

Projeto Frankie: uma proposta para o ensino de Inteligência Artificial na Educação Básica

**Charles Soares
Pimentel**

Programa de Pós-
Graduação em
Informática
Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
cpimentel@escolasesc.
com.br

**Rubens Lacerda
Queiroz**

Programa de Pós-
Graduação em
Informática
Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
rubensqueiroz@outlook
.com

**Priscila Machado
Vieira Lima**

Programa de Pós-
Graduação em
Informática - Inst.
Tércio Pacitti de Aplic e
Pesq. Comp.
Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
priscilamvl@gmail.com

**Fábio Ferrentini
Sampaio**

Programa de Pós-
Graduação em
Informática - Inst.
Tércio Pacitti de Aplic e
Pesq. Comp.
Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
ffs@nce.ufrj.br

ABSTRACT

This work brings an experience with Educational Robotics to introduce Artificial Intelligence in Basic Education through the Frankie Project, an intelligent robot composed of sensors and actuators that interact with the Arduino electronic prototyping platform. The interaction occurs from commands that start from the Raspberry Pi microcomputer, which, in turn, relays information from the environment through the WiSARD weightless neural network installed in the device.

Keywords

Artificial Intelligence; Robotics; Basic Education

RESUMO

Este trabalho propõe uma atividade com Robótica Educacional para apresentar conceitos de Inteligência Artificial na Educação Básica através do Projeto Frankie (*Fostering Reasoning And Nurturing Knowledge through Informatics in Education*), um robô inteligente composto de sensores e atuadores que interagem com a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. A interação ocorre a partir de comandos que partem do microcomputador Raspberry Pi, que, por sua vez, repassa informações do ambiente através da rede neural sem peso WiSARD, instalada no dispositivo.

Palavras-chave

Inteligência Artificial; Robótica; Educação Básica

ACM Classification Keywords

K.3.1 [Computers and Education]: Computer Uses in Education

INTRODUÇÃO

No contexto tecnológico do século XXI, a Inteligência Artificial tem sido aplicada em situações que vão desde ações da área de Marketing, da Medicina, da Política, de Recursos Humanos e de Serviços Financeiros até atividades de laser, incluindo *Games* e redes sociais. No cotidiano do

adolescente da era digital, a Inteligência Artificial tem feito parte de muitas situações do seu dia a dia.

Ao integrar tecnologia digital com o ser humano, a Computação Ubíqua tem lançado mão de recursos de Inteligência Artificial de tal maneira que muitos usuários não se dão conta que estão lidando com máquinas inteligentes em situações corriqueiras, e esse quadro abre brechas para que o que seu uso possa, de alguma forma, contribuir de maneira negativa para a sociedade. Diante dos avanços da Inteligência Artificial, e suas inúmeras aplicações, emerge a necessidade de se tratar desse assunto cada vez mais cedo, e a escola é um ambiente propício para esta finalidade.

Queiroz et al (2017) [01] destacam que no futuro cada vez mais atividades profissionais passarão a ter algum envolvimento com a IA, o que torna a aprendizagem de seus conceitos relevantes e atuais. Desse modo, desenvolver possibilidades educacionais com essa tecnologia, como atividade curricular na educação básica, abre caminho para novas discussões que abordam a importância de metodologias que envolvem novas tecnologias da informação e comunicação (NTICs), nessa fase do ensino, com educandos do corrente século.

É importante destacar que a Robótica Educacional já vem abrindo caminho para o estudo de lógica de programação na educação básica, e também que a Base Nacional Curricular Comum (BNCC, 2017) [02], ao incluir o Pensamento Computacional no conteúdo de Matemática, reforça a importância de conceitos de Ciências da Computação no currículo comum.

A partir desse quadro, passa a ser relevante apresentar conceitos de IA com o uso de recursos de Robótica Educacional para tratar tanto de lógica de programação e novas metodologias no ensino de disciplinas do currículo comum quanto de questões de ordem ética e filosófica. A

partir dessa possibilidade, apresentamos a proposta do presente trabalho.

