerbada. (ASSANTE, 2016)

A partir dos 12 anos aproximadamente, a criança entra no estágio das operações formais. Neste momento ocorre o desenvolvimento das operações de raciocínio abstrato. “A criança se liberta inteiramente do objeto, inclusive o representado, operando agora com a forma, situando o real em um conjunto de transformações.” Ela torna-se capaz de gerar hipóteses e deduzir a possível consequência de um ato que ela pensa em executar. Neste ponto ela utiliza-se de todas as experiências obtidas anteriormente para iniciar os pensamentos hipotético-dedutivos. (ASSANTE, 2016)

Uma forma muito prática de se trabalhar todos os pontos necessários ao desenvolvimento das crianças, pode ser encontrado em um jogo, muito antigo, o RPG, sigla para *role-playing game* que, que pode ser traduzido para jogo de interpretação de papéis. Ele será abordado com maiores detalhes na seção a seguir.

2.3 RPG como ferramenta de ensino

O RPG, como dito anteriormente é um jogo no qual os participantes assumem o papel de um personagem, e com isso, interagem diretamente com o cenário apresentado pelo narrador da cena, conhecido pelo termo de “*Dungeon Master*”⁴. Tal jogo teve sua primeira versão criada na década de 1970 por Gary Gygax e Jeff Perren que desenvolveram um sistema que viria a ser o precursor do que hoje conhecemos por *Dungeons and Dragons*.(KIM, 2008)

O RPG apresenta um conjunto de regras, úteis para o bom andamento da mesa, que varia de acordo com a versão, título e tema escolhido pelo mestre da mesa, no entanto, elas

⁴ Nome dado pelos livros da coleção “*DungeonsandDragons®*”, ao narrador da história. Pode ser traduzido de forma literal como “mestre da masmorra” e de forma interpretativa como “mestre da mesa”, ou simplesmente como tutor, narrador ou mestre. Entendem-se como sinônimos para este trabalho.

funcionam mais como orientações, e o que prevalece, durante uma campanha⁵, é a decisão do *dungeon master* (narrador/tutor), que sempre deve ter foco na diversão, e entendimento do conteúdo a ser transmitido.

A principal mecânica de aleatoriedade no jogo é o sistema de rolagem de dados. Os dados em si, merecem certo destaque, pois diferente de um dado comum, de apenas 6 lados, podem possuir até 100 faces diferentes, e através das rolagens e números obtidos, a ação proposta, tanto pelos jogadores quanto pelo mestre, pode ou não funcionar, de acordo com o grau de dificuldade desejado pelo *dungeon master* (narrador/tutor). Um exemplo destes dados físicos é mostrado na Figura 1. Esta mecânica, muitas vezes é substituída por simples narração. Em um ambiente de ensino, o mais comum é que o narrador decida a eficácia da ação proposta, através da coerência de descrição, ou veracidade da resposta apresentada pela criança.

Figura 1 - Dados para RPG



Fonte: Site magazineluiza (2020)

Este jogo, por ser muito abrangente e possuir infinitas possibilidades de aplicações, já foi muito recomendado como metodologia de ensino. Toledo (2015) apresentou uma unidade

⁵ Temo usado no RPG para se referir a história que está sendo narrada. Porém é um termo mais amplo, que envolve além do roteiro a possibilidade de interação e modificações, mediante ações tomadas pelos participantes, em suma, descreve a totalidade do jogo.

didática pedagógica do governo do Paraná, que utiliza o RPG como forma de ensino de profissões. “Esta proposta busca promover o aprendizado através do jogo interativo onde os alunos assumem papéis de personagens de uma determinada profissão, criando uma mini realidade social”. Ou seja, através do RPG, promove uma maior interação social, e ensina acerca das profissões, melhorando muito a qualidade do ensino.

Outro trabalho que prova a eficácia do RPG associado ao ensino e a melhoria na interação social, é a monografia escrita por Scherer (2019), na qual ela apresenta uma proposta de RPG voltada para educação ambiental. O mesmo foi testado em uma turma de segunda série do ensino médio, na escola a qual a autora ministrava aula. Os questionários realizados pós aplicação do método, mostra grande satisfação dos envolvidos, e comprova a eficácia da metodologia de RPG para uso didático.

Filho (2019), também aponta o RPG como uma ferramenta muito importante para o desenvolvimento da oralidade, principalmente quando usado no ensino de línguas. Ele cita que juntamente com a abordagem neurolinguística a oralidade promove motivação, interação além de desenvolver habilidades comunicativas, importantes na interação social. Ele aplica o RPG “para a prática da oralidade em aulas de línguas inglesa, enquanto um jogo que promove a interação e motivação para aprendizagem.”

Como fica claro nestes três exemplos, o RPG é bastante versátil, e suas regras podem ser aplicadas das formas mais diversas, como melhor convém ao objetivo proposto. Sua sistemática é amplamente utilizada, tanto para fins de aprendizado, quanto para diversão e interação social. “O professor pode moldar a história de acordo com as necessidades de sua sala de aula”, além de conseguir rápidas respostas, por meio da interação direta com os alunos, transmitindo conteúdo de uma forma lúdica e divertida. (FILHO, 2019; SCHERER, 2019; TOLEDO, 2015).

2.4 Princípios da robótica

A robótica hoje muito presente em nossas vidas, teve sua concepção em meados de 1921, em uma peça produzida por Karel Capek R.U.R (*Rossum's Universal Robots*). Nela, um inventor chamado Rossum cria uma raça de trabalhadores feitos de partes biológicas, inteligentes o suficiente para substituir os seres humanos em qualquer tipo de trabalho, e eles serviam os humanos. Daí surgiu a palavra *tcheca robota*, que futuramente se tornaria robô, e em uma tradução livre pode ser entendida como “trabalhador humilde” (ROMERO, 2014)

Atualmente, segundo o dicionário MICHAELIS (2020) a definição da palavra robô apresenta três vertentes:

“1 - Aparelho automático, com aspecto humanoide, capaz de se movimentar e executar diferentes tarefas, inclusive algumas geralmente feitas pelo homem.

2 - Mecanismo cujo comando é controlado automaticamente.

3 - Indivíduo que obedece mecanicamente, que não tem vontade e iniciativa própria [...]”

O livro Robótica móvel (ROMERO, 2014) por sua vez, define robótica como:

Essas definições permitem descrever os conceitos mais tradicionais sobre os robôs. No entanto, um robô pode ser algo mais complexo e completo. Um robô pode ser uma máquina capaz de executar tarefas repetitivas, sejam elas guiadas (teleoperadas) ou predefinidas (pré-programadas), mas também é capaz de realizar tarefas de modo inteligente (autônomo), sendo capaz de perceber o ambiente, tomar decisões e agir conforme a situação em que se encontra. Um robô pode ser de base fixa (p. ex., braço robótico manipulador industrial), mas também pode ser de base móvel, tendo a capacidade de se locomover no ambiente. Um robô também poderá ter diferentes níveis de percepção, locomoção, ação, decisão e autonomia.

Segundo Ramos (2018) a robótica pode ser utilizada na preparação das aulas, incrementando a interdisciplinaridade, pois integra diversos conceitos, tanto de lógica, linguagem e pensamentos criativos. Do mesmo modo, também desenvolve competências relacionadas à organização, planejamento e trabalho em equipe. A robótica é inserida não para substituir alguma metodologia já existente, mas a fim de proporcionar mais uma opção.

Zilli (2004) cita que a robótica “É uma ferramenta que permite ao professor demonstrar na prática muitos dos conceitos teóricos, às vezes de difícil compreensão, motivando o aluno, que a todo momento é desafiado a observar, abstrair e inventar.” Também demonstra que estas novas práticas se utilizam obrigatoriamente de conceitos multidisciplinares, principalmente por proporcionarem novas formas de ensino onde tanto tutores quanto alunos terão a oportunidade de aprender com o desconhecido.

O mesmo autor também cita que com o emprego da robótica, as crianças podem adquirir o conhecimento através de suas próprias experiências, o que o torna muito mais válido por se adaptar melhor às suas estruturas mentais.

2.4.1 Robótica assistencial

A robótica assistencial entra neste meio como uma derivação mais aprofundada da robótica clássica, e se apresenta como uma série de conceitos e mecanismos voltados ao suporte direto nas atividades humanas básicas, muitas vezes mais voltadas a simplesmente melhorar a qualidade de vida de algum indivíduo.

Segundo Bastos (2014), “Além de ser um campo novo e multidisciplinar da robótica, a área da assistência reúne aspectos da robótica, da medicina e de estudos que envolve o comportamento das pessoas na sociedade.” Está é uma área que tem sido muito explorada e cada vez mais se expande à novas áreas de atuação.

A área da medicina foi uma das primeiras impactadas positivamente por estes estudos, seguida da educação, inicialmente para projetos com pessoas com alguma deficiência e na sequência expandida a mais salas. Por fim, chega até nas residências, com dispositivos simples e eficientes auxiliando em tarefas domésticas.

Conforme Bastos (2014) *apud* Feil-seifer e Mataric (2005), a melhor definição de um robô de assistência é: “aquele que dá ajuda ou apoio a um usuário humano, incluindo os robôs de reabilitação, robôs sociais, robôs manipuladores e robôs de mobilidade”, por descrever de forma ampla as possíveis áreas de atuação do mesmo.

2.4.2 Robótica na educação

Neste novo ambiente que se apresenta, a criança tem um novo espaço para desenvolver seu raciocínio lógico, criatividade, seu conhecimento em diversas áreas e conviver em grupos que compartilham de um mesmo interesse, o que facilita a socialização.

A implementação desse novo ambiente tem se mostrado cada vez mais amplo, principalmente no âmbito de pesquisa. Muito se deve ao acelerado avanço tecnológico tanto em *software* quanto em *hardware*, principalmente os de código aberto, ou projeto livre, que visam uma disseminação ainda maior. Toda essa liberdade de informação que vem se instaurando permite que pessoas, mesmo sem experiência, consigam controlar seus próprios dispositivos.

Isso tudo ressalta ainda mais a importância dos professores e/ou tutores nesse processo. Eles se apresentam como interventores em todo esse processo de adaptação das metodologias de ensino, ampliando estímulos ao aprendizado, em um ambiente desafiador que promove maior interação interpessoal e interdisciplinaridade. (RAMOS, 2018)

A capacidade autodidata das crianças frente a novas tecnologias é surpreendente. Situações que para pais e tutores possa parecer complexa para as crianças aparenta ser simples e intuitiva. Incentivar o uso destas tecnologias, que estarão cada vez mais empregadas no seu cotidiano, aumenta ainda mais o papel social das instituições de ensino. (BARBOSA, 2019; MATARIC, 2014).

A robótica aplicada à educação funciona como uma ferramenta muito eficiente quando se trata de manter o foco das crianças em suas atividades acadêmicas, pois, muitas vezes traz equipamentos e atividades, que elas viam como um simples brinquedo ou entretenimento, para sala de aula, a fim de transmitir um conhecimento, ou ensinar alguma lição. Principalmente nas fases iniciais do desenvolvimento infantil onde o foco é justamente no lúdico, trazer um equipamento que remete, mesmo que inconscientemente a algo divertido, ajuda a fornecer o incentivo apropriado e muito importante a uma boa aprendizagem. (BARBOSA, 2019; MITCHEL, 2020; RAMOS, 2018).

Histórias e contos como exemplos, podem ser moldados de forma a tornar a criança, ou grupo de crianças como protagonistas, fazendo com que eles decidam o que é mais interessante em cada situação e como, cada tomada de decisão afeta a história que está sendo contada à eles. Esta é uma forma de adaptar uma brincadeira como uma forma de ensino, estimulando seu pensamento crítico e fornecendo suporte à futuras tomadas de decisão. (RAMOS, 2018)

Estes meios digitais que servem como mediadores, utilizados como recursos pedagógicos de transmissão de informações e conhecimentos, promovem um rompimento na forma padrão de pensamento, principalmente por envolver várias formas de linguagens e metodologias de ensino, criando formas inovadoras de interpretar, de forma ativa histórias, criações e exemplos de atividades, inovando a forma de analisar o mundo e compreender espaço e tempo.

Muitas vezes podemos pensar que isso é algo automático, mas neste caso, temos que olhar para a situação sob a ótica de uma criança, que não possui experiências do mundo, e não sabe como as coisas funcionam. Dessa forma, tudo é uma novidade.

No estudo desenvolvido por Ramos (2018), que buscou mensurar a forma como as crianças interagem com estas novas tecnologias audiovisuais, constatou-se que as crianças os enxergam como: “[...] objetos lúdicos que geram prazer seja em atividades individuais ou em grupo. Objetos estes passíveis de serem considerados formas de transmissão de conhecimento e cultura.”

Alguns exemplos de projetos já empregados e que estão dando resultados positivos quando analisados do ponto de vista educacional serão citados a seguir. Estes projetos destacam-se por suas características inovadoras e por serem métodos alternativos de transmissão de conhecimento.

2.5 Kits de robótica

Na sequência são apresentados três kits de desenvolvimento que se enquadram no contexto da robótica assistencial, com foco nos educacionais disponíveis no mercado, ou que tiveram grande contribuição.

2.5.1 Super *Robby*

O kit Super *Robby* como cita Zilli (2004) é o primeiro kit de robótica brasileiro. Possui uma interface, que interage com o usuário utilizando a linguagem logo, ou *software* de autoria Everest, e interage com uma gama de periféricos acoplados. Por ser um kit bastante antigo, datado de 2002, pouco se encontra sobre ele atualmente, porém por ser citado como o primeiro publicado, merece este destaque.

O mesmo foi desenvolvido a partir da utilização de sucatas como parte de seus componentes, não se restringindo as peças pré-fabricadas, o que além de lhe imbuir um aspecto ecológico, o tornou versátil.

2.5.2 Projeto Saberlândia.

Este projeto tem por objetivo promover o aprendizado de forma lúdica, desenvolvendo o raciocínio lógico de forma divertida através de jogos e brincadeiras, pois apresenta um sistema de planificação que utiliza inteligência artificial, para autoria de jogos educacionais onde, a partir de um roteiro definido pelo usuário, o jogo é gerado de forma automática (PINTO et al. 2016)

Este sistema permite aos tutores utilizar em metodologias baseados em realidade virtual e robótica de forma educacional. A proposta está sendo implementada no projeto SABERLÂNDIA, atualmente financiada pela FINEP, através do Edital FINEP/MCT/MEC para desenvolvimento de jogos educacionais para o ensino fundamental. (PINTO et al. 2016)

2.5.3 Kits educacionais de Robótica utilizando Lego

Os kits educacionais são desenvolvidos pelo Grupo Lego, uma empresa que tem foco na fabricação de brinquedos e que vislumbrou na robótica educacional, uma excelente oportunidade de crescimento para o seu negócio. Merece grande destaque pelo impacto positivo que causou na forma de como se pensa sobre a robótica. (LEGO GROUP, 2020)

Esses kits através da *LEGO Educational Division* proporcionam tecnologias simples e significativas, que fazem diferença no seu público alvo, crianças e educadores, proporcionando aos tutores, novas ferramentas que permitem criar novas possibilidades de transmitir conhecimentos. Atualmente há diversos kits, que variam desde os mais simples aos mais complexos, proporcionando uma progressão no nível de complexidade, possibilidades e custo. (LEGO GROUP, 2020)

2.6 Linguagens de programação

Vinculado ao desenvolvimento de kits robóticos torna-se necessário a utilização de linguagens de programação para que os sistemas desenvolvidos possam realizar as funções pré-determinadas.

Uma língua nada mais é do que um conjunto de simbologias, que formam um meio no qual as pessoas se comunicam. Existem inúmeros idiomas no mundo atualmente. Da mesma forma que para transmitir conhecimentos, de pessoas para pessoa, necessita-se uma linguagem comum para haver entendimento, para se comandar uma máquina também. E semelhante aos idiomas tradicionais, existem também inúmeras linguagens de programação.

O livro *Princípios da linguagem de programação* de Melo (2003), define o termo linguagem de programação como “um conjunto de recursos que podem ser compostos para construir programas específicos, mais um conjunto de regras de composição que garantem que todos os programas podem ser implementados em computadores com qualidade apropriada.” Além disso, o mesmo autor explicita que a linguagem de programa deve fornecer os recursos a serem usados por estes programas, tanto para sua confecção, quanto para interação com o usuário.

Segundo Santos (2018), no livro *Linguagem de programação*, “Uma LP (Linguagem de Programação) é uma linguagem na qual os programas são escritos e que faz uma tradução do algoritmo para uma linguagem que o computador entenda.”

Uma classificação muito usada quando se fala de linguagens de programação é o seu nível de abstração. Quanto mais próximo da compreensão humana convencional, mais “alto nível” ela é. Por conseguinte, quanto mais ela se aproxima da linguagem da máquina, mais “baixo nível” de abstração ela possui. (SANTOS, 2018, p. 16)

Apesar disso, sabe-se que nem todas as pessoas estarão aptas a lidar com uma máquina que possua um grau de abstração muito baixo. Poucas pessoas destinam tempo de sua vida para aprender “0” e “1”. Para tal, foram criadas as linguagens de programação com um alto grau de abstração, que consiste em comandos simples, muitas vezes apresentados em uma interface intuitiva, que esconde toda essa camada de complexidade e serve de “tradutor” entre o usuário e a máquina. Na sequência são abordadas a linguagem C/C++, *Processing*, Logo e *Python*.

2.6.1 Linguagem C/C++

Segundo Santos (2018) a linguagem C é extremamente versátil, pois pode ser usada nos mais diversos tipos de sistemas. Por ser uma das mais simples é muito usada em compiladores, o que a torna ainda mais “poderosa”. Ela foi desenvolvida por volta de 1970, por Dennis Ritchie, em parceria com Ken Thompson, no *Bell Laboratories*. Teve como predecessora a linguagem B.

A linguagem C é considerada uma linguagem de médio nível, pois, apesar de ser muitas vezes a linguagem de entrada para muitos programadores, por ser muito amigável e didática em programas simples, ela possui o conjunto de instruções necessário para acesso ao direto ao *hardware*, da mesma forma que linguagens de baixo nível, como por exemplo o “*assembly*”. (SANTOS, 2018, p. 18)

As principais características que o livro Linguagem de programação (SANTOS, 2018) ressalta sobre o C são:

Portabilidade: os programas em C são compilados, gerando um único executável. Assim, é possível compilar um programa escrito em C para qualquer máquina, desde que exista compilador C para ela. Na prática, existem compiladores C para quase todos os computadores.

Poder e variedade dos operadores: é possível trabalhar com funções matemáticas, criação e manipulação de arquivos de DOS⁶, dentre outras possibilidades. Isso tudo pode ser feito de forma simplificada, com adição de bibliotecas padronizadas, presentes na própria linguagem.

⁶ Sigla para *Disk Operating System* ou sistema operacional em disco.

Sintaxe elegante, estruturada e flexível: indicada para quem está começando a programar.

Acesso facilitado à memória e a todo o hardware, quando preciso: assim, é possível ir de um programa simples até o desenvolvimento de um sistema operacional.

Uso de procedimentos e funções para desenvolver sistemas desacoplados: sistemas desacoplados são sistemas onde é possível isolar pequenas partes para, por exemplo, encontrar erros sem causar nenhum dano ao restante do sistema.

Existem dois ambientes básicos que podem ser utilizados para o desenvolvimento da linguagem C. Podem ser desenvolvidos tanto em editores de texto e em compiladores normais, ou em ambientes integrados de desenvolvimento, conhecidos como IDE. (MELO, 2003; SANTOS, 2018).

2.6.2 Linguagem *Processing*

A *Processing* é uma linguagem de código aberto criada por Ben Fry e Casey Reas em meados de 2001, baseada nas linguagens BASIC e Logo, e a experiência prática que os desenvolvedores tiveram como alunos usando as outras linguagens mais complexas e menos intuitivas. O processamento é voltado para a criação de mídia visual e interativa, portanto, os primeiros programas começam com o desenho. Esta é uma forma de motivar alunos iniciantes, que não precisam escrever programas complexos, antes de conseguir algum resultado. (PROCESSING FOUNDATION, 2020)

Esta linguagem foi usada e testada com os tutoriais de ciência da computação da *Khan Academy* e provou-se eficiente. Além disso, segundo o site oficial desta língua, os laboratórios de pesquisa do Google e Intel usaram o *Processing* como ferramenta para prototipar novas interfaces e serviços. Empresas como *General Electric*, Nokia e Yahoo! usaram o *Processing* para visualizar seus dados internos. E por fim, o Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento da *New York Times Company* usou o *Processing* para visualizar a maneira como suas notícias viajam pelas mídias sociais. (PROCESSING FOUNDATION, 2020)

2.6.3 Linguagem Logo

Essa linguagem foi desenvolvida por Seymour Papert, um educador matemático, em meados dos anos sessenta, no MIT - *Massachusetts Institute of Technology*, de Cambridge, MA, Estados Unidos.

Segundo o site oficial do projeto (PROJETOLOGO, 2015):

Logo é uma linguagem de programação, isto é, um meio de comunicação entre o computador e a pessoa que irá usá-lo. A principal diferença entre logo e outras linguagens de programação está no fato de que foi desenvolvida para ser usada por crianças e para que as crianças possam, com ela, aprender outras coisas. A linguagem Logo vem embutida em uma filosofia da educação não diretiva, de inspiração piagetiana, em que a criança aprende explorando o seu ambiente - no caso, também criando "micro-ambientes" ou "micro-mundos" com regras que ela mesma impõe.

Como visto, esta linguagem é baseada em códigos e outros comandos simples, usada principalmente para ensinar robótica e linguagem computacional a pessoas que ainda não possuem experiência na área, sejam crianças ou adultos. Desse modo, demonstra muito bem a característica lógica do pensamento computacional, e através de comandos simples pré-programados, o executor consegue realizar diversas ações.

2.6.4 Linguagem *Python*

Perkovic (2016) descreve *Python* como uma linguagem de código aberto criada por programador holandês Guido Van Rossum em meados de 1980 enquanto trabalhava como programador no CWI (*Centrum Wiskunde & Informatica*, em Amsterdã, Holanda).

Segundo o mesmo autor, esta linguagem possui uma vasta biblioteca e uma ampla rede de colaboradores, o que somado a sua criação focada em ser uma linguagem projetada para deixar os programas bastante legíveis, a torna bastante popular e comumente torna-se a “primeira linguagem” aprendida por muitos programadores. (PERKOVIC, 2016)

É uma linguagem com diversos recursos, possui uma estrutura de escrita limpa e bastante semelhante a outras línguas concorrentes. Porém o seu principal benefício é o fato de ser uma linguagem de código aberto com registro OSI⁷. Este fato incentiva muito a criação de uma comunidade focada em estudar e melhorar cada vez mais a mesma. Os fóruns hospedam conferências e encontros, colabora no código além de auxiliar os iniciantes na língua, fornecendo tutoriais e exemplos. (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2020)

Esta linguagem tem fundamental importância neste projeto, pois é a principal base de comunicação com o dispositivo escolhido para ser o processador central do robô, o Raspberry Pi 4. Com ela, serão controlados os sensores de presença, câmera e sons provenientes do robô.

⁷ Modelo OSI (acrônimo do inglês Open System Interconnection). Representa um modelo de rede dividido em camadas.

2.7 Sistemas embarcados

As linguagens de programação são apenas formas de se comunicar com as máquinas. Estas também passaram por grandes evoluções com o passar dos anos, deixando de ser equipamentos gigantescos com pequena capacidade de processamento, para tornarem-se pequenos equipamentos, com capacidades de processamento surpreendentes.

Neste contexto, o termo “*field-programmable gate array*” (FPGA) vem ganhando cada vez mais força com a melhora tecnológica das últimas décadas, apesar de serem conhecidos por pessoas leigas como “minicomputadores” ou simplesmente “plaquinhas eletrônicas”, estes dispositivos mostram-se cada vez mais importantes no mundo atual.

O que os diferencia de um computador tradicional é a sua capacidade de armazenamento e processamento dentre outras limitações de *hardware*, causadas principalmente pela limitação no tamanho.

Costa (2014) no livro *Projetos de Circuitos Digitais com FPGA* descreve os como:

Tais equipamentos são conhecidos como sistemas embutidos ou embarcados e apresentam arquiteturas e limitações (capacidade de processamento e armazenamento etc.) diferentes de um computador. Diante disso, torna-se necessário o desenvolvimento de *software* e *hardware* específicos para esse tipo de equipamento. Surge, então, o conceito de sistema em *hardware* embarcado, que é a combinação de *hardware* e *software*. Por meio da implementação em *hardware*, lógica programável baseada em FPGA, é possível alcançar maior eficiência e rapidez na execução de determinadas tarefas, reduzir o tempo de desenvolvimento e aumentar a flexibilidade dos sistemas embarcados.

A principal utilização de sistemas embarcados é sem dúvida o processamento digital de sinais. A substituição de processadores digitais de sinais (DSPs) tradicionais por estes dispositivos nem sempre apresenta a melhor relação custo-benefício. Para realizar o processamento, cálculos matemáticos de grande ordem são realizados, e o que define a necessidade de uma substituição é a capacidade de processamento exigido por estes cálculos. (COSTA, 2014)

Além disso, a arquitetura utilizada em sua construção vem sendo aprimorada imensamente. O surgimento do método SoC (*System-On-a-Chip* - sistema em uma única pastilha), permite a viabilidade de aplicações com produção em grande escala. “A arquitetura de *hardware* de um sistema SoC embarcado pode conter um ou mais processadores, memórias, interfaces para periféricos e blocos dedicados” (COSTA, 2014)

Estes sistemas SoC, utilizando IP Cores (*Intellectual Property Cores*), que são pequenos blocos em *hardware*, também chamados de módulos, que executam tarefas específicas e são fabricados de modo a permitir a sua utilização em diferentes sistemas. (COSTA, 2014)

Segundo Costa (2014):

A nova tecnologia chamada sistema SOPC (*System-on-a-Programmable-Chip*), possibilita aos projetistas de circuitos digitais utilizarem dispositivos FPGA, com memória, elementos lógicos e um processador IP core em sua arquitetura interna, de modo que possam embarcar um computador ou sistema dedicado em *hardware*, em um único chip.

Dentre os sistemas embarcados utilizados atualmente destacam-se o arduíno, *raspberry Pi* e ESP32.

2.7.1 Arduíno

Segundo Galante; e Garcia (2014) “O Arduíno é um computador que se programa para processar entradas e saídas entre dispositivo e os componentes externos conectados a ele. É uma plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e programa.”

Figura 2 - Placa Arduíno MEGA 2560



Fonte: O autor (2020)

Martinazzo e Orlando (2016) descrevem o Arduíno, que pode ser visto na Figura 2 como uma plataforma microprocessada de baixo custo, baseada nos microcontroladores da Atmel, que possui diversos modelos, o que a torna flexível para diversas aplicações, além de

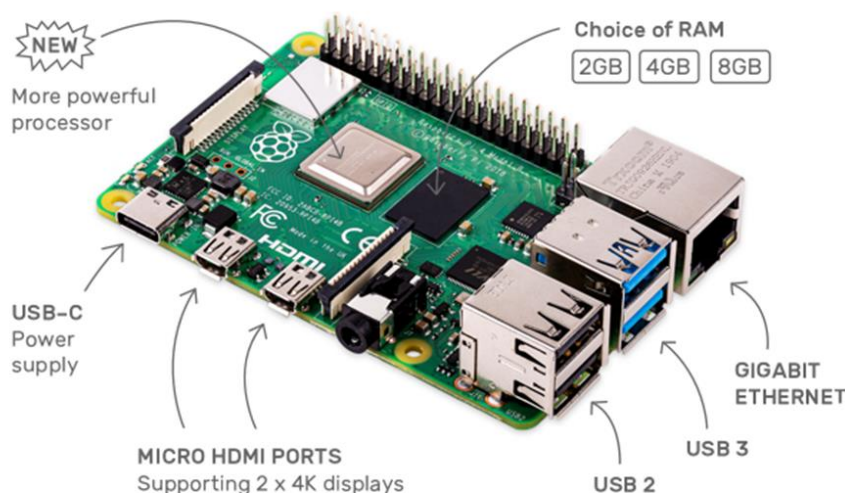
possuir fácil manipulação. Utiliza a linguagem de programação C/C++. Interage muito bem com o ambiente, por intermédio de sensores e atuadores e pode ser amplamente utilizada para aquisição automática de dados, facilitando processos de ensino e trazendo melhorias significativas para a aprendizagem.

2.7.2 Raspberry Pi

Segundo Pereira (2019), “O *Raspberry Pi* trata-se de um computador de placa única, onde todo o *hardware* é integrado em uma única placa”. O mesmo foi criado com o principal objetivo de implementar o ensino da computação básica em escolas, além de possibilitar a criação de inúmeros projetos e atividades. Ele veio para permitir “que pessoas de todas as idades possam utilizar ele para explorar a computação.”

Salvo limitações de *hardware*, este dispositivo apresenta todas as características que se esperara de um “desktop” convencional, possibilitando o acesso à internet, criação e edição textos e planilhas, execução de jogos e programas, além de apresentar uma imensa biblioteca e recursos relacionados a programação. Um exemplo pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - *RaspberryPi* 4B.



Fonte: RASPBERRY PI FOUNDATION (2020)

Este pequeno dispositivo, que custa na faixa de 35 dólares, se enquadra bem na definição de SoC, e é uma excelente plataforma para realização de estudos e trabalhos voltados à educação e melhorias científicas no geral.

2.7.3 ESP32

O ESP32 é uma placa de desenvolvimento de prototipagem rápida, desenvolvida para ser de baixo custo e possibilitar a implementação de um sem número de realizações, como por exemplo, câmeras. Ele é alimentado com uma tensão de 3,3 V e incluso no módulo um regulador de tensão para tal. (GUSE, 2019)

Figura 4 - ESP32 – CAM.



Fonte: Google imagens (2020)

Esta placa é especialmente útil por facilitar a implementação de sensores, assunto que será melhor detalhado na sequência, fazendo um tratamento prévio da informação recebida por estes dispositivos antes de encaminhar ao processador central do sistema. No exemplo demonstrado na Figura 4, faz-se a implementação de um sistema de câmera.

2.8 Sensores

Para executar de maneira satisfatória as funções que lhe são solicitadas, os robôs necessitam obter informações sobre o ambiente no qual estão inseridos. Para tanto, utilizam-se de dispositivos que captam as grandezas físicas do ambiente e transformam em sinais elétricos que podem ser interpretados pelo robô.

Os dispositivos mais usados para estas funções são, de forma comum, chamados de sensores. Eles possuem a capacidade de transformar alguma grandeza física, em um coeficiente elétrico a ser mensurado pelo sistema processador.

O livro Robótica móvel apresenta a definição de sensores sendo como qualquer dispositivo que tenha a função de interagir com o meio ao seu redor. Para funcionar

corretamente necessita de dispositivos que possibilitam retirar informações do ambiente e com isso, satisfatoriamente realizar a tarefa para qual foi programado, mitigando possíveis interferências ambientais. (ROMERO, 2014)

Podem ser classificados rudimentarmente em duas classes, ativos e passivos. “Os sensores ativos emitem pulsos de energia no ambiente e realizam estimativas a partir da energia retornada.” Enquanto os “sensores passivos realizam medidas a partir das informações externas disponíveis no ambiente, como por exemplo, temperatura e luminosidade.” (ROMERO, 2014)

O dimensionamento desses componentes é uma parte importante no projeto de qualquer robô. Os sensores têm suas próprias características, que devem ser levadas em conta, principalmente precisão, faixa de atuação, exatidão e sensibilidade. (ROMERO, 2014; MATARIC, 2014)

As suas limitações podem ser superadas utilizando-se de algumas metodologias de medição, principalmente utilizadas quando se faz uso de múltiplos sensores. A classificação dessa fusão de sensores foi definida por Romero (2014) no livro robótica móvel como:

Redundante. Quando a informação de um sensor é muito imprecisa, é comum considerar também a informação de mais um sensor, a fim de melhorar o processo de detecção. A redundância pode ser física, quando são usados sensores de um mesmo tipo [...].

Complementar. Quando os sensores fornecem informações diferentes. Por exemplo, em uma tarefa de busca e resgate, o robô pode usar sensores térmicos para detectar a vítima usando a informação de calor, juntamente com câmeras para eliminar falsas detecções por meio do movimento ou do reconhecimento da pessoa;

Coordenada. Quando os sensores são usados em uma dada ordem. Por exemplo, o robô em busca de pessoas pode inicialmente analisar sinais de voz. Se voz humana for detectada, então ele pode usar outro tipo de sensor, como câmera para validar a presença de pessoas.

Outro fator relevante ao se dimensionar os sensores são os seus atributos básicos. Estes atributos, se mal dimensionados, podem ocasionar erros na resposta desejada. Segundo o livro Robótica Móvel (ROMERO, 2014), os sete principais atributos são:

Campo de visão e alcance. O campo de visão corresponde à largura da região coberta pelo sensor, geralmente expressa em graus, enquanto o alcance é a extensão dessa região.

Acurácia e repetibilidade. A acurácia refere-se a quão correta é a leitura do sensor. [...]

Resolução. A resolução corresponde à menor diferença entre dois valores que podem ser detectados pelo sensor. [...]

Resposta no ambiente alvo. Alguns sensores podem não funcionar adequadamente em certos tipos de ambientes. [...]

Consumo de energia. Quanto maior for o consumo de energia de um sensor, menor será o tempo de operação de um robô. Sensores ativos consomem mais energia que sensores passivos, pois precisam emitir energia para extrair informação do ambiente.

Confiabilidade do hardware. Alguns sensores começam a produzir medidas incorretas quando operam a baixas voltagens.

Largura de banda. A largura da banda (ou frequência de varredura) mede a velocidade com que o sensor consegue fornecer um conjunto de leituras. Essa medida é expressa em hertz e está associada à quantidade de leituras que o sensor consegue fornecer por segundo. [...]

Porém, isto não é tudo. Como diz Galante e Garcia (2014) “Para o uso dos sensores, é necessário um sistema de aquisição de dados. Estes sistemas interpretam os dados transmitidos pelo sensor e a transformam em uma informação útil. Para isso, estudar-se-á as principais formas de sensores, e os dados, por eles transmitidos.

Os principais sensores que serão utilizados neste trabalho são: sensor de presença, sensores de captação de imagens (câmera) e sensor de temperatura.

2.8.1 Sensores de presença

Os sensores de presença são dispositivos com capacidade de realizar leituras de alguma grandeza física, detectar a presença de objetos ou pessoas em um determinado ambiente. Como exemplos são abordados com maiores detalhes dois modelos de aquisição dessas informações.

2.8.1.1 Sensores de ultrassom

Os sensores de presença baseados no sistema de ultrassom, são sensores que utilizam-se do princípio da velocidade de propagação do som no ar. São um excelente exemplo de sensores ativos, pois necessitam a cada período de tempo enviar ondas sonoras que refletem no ambiente ao seu redor e retornam, dando uma noção de distância do objeto, e se comparados com uma leitura anterior, podem informar uma mudança de estado do ambiente, detectando assim, a presença de uma pessoa. (MATARIC, 2014; ROMERO, 2014)

A operação mais comum do sensor ultrassom corresponde enviar um pacote sonoro, na faixa de 40 a 180 kHz, e, após um tempo de espera, conhecido como “*blanking time*”, começa ler os ecos do sinal sonoro enviado. Isso impede interferências do sinal transmitido, porém limita a percepção de barreiras que estejam a menos de 30 centímetros de distância. (ROMERO, 2014)

Em geral, espera-se que este tipo de sensor tenha um campo de visão de 30° e um alcance de 5 metros, o que torna muito comum o uso de múltiplos sensores, instalados de

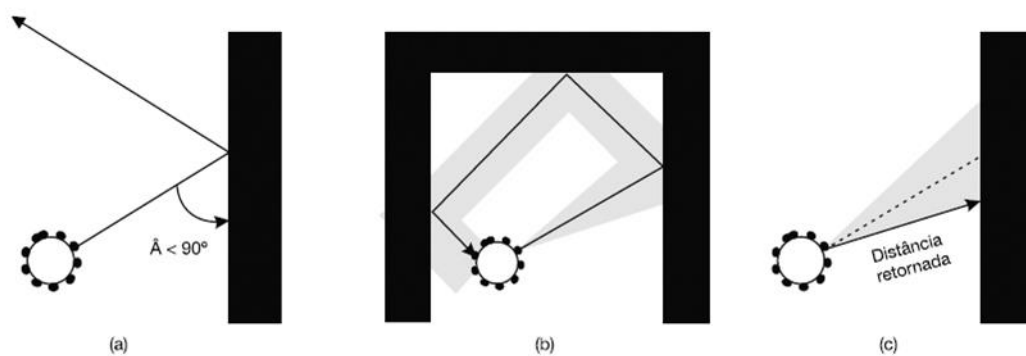
forma complementar, para cobrir o campo de visão desejado. Apesar de ser um sensor de baixo custo e de uso amplo, alguns problemas devem ser levados em conta, caso queira utilizá-lo. A “reflexão especular”, o “*cross-talk*” e o “*foreshortening*” como podem ser vistos na Figura 5. (ROMERO, 2014)

A “reflexão especular” acontece “quando o pacote sonoro atinge a superfície do obstáculo em um ângulo agudo, ele é refletido para fora do cone de visão do sensor. Esse pacote pode atingir outras superfícies e, após um certo tempo, retorna ao sensor.” Além do erro de informação gerado no sensor de origem, que pode não conseguir detectar a presença do objeto/pessoa, este também pode ocasionar um erro secundário, descrito a seguir. (ROMERO, 2014)

O “*cross-talk*” ocorre quando o sensor recebe um sinal advindo de um sensor vizinho. Cada sensor cobre uma área delimitada do ambiente, e que, em geral, as áreas de diferentes sensores não possuem interseção entre si. Devido à reflexão especular, é possível que um sinal emitido por um sensor seja recebido por outro. (ROMERO, 2014)

Por fim, “*foreshortening*” ocorre quando um dos lados do cone de visão atinge primeiro a superfície de reflexão do que o outro. Isso acontece quando a superfície não é ortogonal ao eixo acústico. Nesse caso, o valor retornado pelo sensor é menor do que o real. (ROMERO, 2014)

Figura 5 - Sensores de ultrassom



Problemas associados aos sensores de ultrassom: (a) reflexão especular, (b) *crosstalk* e (c) *foreshortening*.

Fonte: Livro Robótica Móvel; Romero (2014);

2.8.1.2 Sensores fotoelétricos

Outra forma de detectar a presença é através de sensores fotoelétricos. Seu custo é maior, porém seu funcionamento é mais confiável. Estes funcionam através de um dispositivo emissor de luz e um receptor, e com isso são capazes de identificar a presença ou ausência de um objeto/pessoa. (SOLOMAN, 2012)

Segundo o livro Sensores e sistemas de controle na indústria de Soloman (2012), todos os controles fotoelétricos são compostos por um sensor, uma unidade de controle e um dispositivo de saída. Os sistemas de sensores são vistos em sua totalidade, e não apenas o módulo de leitura do ambiente. Dito isso, os sensores são divididos em duas partes, uma fonte emissora de luz LED, e um detector, fotodiodo, que detecta a ausência ou presença de luz.