Dessa forma, este artigo procura contribuir com o referido debate, apresentando um trabalho em desenvolvimento numa escola de educação básica do Rio de Janeiro em que o Robô Frankie está sendo projetado, em parceria com alunos e professores, para tratar de assuntos relativos à Inteligência Artificial. Elencamos, assim, a fundamentação teórica que sustenta a proposta e um trabalho correlato sobre o tema. Em seguida, descrevemos o projeto proposto, apontamos para um trabalho futuro e apresentamos a conclusão.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inteligência artificial

Uma das definições de Inteligência Artificial (IA) apresentadas por Russel e Norvig [03] é a que foi proposta por Alan Turing em 1950 (antes mesmo do surgimento do termo Inteligência Artificial, cunhado por John McCarthy em 1956), que definia uma máquina inteligente como aquela que fosse capaz de alcançar desempenho em nível humano de todas as tarefas cognitivas necessárias para enganar o homem. Os autores trouxeram à luz questões a respeito do futuro e da definição do que é IA, ao tratar do que são entidades inteligentes. Eles descrevem dois tipos de abordagens que buscam definir Inteligência Artificial. Uma delas trata dos processos de raciocínio e a outra trata do comportamento.

Ibrahim & Morcos (2002) [04] definem IA como a automação de atividades associadas ao pensamento humano, como tomadas de decisão, resolução de problemas, aprendizado, percepção e raciocínio. Para os autores, as ferramentas de IA que são de interesse para a comunidade incluem lógica difusa, lógica difusa adaptativa, sistemas especialistas, algoritmos genéticos e redes neurais artificiais.

Redes Neurais

Segundo Barreto (2002) [05], Redes Neurais consistem em uma abordagem de resolução de problemas para IA. Ao invés de programar um computador para imitar um comportamento inteligente (como jogar xadrez, compreender e manter diálogo, traduzir uma língua estrangeira), procura-se construir um sistema que tenha circuitos modelando os circuitos cerebrais e espera-se ver um comportamento inteligente emergindo, aprendendo novas tarefas, errando, fazendo generalizações e descobertas.

Neste trabalho foi utilizada a Rede Neural sem Peso WiSARD. O conceito de Rede Neural sem Peso surgiu baseado no modelo de arquitetura das memórias de acesso aleatório, conhecidas como RAM (Random Access Memory). Elas diferem-se das Redes Neurais Tradicionais (perceptrons) pela ausência de pesos sinápticos nos dendritos, que são compensadas por essas estruturas RAM [06]. Esse padrão apresenta um custo operacional razoavelmente baixo e, embora seja uma opção eficiente,

tem uma menor eficácia em aplicações nos processos de reconhecimento e detecção de padrões por operar com versão binarizada, pois há perda de informação [07].

Rede Neural WiSARD

A WiSARD é definida por Gregorio e Giordano (2014) [08] como uma Rede capaz de reconhecer n bit entradas (n -tupla, geralmente uma imagem em dois tons). Os autores descrevem que, no modelo WiSARD, as linhas de entrada RAM estão conectadas com a "retina" por meio de um mapeamento pseudo-aleatório biunívoco, como um conjunto de n -tuplas não correlacionadas.

Por exemplo, na figura 1, o endereço de memória de RAM1 (n -tupla) é sempre formado por preto ou branco, nos 3 *pixels* rotulados com "1". Para o "T" representado, a RAM1 receberá como entrada a tupla 110 (preto-preto-branco). Cada n -tupla é usado como um endereço específico de um local de memória do nó RAM, de tal forma que o padrão de entrada é completamente mapeado para um conjunto de locais de RAM.

Um discriminador WiSARD, composto por m neurônios baseados em RAM, é treinado com dados representativos de uma classe/categoria. Para cada padrão de treinamento, um "1" é armazenado na localização de memória de cada RAM endereçada por esse padrão de entrada. Depois que o treinamento de padrões é concluído, o conteúdo da memória RAM será definido para um determinado número de "0" e "1".