2.8.2 Câmeras

As câmeras são uma classe de sensores muito especial. Elas consistem de uma lente capaz de captar a luminosidade do ambiente em diferentes tons ou em cores. “A luz capturada é convertida e armazenada de forma digital, podendo representar apenas a luminosidade, no caso das imagens em preto e branco, ou ser representada pelas componentes básicas que formam uma determinada cor.” (MATARIC, 2014; ROMERO, 2014)

2.8.3 Sensores de temperatura

“Os sensores são dispositivos físicos que medem quantidades físicas”. A temperatura é uma grandeza física associada ao nível de energia e agitação das moléculas, que pode ser medida em escalas Celsius, Kelvin ou Fahrenheit. (MATARIC, 2014)

Os dispositivos destinados a obter informações referentes à temperatura o fazem das mais diversas formas. A mais comum é usar a variação da resistência elétrica com o aumento ou diminuição de temperatura. Os sensores mais comuns são os termopares, “*Resistance Temperature Detectors*” ou termo resistências (RTDs) e os termistores. (MARTINAZZO e ORLANDO, 2016)

Esta informação é útil, pois tem grande influência no conforto de um ambiente. Frio ou calor, podem gerar desconforto, o que é prejudicial em um ambiente de aprendizado, ou mesmo em um ambiente de descontração, que prejudica o descanso, devido à irritabilidade promovida por uma temperatura desfavorável.

Os autores Martinazzo e Orlando (2016) em seu artigo fizeram uma comparação entre três sensores de temperatura distintos, um termistor, um LM35 e o termômetro digital DS18B20, usando como plataforma processadora o arduíno, e comprovaram que, salvo as devidas variações de precisão e exatidão, todos desempenham satisfatoriamente sua função, tendo em vista os aspectos propostos neste trabalho.

2.9 Atuadores

Outro importante ponto de ressalva são os atuadores, sendo a forma de interação que os robôs utilizam para interagir com o meio no qual estão inseridos.

Segundo o livro Robótica móvel “os robôs devem ser dotados de mecanismos de atuação (motores) capazes de produzir as ações requeridas pelo robô a fim de executar uma determinada tarefa.” (ROMERO, 2014)

De acordo com o livro Introdução a robótica: “Todos os efetadores têm algum mecanismo que os permite fazer o seu trabalho. Um atuador é um mecanismo que permite que o efetador execute uma ação ou movimento.” (MATARIC, 2014)

Tais atuadores são divididos em três categorias: “motores de corrente contínua (DC *motors*), motores de passo (*stepper motors*), motores tipo servo (servo).” Também se ressalta a necessidade de um bom dimensionamento destes componentes para realizar satisfatoriamente as atividades desejadas. Este dimensionamento passa pelos critérios de comando, e modo de operação. (JUNIOR, 2019; ROMERO, 2014)

2.9.1 Motores tipo servo

“Os motores do tipo servo permitem usualmente um controle fino de posicionamento, segundo o qual possuem um mecanismo interno que, através de um controle do tipo PWM⁸, permite especificar o ângulo de posicionamento do eixo do motor.” Devido a estas características “os servos são muito usados em robôs articulados pedagógicos devido a sua simplicidade de uso e programação.”(ROMERO, 2014)

Normalmente estes dispositivos permitem uma variação angular limitada a 180° (graus), porém, com o uso do PWM além de uma pequena alteração de retirada de

⁸“*Pulse Width Modulation*” ou Modulação de Largura de Pulso

componentes, podem desenvolver rotação contínua controlando-se velocidade de rotação e não a posição propriamente dita. (BARBOSA, 2019)

2.9.2 Motores de corrente contínua (DC motors)

“Os motores de corrente contínua (*DC motors*) são os mais usados para realizar o deslocamento de robôs baseados em rodas, ou mesmo baseados no uso de esteiras. Um motor CC permite o giro nos dois sentidos (alterando a polaridade), bem como o controle de velocidade.” Eles apresentam a dificuldade de *hardware* pois não podem ser conectados diretamente ao controlador. A velocidade é definida pela tensão aplicada e o sentido pela polaridade. Estes motores não possuem controle de posição, e usualmente são utilizados em aplicações mais robustas, na qual a potência aplicada ao eixo é mais importante do que quantos graus ele se movimenta. (BARBOSA, 2019; ROMERO, 2014)

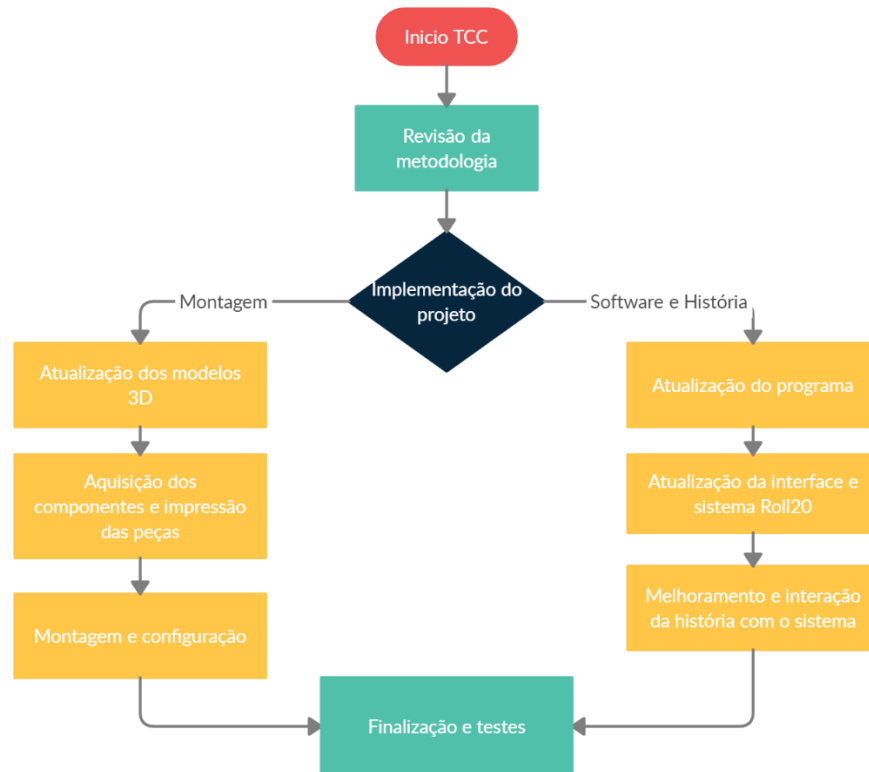
2.9.3 Motores de passo

“O motor de passo é um tipo de motor que possui uma alta precisão em termos do controle de seu giro, sendo usualmente adotado em dispositivos que requerem uma maior precisão de movimentos, como por exemplo, no controle do cabeçote de impressão de uma impressora ou *plotter*.” Apesar de sua altíssima precisão, que pode chegar a 200 passos por giro, estes motores são pouco utilizados devido ao seu elevado custo e limitações em relação à carga, que se não considerada, inutiliza o motor em poucos usos. (ROMERO, 2014)

3 METODOLOGIA

Para realizar este trabalho foi utilizado como base o procedimento metodológico mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Procedimentos metodológicos do trabalho



Fonte: O autor (2020)

Com o objetivo de aplicar os conceitos básicos da robótica assistencial para o desenvolvimento de um robô que promova maior interação social entre crianças, foi definida a utilização do método de RPG - “*Dungeons and Dragons®*”, pois engloba critérios para o desenvolvimento de tomadas de decisão, interpretação de papéis, localização ambiental, responsabilidade, e principalmente o fato de lidar com as consequências da ação tomada, atuando de uma forma divertida e interativa, além de ser previstas alterações de parâmetros e regras, para abranger infinitas possibilidades de histórias, tanto fictícias apenas para entretenimento, quanto reais, com fins pedagógicos.

A principal base sistemática que foi utilizada encontra-se disponível nos livros “*Player's Handbook*” (2014), e “*Dungeon Master's Guide*” (2014) que fazem parte da coleção “*Dungeons and Dragons®*”, 5ª edição, da editora americana “*Wizards of the Coast*”. Neles, pode-se encontrar um conjunto de regras básicas para a criação e manutenção de um

personagem e campanha, respectivamente, apresentando sistemas de combate, técnicas de narração e até pequenos guias para histórias.

Utilizando como base os livros supracitados, empregando as metodologias da robótica assistencial, desenvolveu-se neste trabalho uma “mesa⁹ interativa” composta do robô narrador assistente, que permitirá que o *Dungeon Master* (narrador/tutor), possa mesmo ausente interagir com os jogadores (crianças). Este sistema tem por objetivo, facilitar a implementação de todos os benefícios que o RPG traz, tanto para educação quanto para lazer, sempre buscando maximizar interações sociais.

Por sua vez o robô desenvolvido deve ter uma aparência aconchegante e inspiradora, para transmitir com fidelidade a história, previamente criada e narrada pelo mestre da mesa, com a finalidade de proporcionar um ambiente de lazer, ensino, além de aumentar ainda mais a interação social, tanto entre as crianças participantes, quanto com o narrador. O sistema desenvolvido prevê a instalação de uma câmera, e sensores de presença que darão uma visão global de como os jogadores estão interagindo com a mesa.

As ações previstas para o robô consistem na identificação de presença de pessoas no ambiente, narração de histórias pré-programadas pelo tutor bem como a execução de músicas utilizando os sistemas de gerenciamento de som do aplicativo Roll20, e, principalmente, interação em tempo real, com a supervisão do tutor, durante períodos mais longos. Os movimentos por ele executados devem possuir caráter lúdico e interpretativo, de forma a auxiliar na narração da história de modo a chamar a atenção da criança.

Os pontos de movimentação se restringem a cabeça e aos braços, tendo um atuador limitado a 120°, para o movimento da cabeça para evitar rompimento de fios por torção, já que os mesmos passarão pelo encaixe da cabeça.

Os braços possuem um atuador no ponto de junção limitado a 180°. Desta forma, ele poderá executar pequenos comandos previamente programados pelo tutor.

O controlador escolhido foi um *Raspberry Pi 4*, modelo que controlará todas as funções do aplicativo Roll20, incluindo tela de mapa e cenários, sistemas de som e câmera, enquanto um *Arduino Mega 2560* fica responsável pelo controle do acionamento dos atuadores, e sensoriamento do ambiente. Assim, o robô está apto a identificar a presença de pessoas no ambiente definido, e de acordo com a programação prévia executar movimentos e demonstrar as cenas de acordo com o desenvolvimento da história a ser contada.

⁹ Figura de linguagem muito usada por praticantes do RPG. Chama-se de mesa, pois efetivamente é o lugar mais comum aonde os integrantes, sejam crianças ou adultos, se reúnem para realizar as atividades relacionadas ao RPG.

Além de se apresentar com todas as funções necessárias, conseguindo substituir um notebook em aplicações mais simples, tem-se como base de aplicação o artigo de Zwetsloot (2019), que executou um trabalho semelhante e obteve sucesso utilizando o Raspberry.

A necessidade de um segundo controlador, é explicada no capítulo 4, onde são demonstrados os resultados obtidos no trabalho.

Para facilitar a implementação das regras do “*Dungeons and Dragons*®”, o aplicativo *web Roll20* foi utilizado, por integrar as funções necessárias de controle de cenário, câmera e som. O aplicativo possui versão gratuita além de ampla compatibilidade com os navegadores WEB disponível nas plataformas operacionais mais utilizadas.

A tela principal maior encontra-se focada no mapa apresentado pelo aplicativo, e fica disponível na altura das crianças como um tabuleiro digital. O mapa deve ser inteiramente controlado pelo tutor com um dispositivo remoto. O mesmo possui pleno acesso ao aplicativo afim de comandar os mapas, sons e “*handouts*¹⁰” mostrados para os jogadores. Cada uma das crianças participantes deve possuir e comandar seu personagem de forma manual. Não será previsto neste trabalho a utilização do sistema de “*tokens*¹¹” disponível neste mesmo aplicativo, por ser complexo e necessitar que cada criança tenha a sua disposição um computador, o que inviabilizaria o projeto. Isso não impede que algum tutor peça para as crianças criarem “*tokens*” físicos para representar seus personagens em alguma campanha.

Como as crianças devem interpretar papéis de personagens no decorrer da história, é excelente integrar este sistema com teatro ou aula de artes por exemplo, incentivando ainda mais o uso da criatividade, afim de criar fantasias, ou pequenos bonecos para representar seus personagens na história.

As funções de sensoriamento não presentes no aplicativo *Roll20*, como sensores de presença e temperatura, são monitorados através de outro aplicativo paralelo, presente no dispositivo remoto do tutor, bem como as ações de comando para os atuadores.

As rolagens de dados necessárias para o andamento do jogo podem ser realizadas tanto manualmente, caso as crianças possuam a disposição os dados físicos, ou de forma virtual, utilizando o próprio aplicativo *Roll20*.

¹⁰ Temo usado no RPG para indicar uma nota, anotação ou informação sobre um item, NPC, ou qualquer outro elemento da história.

¹¹ Pequenos bonecos que representam o personagem controlado pelo jogador. Podem ser confeccionados de forma física, ou serem apenas uma imagem em mídia digital.

3.1 Projeto da mesa

Como já citado anteriormente, o termo mesa, no RPG, consiste em uma figura de linguagem que engloba toda a estrutura por traz da história a ser narrada, seja ela com finalidade educativa ou apenas para entretenimento.

Para a realização deste trabalho, a principal fonte de inspiração consiste no artigo apresentado por Zwetsloot (2019) escrito para a revista *The MagiPi*, 86 edição, no qual ele apresenta a possibilidade de tornar mais interativa e tecnológica a metodologia do RPG.

Zwetsloot (2019) demonstra que nem todo *Raspberry* possui a capacidade de processamento necessária para desenvolver tal projeto e recomenda o modelo *Raspberry Pi 3 A+* ou superior. Desse modo, por estar executando mais funções na presente proposta foi utilizada versão *Raspberry Pi 4B*.

O sistema operacional utilizado compreende o *Raspberry Pi OS*, sucessor do *Raspbian*, disponível gratuitamente no site <https://www.raspberrypi.org/downloads>, sistema operacional oficial disponível para todos os modelos de *Raspberry Pi*. O mesmo é uma distribuição do sistema *open source*¹² Linux. Ele apresenta todas as funcionalidades necessárias para executar os comandos do aplicativo Roll20, além de fornecer suporte, com as portas programáveis GPIO (*General Purpose Input/Output*), que foi utilizado para o monitoramento da temperatura e acionamento de um *cooler* para arrefecimento do dispositivo.

Para o dimensionamento das partes do robô, foi utilizado o *software Autodesk Inventor*. Com ele foi definido a aparência das peças do robô, cabeça e corpo, bem como os suportes para monitor e braços. A aparência do robô busca ser amigável e atrativa para crianças, o que, somado com o intuito educacional do trabalho, delimita a faixa etária a idades até pré-adolescência, diferente do aplicativo e metodologia, que são usados por qualquer idade, sem nenhum prejuízo. Portanto, nada impede que todas as pessoas que tenham interesse se beneficiem deste trabalho.

O monitor definido foi o modelo da marca Samsung, o qual apresenta as imagens, enviadas pelo *Raspberry Pi* e gerenciadas pelo tutor, ou responsável por contar a história. Qualquer tela, monitor, ou até mesmo televisão, pode ser usada, desde que possa ser alimentada via HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) ou adaptador. Na seção 3.1.3,

¹² Sistema operacional, programa ou *software* que possui seu código fonte liberado, o que permite usuários uma liberdade de uso muito ampla, podendo modificar funcionalidades.

sugere-se um aplicativo que facilita a criação de mapas que podem ser implementados e melhoram ainda mais a interatividade e originalidade da história.

3.1.1 Sistema de movimentação

Considerando os recursos necessários para implementação do robô foi realizada uma análise com os principais servos disponíveis no mercado (Tabela 1). Os quesitos mínimos necessários buscados foram o ângulo de giro para a cabeça de pelo menos 120°, para permitir o movimento da cabeça e uma boa abertura do ângulo de visão da câmera. Este motor deve possuir uma capacidade de torque superior, devido ao peso estimado da cabeça, que deve incluir toda estrutura, câmera, microfones, alto-falantes, sensores e LEDs.

Todas as informações apresentadas a seguir foram confrontadas com os respectivos datasheets fornecidos pelos fabricantes, ou fornecedores. Os valores monetários apresentados na Tabela 1, foram pesquisados no segundo semestre do ano de 2020, no estado do Rio Grande do Sul, podendo sofrer grandes alterações de acordo com variações de mercado.

Tabela 1 - Comparação entre servos motores

Comparação entre Servos Motores							
Modelo	Peso (g)	Torque (kgf.cm)	Velocidade de operação (60°/s)	Tensão de operação (V)	Dead band width (µs)	Capacidade de rotação (°)	Custo (R\$)
MG996R	55	9,4 (4,8 V) - 11 (6 V)	0,17 (4,8 V) - 0,14 (6 V)	4,8 - 7,2	5	120	R\$ 37,91
MG995	55	8,5 (4,8 V) - 10 (6 V)	0,2 (4,8 V) - 0,16 (6 V)	4,8 - 7,2	5	120	R\$ 42,66
SG90	14,7	2,5 (6 V)	0,1 (90°/s) (6 V)	4,8 - 6	5 -- 7	180	R\$ 15,11
MG 90	14	1,8 (4,8V) - 2,2 (6 V)	0,1 (4,8 V) - 0,08 (6 V)	4,8 - 6	5	180	R\$ 24,90
PDI-6221MG	62	17,25 (4,8 V) - 20,32 (6 V)	0,18 (4,8) - 0,16 (6 V)	4,8 - 6	5	360	R\$ 122,46
SM-S4306R	45	5 (4,8 V) - 6,2 (6 V)	60 RPM (4,8 V) - 50 RPM (6 V)	4,8 - 6	5	360	R\$ 85,41

Fonte: O autor (2020)

O modelo tido como referência é o MG995 tendo um torque mínimo especificado de 8,5 kgf.cm. O peso estimado da cabeça, calculado através do *software Autodesk Inventor*, aproxima-se de 1 kg podendo, assim, este servo movimentá-la com relativa facilidade.

Para os servos que tem como função a movimentação dos braços, aonde encontra-se apenas LEDs, usa-se por referência o modelo mais simples SG 90. Sua capacidade de torque é menor, porém, o seu ângulo de giro é maior podendo atingir até 180°. Devido a representação dos LEDs, os braços necessariamente precisam ser ocos para a passagem da fiação, o que os torna mais leves.

SG 90 por ser um modelo bem mais simples, possui um tempo de resposta maior, podendo atingir os 7 µs. Sua estrutura também é consideravelmente mais leve, pesando aproximadamente 14,7 g, quando comparado ao MG995 que chega a 50 g.

Outro fator muito importante é a necessidade de uma alimentação externa aos controladores para atingir o nível de corrente necessária para todos os motores. O servo responsável pela movimentação da cabeça (MG995 ou MG996R) pode atingir uma corrente de máxima de até 2,5 A, o que supera sozinho a capacidade de corrente do controlador presente no *Raspberry Pi* 4B, que é em torno de 500 mA.

Para suprir esta necessidade foi utilizada uma alimentação externa advinda de um *Portable Charger* da marca Sony, em conjunto com um capacitor de 470 μ F. Ambos entregam uma tensão de 5 V e a capacidade do *Portable Charger* é de 8 Wh. O capacitor é utilizado para evitar que picos de corrente necessários na partida do motor causem oscilações.

Os tempos de operação e respostas, relativos aos servos, são importantes apenas a nível de programa pois os *delays* podem ocasionar erros de leitura e atrasos em outros processos que ocorrem de forma simultânea neste projeto, como por exemplo a leitura do sensor de presença, temperatura e umidade e o controle das cores do LED RGB, que exige um tempo de programa elevado.

Os tempos de execução de cada ciclo de programa devem estar em concordância com os limites apresentados pelo *hardware*. Inicialmente os mesmos foram avaliados e calculados tendo por base a frequência de operação do processador do *Raspberry Pi*, capacidade de cache¹³, transmissão e recepção de dados, bem como a utilização de seu microcontrolador responsável pela GPIO, porém assim que foi comprovada a imensa dificuldade em executar as multifunções na íntegra no *Raspberry*, os limites de execução dos motores passaram a se basear no processador do Arduino.

A execução de multifunções pode se dar de diferentes formas. A mais simples é o sistema conhecido como “*Pipeline*”, quando utilizado um único processador. Este sistema permite o início imediato de uma função, no exato momento que a função executada anteriormente passa para um novo estágio no processador. Porém para que o mesmo funcione corretamente as instruções tem de ser balanceadas no tempo, preferencialmente. Contudo quando são utilizados processadores mais simples e baratos a melhor forma é realmente a utilização de múltiplos dispositivos, para evitar que algum processo trave todo o sistema. (BAER, 2013)

Outro ponto passível de avaliação é sua temperatura de operação. Os modelos mais simples acabam se mostrando mais resistentes nesse quesito, tendo um range de operação de -

¹³ Memória de baixa capacidade de armazenamento, porém altíssima velocidade de leitura, que serve de intermediário entre um operador de um processo, normalmente o processador central, e o dispositivo de armazenamento em massa.

30 a 60 °, segundo especificações do fabricante. Os modelos mais caros, que apresentam mais funções e força acabam sendo menos abrangentes variando entre 0 – 55 ° em sua maioria.

Nesta avaliação também foi levado em consideração o custo destes materiais. Existem certamente no mercado produtos de melhor qualidade que poderiam ser utilizados para melhorar a aparência e qualidade do produto final, porém o custo destes inviabiliza a sua aplicação. A análise que leva em conta o custo benefício torna-se imprescindível para qualquer empreendimento, principalmente em um ramo tão concorrido quanto a engenharia.

A aquisição de materiais dimensionados de forma precisa para a aplicação é indispensável, principalmente quando se trabalha com recursos limitados. A melhora da tecnologia e a modernização dos meios de fabricação ampliam a disponibilidade de produtos e componentes, barateando o custo de implementação do trabalho e, permitindo a sua melhoria constante.

Esta análise financeira realizada demonstra que o investimento necessário para este projeto torna ele inviável sem um financiamento externo. Sendo limitado ao valor disponibilizado pela instituição, o mesmo seria impossível de ser executado.

Por motivos principalmente financeiros, os motores de passo 28BYJ-48 – 5 V *Stepper Motor* foram substituídos por servos motores. Para a movimentação da cabeça foi usado o Tower Pro MG995 DIGI HI-SPEED, devido a sua capacidade de torque e ângulo de giro compatível com o desejado para o projeto. Para as demais movimentações foram usados Tower Pro SG90 micro servo 9 g, apesar dos problemas que eles apresentam nos quesitos de controle de velocidade, torque e precisão no posicionamento.

A alimentação via fonte externa, além de proporcionar a corrente necessária para atuação também serve como uma proteção, no caso de alguma falha, apenas o fio que envia o sinal PWM encontra-se conectado ao controlador principal, seja ele o *Raspberry Pi* ou Arduino. Isso propicia uma segurança extra para o sistema.

3.1.2 Análise dos componentes

Por fim, apresenta-se uma análise dos componentes utilizados neste trabalho. O orçamento inicial estimado para este trabalho era de R\$ 1000,00. Alguns equipamentos essenciais já estavam em posse do autor, portanto não foram contabilizados neste orçamento. Destes destaca-se o monitor utilizado no *Raspberry Pi*, periféricos, como mouse e teclado e o *portable charger* SONY utilizados.

O item mais caro adquirido para este trabalho foi ao *Raspberry Pi*. Ele foi adquirido no dia 28/05/2020 sob um custo de 699 reais. Desde a data ele sofreu um acréscimo entre 12% e 24%. Da mesma forma que este equipamento, outros, que não foram comprados nesta mesma época, também sofreram reajustes.

A câmera por sua vez necessária para a transmissão de imagem robô, teve um custo de R\$ 64,00. O modelo selecionado foi o Sunny P5v04a de 5 MP (mega pixels). Ela utiliza o protocolo VGA (*Video Graphics Array*) para transmissão de vídeo e alcança uma resolução de 640x480 pixels, de forma a ficar abaixo do limite de processamento do *Raspberry Pi* que é 4k (3840 x 2160 pixels). Ela apresenta um conector *flat*, compatível com o *Raspberry Pi*. Câmeras com maior qualidade aumentam muito o custo, tornando inviável a aquisição.

O sensor de umidade e temperatura, do modelo DHT 11, teve um custo de aquisição de R\$ 15,00. Sua principal importância no trabalho, é fornecer ao narrador informações referentes ao conforto climático no ambiente onde encontra-se o robô.

O sensor de presença, do modelo MODULO-HC-SR501, teve um custo de aquisição de 14 reais. O mesmo possui um alcance de detecção de até 7 metros, o que é muito importante para implementações em salas de aula. Ele utiliza a lógica de comunicação TTL (*Transistor-transistor logic*), tendo como valor máximo de saída 3.3 V, podendo assim, ser conectado direto a uma porta analógica microprocessador sem a necessidade de resistor.

Para a saída de som do robô foi implementado um auto falante de 8 Ω , 0,5 W, com um custo de R\$ 25,00. Este componente é essencial para transmitir o áudio via o robô.

Para o sistema de iluminação implantado no robô, foram utilizados LED e resistores, comprados em conjunto em um kit, com um custo de R\$ 28,00. Estes representam mais uma forma de interatividade entre o narrador e os demais participantes.

A placa de Arduino mega 2560 foi um custo necessário, porém não previsto inicialmente. Sua necessidade é abordada em detalhes no capítulo 4. Representou um custo de R\$ 120,00.

Além dos sistema de movimentação do robô já abordado na secção 3.1.1, alguns componentes foram ainda mais afetados pelo fator financeiro e acabaram não sendo comprados para o trabalho, como por exemplo uma tela, especifica para o *Raspberry Pi*, que teria um custo de mais de R\$ 500,00, e o suporte para monitor e tabua para apoio do robô, itens que, em conjunto fariam o papel de uma mesa, orçados em R\$ 850,00.

Além do fato de o custo por si dos equipamentos adquiridos superar o orçamento inicial, totalizando um custo de R\$ 1181,00 que pode ser visto de forma sintetizada na Tabela 2 - Custos, a crise financeira decorrente da pandemia do Corona vírus que instaurou-se no

período de realização deste trabalho fez com que o custo inicial de R\$ 1000,00 já ficasse difícil de bancar.

Tabela 2 - Custos

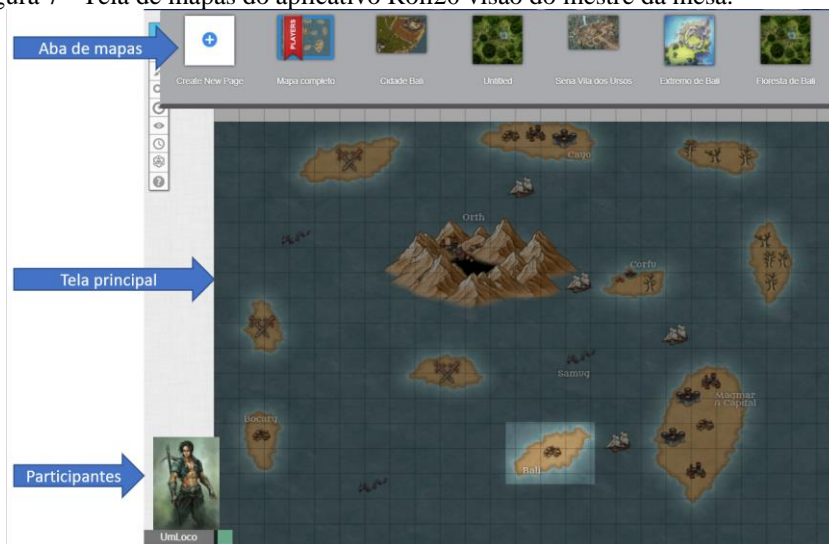
Custos	
Equipamentos	Custo de aquisição (R\$)
Raspberry Pi 4B	699,00
Câmera	64,00
DHT 11	15,00
MODULO-HC-SR501	14,00
Auto falante 8Ω, 0,5W	25,00
Kit LEDS	28,00
Arduino Mega 2560	120,00
(2 X) SG90	36,00
MG 995	40,00
Impressão 3D	140,00
Total	1181,00

Fonte: O autor (2020)

3.1.3 Descrição do Roll20

O Roll20 como já citado anteriormente é um aplicativo WEB que permite a criação de salas online, com a maior parte das ferramentas necessárias para execução do RPG, como, a tela de mapas, ferramentas de edição e rolagem de dados, além de permitir a participação remota, de pessoas que não necessariamente estejam presentes, o que é muito importante, principalmente em épocas de isolamento social.

Figura 7 - Tela de mapas do aplicativo Roll20 visão do mestre da mesa.



Fonte: O autor (2020)

O mapa mostrado na Figura 7 é um exemplo fictício criado pelo autor para ilustrar o aplicativo. A diferença de tonalidade que pode ser notada é uma funcionalidade bastante útil do aplicativo, conhecida como nevoa de batalha, que permite que os jogadores descubram o mapa aos poucos. No exemplo acima, o tutor teria esta visão, integral do mapa, os demais participantes, veriam apenas a parte que está em destaque. A parte mais escura estaria completamente preta e seria revelada apenas com o andamento da história.

Isto seria muito útil, por exemplo, em uma aula interdisciplinar que poderia envolver as disciplinas de história, geografia e filosofia, que teria como tema o descobrimento do Brasil. Os professores juntos elaboram a história e controlariam os personagens principais, as figuras históricas e os alunos assumiriam o papel, por exemplo, dos tripulantes que viajaram junto a Pedro Álvares Cabral.

Inicialmente os alunos estariam em Portugal, e não conheceriam o restante do mapa. À medida que, interagindo entre si e com os tutores, avançassem na história, alguma jogada de dados ruim os retiraria da rota, e com isso eles chegariam ao Brasil, ao em vez das Índias, como era o plano inicial. A parte de geografia ficaria a cargo da criação de mapas, que os próprios portugueses fizeram ao chegar aqui. E a parte de filosofia, seria, por exemplo, alguma interação que os alunos teriam com os NPC¹⁴, que seriam os índios já habitantes deste continente. Assim as crianças descobririam mapas reais, além de aprender como eles funcionam, integrado a questões filosóficas referentes aos povos nativos e tudo isso de forma interativa e divertida. Este exemplo funciona muito bem, e será demonstrado em maiores detalhes na seção História 3.2, pois além de ser relativamente simples tirar disso uma história emocionante, possui elementos surpreendentes como o *Plot twist*¹⁵, além de demonstrar melhor como funcionaria os elementos do RPG, quando usados para o ensino.

Um detalhe importante de se destacar, é o fato de ser uma história colaborativa, que possui o seu maior objetivo na interação entre as pessoas. Isto não é algo fácil de prever em um roteiro, portanto, quanto mais avança a história e mais interações se passam, mais o roteiro pode divergir da prática, devido a ações inesperadas propostas pelos jogadores. Um bom mestre deve saber lidar com estes imprevistos, e preferencialmente, encorajá-los, pois demonstra o interesse e a imersão dos jogadores para com a história.

¹⁴ NPC é uma sigla para *non-player character*, em tradução literal, personagem não jogável. No contexto do RPG, são personagens cujo curso da história não pode ser alterado, ou seja, eles possuem um papel fundamental que não deve ser mudado pela interação das crianças.

¹⁵Plot twist é o termo usado para descrever uma mudança radical na direção esperada de uma narrativa. Esta técnica é muito usada para manter o interesse do público alvo.

A rolagem de dados, citada acima também pode ser realizada de forma virtual através deste programa. É executada como um programa de randomização de números, mas o formato no qual o aplicativo entrega isso é interessante, e aumenta significativamente a imersão dos participantes. Um exemplo é mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Simulação de uma rolagem de dados.



Fonte: O autor (2020)

Outra função útil é o *player* de música. Ele permite que o tutor reproduza sons, músicas ou ruídos, enquanto narra à campanha¹⁶, sendo um elemento importante quando se trata de chamar a atenção das crianças.

3.1.4 Desenvolvimento de mapas

Para o desenvolvimento dos mapas foi utilizado o *software* online de criação InKarnate, disponível em <https://inkarnate.com/>. Este *software* gratuito permite a criação de diversos mapas que podem ser usados durante o desenvolvimento da história. Estes mapas serão mostrados na tela principal do robô, integrado ao aplicativo Roll20.

Com ele pode-se desenvolver mapas para mostrar tantos lugares reais, no caso de uma aula, quanto fictícios. Mapas são úteis para passar noções de distâncias, principalmente quando associados à ferramenta de medição do Roll20, além de estimular a organização espacial e criatividade. Um exemplo, criado pelo autor, pode ser conferido na Figura 9.

¹⁶ Temo usado no RPG para se referir a história que está sendo narrada. Porém é um termo mais amplo, que envolve, além do roteiro a possibilidade de interação e modificações, mediante ações tomadas pelos participantes, em suma, descreve a totalidade do jogo.

Figura 9 - Tela de criação, aplicativo Inkarnate.



Fonte: O autor (2020)

Na seção 3.2 é apresentado um exemplo de história criada pelo autor deste trabalho para ilustrar melhor uma forma de narração, além de exemplificar como as interações podem ser realizadas. Ressalta-se que o conteúdo da história baseia-se apenas no conhecimento prévio do autor, e para fins de citação deve ser considerado fictício, apesar de abordar acontecimentos históricos.

3.2 História

Diversos fatores devem ser avaliados antes de se criar a história. A primeira coisa que o *Dungeon Master* deve se perguntar é quanto tempo disponível para a campanha ele possui e quantos *players* ele terá envolvido na história. Isto definirá a profundidade dos detalhes da narração, quantos assuntos podem ser abordados, quantas interações e a forma como serão feitas tanto entre jogadores, cenário e quanto eventos específicos relacionados a história.

Dependendo da quantidade de matérias que querem ser abordadas na história, foca-se mais em um, ou outro aspecto. O tempo disponível vai influenciar muito na quantidade de detalhes que podem ser citadas para cada matéria.

Para o exemplo a seguir, é suposto um tempo de 1 hora, com 1 jogador e abordando as matérias iniciais de história, geográfica, educação artística e física. Vale lembrar que as

informações citadas a respeito dessas matérias não são o foco deste trabalho, apenas estão sendo utilizadas para demonstrar o funcionamento do robô. A fonte é apenas o conhecimento pessoal do autor, sem base em outras produções acadêmicas. Para vias de citação, considere tudo como fictício.

A cena inicial se passa quando o robô, após ligado, identifica a presença de pessoas na sala. Inicialmente ele intercala entre as cores principais do LED RGB (vermelho, verde e azul) para indicar o funcionamento. Neste ponto o *Raspberry* já está ligado e o aplicativo Roll20 sendo exibido no monitor. Em seguida a narração entra no primeiro estágio. Inicialmente o Robô traria em uma única cor do LED RGB, para evitar tirar a concentração do jogador. Fazendo uso do mesmo exemplo já apresentado anteriormente sobre o descobrimento do Brasil, a narração inicia descrevendo como eram as cidades em Portugal nesta época. O monitor mostraria alguma imagem de cidade medieval enquanto por som descreveria a cena.

O nível de profundidade de descrição da cena, deve variar de acordo com o objetivo do professor de passar informações. Um exemplo de fala pode ser conferido na sequência:

-Nossa jornada inicia em uma movimentada cidade medieval. Conforme a visão vai se aproximando vindo do céu para superfície, mais detalhes podem ser vistos. As plantações ao redor das muralhas tornam-se mais nítidas e alguns telhados das casas se destacam, entre os muitos feitos de palha ou tabua, poucos são os de telhas. À primeira vista, pode parecer uma cidade pobre, com suas casinhas pequenas de arquitetura simples, porém temos que por isso em contexto. Voltamos para meados de 1500, e para este ano esta é uma cidade muito próspera e rica. Aproximando-se ainda mais podemos ver uma rua de terra muito movimentada, porém os meios de transporte são desde as mais pequenas até as mais luxuosas charretes puxadas por cavalos. A concentração de pessoas a pé também é grande e em uma dessas que nossa câmera foca por um momento. Ele parece ser um oficial, e está afrente de uma estalagem pregando um anúncio em um quadro de avisos.

Este acima é um exemplo de início de narração. Na sequência, precisam ser apresentados os personagens principais, NPCs importantes e principalmente, o objetivo/problema a ser enfrentado pelos jogadores. Esta é uma parte muito importante, pois sem um objetivo claro, os jogadores podem perder o interesse facilmente, ou tomarem rumos não produtivos em suas interações. Um exemplo de chamada a problemática abordada pode ser vista na sequência:

- Em um tempo de prosperidade econômica, o Rei de Portugal decide expandir suas rotas comerciais e organiza caravanas com o objetivo de descobrir um caminho para as índias,

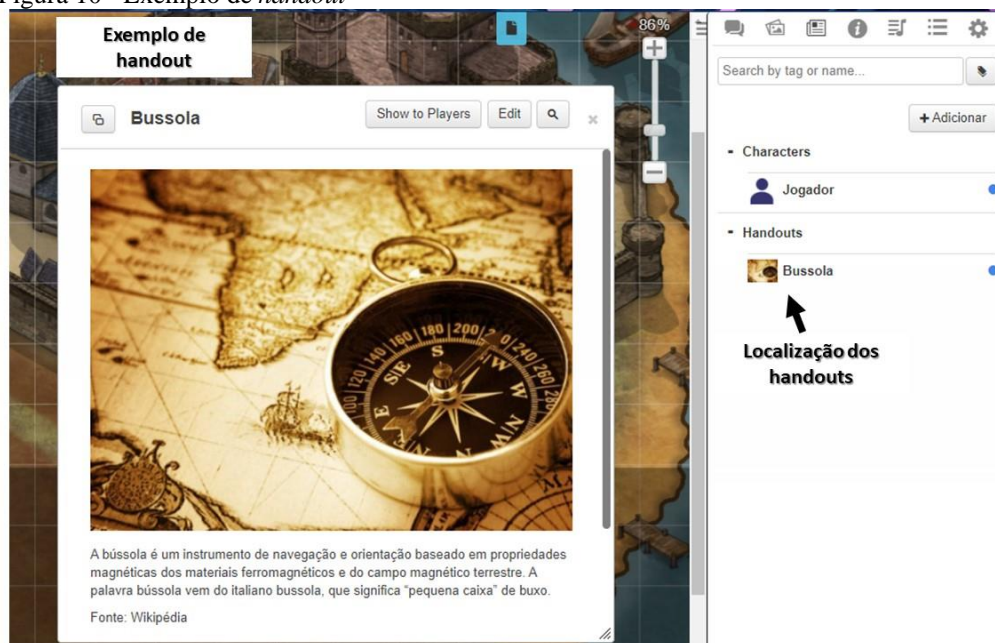
principal fornecedor de especiarias da época. Ele despacha seus mensageiros para fixarem os anúncios em todas as tabernas da cidade. “Precisa-se de marinheiros experientes que tenham interesse em trabalhar na frota real”.

Em seguida um exemplo de apresentação do personagem do jogador. Esta é a primeira grande interação do jogador com a história, logo, é muito importante que ele tenha tempo para falar e apresentar o seu personagem. Devem ser cobrados detalhes e a máxima precisão na descrição do mesmo, com foco na sua história pessoal, habilidades e objetivos. Algumas dessas informações podem ser citadas superficialmente pelo narrador, para introduzir o personagem.

-Nesse cenário o nosso personagem se mostra. Ele um marinheiro experiente, se vê afrente de uma taberna muito famosa da época lendo no quadro de avisos o recrutamento de novos marinheiros e resolve ir conversar com o capitão. Chegando lá, ele passa por uma espécie de entrevista na qual lhe é solicitado que conte mais sobre sua história e suas habilidades.

Neste ponto o jogador tem a sua primeira interação direta, tendo que contar com as suas palavras todas as informações do seu personagem. Aqui, cabe uma ressalva, os personagens devem ser criados com antecedência, podendo ser figuras históricas, ou simples figurantes.