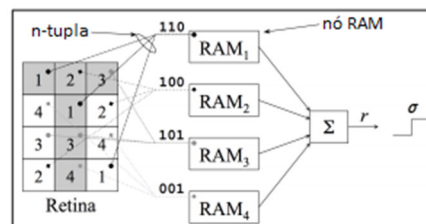


Figura 1 – Representação da imagem "T"

A WiSARD é utilizada neste trabalho para aprender a reconhecer padrões de formas. Para Araújo (2011) [09], o reconhecimento de padrões compreende todos os processos envolvidos na tentativa de associar os elementos de um dado conjunto com um segundo conjunto de rótulos, conferindo-lhes uma identidade como classe. Tal atividade pode consistir em relacionar dados de uma amostra a um conjunto previamente definido de classes - classificação - ou em encontrar uma conveniente partição dessa amostra em grupos de elementos com características em comum.

Hardwares Arduino e Raspberry Pi

Devido ao baixo poder de processamento do Arduino Mega 2560, placa que utiliza um microcontrolador de 8 bits a 16MHz e possuir apenas 8KB de memória dinâmica, optou-se pela utilização do Raspberry Pi, um SBC (*single board computer*) que possui uma arquitetura mais avançada e especificações superiores (processador ARM de 64 bits a 1.2GHz e 1GB de memória dinâmica), o que permite a

utilização de *scripting* Python em tempo real e a rápida computação e processamento de imagens.

O Raspberry Pi possui um conjunto de GPIO (*general-purpose input/output*) que pode ser utilizado para a conexão de sensores e atuadores. No entanto, devido à familiaridade e facilidade do uso desses dispositivos com uma placa Arduino, decidiu-se por trabalhar com a associação dessas duas placas.

TRABALHO CORRELATO

Sobre ensino de IA na educação básica, a busca realizada encontrou apenas o trabalho de Kandlhofer et al (2016) [10]. Seu trabalho propõe que atividades de Letramento em IA iniciem-se a partir do Jardim de Infância, contemplando todas as séries da educação básica. Tais atividades compreendem módulos para diferentes faixas etárias em diferentes níveis educacionais, abordando temas que envolvem resolução de problemas por meio de busca, classificação, grafos e estrutura de dados. Com o objetivo de desenvolver os temas citados, os autores apresentaram algumas abordagens para o Letramento no período escolar. Para a educação infantil, propõe atividades em que os alunos coloquem a mão na massa, recursos de *storytelling* e computação desplugada. São utilizadas também plataformas, como *Bee-Bots* e *LEGO Mindstorms NXT*, além dos blocos de LEGO padrão. No Ensino Fundamental, aos alunos é apresentada a teoria que fundamenta certos tópicos de IA, por meio de atividades colaborativas e métodos de resolução de problemas, além do uso da plataforma *LEGO Mindstorms NXT*. A proposta dos autores para educandos do Ensino Médio contempla atividades que incluem exercícios em que se utilizam lápis e papel/programação, construções de robôs, contando ainda com o desenvolvimento de discussões e trabalhos em grupo, nos quais os estudantes participam ativamente do processo ensino-aprendizagem.

O PROJETO ROBÔ FRANKIE: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Dentro do contexto do ensino de IA, por meio da Robótica Educacional, o projeto Frankie é uma proposta de robô com aparência e comportamento amigáveis, de maneira que a sua presença como recurso educacional (ou seja, objeto de aprendizagem) seja atraente e instigante para os educandos da educação básica [11]. No presente trabalho, propomos apresentar de forma lúdica conceitos de IA para estudantes do Ensino Médio, com o objetivo de atrair os jovens estudantes para o estudo e reflexão deste tema, inserido em vários campos da sociedade do século XXI. Ao despertar-se, por exemplo, questionamentos nos educando a respeito das ações de um robô no ambiente em que se encontra, abre-se a discussão sobre o que são agentes inteligentes e se inteligência está associada a comportamento, além de propor discussões sobre a interação humano-robô e aspectos éticos relacionados ao tema.

Hardware e Software utilizados no projeto

Os hardwares utilizados na montagem do Robô Frankie são um Arduino Mega 2560, um Raspberry Pi 3, um motor Servo, dois motores DC, uma ponte H, um display LCD 16×2, um sensor ultrassônico, um sensor segue linha e uma Webcam Logitech C920.

Os softwares utilizados neste trabalho são o sistema operacional *Raspbian*¹, as linguagens de programação Python e *Wiring*, e a Rede Neural WiSARD para o aprendizado do robô. Assim, a WiSARD apresenta-se como recurso para o aprendizado da máquina.