A partir desse ponto, podem-se narrar todas as apresentações, caso tivesse mais que um jogador. A sequência da história se daria com a narração de uma passagem de tempo que representaria o tempo de preparação até a partida da caravana. Uma boa sugestão é pedir ao jogador o que ele gostaria de fazer nesse tempo, e fornecer mais informações importantes com base na decisão dele, por exemplo, se ele decidisse pesquisar mais sobre os navios, conte como eles são, como são construídos e o que levavam de suprimentos. Caso ele decida melhorar suas habilidades de navegação, fale sobre os astrolábios, bussolas, e mapas lunares e solares que eram utilizados para a localização na época. Programe antecipadamente *handouts* sobre essas informações e forneça-as de acordo com o andamento da história. um exemplo de *handout* pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de *handout*

Fonte: O autor (2020)

Na sequência, após a narração de partida dos navios, podem ser abordados assuntos como alimentação, higiene, navegação e confrontos. Pode se dar livre acesso a todas as partes do navio para que o jogador explore e vá descobrindo novos *handouts* e assim a informação das disciplinas são passadas de forma interativa. Em um determinado ponto da história pode ser solicitado ao jogador que faça testes e de uma forma interativa, dizer o resultado através dos LEDs nos braços do robô. Caso bem sucedido, liga o LED azul, caso falhe, liga o LED vermelho.

Um desses testes, focado na interpretação de mapas pode ser usado para desviar a caravana da rota inicial para as índias, e algum tempo depois de executado esse teste, entra-se na narração final deste exemplo, que seria uma descrição das terras que os portugueses avistaram quando descobriram o Brasil. Pode ser usada inclusive a própria feita por Pero Vaz de Caminha, escrivão da época. A ideia é narrar como se ele próprio estivesse falando, ou seja, interpretar seu personagem, para tornar a interação ainda mais efetiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

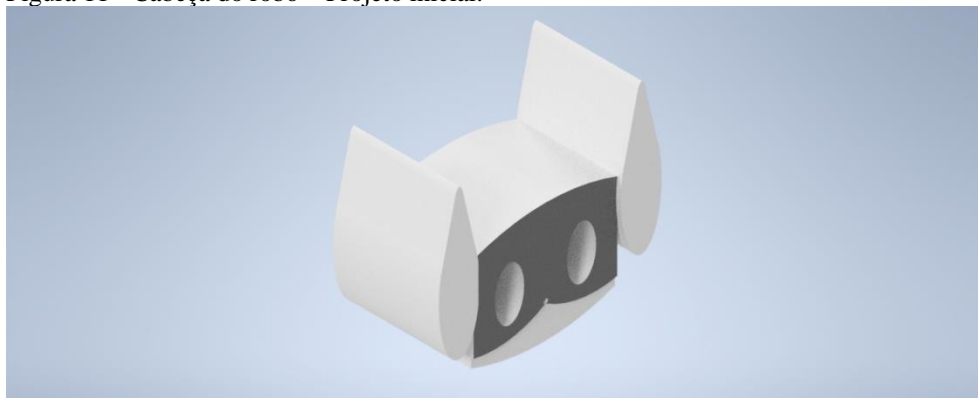
Nesse capítulo são apresentados os desenhos computacionais realizados por meio do *software Autodesk Inventor* e as peças impressas com auxílio de uma impressora 3D e montadas na sua disposição final. Por fim, os resultados dos testes realizados na mesa, apresentando os resultados positivos e negativos obtidos com a metodologia e análise que tornaram possível a implementação do robô e da plataforma afim de demonstrar a eficácia do sistema.

4.1 Partes do robô

Inicialmente foi desenvolvida a cabeça do robô, sendo a parte fundamental, conforme pode ser vista na Figura 11. Nas orelhas do robô encontram-se o sensor de presença e a captação de som do ambiente. A saída de áudio foi projetada na parte interna, e será direcionada para a parte frontal da cabeça. O sistema desenvolvido não possui abertura específica para saída de som, pois não foi constatado necessidade devido as demais aberturas presentes.

A câmera, por sua vez, encontra-se posicionada na pequena abertura localizada na parte central do rosto. Além disso, possuirá LEDs posicionados na parte de traz dos olhos, que fornecerão um leve brilho, enquanto ele estiver em funcionamento. A cor pode variar, caso seja relevante para a cena, atuando assim como um atrativo.

Figura 11 - Cabeça do robô – Projeto inicial.

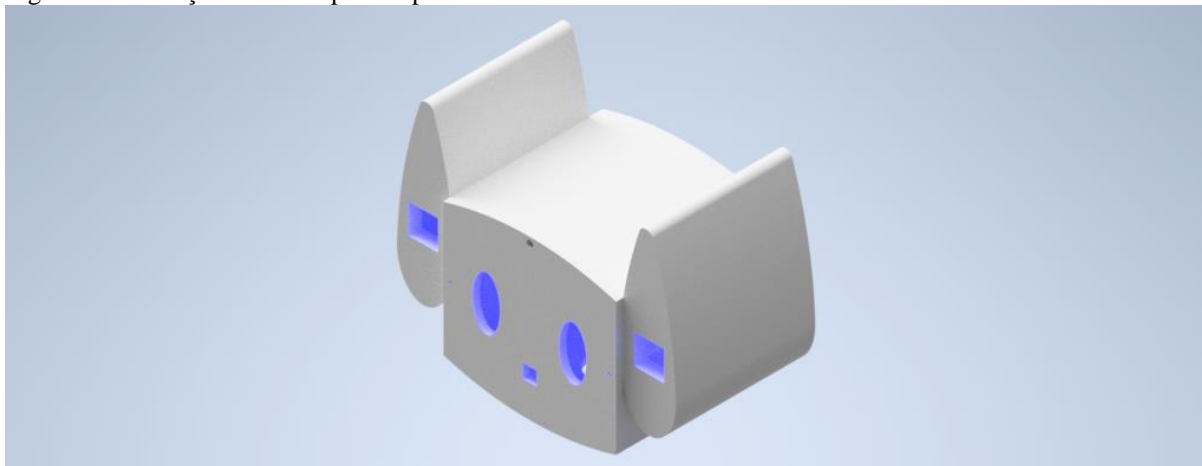


Fonte: O autor (2020)

O projeto na íntegra foi atualizado para impressão 3D. A cabeça foi separada em sete peças distintas, para possibilitar a impressão e facilitar a montagem. A Figura 12 mostra como as peças ficam após montadas. O brilho azulado que pode ser visto nesta imagem representa

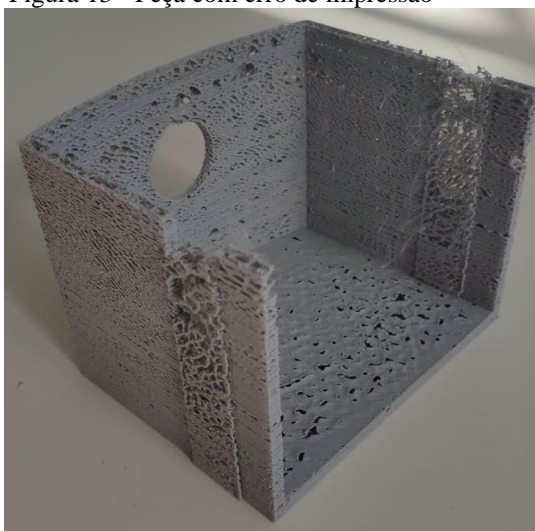
os LEDs que são posicionados na parte interna da cabeça. Todas as peças cotadas encontram-se nos apêndices no final desse trabalho.

Figura 12 - Cabeça atualizada para impressão 3D



Fonte: O autor (2020)

Figura 13 - Peça com erro de impressão



Fonte: O autor (2020)

Inicialmente foi realizada uma tentativa de impressão na impressora Cliver CL2 Pro de posse da instituição de ensino. A temperatura de impressão definida em 178° e a qualidade de preenchimento grossa¹⁷, afim de economizar recursos e reduzir o tempo de impressão. O resultado pode ser conferido na Figura 13. A peça ficou extremamente porosa e os encaixes irreconhecíveis, de forma a não ser possível utilizar no trabalho. Este defeito é conhecido

¹⁷ Cada aplicativo de impressão tem diferentes configurações e formas de preencher as paredes. A não ser em casos muito específicos, não se usa o preenchimento que deixaria a peça maciça. Em geral são usadas formas geométricas compostas do centro sem material.

como “super extrusão” e suas causas prováveis são: bico de extrusão entupido, filamento úmido, de feito no tracionado do filamento, ou impressora descalibrada.

Após nova avaliação financeira, as peças foram enviadas para uma empresa especializada em impressões 3D sob um custo extra de R\$ 140,00.

As impressões, realizadas pela empresa 3D FORFUN, se sucederam através de uma impressora 3D, modelo Ender 3 da marca Creality, amplamente utilizada na confecção de protótipos. A temperatura de extrusão definida foi de 200° e a mesa foi mantida a 50°. Esta temperatura deve variar, de acordo com a especificação do fabricante do polímero usado na impressão, e a temperatura ambiente do dia da impressão.

O material utilizado na impressão é o Ácido Polilático (PLA) que é um material biodegradável, atóxico e inodoro, cuja matéria prima utilizada para sua fabricação é extraída de fontes renováveis, como por exemplo o milho. O principal motivo para sua escolha reside no fato de ter temperatura de fusão relativamente baixa, boa aderência na mesa de impressão e pouca contração térmica, o que facilita muito o processo de impressão. (BACKES, 2020)

Na Tabela 2 é apresentada uma relação das peças, cada qual com seu respectivo apêndice, peso e tempo de impressão. Nos apêndices podem ser vistas todas as dimensões e vistas técnicas das peças.

Tabela 3 - Peças da cabeça

Peso e tempo de impressão das peças			
Apêndice	Nome da peça	Peso (g)	Tempo de impressão (horas)
Apêndice A	Apoio da cabeça	132	12:00
Apêndice B	Parte frontal da cabeça	46	03:30
Apêndice C	Tampa da cabeça	60	04:30
Apêndice D	Orelha LD	68	07:30
Apêndice E	Orelha LE	68	07:30
Apêndice F	Tampa da orelha LD	28	02:30
Apêndice G	Tampa da orelha LE	28	02:30

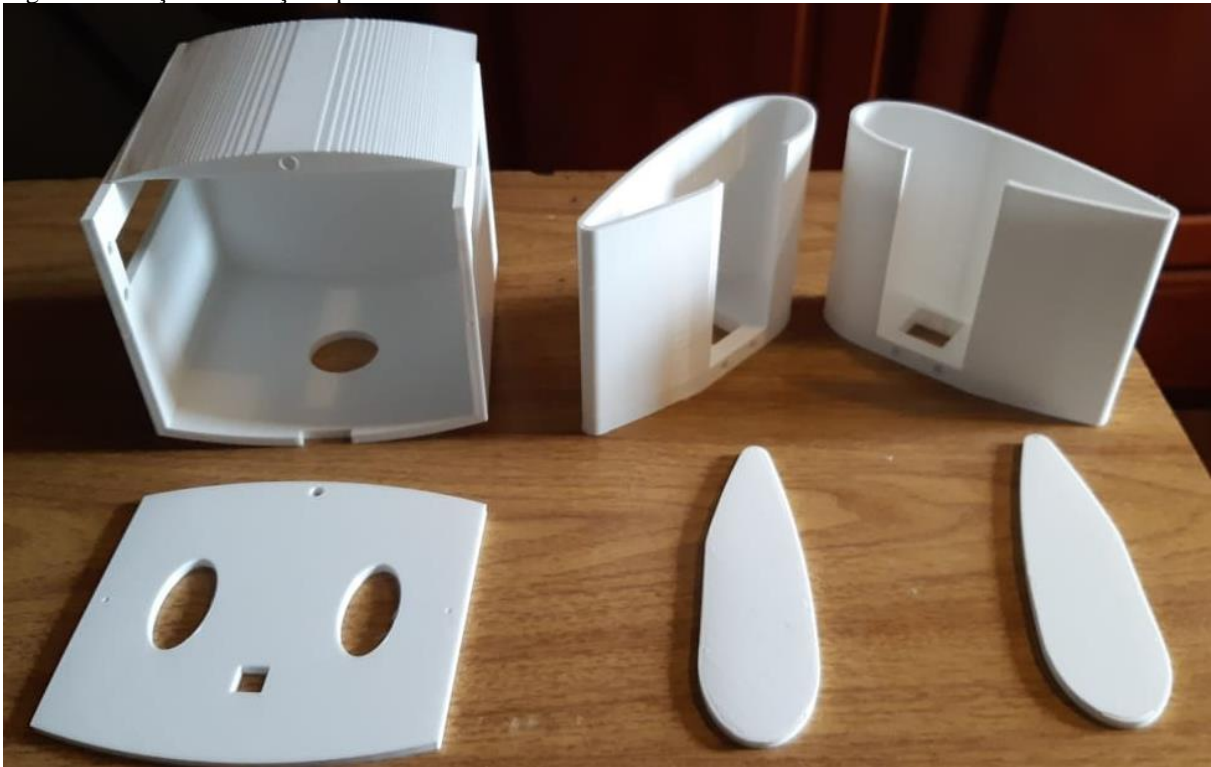
Fonte: O autor (2020)

Todas as peças foram projetadas para serem encaixadas, afim de facilitar a montagem. A peça denominada apoio da cabeça é a principal, como pode ser visto no Apêndice A, nela encontram-se os encaixes para as demais peças e espaço interno para instalação da câmera, microfone, saída de áudio e os LEDs.

Em ambas as orelhas, estão posicionados sensores. A tampa encontra-se presa na orelha através de um pino feito com arame. Devido a pequena espessura da parede da parte traseira das orelhas, aproximadamente 3 milímetros, foi descartado o uso de parafusos, para evitar o risco de quebrar a mesma. As orelhas foram afixadas no apoio da cabeça por meio de pequenos parafusos.

A peça denominada parte frontal da cabeça, abrigará a câmera, e foi fixada no apoio da cabeça utilizando pinos e cola, da mesma forma que a tampa da cabeça. As peças impressas podem ser vistas na Figura 14.

Figura 14 - Peças da cabeça impressas



Fonte: O autor (2020)

O corpo do robô, da mesma forma que a cabeça também foi atualizado na integra para facilitar a impressão 3D e melhorar o espaço útil interno. Foi pensado com foco na praticidade de montagem e posicionamento. O seu formato original pode ser visto na Figura 15. O mesmo perdeu grande parte de seu apelo visual, porém esta mudança foi necessária para o andamento do projeto.

Foram criadas um total de 5 peças em substituição do corpo original, conforme especificadas na tabela 3, aonde estão relacionadas e seus respectivos apêndices. Estas peças

foram impressas em uma segunda tentativa utilizando a nova impressora adquirida pela instituição de ensino.

Figura 15 - Corpo do robô – Projeto inicial



Fonte: O autor (2020)

Tabela 4 - Peças do Corpo

Peso e tempo de impressão das peças			
Apêndice	Nome da peça	Peso (g)	Tempo de impressão (horas)
Apêndice H	Pescoço	120	00:45
Apêndice I	<i>Case Raspberry</i>	164	09:30
Apêndice J	<i>Case Fonte</i>	214	15:30
Apêndice K	Braço LD	10	00:27
Apêndice L	Braço LE	10	00:27

Fonte: O autor (2020)

A peça principal do corpo é representada pelo case da fonte. Consiste em ser a maior das peças, e possui a função de abrigar uma fonte 5 V e um Arduino mega. A mesma serve de suporte para todas as outras peças, devendo assim, ser a mais resistente. Também possui o mesmo sistema de encaixe que o *case Raspberry*, possibilitando o encaixe rápido, conforme detalhado nos apêndices. A montagem destes componentes pode ser vista na Figura 16.

Foram acrescentados pequenos orifícios para circulação do ar no case para a fonte, para evitar o superaquecimento da fonte de alimentação e do Arduino, pelo mesmo motivo, a parte frontal do *case Raspberry* será mantida aberta. Para o *Raspberry Pi* foi incluído um *cooler*, posicionado logo acima de seu processador devido a necessidade de dissipação do calor gerado.

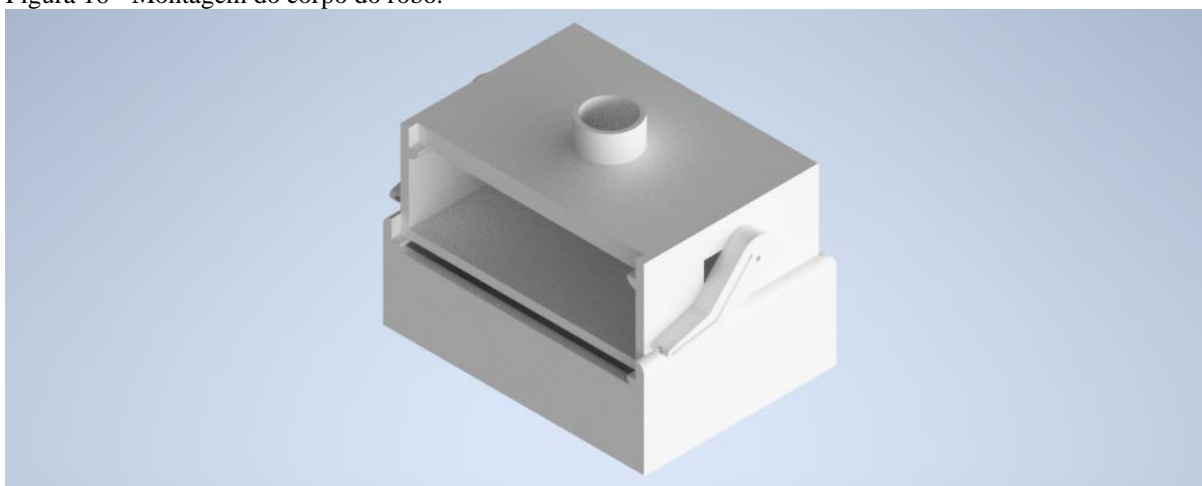
A peça central do corpo do robô é o *case Raspberry*, ao qual encontra-se colocado o *Raspberry Pi*, responsável pela conexão com a internet para o tutor remoto. Esta peça também

possui 2 servos motores responsáveis pela movimentação dos braços, anexados a lateral do *case*.

O pescoço é a peça responsável por sustentar toda a cabeça e alojar o servo motor que permite a sua movimentação. O mesmo também funciona como uma espécie de “tampa” para o *case Raspberry*, não necessitando de nenhuma forma de fixação, apenas sendo encaixada neste *case*.

Em ambos os braços foram posicionados LEDs, bem em sua extremidade. Estes poderão ser acionados pelo tutor durante a execução da história. A sua movimentação se dá através dos servos fixos no *case Raspberry*, também controlados pelo tutor.

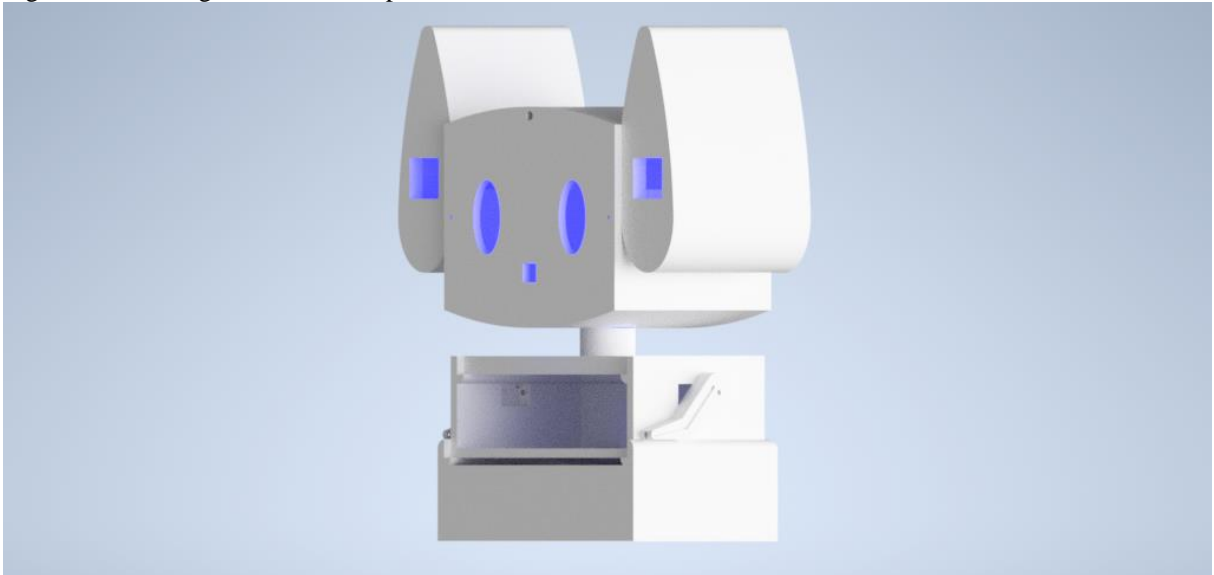
Figura 16 - Montagem do corpo do robô.