O processo de aprendizagem da WiSARD

Durante o processo de preparação do projeto, um dos desafios encontrados foi sobre como seria feita a captura da imagem pela webcam, e conseqüentemente a sua interpretação. Para a WiSARD, dentro de um mesmo quadro, a mesma figura representa imagens distintas. A imagem mais próxima da webcam gera uma figura maior que a imagem mais distante e, além disso, diferentes coordenadas de posicionamento geram resultados distintos.

Por exemplo, ao capturar a Figura 2, dentro do quadro da câmera, a WiSARD teria algumas interpretações, tais como as Figuras 3 e 4.

Para o tratamento das imagens capturadas pela câmera para posterior apresentação à WiSARD, foi utilizada a biblioteca OpenCV. Dentre outras funções para tratamento e edição de imagens, a biblioteca OpenCV possui a função *findContours* que pode ser utilizada para se encontrar imagens brancas em um fundo preto. Assim, no caso do Robô Frankie, faz-se uso dessa função para realizar o recorte da figura geométrica branca no fundo preto da imagem capturada já previamente binarizada e invertida. Isto feito, a imagem recortada é redimensionada para um valor padrão de altura e largura. Com isso, as figuras geométricas capturadas pelo robô serão apresentadas à WiSARD sempre com as mesmas dimensões, independentemente da distância em que elas estavam do robô quando capturadas pela câmera. Após ser redimensionada, a imagem é novamente invertida antes da apresentação para a WiSARD. As etapas do tratamento da imagem são apresentadas na Figura 5.

O procedimento citado proporciona a geração de uma imagem de tamanho único e, além disso, não há alterações de posicionamento, pois é definido um quadrado em torno da imagem.

Existem duas situações em que o reconhecimento é prejudicado. Se a imagem se posicionar fora do quadro da câmera (Figura 6) ou se a mesma estiver em um tom mais claro, pois, devido ao limiar de *threshold*, as imagens claras podem ser interpretadas como brancas.

No entanto, o problema de identificação de imagens com pouco contraste pode ser solucionado aplicando-se um

¹ Distribuição derivada do GNU/Linux Debian para o RaspberryPi.

threshold dinâmico para se determinar o limite adequado de transição entre os tons claros e escuros de cada imagem capturada no momento da sua binarização.

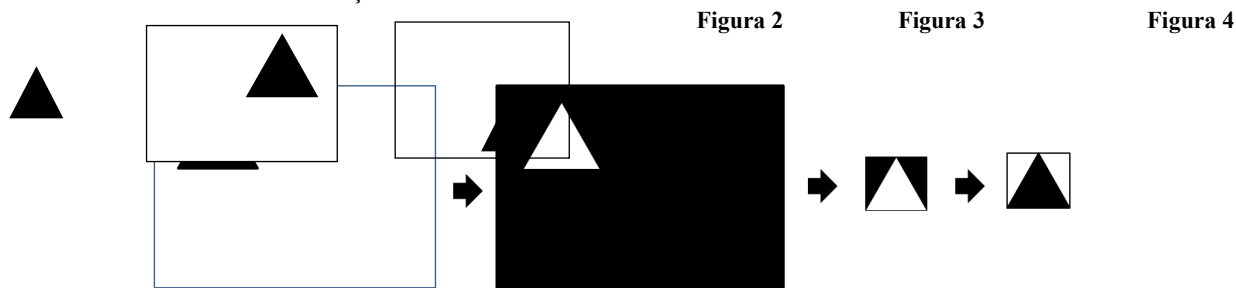


Figura 5 – Etapas do Tratamento da Imagem

Já o problema de parte da figura a ser identificada ficar fora do enquadramento da câmera pode vir a ser solucionado treinando-se a WiSARD para reconhecer imagens com essas características, o que não foi feito neste primeiro momento.



Figura 6 – Etapas do Tratamento da Imagem

Para a criação de uma atividade, no primeiro momento, as imagens treinadas foram um quadrado, um triângulo, um círculo e uma estrela (Figura 7).



Figura 7 – Formas Treinadas na Wisard

A comunicação se deu a partir da porta *serial*, onde no Arduino foi carregado com um programa em *Wiring* para receber os comandos em Python vindos do Raspberry.

A aparência do Robô

Neste trabalho foi realizada a combinação da aparência do robô com seu comportamento. Em seu artigo, Goetz et al (2003) [11] relatam que esses atributos influenciam na percepção das pessoas sobre um robô; e, portanto, compreender como projetar uma interface homem-robô é um componente importante.

Queiroz et al (2017) [01] entendem como sendo importante, dentro do contexto do ensino de IA para crianças por meio

da Robótica Educacional, que um estudo acerca da aparência e comportamentos dos robôs utilizados nas aulas deva ser realizado, a fim de contribuir para o desenvolvimento de materiais que sejam atrativos para os educandos.

O Robô Frankie possui uma cabeça que se movimentava horizontalmente como se estivesse à procura de algum objeto no ambiente em que se encontra. Tal movimento dá ao usuário a impressão de que o robô está atento ao que acontece a sua volta. A webcam faz o papel da boca e o sensor ultrassônico, que está localizado no local dos olhos, possui linhas em forma de elipse para dar a impressão de atenção.

Como mostra a Figura 8, o Robô Frankie evoluiu de uma aparência que deveria lembrar o personagem de animação infantil *Wall-E*® (Fig. 8a), para um robô com sensores e atuadores que pudesse interagir com o ambiente.

Um desenho virtual (rascunho) (Fig. 8b) evoluiu para um modelo feito de papelão (Fig. 8c), de maneira que em uma visão em 3 dimensões de sua forma e dimensões fossem avaliadas. Finalmente um protótipo feito de MDF foi confeccionado (Fig. 8d) para que os testes fossem realizados e uma oficina com estudantes pudesse ser realizada.

Funções do Robô e suas Aplicações Pedagógicas

A partir dos elementos citados no item “**Hardware e Software utilizados no projeto**”, foi construído o Robô Frankie, autônomo, com sensores e atuadores para interagir com o ambiente.

Dentre os sensores, encontra-se a webcam, cujo objetivo é capturar imagens para serem registradas e aprendidas pela WiSARD, levando o robô a reconhecer as formas aprendidas. Ao reconhecer uma forma, ele realiza ações de acordo com o objetivo do trabalho.

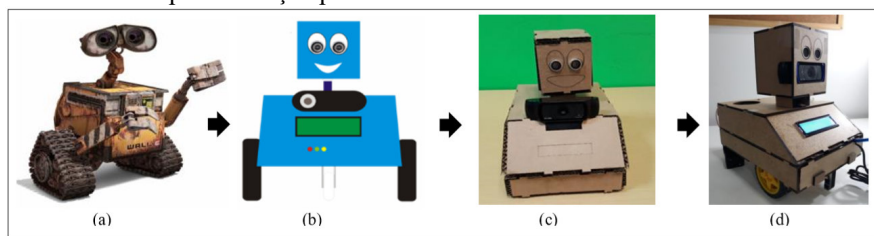


Figura 8 – Evolução Visual do Projeto Robô Frankie

A proposta de atividade pode ser dividida em duas etapas. Na primeira etapa o robô aprende as figuras a partir da captura das imagens e armazenamento numa pasta do Raspberry Pi, que é acessada pela WiSARD para registrar possibilidades. A partir de então, o software aprende a identificar formas que são compatíveis com a forma ensinada.

Em um experimento, foi ensinada a forma “coração” para a WiSARD representada na Figura 9.



Figura 9 – Imagem da forma coração

Ao ser apresentado um novo desenho em forma de coração, com características semelhantes, a WiSARD reconheceu com aproximadamente 36% de certeza (Figura 10). As formas geométricas possuem um reconhecimento superior a 60%.

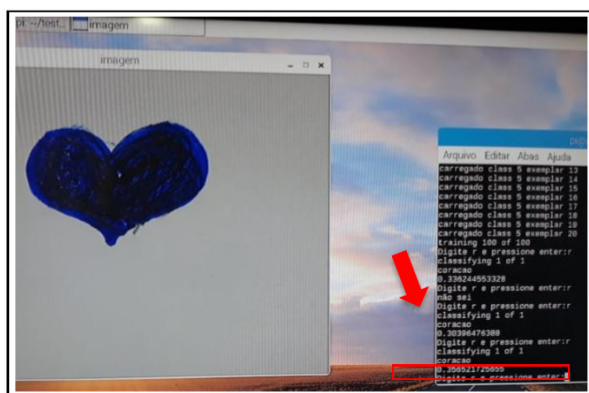


Figura 10– Reconhecimento da forma coração

A segunda etapa apresenta variadas possibilidades, de acordo com a proposta pedagógica em questão.