Fonte: O autor (2020)

A montagem do robô na íntegra pode ser conferido na Figura 17. O seu desenvolvimento se deu de forma prática, para que possa ser posicionado em qualquer mesa. Para o seu perfeito funcionamento, ainda precisa de um monitor, para mostrar os mapas e imagens para os jogadores, porém por falta de recursos, foi abandonado o projeto da madeira de sustentação para todo o projeto que seria confeccionada em MDF, OSB ou MDP, bem como o suporte para o monitor, tendo que o mesmo ficar de pé ao lado do robô. Tal fato apenas tem influência estética na apresentação deste trabalho, não apresentando nenhuma complicação no com fins práticos.

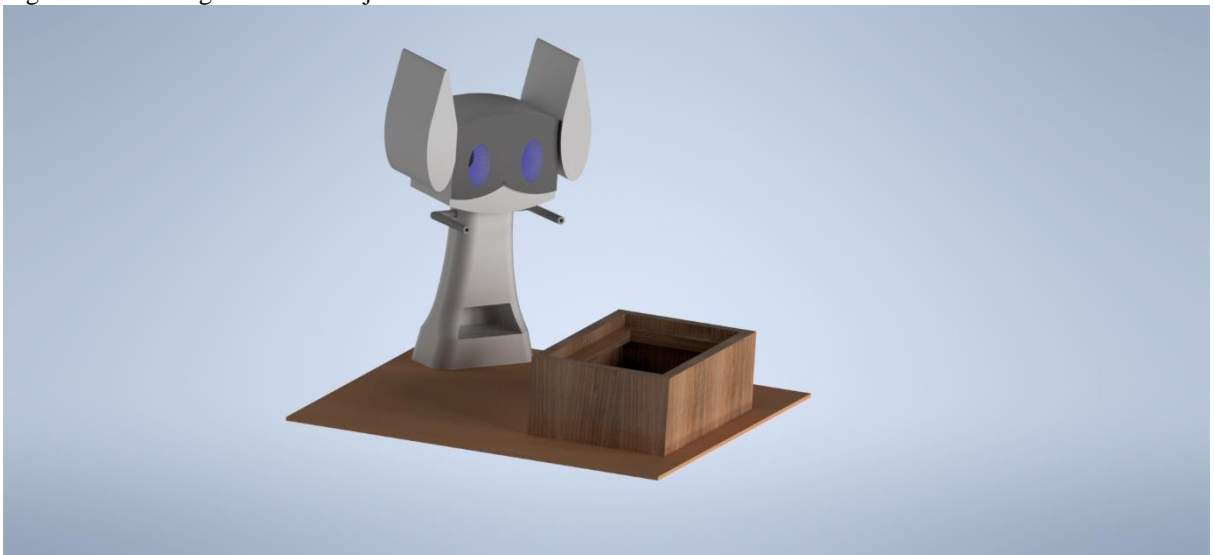
Figura 17 - Montagem do robô completa



Fonte: O autor (2020)

Por fim, apresenta-se na Figura 18, para fins de comparação, uma imagem do projeto inicial montado computacionalmente, do projeto inicial, apresentado no Projeto Interdisciplinar. Quando comparado a Figura 17, do projeto final, fica claro a redução no apelo visual, porém a ideia original permanece inalterada. Consiste em um robô que tem como sua função auxiliar na narração, função imprescindível em uma mesa de RPG. As crianças irão se reunir ao seu redor, interagindo entre si – propósito principal do trabalho – e com a história controlada pelo *dungeon master*.

Figura 18 - Montagem final – Projeto inicial.



Fonte: O autor (2020)

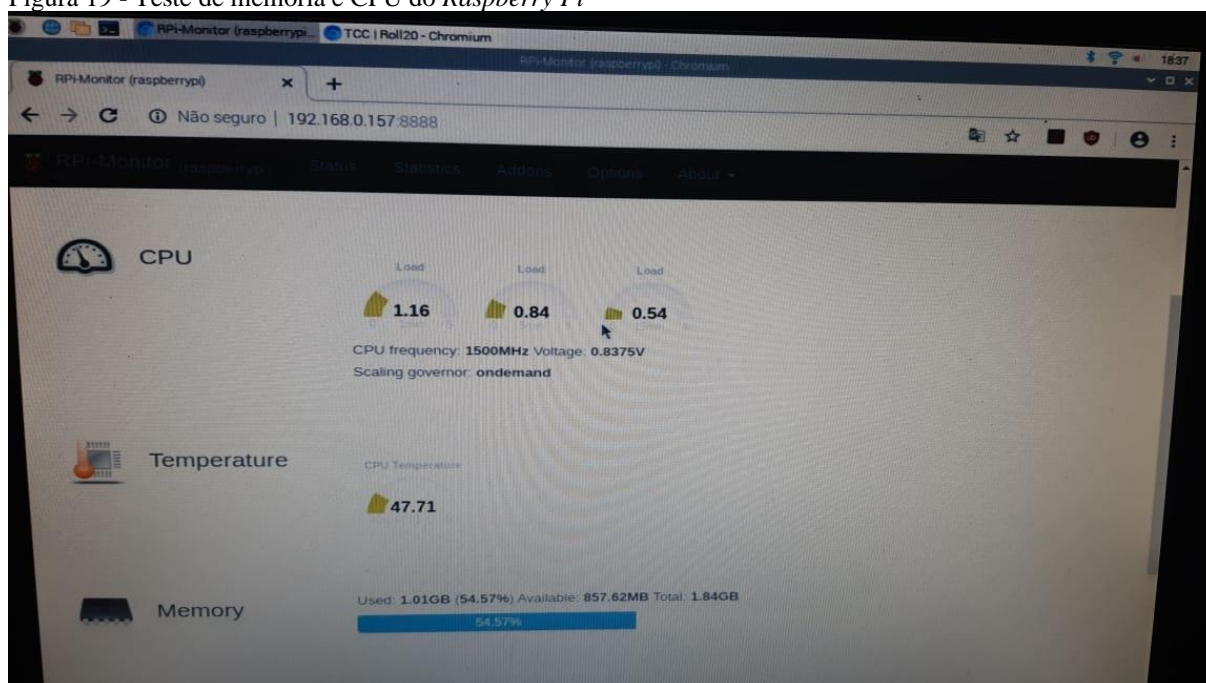
4.2 Testes

Com a montagem do robô foi constatada a incapacidade do *raspberry Pi 4B* realizar aquisição da imagem via câmera, executar o processamento de som, manter todas as funções do Roll20 operantes e em paralelo executar as demais ações programadas nos atuadores e sistemas de iluminação e sensoriamento.

Estando apenas carregado a página do Roll20, sem executar nenhuma função, pode-se conferir um uso de memória de mais de 50%. Para tal teste foi utilizado o API¹⁸ *RPI Monitor* que também fornece as informações de desempenho de CPU¹⁹ e a temperatura específica do CPU, como pode ser visto na Figura 19.

Executando funções de transmissão de imagem e som, necessárias para o *dungeon master* narrar a história, em conjunto com as funções de movimentação dos servos e controle da iluminação e presença, o uso de memória ultrapassa os 80%, ocasionando travamento e lentidão na execução das funções do Roll20.

Figura 19 - Teste de memória e CPU do *Raspberry Pi*



Fonte: O autor (2020)

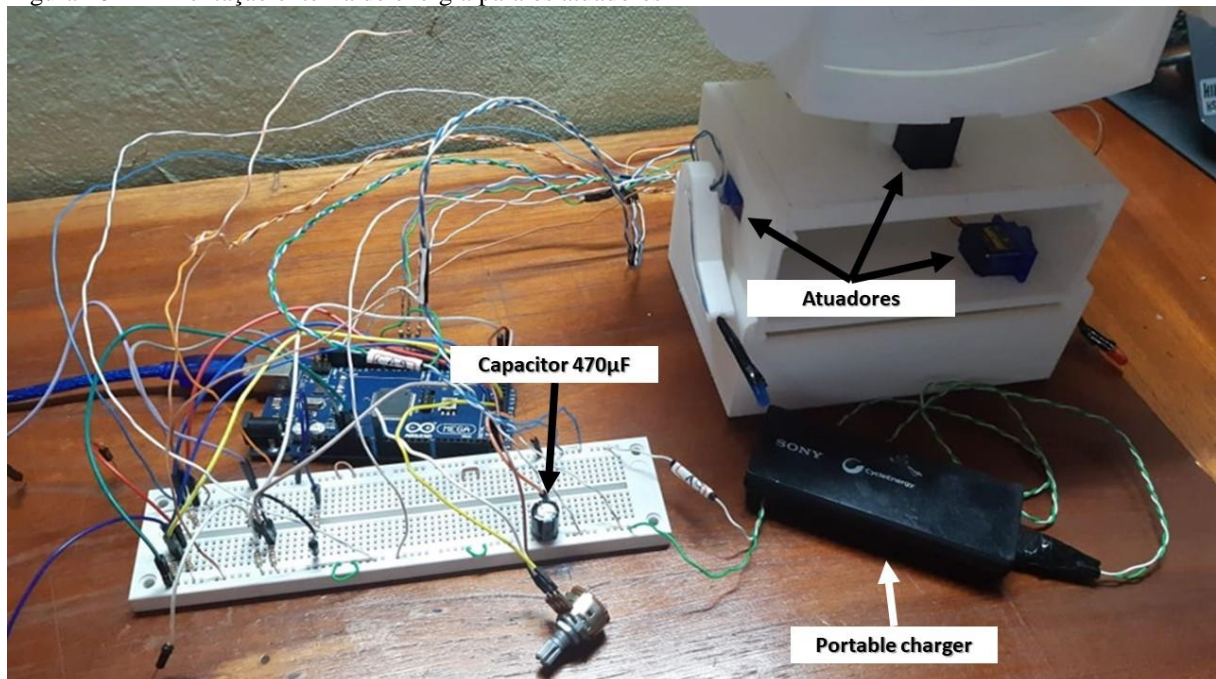
¹⁸ API do inglês “*Application Programming Interface*” pode ser traduzido como Interface de programação de Aplicações, estabelece um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos e utilizados por *softwares*.

¹⁹ CPU do inglês “*Central Process Unit*” pode ser traduzido como Unidade de Processamento Central. É o processador central do dispositivo.

Outro detalhe constatado foi que a capacidade de fornecimento de corrente, através da GPIO do *raspberry Pi 4B* não suporta a implementação dos múltiplos atuadores. O limite máximo de corrente de saída disponível na GPIO informado pelo fabricante é de 2 mA e sua tensão de saída é 3,3 V, o que impossibilita a conexão dos servos e faz com que a intensidade luminosa dos LEDs fique reduzida. Tal fato, em conjunto com fator financeiro, ocasionaram além da redução da quantidade de atuadores, na mudança da forma com que os mesmos foram implementados, porém, a resposta obtida não foi satisfatória.

Na tentativa de mitigar este problema foi utilizado um Arduino Mega 2560 em conjunto com uma forma de alimentação externa (*Portable Charger SONY* juntamente com um capacitor de 470 μF), para acionamento dos servos, como pode ser visto na Figura 20. Porém realizados os testes provou-se que a substituição dos motores de passo 28BYJ-48 – 5V *Stepper Motor* por servos não foi eficaz.

Figura 20 - Alimentação externa de energia para os atuadores

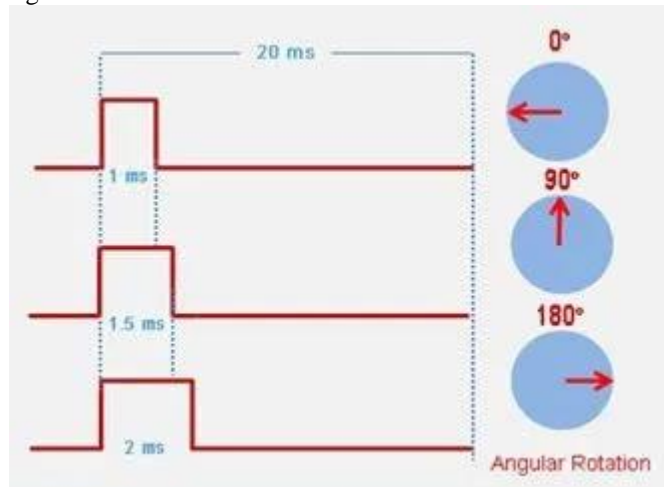


Fonte: O autor (2020)

Devido os fios necessários para o controle e acionamento dos diversos dispositivos presentes no robô, é necessário um controle da velocidade de posicionamento dos atuadores. Os servos não possuem uma forma de controle de velocidade intrínseca à eles pois seu posicionamento é controlado pela largura de pulso do PWM como pode ser visto na Figura 21, e a biblioteca *sevos.h* utilizada para o seu controle, não apresenta nenhuma solução de *software* para este problema. A execução do programa de posicionamento dos servos sem o

controle de velocidade ocasiona o rompimento dos fios de ligação dos demais itens bem como o descolamento de peças e componentes do robô.

Figura 21 - Pulso PWM



Fonte: AutoCore Robótica

Uma tentativa falha de executar um controle na velocidade de resposta dos servos aos comandos de posicionamento via alteração no programa, ocasionou a queima destes dispositivos, impossibilitando definitivamente a sua utilização.

Em um caso específico que pode ser conferido na Figura 22, a intensidade da velocidade de posicionamento do servo, somado ao equívoco no programa, causou danos físicos a própria estrutura do componente.

Figura 22 - Servo motor danificado



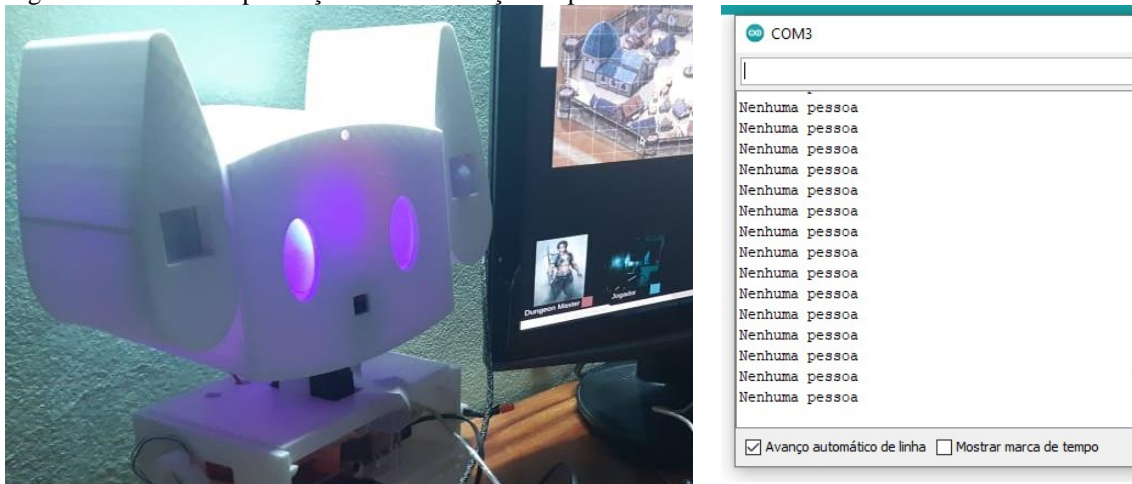
Fonte: O autor (2020)

Os demais componentes funcionaram perfeitamente. O mais complicado de calibrar foi o sensor de presença, devido as paredes das orelhas. O seu tempo de resposta foi ajustado para ser o mais lento permitido pelo dispositivo, e sua sensibilidade não superando aproximados 20%. Para demonstrar isso, o LED RGB foi programado para ficar roxo e o monitor serial exibir a mensagem “Nenhuma pessoa”, como mostrado na Figura 23.

Por sua vez, quando identificado movimento o LED RGB alterna entre as três cores básicas desse sistema (vermelho, verde e azul), e o monitor serial mostra a mensagem “DETECTADO” conforme mostrado na Figura 24.

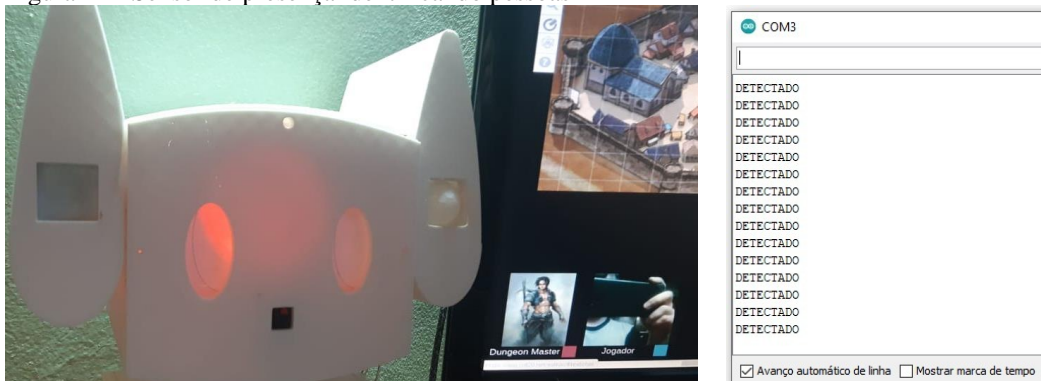
Para realizar a calibragem do sensor, bem como estes testes foi suprimida as demais partes do programa. O tempo de execução desta parte do código é de aproximados 3 segundos, devido a este fator o monitor serial repete o resultado, acumulando várias linhas como visto nas figuras 23 e 24. Devido ao fato desta informação ser apenas para o narrador, não houve necessidade de mudar a forma de apresentação da mesma.

Figura 23 - Sensor de presença sem identificação de pessoas



Fonte: O autor (2020)

Figura 24 - Sensor de presença identificando pessoas



Fonte: O autor (2020)

O acionamento dos LEDs dos braços é realizado através de botões. Uma vez pressionado o botão, o LED acende, pressionado novamente, o mesmo apaga. O tempo máximo que o botão tem de permanecer pressionado até o programa realizar a leitura é de 4 segundos. Este tempo é explicado devido ao *delay* do sensor de presença combinado com a sequência de acionamentos do LED RGB.

A comunicação da câmera com o *Raspberry* foi configurada através da linguagem *Python* utilizando a interface de comandos do próprio microcontrolador. O *streaming* apresentou baixa latência, e não atingiu a máxima eficiência disponível para o *Raspberry* devido a limitações de qualidade da própria câmera. (SCHEIDEMANTEL, 2015)

O sistema de transmissão de imagens, vídeos e som através do aplicativo Roll20 também funcionou perfeitamente. Para realizar estes testes, foi necessário utilizar um computador com acesso à internet e outra conta no aplicativo. Esta segunda conta foi configurada para ser o *Dungeon Master*, enquanto o robô faz o papel de jogador. Os testes se dividiram em duas etapas, inicialmente foi realizada a transmissão de informações do robô para o computador que assumiu o papel do narrador. Elas consistem no envio de voz, vídeo e a plena execução das funções do Roll20 em controle do jogador, que são, rolagem de dados, envio de mensagem de chat e sinalização de pontos no mapa. Todas funcionaram perfeitamente como pode ser conferido na Figura 25.

Figura 25 – Teste do Roll20, tela do dungeon master



Fonte: O autor (2020)

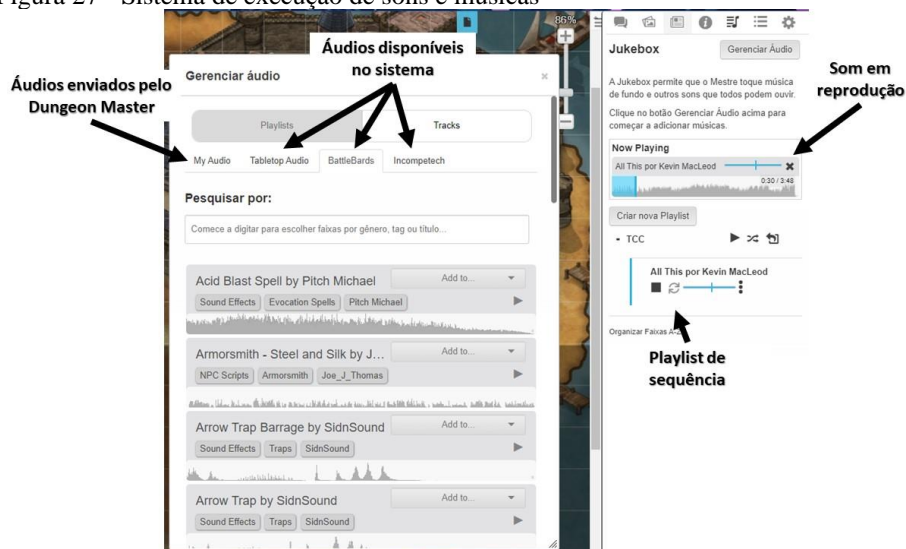
Figura 26 - Teste do Roll20, tela do jogador



Fonte: O autor (2020)

Em seguida, foi realizado os testes dos comandos do *Dungeon Master*. A parte de ocultação do mapa pode ser vista quando comparadas Figura 25 e Figura 26. Para os testes de reprodução de som foram utilizadas músicas sem direitos autorais, fornecidas pelo próprio aplicativo, o sistema de *play list* pode ser conferido na Figura 27. Vale lembrar que este sistema apenas reproduz sons e músicas em segundo plano, para complementar a narração. O áudio do narrador em tempo real funciona em conjunto com a transmissão de vídeo, porém nada impede de o *dungeon master* gravar partes da narração pré-definidas e executá-las por este sistema.

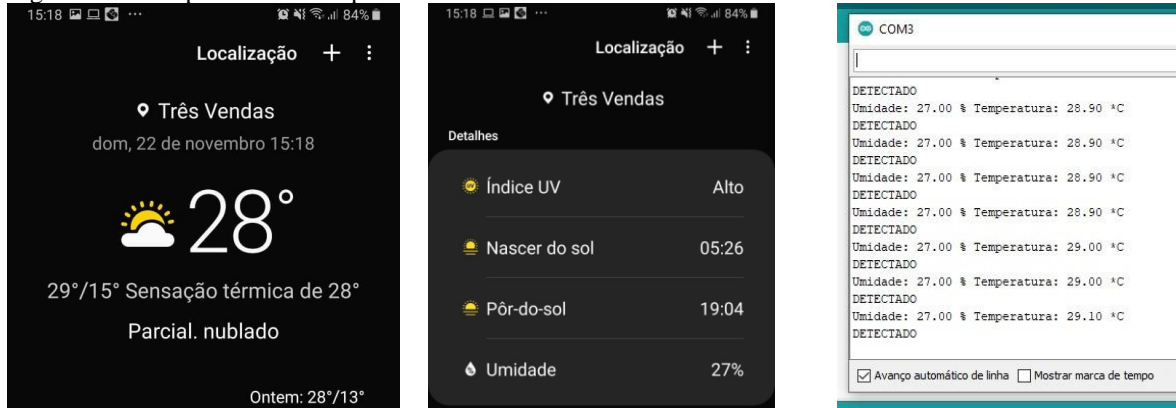
Figura 27 - Sistema de execução de sons e músicas



Fonte: O autor (2020)

O sensor de temperatura e umidade também funcionou perfeitamente conforme pode ser visto na Figura 28 comparando a leitura feita e enviada através do monitor serial e um print da temperatura mostrado pelo celular do autor. A pequena discrepância de temperatura pode ser explicada por diversos fatores, sendo o mais relevante o fato de a medição não ter sido feita exatamente no mesmo local, porém tal fato não inviabiliza o fator comparativo.

Figura 28 - Comparativo de temperatura e umidade



Fonte: The Weather Channel (2020); O autor (2020)

O último teste realizado foi um teste de estresse. O sistema inteiro foi deixado ligado por 24 horas seguidas afim de tentar identificar falhas na transmissão, aquecimento excessivo ou qualquer outro problema que pudesse surgir. Tudo funcionou perfeitamente, não tendo nenhuma carência no sistema.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um projeto de uma mesa interativa de RPG, utilizando a robótica assistencial com foco em auxiliar no desenvolvimento, aprendizagem e principalmente a interação social entre as crianças. Um desenho tridimensional de um robô foi desenvolvido para introduzir os circuitos integrados que foram dimensionados, bem como para elucidar os métodos utilizados, confirmando de maneira teórica os resultados esperados e, associando ao que se encontra na literatura.

Softwares de desenho computacional foram de suma importância para o projeto na modelagem e planejamento. Os aplicativos online, de forma semelhante, agem como facilitadores na elaboração, tanto do projeto quanto das futuras histórias que poderão ser narradas através dele.

O desenvolvimento da estrutura do robô demonstrou perfeita harmonia entre as peças, proporcionando um aspecto amigável e inspirador. A proposta de narração baseada nas teorias educacionais se alinha com método RPG, proporcionando assim, a interação desejada e associando a mesma a formas de buscar novos conhecimentos.

O fator financeiro teve enorme influência neste trabalho. A falta de recursos ocasionou a necessidade de substituir alguns componentes e até mesmo descartados outros. O mais marcante deles foi a substituição de motores de passo por servos o que levou, no final, a ausência de movimentação no robô, não afetando, porém, a efetividade do trabalho na íntegra.

Os procedimentos metodológicos aplicados, em conjunto com os resultados computacionais e práticos obtidos, comprovam o sucesso na aplicação da metodologia para alcançar os objetivos propostos para o trabalho, superando as falhas nos sistemas de movimento do robô.

A principal prova disso é o funcionamento perfeito de todo o sistema do aplicativo Roll20, operando no *Raspberry Pi*, transmitindo áudio e vídeo através da câmera e microfone instalado no sistema, executando sons em tempo real e programados pelo *dungeon master*, além de mostrar no monitor as imagens, mapas e *handouts* controlados pelo narrador, complementando e deixando a história apresentada mais interativa e atrativa para todos os envolvidos.

Outro fator que corrobora para o sucesso do trabalho é o perfeito funcionamento dos sensores tanto de presença quanto de umidade e temperatura, comprovados nos testes realizados.

Por fim, o trabalho apresenta diversas ferramentas de interatividade, tanto para o *dungeon master* quanto para os *players*. Infinitas histórias podem ser desenvolvidas e apresentadas utilizando este sistema como suporte para melhorar a interatividade entre as pessoas, tanto no ramo educacional quanto em uma simples e divertida mesa de RPG com os amigos.

5.1 Perspectivas para continuação do trabalho

Para continuação do trabalho sugere-se a abordagem dos seguintes tópicos:

- Otimização do sistema de movimentação do robô;
- Criação de novos métodos lúdicos e interativos.
- Implementação dos recursos que não foi possível devido a fatores financeiros.
- Realização de testes práticos em grupos de RPG ou salas de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

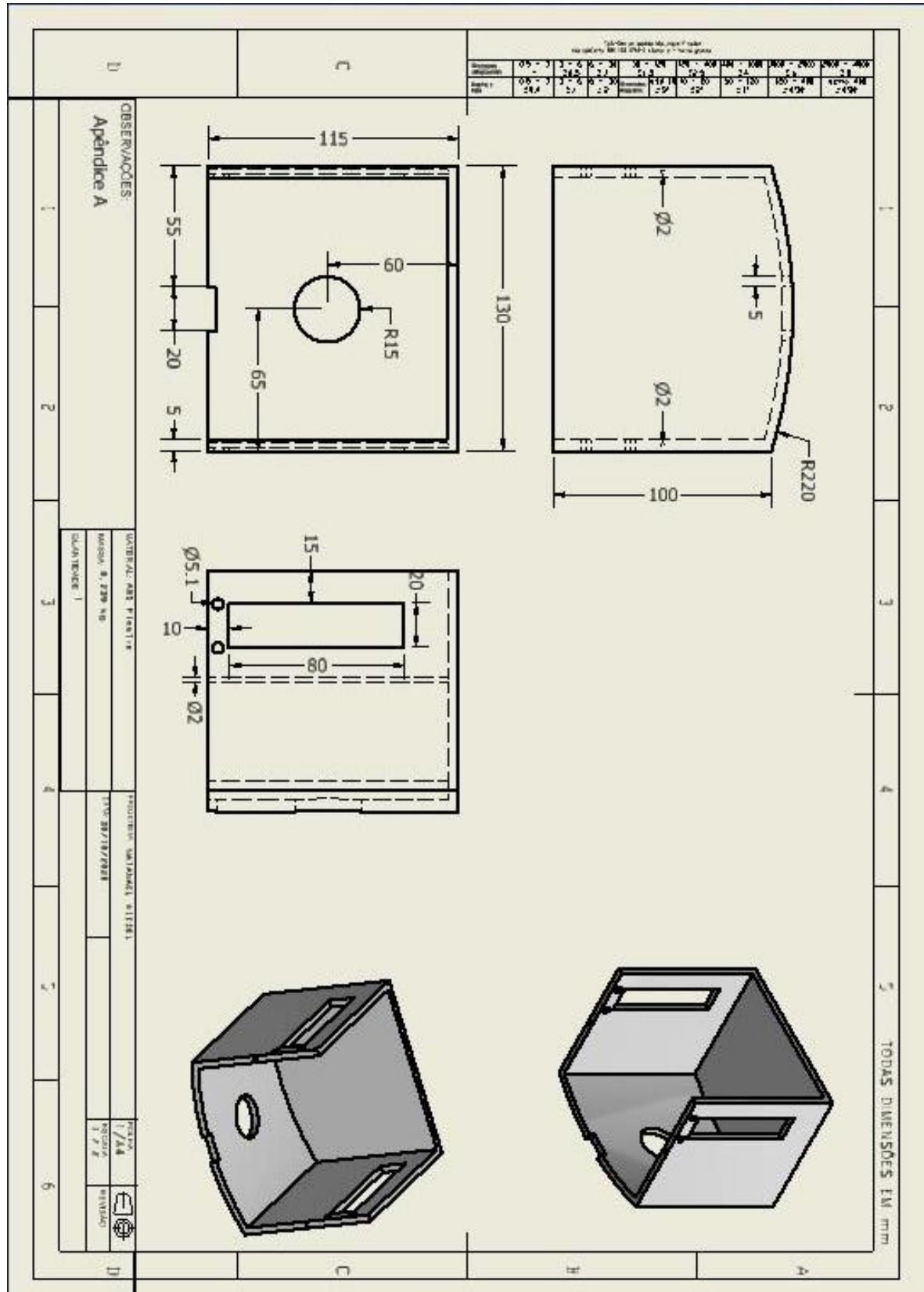
- ASSANTE, L. S. **A inclusão do robô humanoide NAO como recurso tecnológico no processo do ensino-aprendizado da língua portuguesa na educação especial**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, v. Dissertação, 2016.
- BACKES, E. H. **Desenvolvimento de biocompósitos de POLI (ácido láctico)/biocargas para impressão 3D de SCAFFOLDS para engenharia de tecidos ósseos**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2020.
- BAER, J. L. **Arquitetura de Microprocessadores - Do Simple Pipeline ao Multiprocessador em Chip**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- BARBOSA, S. R. **Robótica Educacional: Experiências Inovadoras na Educação Brasileira**. Porto Alegre: Penso Editora Ltda, 2019.
- BASTOS, P. M. S. **Robótica de assistência e seus aspectos humanitários**. Minas Gerais: [s.n.], v. Monografia, 2014.
- BRASIL, M. D. E. E. D. D. S. D. E. F. **Referencial curricular nacional para a educação infantil**. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- COSTA, D. C. **Projetos de Circuitos Digitais com FPGA**. São Paulo: Érica, 2014.
- DUNGEONS & DRAGONS. **Dungeon Master's Guide**. [S.l.]: Wizards of the Coast, 2014.
- DUNGEONS & DRAGONS. **Player's Handbook**. [S.l.]: Wizards of the Coast, 2014.
- FILHO, I. A. S. **O RPG na sala de aula: Uma proposta de ensino da oralidade por meio da abordagem neurolinguística**. Cajazeiras: Universidade Federal de Campina Grande, v. Monografia, 2019.
- GALANTE, A. C.; GARCIA, R. F. Sistema de aquisição de dados de sensores de baixo custo baseado no arduino. **ConBAP**, São Pedro - SP, Artigo, 2014.
- GUSE, R. filipeflop. **Câmera IP: Cuide do seu bebê com o ESP32-CAM**, 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/esp-32-camera-ip/>>. Acesso em: 28 Junho 2020.
- ILLERIS, K. **Teorias Contemporâneas da Aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2013.
- INKARNATE. **Inkarnate**, 2020. Disponível em: <<https://inkarnate.com/maps/>>. Acesso em: 10 Maio 2020.
- JUNIOR, P. A. P. E. A. **Robótica**. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO S.A., 2019.
- KIM, H. J. AN ENCYCLOPEDIA OF ROLE-PLAYING GAMES. **Darkshire**, Maio 2008. Disponível em: <<http://www.darkshire.net/jhkim/rpg/encyclopedia/>>. Acesso em: 27 Junho 2020.

- LEGO GROUP. LEGO. **LEGO® Education**, 2020. Disponível em: <<https://education.lego.com/en-us>>. Acesso em: 27 Junho 2020.
- MAGAZINE LUIZA S/A. **magazineluiza. Magalu**. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/kit-7-dados-rpg-de-mesa-opaco-perolado-d4-d6-d8-d10-d12-d20-d10-cor-azul-1-bolsa-koko/p/kg96adab32/br/oujg/>>. Acesso em: 27 Junho 2020.
- MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduino. **Curso de engenharia elétrica da Uri Erechim**, Erechim, 2016.
- MATARIC, M. J. **Introdução a Robótica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2014.
- MELO, D. A. C. V. **Princípios de linguagem de programação**. 3. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2003.
- MICHAELIS. **Dicionário Michaelis**. [S.l.]: Editora Melhoramentos Ltda, 2020.
- MISES, L. V. **Ação Humana**. 3.1. ed. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2010.
- MITCHEL, R. **Jardim de Infância para a Vida Toda: Por Uma Aprendizagem Criativa, Mão na Massa e Relevante para Todos**. Porto Alegre: GRUPO A EDUCAÇÃO S.A., 2020.
- PEREIRA, D. S. A. **O uso do Raspberry Pi como ferramenta de apoio pedagógico no ensino fundamental**. Capitão Poço - Pará: Universidade Federal Rural da Amazônia, v. Monografia, 2019.
- PERKOVIC, L. **Introdução à Computação Usando Python - Um Foco no Desenvolvimento de Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.
- PINTO, I. M. E. A. **Saberlândia: Plataforma lúdica integrando robótica e multimídia para educação**. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande – FURG, 2016.
- PROCESSING FOUNDATION. **Processing Foundation**, 2020. Disponível em: <<https://processing.org/>>. Acesso em: 27 Junho 2020.
- PROJETOLOGO. **ProjetoLogo**, 2015. Disponível em: <<https://projetologo.webs.com/texto1.html>>. Acesso em: 27 Junho 2020.
- PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python**, 2020. Disponível em: <<https://www.python.org/about/>>. Acesso em: 31 Outubro 2020.
- RAMOS, R. C. **Análise de projetos de robótica para criança em idade pré-escolar desenvolvidos em escolas da região sul da cidade de São Paulo e em escolas no norte de Portugal**. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, v. Tese, 2018.
- RASPBERRY PI FOUNDATION. raspberrypi. **Raspberry Pi**, 2020. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>>. Acesso em: 28 Junho 2020.

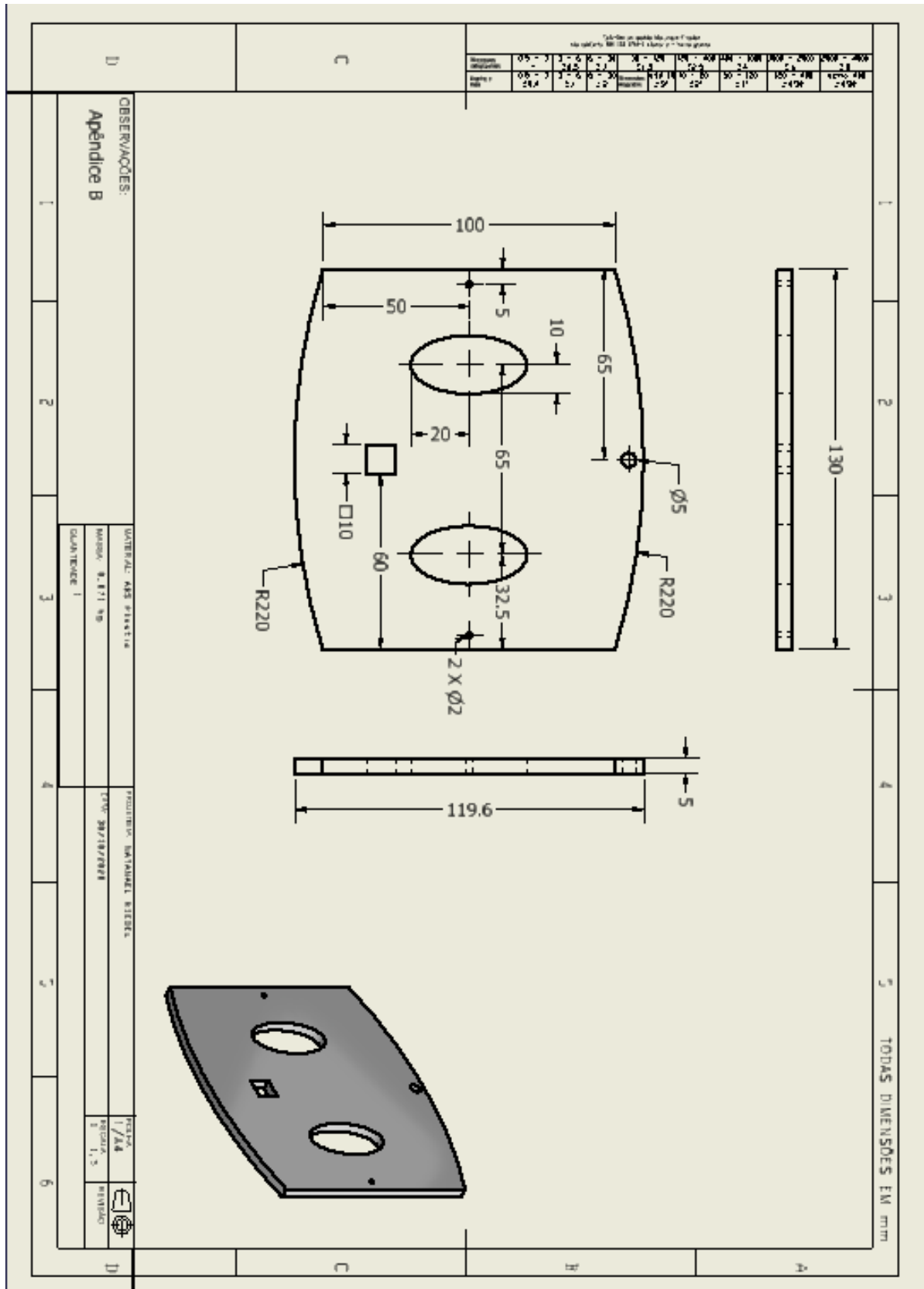
- ROMERO, R. **Robótica Movei**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2014.
- SANTOS, D. M. G. **Linguagens de programação**. Porto Alegre: Sagah, 2018.
- SCHEIDEMANTEL, F. L. **Monitoramento de vídeo por meio do computador Raspberry Pi**. Brasília: Universidade de Brasília, 2015.
- SCHERER, J. B. **Desenvolvimento, aplicação e análise de um Role Playing Game (RPG) para educação ambiental**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), v. Monografia, 2019.
- SOLOMAN, S. **Sensores e Sistemas de Controle na Indústria**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012.
- TOLEDO, E. A. **RPG como estratégia de ensino: Uma proposta para o ensino de profissões**. Guarapuava: Governo do estado do Paraná; Secretaria da Educação, v. Unidade Didática, 2015.
- TRADEMARK OF THE ORR GROUP, LLC. **Roll20®**, 2020. Disponível em: <<https://app.roll20.net/campaigns/search>>. Acesso em: 10 Abril 2020.
- ZILLI, S. D. R. **A robótica educacional no ensino fundamental: perspectivas e prática**. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, v. Dissertação, 2004.
- ZWETSLOOT, R. Interactive tabletop RPG table. **The MagPi The official Raspberry Pi magazine**, v. 86, p. 34-40, Outubro 2019.

APÊNDICES

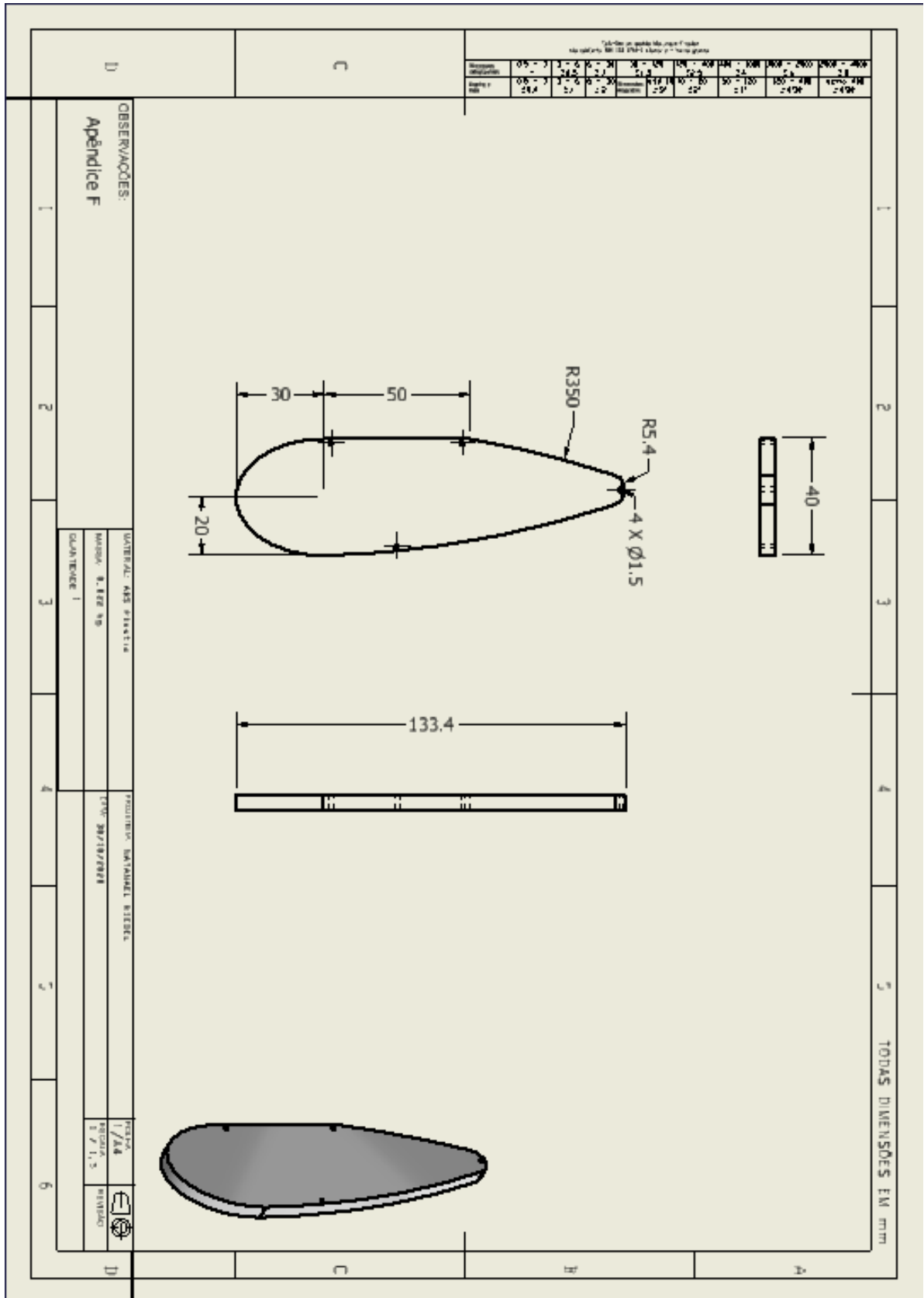
Apêndices A – Apoio da cabeça



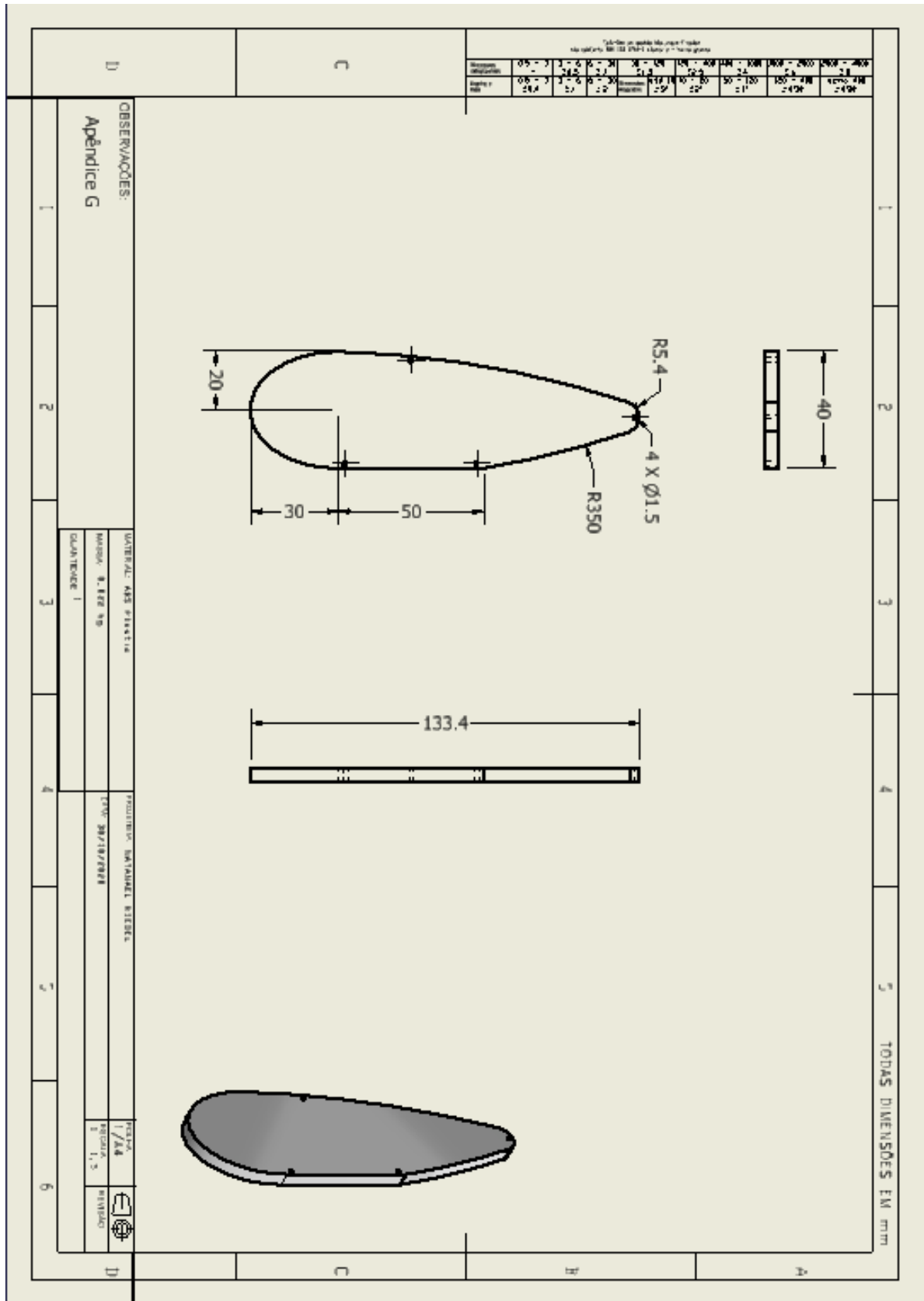
Apêndice B - Parte frontal da cabeça



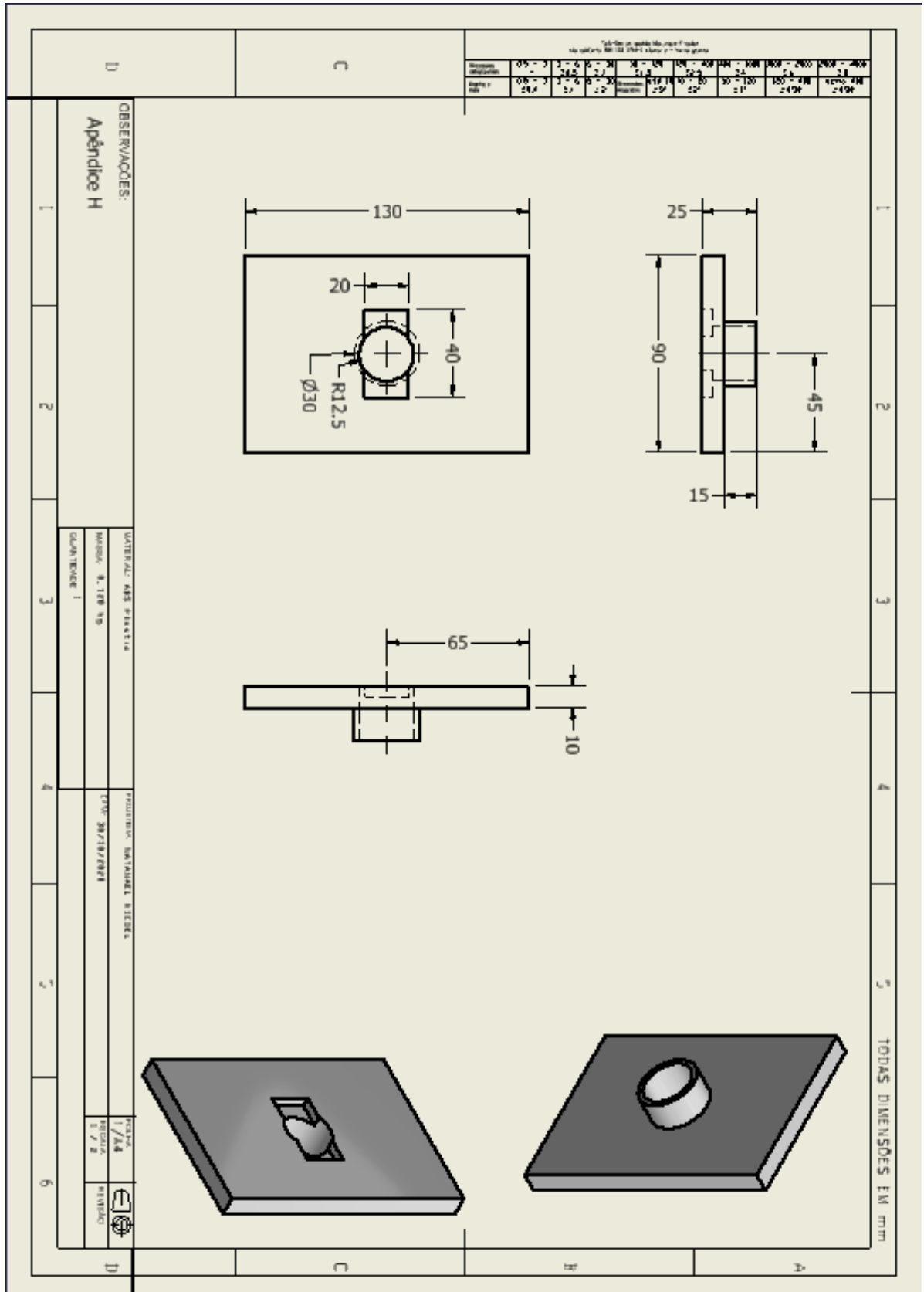
Apêndice F - Tampa da orelha LD



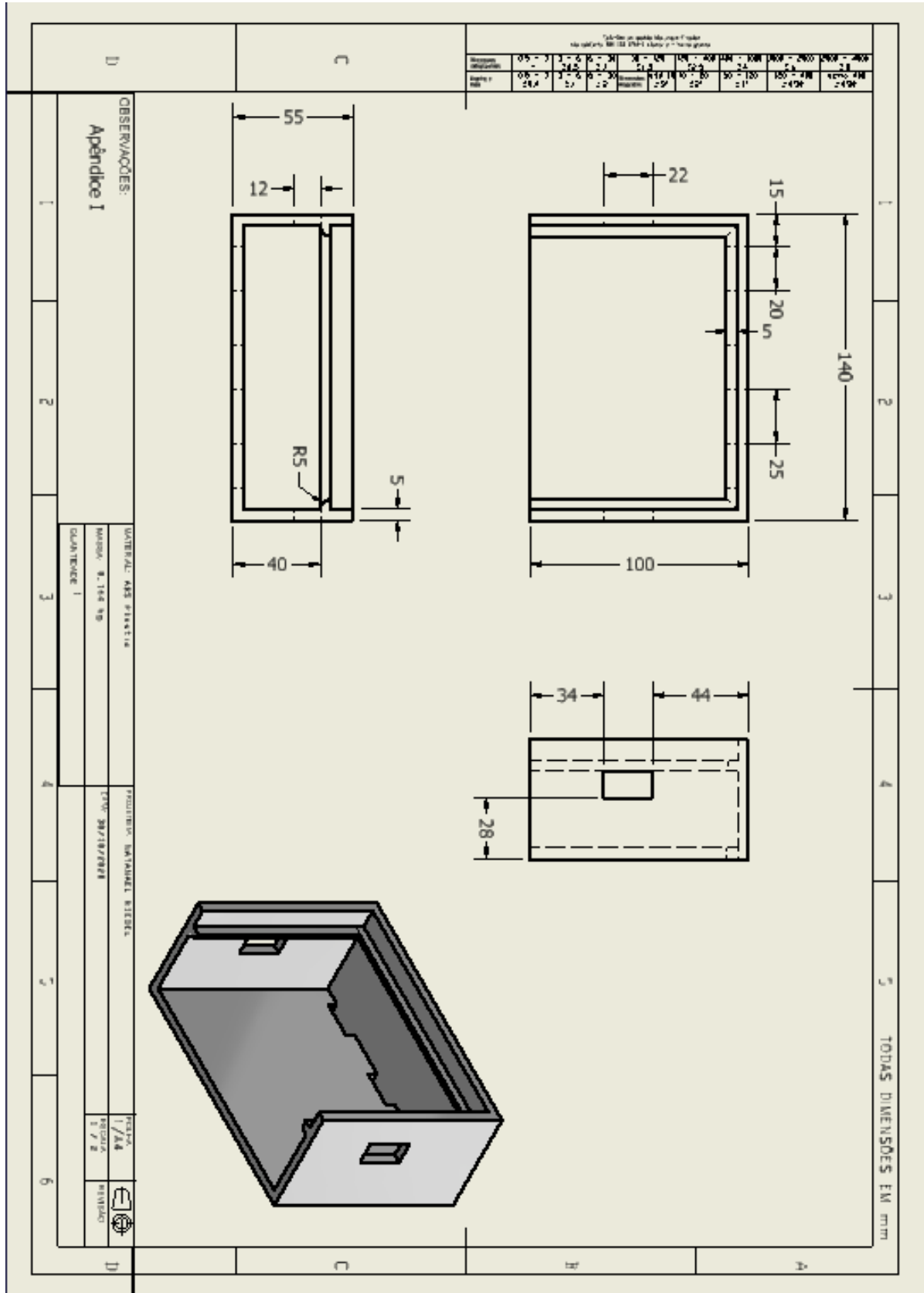
Apêndice G - Tampa da orelha LE



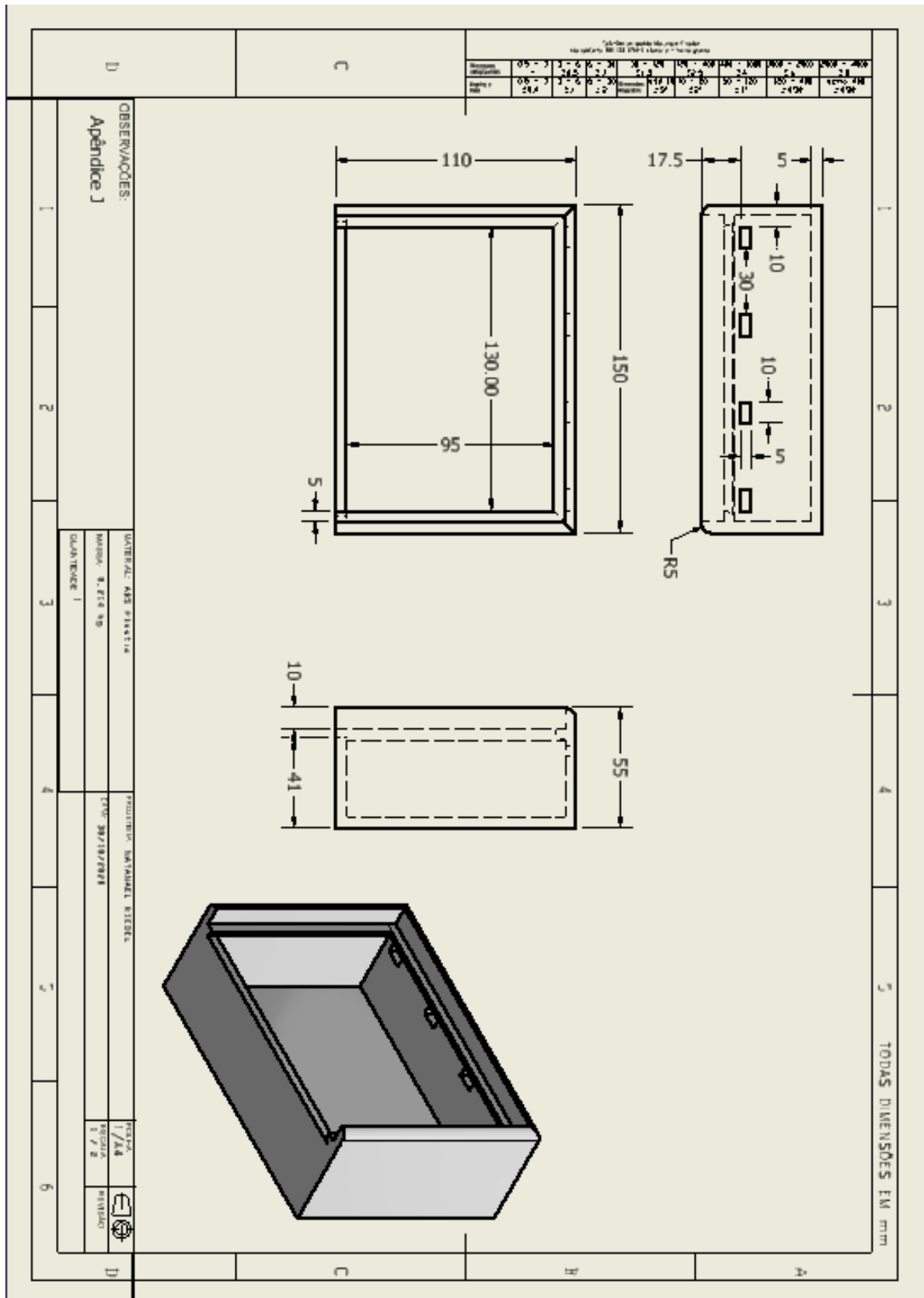
Apêndice H - Pescoço



Apêndice I - Case Raspberry



Apêndice J - Case Fonte



Apêndice K - Braço LD