O fato de o robô aprender formas, que podem ser geométricas ou não, abre caminho para tratar de temas que vão desde ensino de Geometria e Reconhecimento de algarismos em abordagens de tópicos de matemática para Ensino Fundamental I, dando *feedback* e interagindo com o educando; até temas do dia a dia, como o comportamento de carros autômatos nas cidades, ao reconhecer elementos do caminho que o robô irá percorrer. No item seguinte, apresentamos a proposta de um trabalho futuro.

TRABALHO FUTURO

No atual momento, o treinamento do robô está sendo realizado em “*batch*”, ou seja, as formas que ele deverá

aprender são todas apresentadas a ele, antes de qualquer tarefa de reconhecimento, a partir de arquivos de imagens previamente salvos. Pode-se com isso realizar uma série de atividades nas quais o robô precise reconhecer apenas essas formas, incluindo-se entre elas, atividades nas quais os próprios educandos desenhem as formas previamente treinadas e observem se o robô as reconhece e, caso não reconheça, debata-se sobre as possíveis razões de ele não ter reconhecido.

Um próximo passo será permitir que o robô realize o aprendizado *online*, ou seja, os educandos podem desenhar um conjunto de formas, com um determinado número de exemplos para cada forma e, então, elas mesmas ensinariam “*online*” o robô a reconhecer as formas por elas desenhadas. A rede WiSARD possibilita, inclusive, que se apresente ao robô novos exemplos para melhorar seu reconhecimento de uma determinada “*entrada*” sem que seja necessário reapresentar todo o conjunto de entradas já aprendidas.

Além disso, a rede WiSARD possibilita o aprendizado de formas simples, como no caso de formas geométricas “cheias” em fundo branco, com um número bastante pequeno de exemplos, o que viabiliza perfeitamente a realização de atividades nas quais os educandos possam ensinar o robô em tempo real. Por meio deste tipo de atividade, pode-se promover debates acerca de como o robô está aprendendo de maneira ainda mais “palpável” e participativa que no caso do treinamento em *batch*.

De uma série de atividades possíveis de se realizar com o Robô Frankie, tanto com aprendizado *batch* quanto com aprendizado *online*, decidiu-se realizar, como próxima etapa deste trabalho, uma oficina com estudantes do Ensino Médio que consistirá no reconhecimento de formas que indicarão qual decisão o robô deverá tomar ao longo de um percurso.

Previamente o robô deverá aprender a reconhecer algumas formas escolhidas, e o que elas irão representar. Para a atividade que iremos propor, sugerimos:



Siga em frente



Vire à direita



Vire à esquerda

Um tapete lúdico será produzido, inspirado nas arenas do Torneio *First @Lego @League*², e irá ilustrar uma cidade com 9 destinos (Figura 11). O robô deverá seguir a linha preta e, quando chegar ao quadrado vermelho, deverá parar e perguntar em seu display LCD: “ Qual caminho devo

² <http://www.firstlegoleague.org/>

seguir??".

Em cada cruzamento, o Robô irá parar no quadrado vermelho, e os estudantes apresentarão para o Frankie a placa na qual a forma desenhada indique a direção que eles desejam que a máquina inteligente siga na cidade. Dependendo do aprendizado prévio do robô, elas podem variar de significado.

Suponhamos que um aluno apresente as placas aprendidas como proposto, dispondo-as de acordo com a Figura 11. O dispositivo sairá da base e, nos dois primeiros cruzamentos, seguirá em frente. No terceiro cruzamento, irá virar à direita e, em seguida, fará a última curva à esquerda.

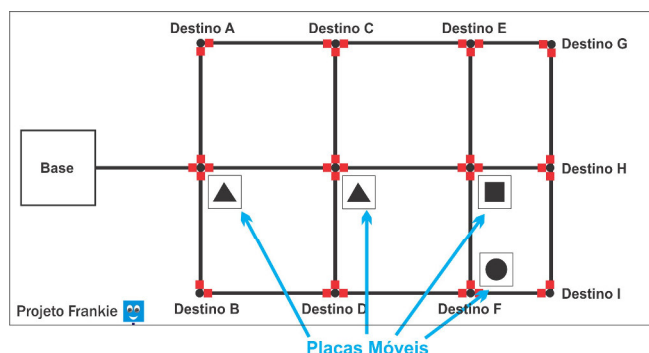


Figura 11– Tapete lúdico para realização da atividade

Essa atividade será o primeiro recurso para avaliar a eficácia do robô em relação à sua interação com os jovens. O fato de a atividade propor que o educando ensine o robô tem como objetivo criar uma empatia humano/máquina. Além disso, o resultado em que o robô entenda os comandos dados a ele a partir do aprendizado prévio tem como meta provocar discussões acerca do que significa "inteligência" e possibilita a reflexão a respeito de o comportamento/aprendizado estar associado ou não ao fato de um dispositivo ser inteligente.

CONCLUSÃO

Ao criar um robô com características físicas e comportamentais amigáveis, com sensores e atuadores da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino associada a um SBC Raspberry Pi, o Projeto Frankie lança mão de recursos de robótica educacional para introduzir atividades que envolvem IA na educação básica. A robótica educacional tem se consolidado como metodologia ativa de aprendizado na escola e se apresenta como uma porta para que abordagens envolvendo IA sejam propostas. Com esse propósito, a rede WiSARD foi utilizada no projeto como recurso para o aprendizado da máquina, possibilitando que educandos interajam com o robô. O diferencial do nosso trabalho é que a WiSARD faz o reconhecimento de imagens online, permitindo novas entradas de imagens, de forma que o reconhecimento seja melhorado. Desta forma, conceitos de IA são apresentados a estudantes da educação básica, fomentando a curiosidade e permitindo novas abordagens educacionais. Além disso, possibilita que um estudo sobre o que é inteligência e sobre agentes

inteligentes seja realizado a partir da interação dos educandos com o robô e da análise e avaliação das impressões a respeito desta interação.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e com financiamento parcial da FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro). Agradecemos em especial o apoio dado pela Escola SESC de Ensino Médio para a criação do protótipo do robô Frankie.

REFERÊNCIAS

1. Rubens Lacerda Queiroz, Fábio Ferrentini Sampaio e Priscila Machado Vieira Lima. 2017. Uma investigação sobre estratégias a serem adotadas para o aprendizado de Inteligência Artificial no Ensino Fundamental por meio da Robótica Educacional. In: ERSI – RJ
2. Base Nacional Curricular Comum (BNCC). 2018. Acessado em 20 de setembro de 2018. In: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>
3. Stuart J. Russell e Peter Norvig. 1995. Artificial Intelligence A Modern Approach. Prentice Hall, EnglewoodCliffs, New Jersey, 04-08.
4. Wael R. Anis Ibrahim e Medhat M. Morcos. 2002. Artificial Intelligence and Advanced Mathematical Tools for Power Quality Applications: A Survey. In: *IEEE transactions on power delivery*, vol. 17, no. 2.
5. Jorge M. Barreto. 2002. Introdução às Redes Neurais Artificiais. In: Laboratório de Conexionismo e Ciências Cognitivas. UFSC -Departamento de Informática e de Estatística - Florianópolis – SC
6. Igor Aleksander, Massimo De Gregorio, Felipe Maia Galvão França, Priscila Machado Vieira Lima, Helen Morton. 2009. A brief introduction to Weightless Neural Systems. In: *European Symposium on Artificial Neural Networks - Advances in Computational Intelligence and Learning*.
7. Leandro Almeida de Araújo. 2011. Rwisard: um modelo de rede neural sem peso para reconhecimento e classificação de imagens em escala de cinza. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
8. Massimo De Gregorio e Maurizio Giordano. 2014. Change Detection with Weightless Neural Networks. In: *The computer vision foundation*.
9. Leandro Almeida de Araújo. 2011. Rwisard: um modelo de rede neural sem peso para reconhecimento e classificação de imagens em escala de cinza. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação