UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

ALLAN DEANGELLE SANTOS MOTA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ROBÔ AFETIVO MÓVEL PARA AUXÍLIO EM TERAPIAS PARA CRIANÇAS COM TEA

VITÓRIA – ES
JAN/2018

ALLAN DEANGELLE SANTOS MOTA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ROBÔ AFETIVO MÓVEL PARA AUXÍLIO EM TERAPIAS PARA CRIANÇAS COM TEA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Allan Deangelle Santos Mota**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.
Orientadora: Profa. Dra. Eliete Caldeira
Coorientadora: MSc. Christiane Mara Goulart

VITÓRIA – ES
JAN /2018

ALLAN DEANGELLE SANTOS MOTA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ROBÔ AFETIVO MÓVEL PARA AUXÍLIO EM TERAPIAS PARA CRIANÇAS COM TEA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Allan Deangelle Santos Mota**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 08, de janeiro de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Profa. Dra. Eliete Maria de Oliveira Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

_____

MSc. Christiane Mara Goulart
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientadora

_____

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

_____

Dr. Carlos Torturella Valadão
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

RESUMO

O Transtorno do Espectro Autista (TEA) é uma condição crônica que acomete o desenvolvimento neurológico e que tem como um dos principais sintomas a dificuldade na compreensão e expressão de emoções. Estudos apontam que robôs sociais, devido à sua previsibilidade e à menor complexidade quando comparado a humanos, se apresentam como uma ferramenta eficiente como meio de estimulação do desenvolvimento de habilidades sociais nesses indivíduos. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um robô afetivo, móvel e portátil capaz de interagir socialmente e afetivamente, conforme a captação de estímulos externos, para auxílio em terapias para crianças com TEA. O robô desenvolvido neste trabalho é capaz de perceber a aproximação, afastamento, carinho e incômodo oriundos da criança, interpretando-os como estímulos de prazer, excitação e dominância, possibilitando assim o mapeamento e a expressão de suas emoções por meio de expressões faciais dinâmicas impressas em um *display* e movimentos espaciais.

Palavras-chave: Transtorno do Espectro Autista; Interação Social de Robôs; Interação Humano-robô; Robô Social; Robô Afetivo; Emoções; Robótica Socialmente Assistiva; Robótica móvel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As seis emoções básicas segundo Ekman e Friesen (2003). 16
Figura 2 - Expressões faciais de emoções da cabeça FLOBI. 17
Figura 3 - A posição das AUs ao longo da face. 18
Figura 4 - AU's conforme cada emoção. 19
Figura 5 - Disposição dos olhos e boca no *display* OLED. 19
Figura 6 - Demonstração das AU's mapeadas na face do robô. 20
Figura 7 - Modelo teórico Estímulo-Organismo-Resposta. 27
Figura 8 - Espaço tridimensional P-E-D adotado no robô WE-4RII. 29
Figura 9 - Sensores do robô 30
Figura 10 - Representação do espaço tridimensional P-E-D adotado para o robô. 33
Figura 11 - Efeito do estímulo de excitação nos eixos P-E-D. 35
Figura 12 - Efeito de estímulos sequenciais de excitação nos eixos P-E-D. 35
Figura 13 - Efeito do estímulo de carinho nos eixos P-E-D. 36
Figura 14 - Efeito do estímulo de incômodo nos eixos P-E-D. 36
Figura 15 - Efeito do estímulo de medo nos eixos P-E-D. 36
Figura 16 - Efeito de estímulo de incômodo seguido do estímulo de carinho. 37
Figura 17 - Representação das faces conforme variação dos eixos P-E-D. 37
Figura 18 - Divisão do espaço pessoal. 40
Figura 19 - Zonas adotadas para o robô. 42
Figura 20 - Robô BOE Shield-Bot. 42
Figura 21 - Máquina de estados resumida. 44
Figura 22 - Máquina de estados, com estados intermediários. 45
Figura 23 – Modelo de controle para o robô social. 46
Figura 24 - Fluxograma de funcionamento do robô 47
Figura 25 - Protótipo final do robô afetivo. 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades de expressão dos olhos no robô. 21
Tabela 2 - Unidades de expressão da boca no robô. 22
Tabela 3 - Relação de faces desenvolvidas. 23
Tabela 4 - Representação da variação de intensidade das emoções 25
Tabela 5 - Tabela de contribuições. 31
Tabela 6 - Intervalo, no espaço P-E-D, correspondente às seis emoções básicas, ao sono e aos valores máximos que podem ser assumidos. 32
Tabela 7 - Pontos de máxima intensidade adotados. 33
Tabela 8 - Rotinas de funcionamento do modelo E-O-R no robô. 34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	*American Psychiatric Association*
AU	*Action Units*
BOE	*Board of Education*
DSM	*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*
E-O-R	Estímulo-Organismo-Resposta
S-O-R	*Stimuli-Organism-Response*
FACS	*Facial Action Coding System*
NTA	Núcleo de Tecnologia Assistiva
N-MARIA	*New Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistcs*
OLED	*Organic light-emitting diode*
P-A-D	*Pleasure-Arousal-Dominance*
P-E-D	Prazer – Excitação – Dominância
TEA	Transtornos do Espectro Autista
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
1.1 Terapias e inclusão de crianças diagnosticadas com TEA 10
1.2 Motivação 12
1.3 Objetivos 13
1.3.1 Objetivo geral 13
1.3.2 Objetivos específicos 13
1.4 Estrutura 14
2 MODELAGEM DE UM SISTEMA DINÂMICO DE REPRESENTAÇÕES FACIAIS DE EMOÇÕES EM UM *DISPLAY* 15
2.1 Robôs sociais 15
2.1.1 Expressões emocionais 16
2.1.2 Simulação de emoções em robôs 17
2.2 Sistema de codificação de expressões faciais (FACS) 17
2.3 Desenvolvendo uma face dinâmica 19
2.3.1 Mapeando as unidades de ação facial (AUs) para o *display* 20
2.3.2 Montando a face do robô 22
2.3.3 Intensidade das unidades de expressões 24
2.4 Implementação e resultados obtidos 25
3 MODELAGEM DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE EMOÇÕES 27
3.1 Escalas de emoção 27
3.2 Modelo Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R) 27
3.2.1 Prazer – Excitação – Dominância (P-E-D) 28
3.2.2 Aplicação da escala P-E-D e o modelo E-O-R em robôs sociais 28
3.3 Utilizando o E-O-R para modelar a emoção do robô 29
3.3.1 Ler e interpretar estímulos do ambiente 29
3.3.2 Mapear a emoção e a sua intensidade conforme estímulos externos acumulados 30
3.3.3 Intensidade da emoção 33
3.3.4 Rotinas do modelo E-O-R no robô 34
3.4 Implementação e resultados obtidos 34
4 MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INTERAÇÃO EMOCIONAL BASEADO NA PROXÊMICA 39

4.1 Introdução 39
4.1.1 Espaço pessoal – comunicação proxêmica 40
4.1.2 Proposta de interação 41
4.1.3 Robô BOE Shield-Bot 42
4.1.4 Sensoriamento 43
4.2 Controle do robô 43
4.2.1 Máquina de estados 43
4.2.2 Camadas de controle 45
4.2.3 Fluxograma 47
4.3 Implementação e resultados obtidos 48
5 CONCLUSÃO 49

1 INTRODUÇÃO

O autismo faz referência a uma família de transtornos de neurodesenvolvimento nos quais ocorre prejuízo nos processos fundamentais de socialização, comunicação e aprendizado (KLIN, 2006). Possui início precoce, sempre antes dos três anos de idade, e perfil crônico, por ser resultado do funcionamento inadequado de mecanismos biológicos fundamentais relacionados à adaptação social (KLIN, 2006). Estudos apontam uma incidência mundial média de 1 a cada 160 crianças (WHO, 2017). Nos Estados Unidos, estudos feitos em 2014 indicam uma prevalência 1 a cada 59 crianças de 8 anos, mantendo a proporção de 4 meninos para cada menina (BAIO, 2018). No Brasil, não existem estudos epidemiológicos concretos que indiquem a prevalência de TEA (CANO, 2016).

O termo "autismo" passou por diversas alterações ao longo do tempo, sendo atualmente chamado de Transtorno do Espectro Autista (TEA) pelo Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais (DSM-V) (APA, 2013). O TEA pode ocorrer em três níveis de gravidade. No nível um (leve), o indivíduo exige apoio; no nível dois (moderado), exige apoio substancial; e no nível três (grave ou intenso) exige muito apoio substancial (APA, 2014).

No TEA, há o comprometimento de três áreas do funcionamento cerebral (TUCHMAN E RAPIN, 2009):

i. Interação social;
ii. Comunicação social;
iii. Comportamentos, interesses e atividades repetitivas, estereotipadas e restritas.

O comprometimento da interação social pode manifestar-se através de: isolamento ou comportamento social impróprio; pobre contato visual; dificuldade em participar de atividades em grupo; indiferença afetiva ou demonstrações inapropriadas de afeto; falta de empatia social (RIESGO, 2013).

O comprometimento da comunicação ocorre em graus variados. Algumas crianças podem falar adequadamente, ao passo que outras não conseguem desenvolver habilidades de comunicação, sendo este o caso mais comum. Pode ocorrer linguagem imatura com jargões, ecolalia, repetição de termos ou palavras, prosódia (emissão dos sons da fala) anormal, reversões de pronomes, entonação monótona, entre outros (RIESGO, 2013).

Os padrões repetitivos e estereotipados de comportamento incluem a insistência em determinadas rotinas, a resistência para mudanças, o apego excessivo a objetos e o fascínio com o movimento de peças, especialmente as que giram, com rodas ou hélices (RIESGO, 2013).

1.1 Terapias e inclusão de crianças diagnosticadas com TEA

Por se tratar de um transtorno crônico, ou seja, que persiste por toda a vida, o uso de terapias cognitivo-comportamentais se mostra uma forma eficiente de prover ferramentas que visam o desenvolvimento de habilidades sociais nesses indivíduos, podendo contribuir para uma vida melhor. Tais terapias, para que tenham maior eficiência, devem começar o mais cedo possível (SCASSELLATI, 2012).

Os indivíduos com TEA apresentam alterações na estrutura e no funcionamento do cérebro, as quais se manifestam através de déficits significativos em habilidades sociocognitivas, prejuízos no reconhecimento, entendimento e compartilhamento de suas emoções com os outros (BELIZÁRIO-FILHO, 2013). Essa inabilidade social parece advir do escasso contato olho a olho e da incapacidade de imitação de outras funções primárias na construção de um cérebro social (MERCADANTE; ROSARIO, 2009).

Dessa forma, as terapias para indivíduos com TEA buscam estimular a interação com outras pessoas através de diversas ferramentas e estratégias, como brinquedos e atividades que se assemelham a jogos (LAMAS, 2009).

O uso de robôs como ferramentas terapêuticas tem sido alvo de diversos estudos que visam encontrar maneiras de trazer novos estímulos para essas crianças, a fim de torná-las aptas para alcançar melhores resultados no desenvolvimento cognitivo e social. Um exemplo de estudo é o robô MARIA –*Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistcs*, desenvolvido no NTA – Núcleo de Tecnologia Assistiva da UFES, em 2013, tendo resultados positivos (VALADÃO et al., 2016). Atualmente, há uma nova versão do robô, conhecido como N-MARIA (*New-Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics*), capaz de expressar emoções faciais, emitir diálogos, registrar imagens térmicas faciais para identificar emoções e se mover de forma mais autônoma (GOULART et al., 2018).

Essa linha de estudo de robôs para terapia de crianças com TEA toma como base o entendimento de que essas crianças reagem melhor aos robôs por conta de sua previsibilidade e menor complexidade de interação (CABIBIHAN, 2013; DUQUETTE, 2008).

Segundo a Teoria da Síndrome do Mundo Intenso, desenvolvida por Markram, K., Rinaldi, T. e Markram, H. (2007), o indivíduo com TEA vive o que eles chamaram de "mundo intenso". Devido ao funcionamento inadequado dos circuitos neurais, que se tornam hipersensíveis à estimulação, ocorre uma percepção exagerada a fragmentos sensoriais do ambiente, além de causar hiper-foco a alguns fragmentos do ambiente sensorial com atenção exagerada e persistente. Esse mundo intenso pode facilmente tornar-se aversivo. Dessa forma, a falta de interação social no TEA pode, portanto, resultar de um ambiente percebido de modo intenso e até doloroso. Comportamentos que parecem antissociais para quem está de fora podem, na verdade, ser uma expressão de medo.

Existem evidências de que a diminuição da velocidade dos eventos faciais e vocais expressas por pessoas ou máquinas podem melhorar as habilidades imitativas, verbais e cognitivas em algumas crianças com TEA, em especial aquelas com autismo de baixo funcionamento (GEPNER; FÉRON,2009). Em experimento, Gepner e Féron (2009) desenvolveram um *software* que diminuía a velocidade na apresentação de estímulos visuais e auditivos em uma tela de computador. Quando indivíduos com TEA eram expostos àqueles gestos e sons, começavam a imitá-los, ao passo que indivíduos sem TEA não respondiam assim porque já haviam internalizado aqueles comportamentos. De maneira semelhante, ao diminuir a velocidade das frases enunciadas, os pesquisadores descobriram que os indivíduos com TEA compreendiam muito melhor seu significado.

Robôs, como o N-MARIA, podem ser meios eficientes de interação e comunicação social com crianças com TEA, podendo interagir de diferentes maneiras com elas, proporcionando um meio eficiente no desenvolvimento comportamental tal como apresentado por (DUQUETTE, 2008; KIM, 2013; KOZIMA, 2009).

1.2 Motivação

Considerando a importância do desenvolvimento de formas de terapias que visem promover o desenvolvimento de habilidades sociais em crianças com TEA e a efetividade do uso de robôs sociais para essa finalidade, propõe-se, neste trabalho, a construção de um protótipo de um robô afetivo móvel portátil como ferramenta de auxílio no desenvolvimento de habilidades sociais em crianças diagnosticadas com TEA.

Para que essa plataforma desempenhe esse papel, considera-se o estudo e o desenvolvimento de três sistemas:

1. Sistema dinâmico de representações faciais;
2. Sistema dinâmico de controle de emoções;
3. Sistema dinâmico de interações sociais baseado em comportamentos emocionais e afetivos.

Vale ressaltar que aplicações dos conceitos ligados ao desenvolvimento de habilidades sociais em crianças com TEA usando robôs afetivos são promissoras para várias vertentes de estudos, nas áreas de Psicologia e Engenharia, por exemplo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolvimento e implementação de um protótipo de um robô móvel portátil que seja capaz de interagir socialmente e afetivamente com crianças com TEA conforme estímulos externos para auxílio em terapias.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desenvolver, adaptar e testar um robô afetivo, móvel e portátil;
- Desenvolver, implementar e testar um sistema dinâmico de representações faciais através de um *display*;
- Desenvolver, implementar e testar um sistema dinâmico de resposta emocional a estímulos;
- Desenvolver, implementar e testar uma máquina de estados para controle da interação emocional do robô conforme aproximação ou distanciamento da criança.

1.4 Estrutura

Este projeto de graduação está dividido em cinco capítulos: o Capítulo 1 aborda o transtorno do espectro autista (TEA), os principais prejuízos sintomáticos do TEA, a efetividade de terapias, a motivação do trabalho e os objetivos. O Capítulo 2 aborda o desenvolvimento e a implementação de um sistema de representações das expressões faciais das seis emoções básicas: felicidade, tristeza, medo, surpresa, raiva e nojo, construídas a partir de combinações de alterações geométricas do olho e da boca impressas em um *display*, o qual é baseado em estudos das microexpressões faciais relacionadas a cada uma das seis emoções básicas. No Capítulo 3, são abordados o desenvolvimento e a implementação do sistema dinâmico de resposta emocional a estímulos do ambiente tendo como base o modelo teórico Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R) de Mehrabian e Russel (1974) e sua escala tridimensional de temperamentos, Prazer – Excitação – Dominância. Também é feita a integração deste sistema com o sistema de representações faciais de emoções. O Capítulo 4 aborda o desenvolvimento e a implementação da máquina de estados para controle da interação emocional do robô, conforme aproximação ou distanciamento da criança, integrando os sistemas desenvolvidos nos capítulos anteriores com o controle do robô móvel, visando estimular o envolvimento afetivo da criança com o robô. Por fim, o Capítulo 5 descreve as conclusões sobre os resultados obtidos, além de apresentar propostas de trabalho futuros.

2 MODELAGEM DE UM SISTEMA DINÂMICO DE REPRESENTAÇÕES FACIAIS DE EMOÇÕES EM UM *DISPLAY*

Neste capítulo são abordados o desenvolvido e a implementação de um sistema de representações das expressões faciais das seis emoções básicas, construídas a partir de combinações de alterações geométricas do olho e da boca impressas em um *display*, o qual é baseado no estudo das microexpressões faciais relacionadas a cada uma das seis emoções básicas.

2.1 Robôs sociais

Inicialmente, os robôs foram criados e aperfeiçoados em um esforço de automatizar operações industriais, tanto como forma de aumento de eficiência de produção como de segurança das pessoas e das instalações. A partir do século XVIII, com o aparecimento dos primeiros teares mecânicos, esse esforço de automatizar os processos industriais alinhado com o contínuo progresso da revolução industrial, fez com que as fábricas passassem a equipar-se com máquinas capazes de realizar e reproduzir, automaticamente, determinadas tarefas, o que evoluiu para o surgimento dos robôs industriais (PAZOS, 2002; CAEIRO et al., 2018). Com o avanço tecnológico, à medida que os robôs permeiam cada vez mais as nossas vidas, tanto profissional quanto privada, surgiu uma nova geração de robôs os robôs móveis e, recentemente, os robôs sociais (NITSCH et al., 2014).

Um robô social tem como objetivo interagir e se comunicar com humanos conforme os seus padrões comportamentais (BARTNECK et al., 2004). Para que robôs possam interagir de forma próxima e intuitiva com humanos, os robôs precisam prever as interações humanas e exibir comportamentos adequados ao contexto (NITSCH et al., 2014).

Levando em conta a importância das expressões faciais em relacionamentos sociais, o desenvolvimento de robôs afetivos, os quais se enquadram dentro de robôs sociais, considera relevantes aspectos no *design* de faces de robôs. Assim, com base nas expressões faciais de emoções, robôs afetivos estão sendo construídos com várias propostas, as quais variam de comercial a terapêuticas, como aquelas destinadas à interação com crianças com TEA (SANTO et al., 2017).

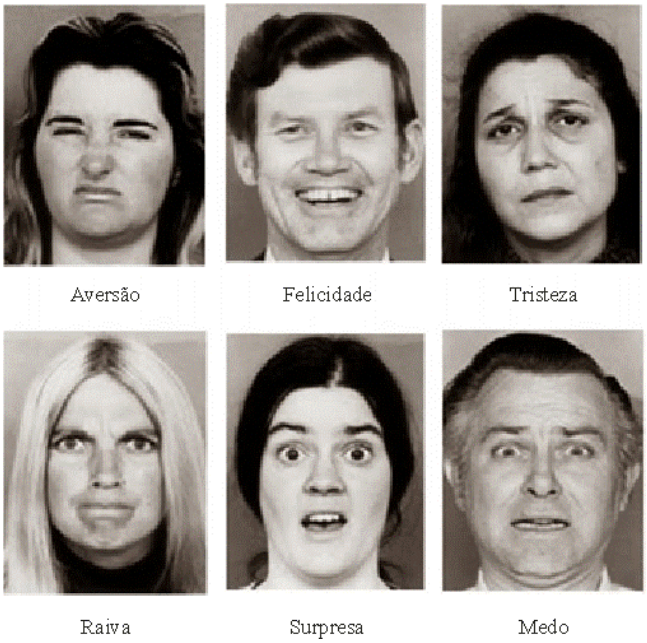
No entanto, até hoje, tem-se pouco conhecimento sobre como os seres humanos interagem com entidades sociais artificiais, muito menos o que constitui uma comunicação intuitiva com esses estudos. Assim, de longe, a maioria dos esforços de pesquisa e engenharia sobre o uso de emoções na robótica tem se concentrado em facilitar a interação humano-robô (NITSCH et al., 2014).

2.1.1 Expressões emocionais

Embora as definições variem, na literatura sobre psicologia, as emoções (humanas) são comumente descritas como "experiências relativamente breves, mas intensas" (EYSENCK et al., 2000). As visões evolutivas das emoções humanas caracterizaram-nas como adaptações para a rápida produção e reconhecimento de sinais emocionais, em particular, sinais faciais, com propósitos principalmente comunicativos (CRAIG et al., 2010).

Segundo Ekman e Friesen (2003), através de pesquisas com pessoas de diversos lugares do mundo, existem seis expressões emocionais universais: felicidade, tristeza, raiva, medo, aversão e surpresa (Figura 1). Segundo os autores, todas as expressões humanas são resultado da combinação dessas expressões faciais.

Figura 1 - As seis emoções básicas segundo Ekman e Friesen (2003).



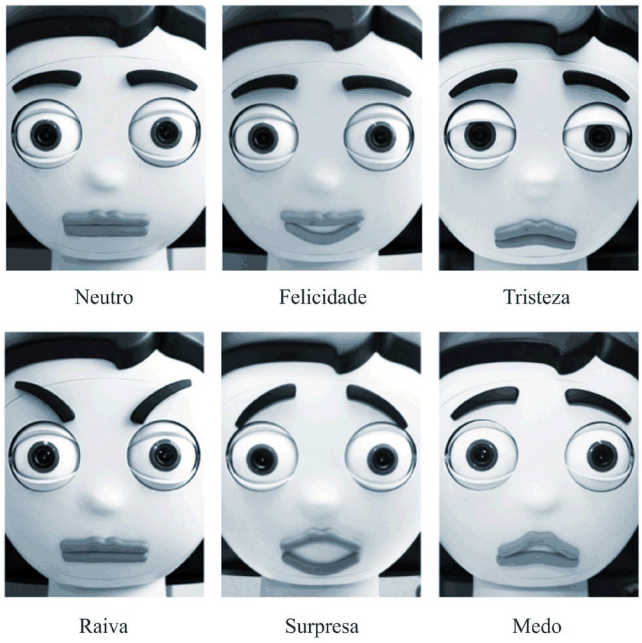
Fonte: Adaptado de Ekman et al. (2003).

2.1.2 Simulação de emoções em robôs

Desde que foi entendida a importância da emoção humana como meio de comunicação não verbal entre pessoas, diversas linhas de pesquisas surgiram buscando trazer habilidades de comunicação social a robôs, como uma forma intuitiva de comunicação homem-robô (NITSCH et al., 2014).

Uma forma comum de simular emoções em robôs é através do uso de expressões faciais, caracterizadas por sobrancelhas franzidas, abertura dos olhos e tensionamento na boca. Um exemplo é a cabeça humanoide FLOBI (Figura 2), que transmite emoções através de diferentes configurações de movimentos das sobrancelhas, pálpebras e lábios (LÜTKEBOHLE et al., 2010).

Figura 2 - Expressões faciais de emoções da cabeça FLOBI.



Fonte: Adaptado de Lütkebohle et al. (2010).

2.2 Sistema de codificação de expressões faciais (FACS)

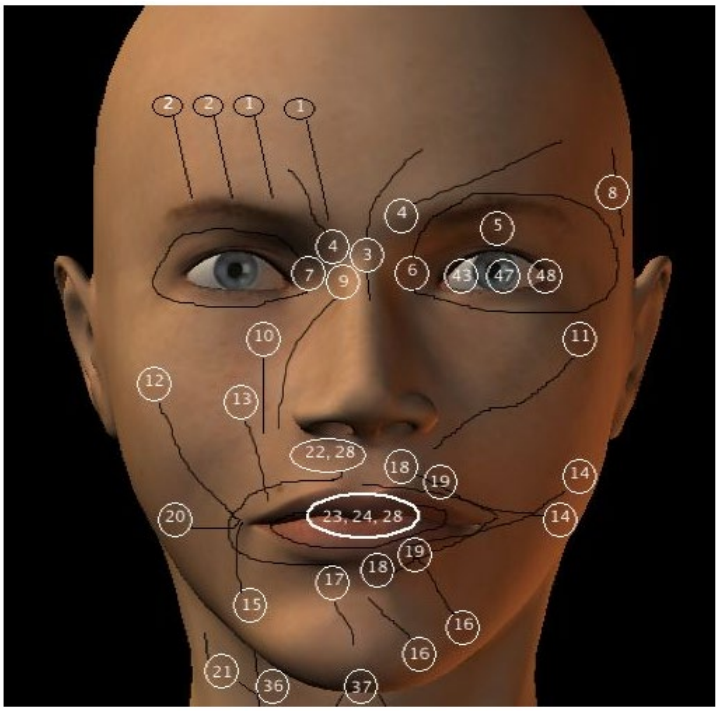
Paul Ekman e Wallace Friesen (2002), baseados em suas pesquisas sobre a expressão das emoções, desenvolveram o Sistema de Codificação de Expressões Faciais ou FACS (do inglês *Facial Action Coding System*) como uma linguagem abrangente para codificar expressões faciais em termos de microexpressões faciais, resultantes de pequenos movimentos

musculares, em variadas regiões do rosto, denominadas Unidades de Ação ou AUs (do inglês *Action Units*).

Desde então, com auxílio da tecnologia, esse sistema de codificação foi aperfeiçoado, sendo o mais recente o de Freitas-Magalhães (2018), baseado no FACS, em que foi criado o F-M FACS 3.0, que apresenta 102 códigos de ação muscular (Figura 3).

O FACS permite a identificação de emoções através da combinação das unidades de ação (AUs) e, por consequência, a categorização de comportamentos exibidos durante a contração muscular (FREITAS-MAGALHÃES, 2018).

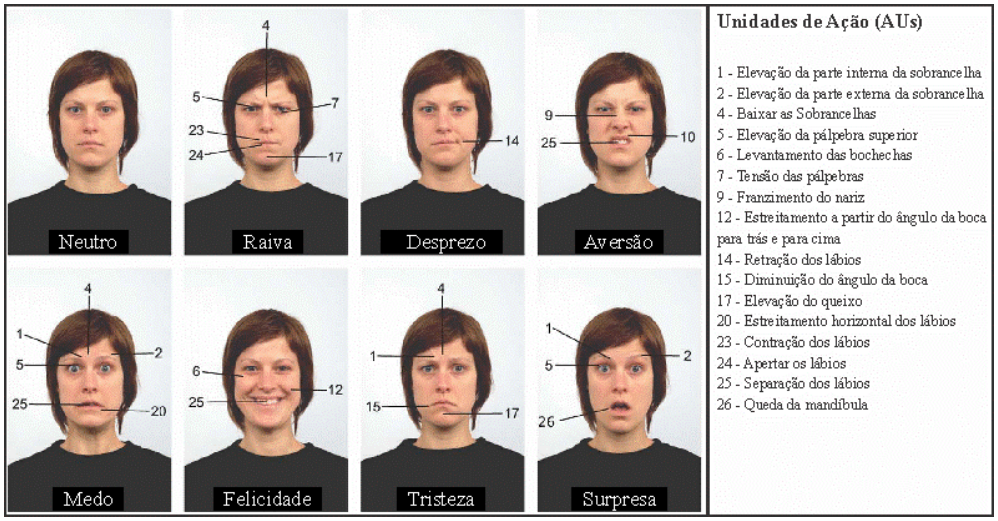
Figura 3 - A posição das AUs ao longo da face.



Fonte: Freitas-Magalhães (2018).

A Figura 4 (LANGNER et al., 2010) mostra algumas das AUs conforme cada emoção, baseando-se no FACS. Essas AUs podem ser vistas como ativações musculares subjacentes que causaram as expressões observadas.

Figura 4 - AU's conforme cada emoção.



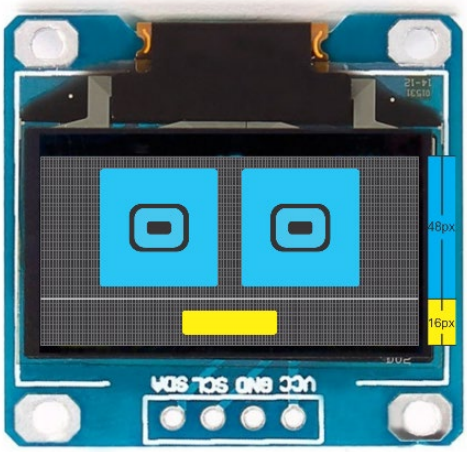
Fonte: Adaptado de Langner et al. (2010).

2.3 Desenvolvendo uma face dinâmica

Buscando uma forma de simplificação e representação das expressões faciais, neste trabalho foi desenvolvido um robô móvel, com dimensões de cerca de 20 x 20 x 20 cm, que possui um *display* OLED de 128 x 64 px com uma tela de 22 x 11 mm.

Considerando o *display* adotado neste trabalho, foi feito o desenvolvimento de um sistema dinâmico dividido em boca e olhos (Figura 5), em que ambos adquirem formatos baseados no FACS. Assim, conforme a combinação das AUs, é expressa cada uma das seis emoções básicas, além da face de estado de sono.

Figura 5 - Disposição dos olhos e boca no *display* OLED.

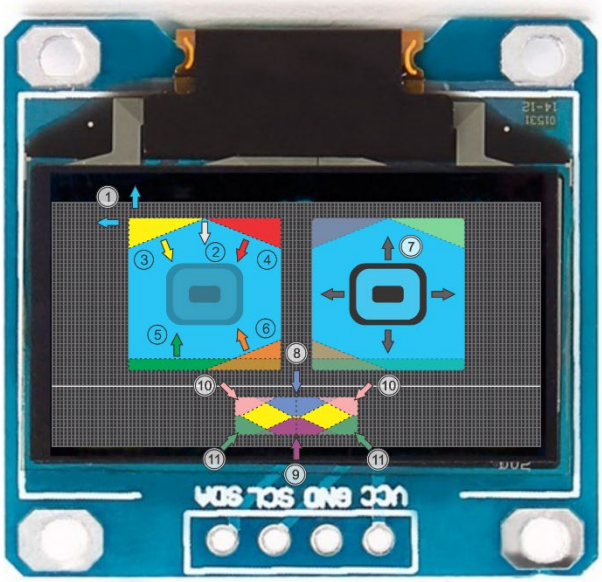


Fonte: Produção do próprio autor.

2.3.1 Mapeando as unidades de ação facial (AUs) para o *display*

Com base nos estudos de Ekman et al. (2003) e de Freitas-Magalhães (2018), as AUs consideradas mais influentes e viáveis para a aplicação foram mapeadas e implementadas no *display* (Figura 6).

Figura 6 - Demonstração das AU's mapeadas na face do robô.

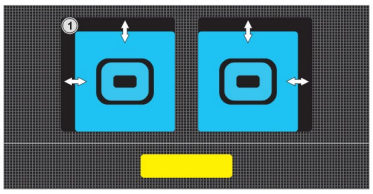
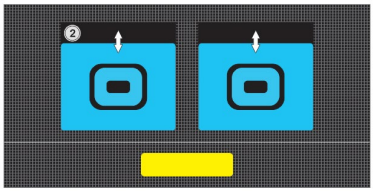
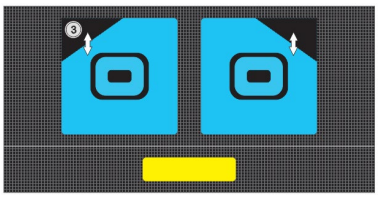
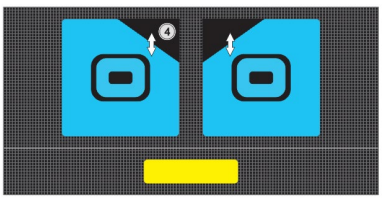
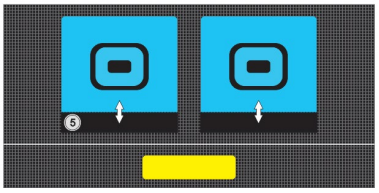
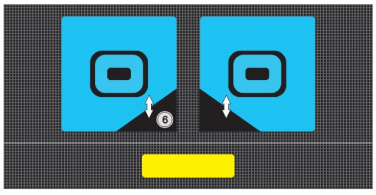
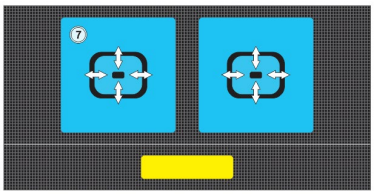
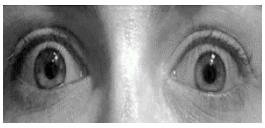


Fonte: Produção do próprio autor.

Para cada AU selecionada, ou combinação delas, foi associada uma transformação geométrica específica do desenho do olho e da boca, com o intuito de representar os movimentos faciais no *display*. Em alguns casos, uma mesma transformação geométrica pode representar mais de uma AU ou a soma de um conjunto de AUs.

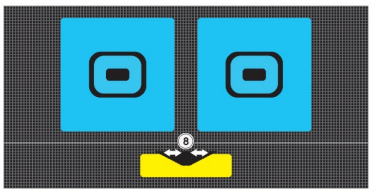
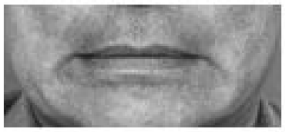
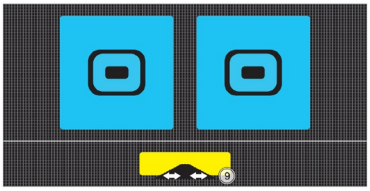
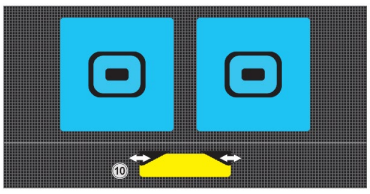
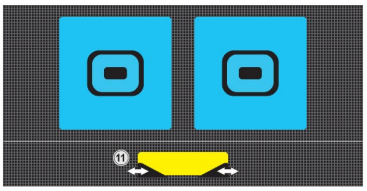
Dessa forma, foram desenvolvidas 11 unidades de ação facial, para as quais se pode controlar a sua intensidade. As unidades de ação facial estão relacionadas nas Tabelas 1 e 2, fazendo referência à AU análoga, conforme discriminado por Freitas-Magalhães (2018).

Tabela 1 - Unidades de expressão dos olhos no robô.

Imagem da ação no Robô	Ação na face humana	Ação facial	Descrição
		1) Elevação da pálpebra superior (AU5)	Responsável por alterar o tamanho total do olho de forma bilateral
		2) Tensão das pálpebras (AU7), olhos fechados (AU43) ou piscar olhos (AU46)	Responsável por representar a pálpebra do olho, fechando ou abrindo o olho
		3) Elevação da parte interna da sobrancelha (AU1)	Responsável por representar o movimento da parte exterior da sobrancelha
		4) Baixar as sobrancelhas (AU4) e elevação da parte externa da sobrancelha (AU2)	Responsável por representar tensionamentos na testa
		5) Levantamento das bochechas (AU6)	Responsável por representar tensionamentos na bochecha
		6) Franzimento do nariz (AU9)	Responsável por representar tensionamentos no nariz
		7) Dilatação da pupila (AU47) e contração da pupila (AU48)	Responsável por representar a dilatação ou contração da pupila

Fonte: coluna 1) Próprio autor; coluna 2) Adaptado de Wu et al. (2009) ; coluna 3) Freitas-Magalhães (2018).

Tabela 2 - Unidades de expressão da boca no robô.

Imagem da ação	Ação na face humana	Ações Faciais	Descrição
		8) Contração dos lábios (A23) ou estreitamento horizontal dos lábios (A20)	Responsável por representar a movimentação do lábio superior no sentido vertical
		9) Elevação do queixo (A17)	Responsável por representar o tensionamento do queixo
		10) Diminuição do ângulo da boca (A15)	Responsável por representar o movimento lateral dos lábios para baixo
		11) Estreitamento a partir do ângulo da boca para trás e para cima (A12)	Responsável por representar o movimento lateral dos lábios para cima

Fonte: *coluna 1)* Produção do próprio autor; *coluna 2)* Adaptado de Wu et al. (2009) ; *coluna 3)* Freitas-Magalhães (2018).

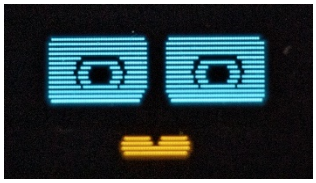
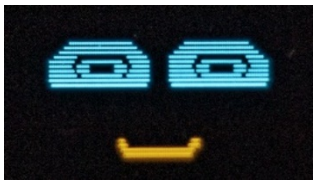
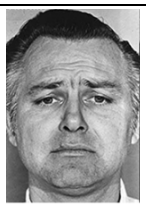
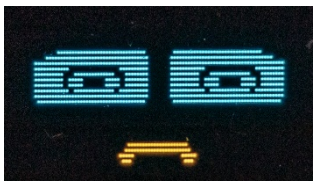
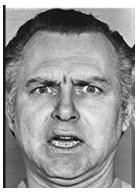
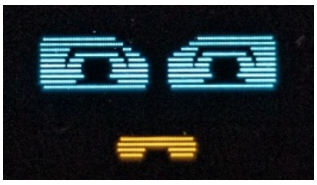
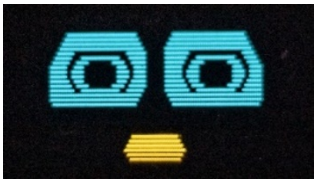
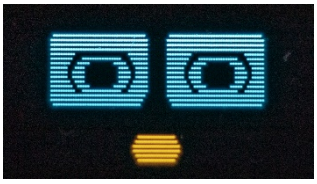
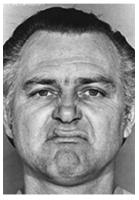
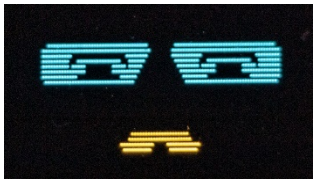
2.3.2 Montando a face do robô

Considerando as seis emoções básicas e suas respectivas AUs descritas por Ekman (2003), foram combinadas as unidades de ação desenvolvidas no robô, a fim de construir a representação de cada uma das seis emoções básicas (Tabela 3). Para isso, foi desenvolvido um sistema matricial com constantes, onde cada linha representa uma emoção e cada coluna representa uma unidade de ação facial. Portanto, cada linha dessa matriz provocará um conjunto de ações faciais que representarão a face adequada à emoção.

$$MATRIZ\ \ 7x11 = \begin{cases} Emoção\ 1 = \{K_{1,1}\ , K_{1,2}, \cdots, K_{1,11}\} \\ Emoção\ 2 = \{K_{2,1}\ , K_{2,2}, \cdots, K_{2,11}\} \\ Emoção\ 3 = \{K_{3,1}\ , K_{3,2}, \cdots, K_{3,11}\} \\ \vdots \\ Emoção\ 7 = \{K_{7,1}\ , K_{7,2}, \cdots, K_{7,11}\} \end{cases},$$

onde, $K_{n,m}$ é a constante de ação proporcional referente à unidade de ação m na emoção n.

Tabela 3 - Relação de faces desenvolvidas.

Emoção	Expressão facial	Descrição	Emoção no Robô
Neutro		Olhos e boca em condição inicial.	
Felicidade		Bochecha tensionada fechando os olhos. Boca com as laterais tensionadas para cima.	
Tristeza		Sobrancelha externa caída. Boca fechada e com laterais caídas.	
Raiva		Testa tensionada/baixa e pupila dilatada. Boca fechada e tensionada.	
Medo		Olhos abertos, sobrancelha caída e pupila dilatada. Boca aberta e tensionada.	
Surpreso		Olhos abertos e pupila dilatada. Boca aberta e tensionada.	
Aversão		Testa caída, olhos levemente fechados e nariz enrugado. Boca aberta e tensionada.	
Dormindo		Olhos e boca fechados.	

Fonte: *coluna 2)* Fotos adaptadas de Ekman et al. (2003); *coluna 4)* Produção do próprio autor.

2.3.3 Intensidade das unidades de expressões

Como mencionado anteriormente, cada face é resultado da soma de um conjunto de unidades de expressões. Para que seja formado esse conjunto, o robô calcula a intensidade de cada unidade de ação facial. Além disso, com o intuito de tornar a face dinâmica, proporcional à intensidade da emoção, foi inserida uma variável, que assume valores entre 0 e 1, com o objetivo de controlar proporcionalmente a ação da emoção em todas as unidades de expressão.

Dessa forma, cada unidade de ação facial (AU) terá um valor de intensidade (β_{AU}) correspondente ao resultado de uma equação de primeiro grau, tal como pode ser observado na expressão:

$$\beta_{AU} = K_{AU} + K'_{AU} \,.\, (K_{Emoção,AU} \cdot \beta_{Emoção}),$$

onde:

- β_{AU}: intensidade da unidade de ação facial;
- K_{AU}: constante da unidade de ação facial ;
- K'_{AU}: coeficiente da unidade de ação facial ;
- $K_{Emoção,AU}$: constante da matriz 7x11 ;
- $\beta_{Emoção}$: intensidade da emoção.

Assim, tem-se a intensidade para cada uma das AUs, formando um conjunto de unidades de ação facial, como mostrado na Tabela 4.

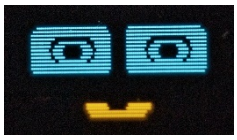
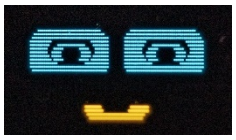
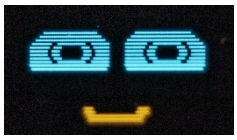
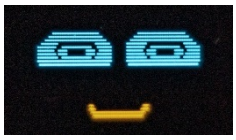
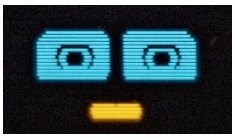
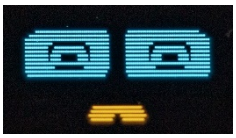
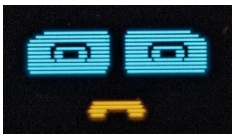
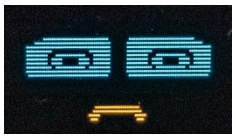
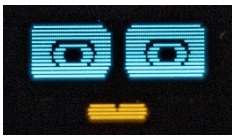
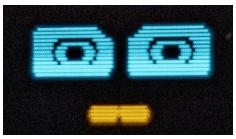
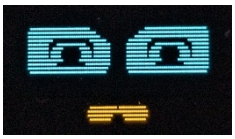
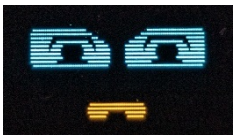
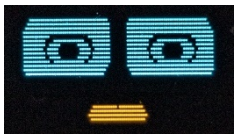
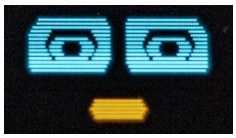
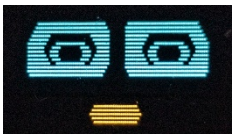
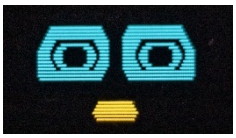
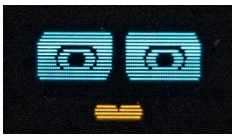
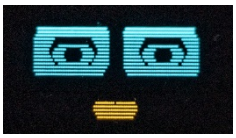
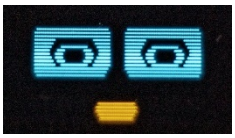
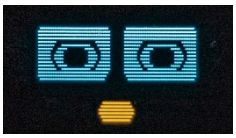
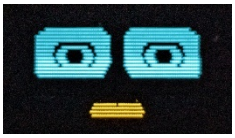
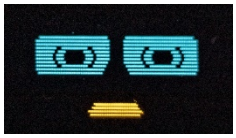
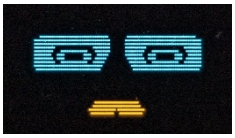
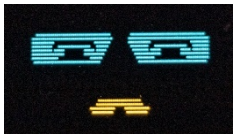
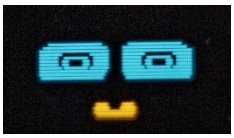
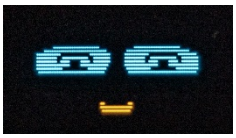
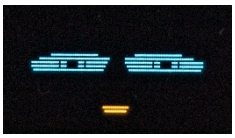
$$\text{Intensidades das AUs} \begin{cases} \beta_1 = K_1 + K'_1 \,.\, (K_{Emoção,1} \cdot \beta_{Emoção}) \\ \beta_2 = K_2 + K'_2 \,.\, (K_{Emoção,2} \cdot \beta_{Emoção}) \\ \vdots \\ \beta_{11} = K_{11} + K'_{11} \,.\, (K_{Emoção,6} \cdot \beta_{Emoção}) \\ \beta_{12} = K_{12} + K'_{12} \,.\, (K_{Emoção,7} \cdot \beta_{Emoção}) \end{cases}$$

Como resultado, tem-se como variar a intensidade da emoção.

2.4 Implementação e resultados obtidos

Após a implementação e adequação empírica das constantes, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Representação da variação de intensidade das emoções

Emoção	25% de Intensidade	50% de Intensidade	75% de Intensidade	100% de Intensidade
Felicidade				
Tristeza				
Raiva				
Medo				
Surpreso				
Aversão				
Dormindo				

Fonte: Produção do próprio autor.

Os resultados obtidos mostram a combinação das unidades de ação facial mapeadas no robô proposto neste trabalho, tal como sua intensidade, conforme Tabelas 3 e 4. Apesar de rudimentares, tais expressões robóticas atendem ao propósito de formação de uma face dinâmica e são passíveis de compreensão por crianças com TEA, embora tais expressões devam ser testadas posteriormente para averiguar a compreensão por essas crianças.

Ainda, são necessárias melhorias do desenho de cada expressão, a fim de torná-las mais claras, podendo ser feitas junto com testes, intercalando diferentes intensidades e formas das unidades de expressão facial, com o intuito de verificar quais expressões mais contribuem para a interpretação de cada emoção no contexto proposto.

3 MODELAGEM DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE EMOÇÕES

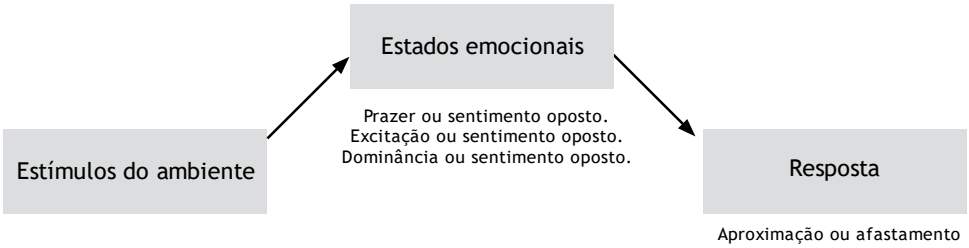
Neste capítulo mostra-se o desenvolvimento e a implementação de um sistema dinâmico de resposta emocional a estímulos do ambiente.

3.1 Escalas de emoção

Existem diferentes escalas que mapeiam as emoções de diferentes maneiras para determinar qual é a dominante em determinadas situações. Dentre os modelos de mapeamento das emoções, um dos mais citados entre os textos acadêmicos sobre emoções em robôs é o modelo teórico Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R), em inglês *Stimuli-Organism-Response* (S-O-R), de Mehrabian e Russel (1974) e sua escala tridimensional de temperamentos Prazer – Excitação – Dominância (P-E-D), do inglês *Pleasure - Arousal – Dominance* (P-A-D).

3.2 Modelo Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R)

Figura 7 - Modelo teórico Estímulo-Organismo-Resposta.



Fonte: FEIJO et al. (2012).

Mehrabian e Russell (1974) desenvolveram a Teoria Ambiental, onde definiram que as variáveis sensoriais, o nível de incerteza sobre o local e a percepção individuais quanto aos estímulos "influenciam os estados emocionais das pessoas no instante os quais induzem os indivíduos a se aproximarem ou evitarem o recinto". Segundo eles, os estímulos oriundos das variáveis do ambiente influenciam a emoção do indivíduo conforme a interpretação do organismo aos estímulos. A interpretação desses estímulos gera o prazer ou o desprazer, a excitação ou a falta dela e a dominância ou a não-dominância, resultando em uma emoção que induz o indivíduo a se aproximar ou se afastar do ambiente conforme satisfação ou incômodo. Esse fluxo sugerido pela Teoria Ambiental é denominado como modelo Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R) (Figura 7).

3.2.1 Prazer – Excitação – Dominância (P-E-D)

Ao desenvolver a teoria Ambiental, Mehrabian e Russell (1974) consideraram que a emoção é resultado de três grandezas: o prazer, a excitação e a dominância como três dimensões emocionais independentes para descrever o estado de sentimento das pessoas. Eles descreviam o prazer como uma grandeza que variava de extrema dor ou infelicidade à extrema felicidade. A excitação foi criada como uma grandeza para quantificar a atividade mental, variando do sono à excitação extrema. A grandeza da dominância foi criada para quantificar o sentimento de controle sobre o ambiente e seu próprio comportamento, indo da dominância à submissão.

Em resumo (MEHRABIAN et al., 1996):

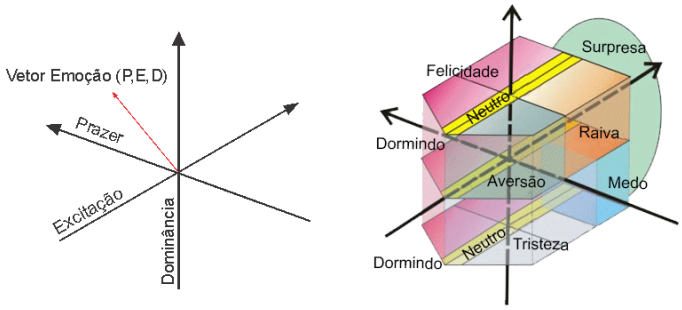
- Prazer (*Pleasure*): estados afetivos positivos versus negativos (por exemplo, excitação, relaxamento, amor e tranquilidade versus crueldade, humilhação, desinteresse e aborrecimento);
- Dominância (*Dominance*): sentimento de controle e influência sobre o ambiente e sobre as outras pessoas em oposição ao sentimento de ser controlado ou influenciado por situações e outras pessoas (por exemplo, raiva, relaxamento, poder e ousadia em oposição a ansiedade, paixão, medo e solidão);
- Excitação (*Arousal*): nível de alerta mental e atividade física (por exemplo, sono, inatividade, tédio e relaxamento na extremidade inferior versus vigília, tensão corporal, exercício extenuante e concentração na extremidade superior).

3.2.2 Aplicação da escala P-E-D e o modelo E-O-R em robôs sociais

O modelo E-O-R e a escala de emoções P-E-D são frequentemente encontrados em projetos de robôs sociais como norte para a modelagem da inteligência emocional dos mesmos ou em projetos que visam a interpretação de emoções via computação visual.

Um exemplo de escala P-E-D é utilizado no robô humanoide WE-4RII (ITOH et al., 2006). Nele, foi adotado um espaço tridimensional que consiste em um eixo de prazer, um eixo de excitação e um eixo de dominância. Nesse espaço, tem-se o vetor emoção que representa diferentes emoções no espaço tridimensional formado pelo P-E-D (Figura 8).

Figura 8 - Espaço tridimensional P-E-D adotado no robô WE-4RII.



Fonte: Adaptado de Itoh et al. (2006).

3.3 Utilizando o E-O-R para modelar a emoção do robô

Para fazer o controle das emoções do robô utilizando o modelo Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R), é preciso que o sistema desempenhe três ações:

i. Ler e interpretar estímulos do ambiente;
ii. Mapear a emoção e sua intensidade conforme estímulos externos acumulados;
iii. Reagir em resposta conforme a emoção.

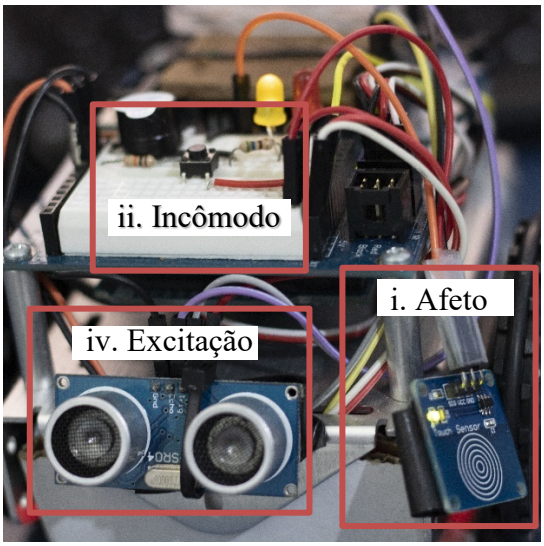
3.3.1 Ler e interpretar estímulos do ambiente

Para desenvolver um robô emocionalmente autônomo, se faz necessário adotar sensores que serão responsáveis pela leitura de variáveis que serão interpretadas como estímulos externos. Para isso, adotou-se os seguintes sensores (Figura 9):

i. Estímulo de afeto: foi adotado um sensor de toque capacitivo para detectar situações de carinho ou contato agradável feitos com o robô. Assim, quando a criança tocar esse sensor, o robô irá interpretar como carinho e tenderá a ficar feliz com esse estímulo;
ii. Estímulo de incômodo: foi adotada uma chave momentânea (*push-button*) para detectar o contato não agradável. Assim, quando a criança apertar essa chave, o robô irá interpretar como um toque não agradável e tenderá a ficar irritado com esse estímulo;
iii. Estímulo de medo: foram adotados sensores reflexivos, localizados na parte inferior do robô, capazes de detectar diferenças de desnível ou faixa delimitadora para simular uma situação de risco repentino de queda ou saída do espaço delimitado. Assim, quando o robô detectar diferenças de nível ou saída do espaço delimitado, ele irá interpretar como uma situação de risco e tenderá a ficar com medo com esse estímulo;
iv. Estímulo de excitação: foi adotado um sensor de distância ultrassônico HC-SR04, capaz de medir distâncias entre 2 a 400 cm e tempo de resposta de até 25ms, para

simular o estímulo de excitação e curiosidade. Através dessa entrada, pode-se chamar a atenção do robô movimentando a mão dentro da faixa de medição, provocando uma variação repentina na distância medida. O robô irá interpretar essa variação repentina como alguém convidando-o para interagir e tenderá a ficar feliz com esse estímulo.

Figura 9 - Sensores do robô



Fonte: Produção do próprio autor.

3.3.2 Mapear a emoção e a sua intensidade conforme estímulos externos acumulados

Para mapear as emoções a partir dos estímulos detectados, foi usado como base o mapeamento das sete emoções feito no robô WE-4RII (ITOH et al., 2006).

Dessa forma, foi preciso definir três aspectos importantes:

i. Qual a contribuição de cada estímulo para cada umas das três dimensões P-E-D?
ii. Qual a persistência/degradação dos estímulos recebidos no tempo?
iii. Qual a intensidade da emoção?

3.3.2.1 Ciclos periódicos

Ficou claro, nesse momento, que a grandeza de tempo é importante para um funcionamento sincronizado do mapeamento de emoções. Sendo assim, foi desenvolvida uma interrupção por tempo que é chamada a cada 0,25 s. Tal interrupção é responsável por coordenar a leitura dos sensores, uma vez a cada interrupção, para controle da taxa de amostragem, além de servir como meio de referência de tempo para as demais funções. Ou seja, o robô trabalha com uma referência periódica de tempo em ciclos de 0,25 s.

3.3.2.2 Contribuição de cada estímulo aos eixos P-E-D

Para que seja possível considerar o acúmulo de estímulos ao longo do tempo, considerando os ciclos de 0,25 s, foram utilizadas a seguintes equações:

$$Contribuição\ aos\ Eixos\ \ P-E-D\ = \begin{cases} P(t) = P(t-1) + \sum_{k=1}^{x} Flag(t)_k \,.KP_k \\ E(t) = E(t-1) + \sum_{k=1}^{x} Flag(t)_k \,.KE_k\,, \\ D(t) = D(t-1) + \sum_{k=1}^{x} Flag(t)_k \,.KD_k \end{cases}$$

onde: $P(t)$, $E(t)$ *e* $D(t)$ são as funções no tempo dos eixos do espaço emoção P-E-D; x corresponde ao número de estímulos; $Flag(t)_k$ indica a existência (1) ou não (0) do estímulo k no instante t; KP_k, KE_k *e* KD_k corresponde à contribuição proporcional do estímulo k para cada eixo, que pode ser positiva ou negativa, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de contribuições.

Estímulo	Prazer	Excitação	Dominância
Estímulo de afeto	Positiva	Positiva	Positiva
Estímulo de dor	Negativa	Positiva	Positiva
Estímulo de medo	Negativa	Positiva	Negativa
Estímulo de excitação	Positiva	Positiva	Negativa

3.3.2.3 Degradação dos estímulos acumulados nos eixos P-E-D

De acordo com a persistência ou não dos estímulos, as emoções resultantes degradam-se ao longo do tempo buscando a neutralidade e o relaxamento.

Dessa forma, ao longo do tempo, o estado emocional deve voltar para os seguintes valores:

$$\text{Eixos P} - \text{E} - \text{D} = \begin{cases} P(t \to \infty) = 0 \\ E(t \to \infty) = E_{sono} \\ D(t \to \infty) = 0 \end{cases}$$

Para simular a degradação dos valores acumulados nos eixos P-E-D, foi criada uma função executada periodicamente, associada às seguintes equações:

$$Degradação\ do\ Eixos\ P-E-D \begin{cases} P(t) = P(t-1) - KP_{deg}\,.\,|P(t-1)| \\ E(t) = E(t-1) - (KE'_{deg} + KE_{deg}\,.\,E(t-1)) \\ D(t) = D(t-1) - KD_{deg}\,.\,|D(t-1)| \end{cases},$$

onde: $P(t)$, $E(t)$ e $D(t)$ são as funções no tempo dos eixos do espaço emoção P-E-D; KE'_{deg} corresponde à constante de degradação do eixo de excitação; KP_{deg}, KE_{deg} e KD_{deg} correspondem às constantes de degradação proporcionais para cada eixo.

3.3.2.4 Memória e mapeamento da emoção

Considerando a contribuição dos estímulos e a degradação no tempo para cada eixo P-E-D, um sistema capaz de acumular os estímulos ao longo do tempo pode ser levado em consideração. Dessa forma, levando em conta as variáveis já apresentadas, tem-se:

$$Eixos\ P-E-D \begin{cases} P(t) = \sum_{i=0}^{t}\left[-KP_{deg} * |P(i-1)| + \sum_{k=1}^{x}(Flag(t)_k * KP_k)\right] \\ E(t) = \sum_{i=0}^{t}\left[-KE'_{deg} - KE_{deg} * |E(i-1)| + \sum_{k=1}^{x}(Flag(t)_k * KE_k)\right] \\ D(t) = \sum_{i=0}^{t}\left[-KD_{deg} * |D(i-1)| + \sum_{k=1}^{x}(Flag(t)_k * KD_k)\right] \end{cases}$$

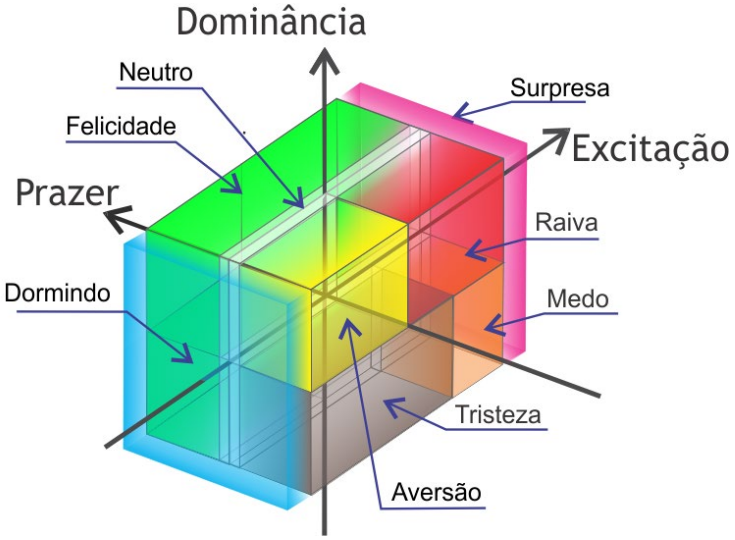
Os valores dos eixos P-E-D obtidos através das somatórias apresentadas terão uma representação vetorial que poderá ser categorizada conforme os valores da Tabela 6.

Tabela 6 - Intervalo, no espaço P-E-D, correspondente às seis emoções básicas, ao sono e aos valores máximos que podem ser assumidos.

Emoção	Prazer - P(t)	Excitação – E(t)	Dominância – D(t)
Felicidade	$(0, +10)$	$(-10, +10)$	$(-10, +10)$
Tristeza	$(-10, 0)$	$(-10, +5)$	$(-10, 0)$
Raiva	$(-10, 0)$	$(0, +10)$	$(0, +10)$
Medo	$(-10, 0)$	$(+5, +10)$	$(-10, 0)$
Surpresa	$(+10, 0)$	$(+10, +12)$	$(-10, 0)$
Aversão	$(-10, 0)$	$(-10, 0)$	$(0, +10)$
Dormindo	$(-10, +10)$	$(-12, -10)$	$(-10, +10)$
Valor Máx.	$(-10, +10)$	$(-12, +12)$	$(-10, +10)$

O espaço formado pelos eixos P-E-D e a representação das respectivas regiões referentes a cada emoção, conforme Tabela 6, são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Representação do espaço tridimensional P-E-D adotado para o robô.



Fonte: Adaptado de Itoh et al. (2006).

3.3.3 Intensidade da emoção

No cálculo da intensidade da emoção, é levada em conta a distância do ponto mapeado no espaço P-E-D para o ponto definido como de máxima intensidade de cada emoção (Tabela 7):

Tabela 7 - Pontos de máxima intensidade adotados.

Emoção	Pmax	Emax	Dmax
Felicidade	10	5	10
Tristeza	-10	-2	-10
Raiva	-10	10	10
Medo	-10	10	-10
Surpresa	10	12	-10
Aversão	-10	-2	10
Dormindo	0	-12	0

$$I_n(t) = 1 - \left(KI_n * \sqrt{\left(Pmax_n - P(t)\right)^2 + \left(Emax_n - E(t)\right)^2 + \left(Dmax_n - D(t)\right)^2} \right),$$

onde: $I_n(t)$ é a função no tempo da intensidade da emoção; *P(t), E(t) e D(t)* são as funções no tempo dos eixos do espaço emoção P-E-D; $Pmax_n, Emax_n$ *e* $Dmax_n$ são as coordenadas do ponto de maior intensidade da emoção n, conforme Tabela 8, e KI_n é o coeficiente de intensidade da emoção *n*.

3.3.4 Rotinas do modelo E-O-R no robô

A Tabela 8 apresenta um resumo das rotinas relacionadas ao modelo E-O-R utilizado neste trabalho.

Tabela 8 - Rotinas de funcionamento do modelo E-O-R no robô.

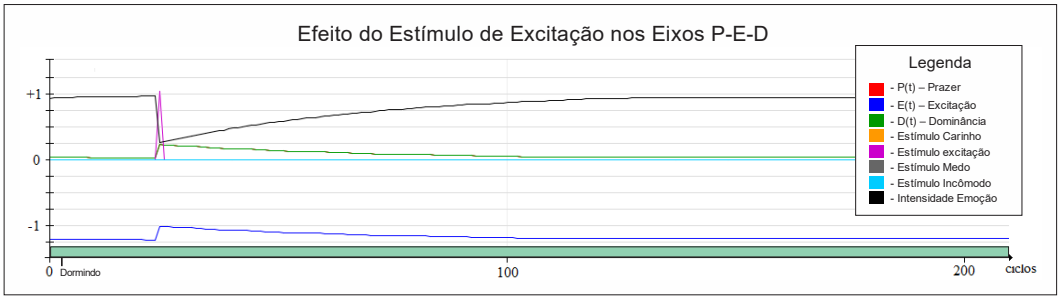
Função	Descrição	Frequência
Leitura dos Sensores	Ler o valor de cada sensor e traduzir em indicadores (*Flag*).	1 vez por ciclo
Interpretação dos valores medidos	Cada *Flag* contribui de forma diferente, somando um valor específico para cada um dos eixos P-E-D.	1 vez por ciclo
Mapeamento da emoção	Conforme o valor de P-E-D, é mapeada a emoção correspondente e calculada sua intensidade.	1 vez por ciclo
Impressão da face	Conforme a emoção e sua intensidade, é feita a impressão da face.	1 vez por ciclo
Degradação dos estímulos	De forma periódica, os estímulos somados a cada eixo do espaço P-E-D são degradados, tendendo a ponto neutro e de sono.	1 vez por ciclo
Piscar olhos	Fechar os olhos do robô por 0,020 s	1 vez a cada 8 ciclos

3.4 Implementação e resultados obtidos

Para validar o modelo E-O-R implementado, foram feitos o teste e adequação do efeito de cada estímulo em cada um dos eixos P-E-D, tal como a emoção mapeada e sua intensidade calculada.

Na Figura 11, é possível verificar o efeito pontual do estímulo de excitação, que corresponde a “chamar a atenção” do robô através de movimentos que provoquem grandes variações da distância medida pelo sensor ultrassônico, nos três eixos P-E-D. Inicialmente, os eixos P-E-D, encontram-se em sua condição inicial (P = 0, E = -12 e D = 0), com o robô no estado emocional de sono em sua máxima intensidade. Com o estímulo de excitação, há o incremento proporcional em todos os três eixos, e a consequente queda da intensidade da emoção, simbolizando que o robô está acordando, porém, o estímulo não é suficientemente forte para provocar a mudança de estado emocional do robô. Com o passar dos ciclos, pode-se verificar a vagarosa degradação dos estímulos dos eixos P-E-D, tendendo aos valores iniciais, e o aumento da intensidade da emoção como resultado dessa degradação.

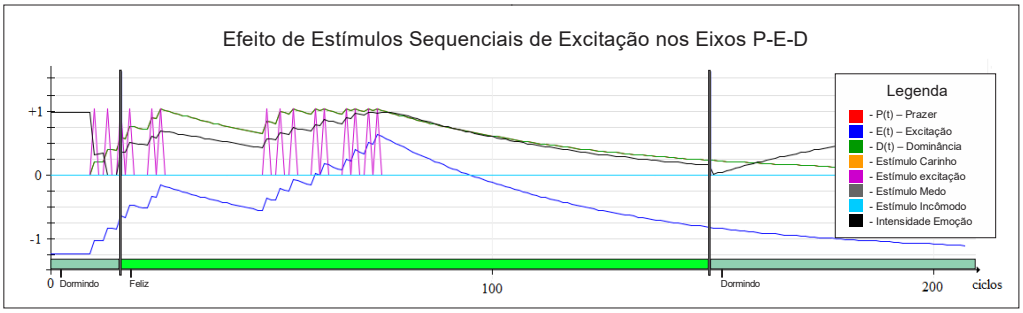
Figura 11 - Efeito do estímulo de excitação nos eixos P-E-D.



Fonte: Produção do próprio autor.

No gráfico da Figura 12, demonstra-se o efeito de estímulos sequenciais de excitação nos eixos P-E-D. De forma semelhante à anterior, os eixos P-E-D encontram-se em sua condição inicial (P = 0, E = -12 e D = 0), com o robô no estado emocional de sono em sua máxima intensidade. Em seguida, cada estímulo de excitação contribui para o incremento proporcional dos três eixos enquanto o efeito de degradação contribui para o decremento proporcional. Após o segundo estímulo de excitação, os valores de P-E-D alcançam valores capazes de provocar a mudança do estado emocional de sono para o estado emocional de felicidade, tendo sua intensidade de emoção variando de forma proporcional à distância entre o vetor P-E-D e o ponto de máxima intensidade (Tabela 7). Dessa forma, a Figura 12 evidencia o acúmulo dos estímulos sequenciais de mesma natureza nos eixos P-E-D e a consequente mudança do estado emocional e de sua intensidade.

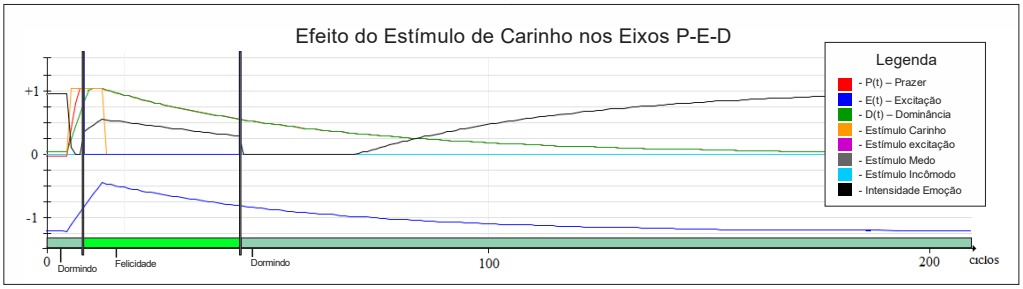
Figura 12 - Efeito de estímulos sequenciais de excitação nos eixos P-E-D.



Fonte: Produção do próprio autor.

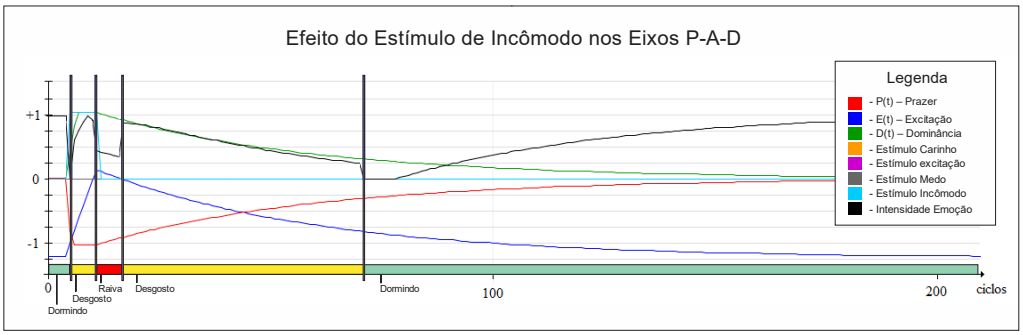
Nos gráficos das Figuras 13, 14 e 15, demonstram-se os efeitos de cada um dos estímulos de carinho, incômodo e medo nos eixos P-E-D e a consequente mudança de estado emocional e de sua intensidade ao longo dos ciclos.

Figura 13 - Efeito do estímulo de carinho nos eixos P-E-D.



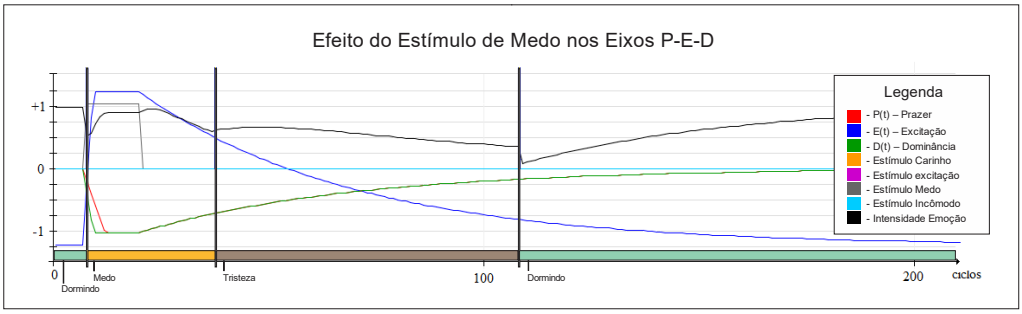
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 14 - Efeito do estímulo de incômodo nos eixos P-E-D.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 15 - Efeito do estímulo de medo nos eixos P-E-D.

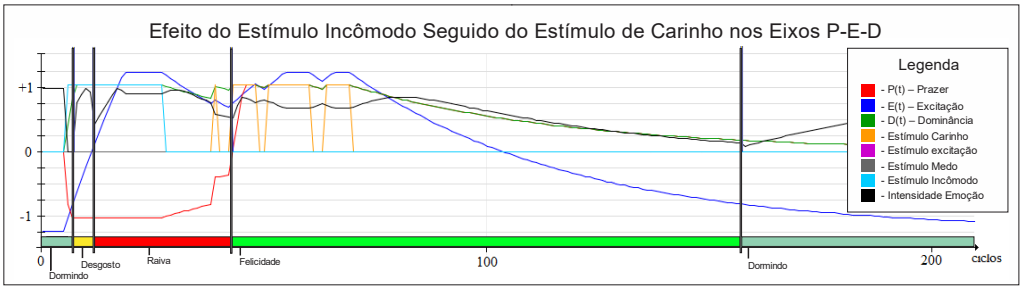


Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 16, tem-se a aplicação do estímulo de incômodo seguido pelo estímulo de carinho. Inicialmente, o sistema encontra-se em repouso com os eixos P-E-D em condição inicial (P = 0, E = -12 e D = 0) e com o robô em estado de sono em sua intensidade máxima. Em seguida, o robô recebe estímulos de incômodo por diversos ciclos, provocando a alteração do estado emocional de sono para aversão e em seguida para o estado emocional de raiva. Na sequência, o robô recebe estímulos de carinho por diversos ciclos, provocando incrementos

proporcionais nos eixos P-E-D, que resultam na mudança do estado emocional de raiva para o estado emocional de felicidade.

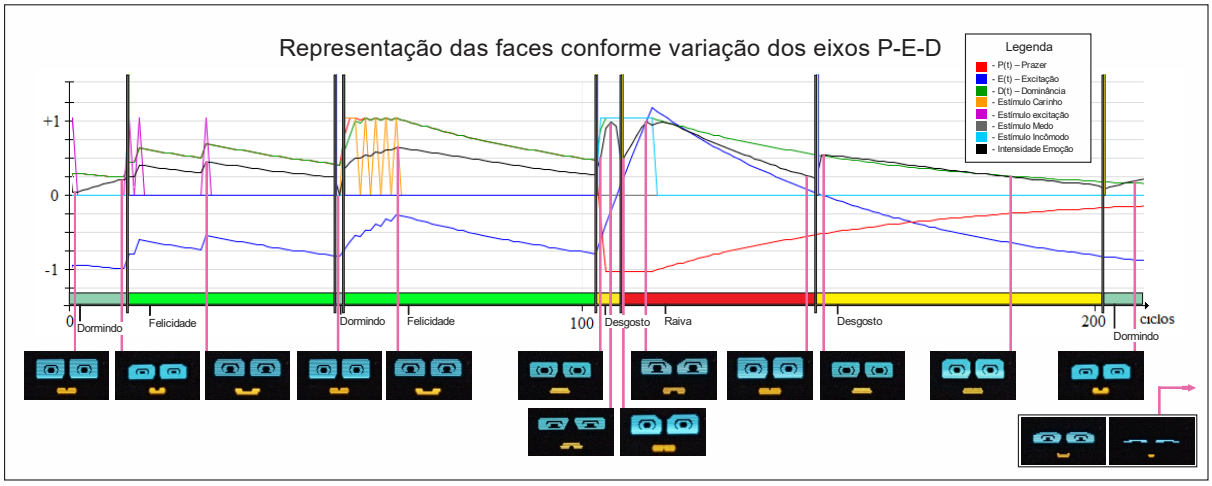
Figura 16 - Efeito de estímulo de incômodo seguido do estímulo de carinho.



Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 17, tem-se a representação facial para alguns pontos ao longo do gráfico de variação dos eixos P-E-D mediante estímulos externos. O robô teve representações equivalentes ao contexto, apresentando estados de emoção e intensidade adequados e transições entre emoção fluidas.

Figura 17 - Representação das faces conforme variação dos eixos P-E-D.



Fonte: Produção do próprio autor.

O modelo de controlador desenvolvido a partir do modelo teórico Estímulo-Organismo-Resposta (E-O-R) de Mehrabian e Russell (1974) foi capaz de mapear as emoções conforme estímulos de afeto, incômodo, medo e excitação. Com o controlador implementado, pode-se interpretar as variáveis medidas por sensores como estímulos positivos ou negativos de prazer, excitação e dominância (P-E-D), resultando em um vetor no espaço tridimensional P-E-D formado pelo acúmulo dos estímulos dessas três grandezas. A partir do vetor P-E-D, o

robô tornou-se capaz de mapear o seu próprio estado emocional e calcular a intensidade da emoção experimentada.

O modelo desenvolvido se integrou de forma satisfatória ao sistema de representações faciais. Em testes, o robô teve representações faciais equivalentes ao contexto, apresentando estados de emoção e de intensidade adequados. Também foi possível observar que as transições entre emoções foram fluidas.

4 MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INTERAÇÃO EMOCIONAL BASEADO NA PROXÊMICA

Neste capítulo, são mostrados o desenvolvimento e a implementação de uma máquina de estados para controle da interação emocional do robô conforme aproximação ou distanciamento da criança, integrando o que foi abordado nos capítulos anteriores com o controle do robô móvel.

4.1 Introdução

O propósito norteador desse trabalho é o desenvolvimento de um robô móvel de dimensões pequenas capaz de interagir com crianças diagnosticadas com TEA, buscando desenvolver suas habilidades de comunicação e interação social, visto que essas são habilidades importantes para a vida em sociedade e estão comprometidas em crianças com esse diagnóstico.

Dada a importância da interação social, foi dada bastante atenção em criar uma proposta de demonstração de emoções através de uma face dinâmica, composta por olhos e boca, apresentada em um *display* OLED 128 x 64 px, capaz de se modificar conforme a emoção do robô e sua intensidade.

Em seguida foi proposto um sistema de mapeamento de emoções baseado no E-O-R, em que o robô acumula estímulos do ambiente, mapeia a emoção atual e sua intensidade e, em seguida, gera uma resposta correspondente ao estado atual através das faces dinâmicas.

Portanto, até aqui, tem-se um robô capaz de, através dos estímulos externos, demonstrar emoções. Nesse sentido, o próximo passo é embarcar a inteligência emocional em um robô móvel que será capaz de interagir fisicamente com o ambiente e as pessoas, a fim de construir um protótipo que atenda ao propósito deste trabalho.

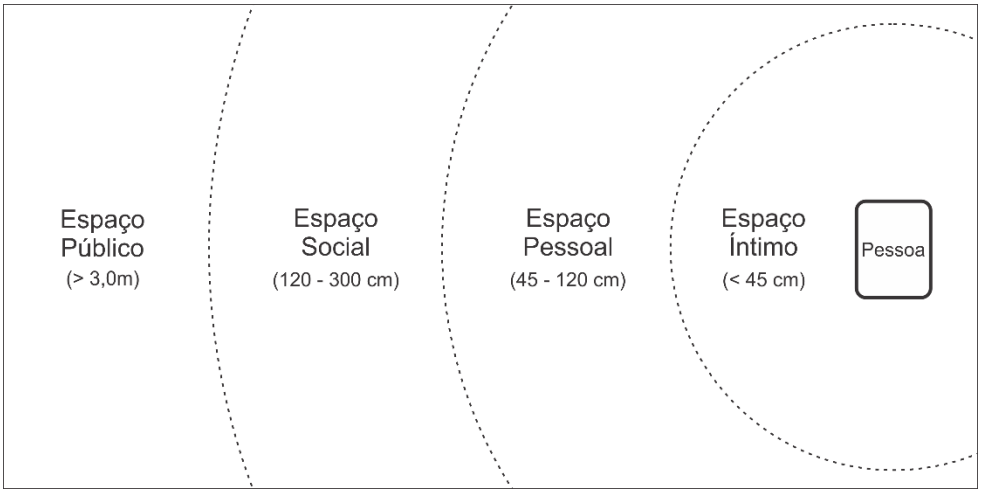
Dessa forma, este capítulo tem como foco a integração da inteligência emocional, com o controle das interações do robô. Para isso, optou-se por um protótipo simples, restringindo o

robô a pequenos movimentos de aproximação e distanciamento, considerando que não haverá obstáculos dentro da região de interação do robô com a criança.

4.1.1 Espaço pessoal – comunicação proxêmica

A proxêmica, termo criado pelo antropólogo Edward T. Hall, corresponde ao estudo do espaço pessoal que as pessoas mantêm à sua volta (HALL,1966), sendo fruto de uma comunicação não verbal que as pessoas mantêm quando interagem em um meio social. Desta maneira, a proxêmica pode ser vista como o estudo da comunicação não verbal através do espaço (HALL, 1963).

Figura 18 - Divisão do espaço pessoal.



Fonte: Produção do próprio autor.

A proxêmica divide o espaço de interação pessoal em quatro zonas (GRIFFIN, 1991) (ver Figura 18):

- **i.** Espaço íntimo (menor que 45 cm): zona destinada apenas para interação com membros da família e amigos íntimos;
- **ii.** Espaço pessoal (45 a 120 cm): região de interação com pessoas bem conhecidas;
- **iii.** Espaço social (120 a 300 cm): região de interações gerais com pessoas com pouca proximidade afetiva;
- **iv.** Espaço público (maior que 3 m): região de interação pública, geralmente ao lidar com uma grande quantidade de pessoas.

Essas distâncias não são intervalos rígidos e, por isso, variam de acordo com fatores sociais, pessoais e culturais, dentre outros (HALL, 1991).

4.1.2 Proposta de interação

Levando em conta a proxêmica, propõe-se o desenvolvimento de um robô capaz de identificar a aproximação e o afastamento de uma criança, considerando que não haverá obstáculo dentro da região de interação do robô e dividindo essa distância em zonas de interação, baseadas no espaço social. Conforme a criança se aproxima do robô, ele saberá (através de sensores) que está em uma zona de interação mais próxima e somará estímulos positivos aos eixos P-E-D, provocando uma tendência de alteração do estado emocional para feliz. Caso a criança se afaste do robô, ele saberá (através de sensores) que está em uma zona de interação mais distante e somará estímulos negativos aos eixos P-E-D, provocando uma tendência de alteração do estado emocional para triste.

Para isso, considerando o tamanho do robô, foram adotadas três zonas de interação que resultam em três estados:

i. Zona Pessoal (menor que 40 cm): essa será a zona de interação principal, visto que o robô é pequeno e as interações principais serão feitas através de estímulos de contato, seja o de carinho ou de incômodo;

ii. Zona Social (40 a 80 cm): essa será considerada uma zona intermediária, onde o robô "enxerga" (através de sensores) que há alguém próximo a ele, porém esperará a aproximação para interagir;

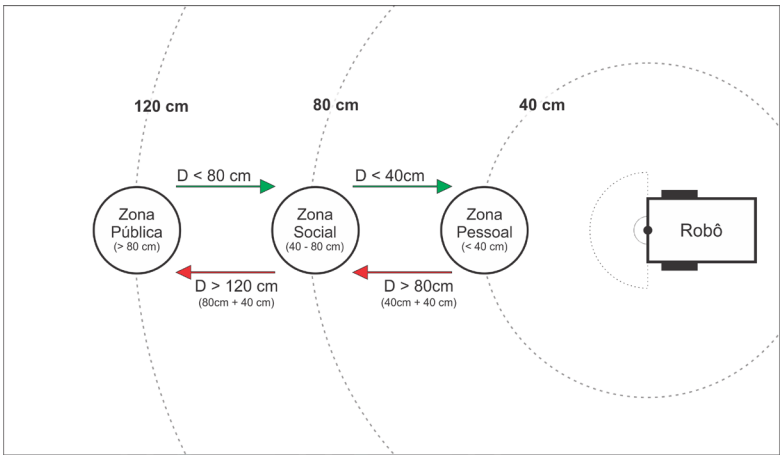
iii. Zona Pública (maior que 80 cm): caso não seja detectado a criança dentro das duas zonas anteriores, o robô irá dormir por falta de estímulo. Essa é a última zona padrão.

Para implementar essas zonas e seu gerenciamento, é importante provocar a histerese entre os valores de distância de entrada e de saída de cada zona, para que se tenha estabilidade quanto à permanência na zona atual. Para isso, foi adotado que o valor de saída deve ser 40 cm maior que o de entrada (ver Figura 19).

Ou seja, para que o robô considere que está dentro de uma zona, basta que a distância entre ele e a criança seja menor que o limite superior, como por exemplo, para entrar na zona social, a distância entre a criança e o robô precisa alcançar um valor menor que 80 cm. Porém,

para que o robô considere que a criança saiu da zona, o valor considerado será o do limite superior adicionado 40cm. No exemplo citado, depois que o robô entrou na zona social, para que ele considere que voltou para a zona a pública, a distância entre ele e a criança precisa alcançar um valor maior que 120 cm (80 cm + 40 cm).

Figura 19 - Zonas adotadas para o robô.



Fonte: Produção do próprio autor.

4.1.3 Robô BOE Shield-Bot

Com intuito de minimizar trabalhos com relação à confecção do chassi e de funcionalidades mecânicas e eletrônicas básicas, foi utilizada a plataforma robótica BOE Shield-Bot (Figura 20). Essa plataforma de robótica móvel foi desenvolvida pela empresa Parallax Inc, sediada nos EUA, para uso em aulas de robótica para ensino fundamental, médio e superior (PARALLAX INC, 2016).

Figura 20 - Robô BOE Shield-Bot.

Fonte: PARALLAX INC (2016).

Essa plataforma conta com uma placa *shield*, compatível com o Arduino MEGA, capaz de disponibilizar boa parte das entradas e saídas do microcontrolador ATmega2560, embarcado na placa MEGA, além de controlar o fornecimento de energia do robô.

O *shield* também conta com uma pequena *protoboard* de 170 pontos que permite a prototipagem de circuitos simples de entrada ou saída do robô.

O chassi da plataforma robótica é feito de alumínio com furos estrategicamente posicionados para instalação dos sensores. Ele também conta com dois servomotores adaptados para rotação contínua, responsáveis pela movimentação do robô.

A configuração do robô é denominada de tração diferencial de duas rodas, onde as duas rodas giram em torno do ponto central do robô. Esse tipo de configuração também facilita manobras com simples comandos (SIEGWART, 2004).

4.1.4 Sensoriamento

O sensoriamento é feito a partir de quatro sensores, são eles:

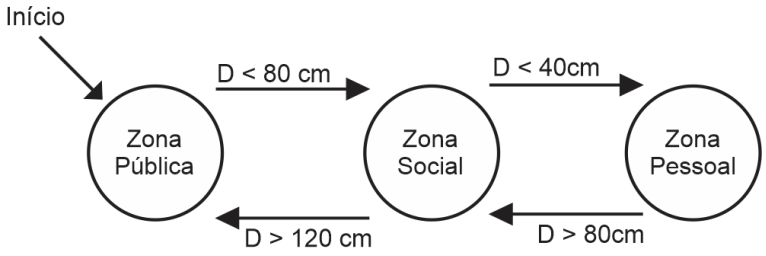
i. Sensor de distância ultrassônico HC-SR04, capaz de medir distâncias entre 2 e 400 cm, com tempo de resposta de até 25 ms. Apontado para a frente do robô, é responsável por medir a distância entre o robô e a criança;
ii. Sensor de desnível ou faixa TCRT5000, capaz de detectar variações de reflexão infravermelha com alcance entre 2,5 e 10 mm. Localizado na parte inferior robô, é responsável por detectar desníveis e delimitações de área;
iii. Sensor de toque capacitivo, responsável por detectar toque prazeroso (carinho);
iv. Chave momentânea (*push-button*), responsável pela entrada equivalente a um toque doloroso.

4.2 Controle do robô

4.2.1 Máquina de estados

Considerando as zonas de interação como ponto central do comportamento do robô, a máquina de estados proposta é apresentada na Figura 21.

Figura 21 - Máquina de estados resumida.



Fonte: Produção do próprio autor.

Como as interações do robô ocorrerão conforme a mudança de zona, é preciso adicionar fases intermediárias. São elas:

i. Confirma aproximação: nesse estado, quando verificada uma possível aproximação que possa gerar uma mudança de zona, o robô passará para o estado de confirmação de aproximação onde ele fará leituras sequenciais para ter certeza que a aproximação é real. Caso seja, ele passará para o próximo estado; caso contrário ele voltará para o estado anterior;

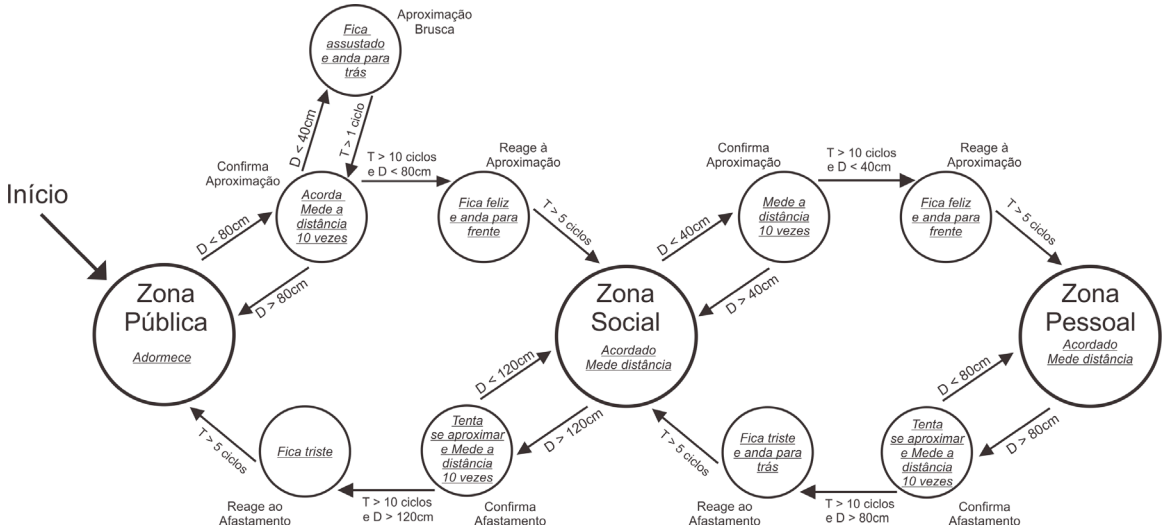
ii. Reage à aproximação: caso seja confirmada a aproximação da criança, o robô reage se alegrando e se aproximando um pouco da criança. Em seguida o robô alterna seu estado para uma zona mais próxima;

iii. Confirma afastamento: Nesse estado, quando verificado um possível afastamento que possa gerar uma mudança de zona, o robô passará para o estado de confirmação de afastamento onde ele tentará se aproximar e fará leituras sequenciais para ter certeza que o afastamento é real. Caso seja, ele passará para o próximo estágio; caso contrário ele voltará para o estado anterior. Nesse estado, o robô começa a se entristecer;

iv. Reage ao afastamento: Caso seja confirmado a afastamento da pessoa, o robô reage ficando mais triste e se afastando um pouco. Em seguida o robô alterna seu estado para uma zona mais afastada.

Um esboço da máquina de estados resultante pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 - Máquina de estados, com estados intermediários.



Fonte: Produção do próprio autor.

4.2.2 Camadas de controle

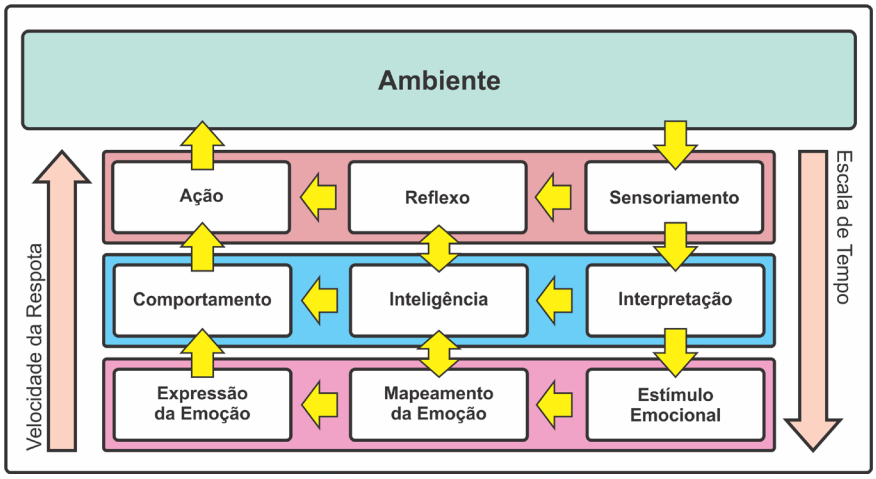
Tendo em vista o modelo de controle de emoções proposto no capítulo anterior somado à inteligência necessária para que o robô seja capaz de interagir com o ambiente conforme a máquina de estados proposta, o controle do robô foi dividido em três camadas (Figura 23), baseado no modelo de controle do robô WE-3RV (MIWA, 2002):

i. Camada de controle de reflexo: responsável por interpretar os sensores de obstáculos e tomar medidas de controle imediatas;
ii. Camada de controle de inteligência: essa camada controla a máquina de estados do robô;
iii. Camada de controle de emoção: responsável por interpretar e assimilar os estímulos do ambiente e mapear o estado emocional do robô.

A Figura 23 mostra o esquemático das três camadas de controle com os diferentes níveis de prioridade, indo da camada de menor escala de tempo e maior velocidade de resposta até a de maior escala de tempo e menor velocidade de resposta.

Apesar de todas as camadas estarem dentro de um mesmo sistema de inteligência, ao dividi-las, fica mais clara a importância e prioridade de cada uma e como elas interagem entre si.

Figura 23 – Modelo de controle para o robô social.



Fonte: Adaptado de Miwa et al., (2002)

4.2.2.1 Camada de controle de reflexo

A camada de controle de reflexo é responsável por garantir a segurança do robô e por controlar os periféricos. Nela é feito o sensoriamento do meio ambiente através dos sensores disponíveis. Caso alguma das variáveis medidas esteja fora de uma condição segura, essa camada atua. Por exemplo, caso o sensor de queda atue, o mesmo fará o robô recuar imediatamente.

Nessa camada podem-se adicionar controles finos, tais como o de odometria e de controle de navegação. Dessa forma, a camada de reflexo atua como o cérebro inconsciente, responsável por manter as funções operacionais do robô funcionando adequadamente.

4.2.2.2 Camada de controle de comportamento

Essa camada recebe os valores lidos pelo módulo de sensoriamento do sensor e os interpreta, transformando dados em informação. Em seguida, verifica-se em qual ponto da máquina de estados o robô está e se deve ou não mudar seu comportamento em relação ao meio ambiente. A inteligência precisa conversar com todo o robô, visto que ela irá de fato nortear o comportamento, dando os objetivos para cada módulo.

4.2.2.3 Camada de controle de emoção

A camada da emoção é a última camada, a partir da interpretação das variáveis medidas pelo sensoriamento. Essa camada transforma a informação em estímulos emocionais, os quais contribuirão com os vetores P-E-D, explicados no capítulo anterior.

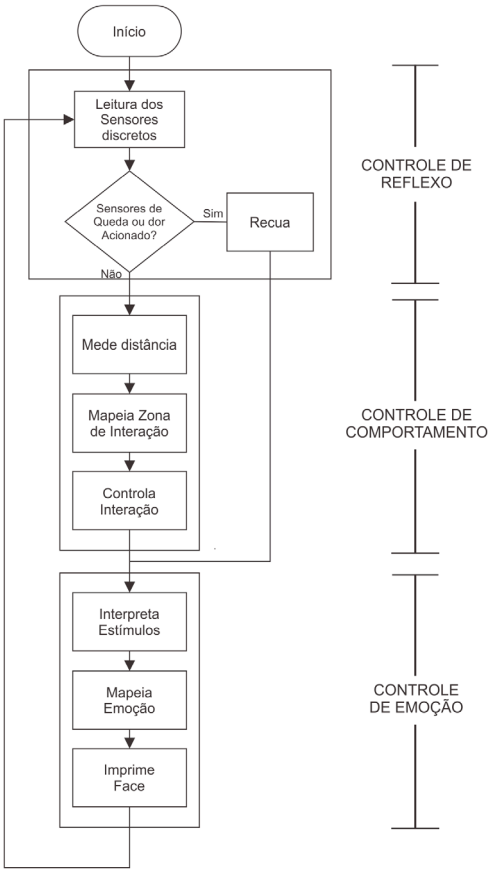
Através da orientação tridimensional do espaço P-E-D, a camada de emoção fará o mapeamento da emoção atual e em seguida irá expressá-la.

O controlador dessa camada está no módulo de mapeamento de emoções. Tal controlador recebe informações da camada de inteligência e, também, de forma indireta, da camada de reflexo.

4.2.3 Fluxograma

Considerando o mapa de estados para controle da interação do robô conforme as zonas sociais e a divisão do controlador em camadas, construiu-se o fluxograma de funcionamento do robô apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma de funcionamento do robô



Fonte: Produção do próprio autor.

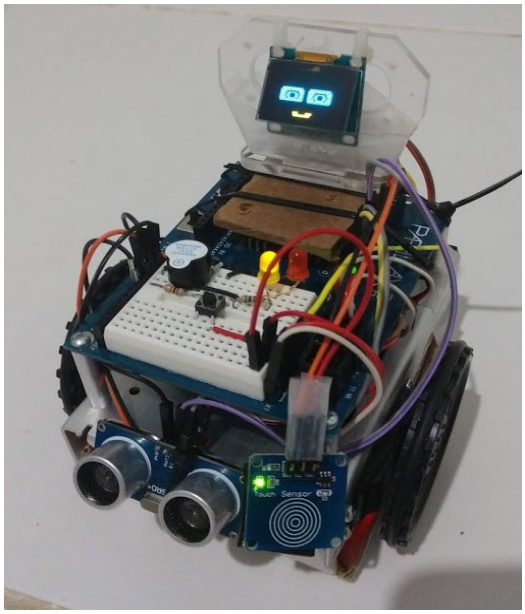
4.3 Implementação e resultados obtidos

A máquina de estados desenvolvida, tendo como objetivo estimular o envolvimento afetivo da criança com o robô (Figura 25), mostrou-se capaz de integrar os sistemas de representação facial e o de controle de emoções junto com a implementação da proposta de interação baseada em zonas de interação pessoal, provocando estímulos de prazer, excitação e dominância (P-E-D) de acordo com a o aproximação e afastamento da criança em relação ao robô.

Com a máquina de estados implementada, o robô passou a interagir afetivamente: sentindo-se feliz com aproximações, se movendo para mais próximo como sinal de aceitação; sentindo-se triste com afastamentos, movendo-se para frente a fim de se aproximar da criança, e sentindo-se ainda mais triste, no caso de confirmação do afastamento; sentindo-se com medo ou surpreso com aproximações bruscas, movendo-se para trás a fim de entender o contexto para então sentir-se alegre com a aproximação; ou adormecendo em caso de falta de interação.

Além das interações com as zonas, pode-se estimular prazer no robô através de carinhos percebidos por meio de um sensor de toque capacitivo, ou estimular incômodo, por meio de cliques em uma chave momentânea (*push-button*). Através desses estímulos, o robô é capaz de responder, alegrando-se ou enraivecendo-se, conforme o estímulo.

Figura 25 - Protótipo final do robô afetivo.



Fonte: Produção do próprio autor.

5 CONCLUSÃO

Este projeto de graduação propôs o desenvolvimento e a implementação de um robô afetivo, móvel e portátil capaz de interagir socialmente e afetivamente, conforme a captação de estímulos externos para auxílio em terapias de crianças com TEA, visando o desenvolvimento de suas habilidades sociocognitivas por meio do estímulo do envolvimento afetivo e da interpretação das emoções expressas pelo robô.

O robô desenvolvido é capaz de perceber a aproximação, afastamento, carinho e incômodo oriundos da criança, interpretando-os como estímulos de prazer, excitação e dominância, e possibilitando o mapeamento e expressão de suas emoções por meio de expressões faciais dinâmicas impressas em um *display* e movimentos de aproximação e afastamento do robô.

O sistema de representações faciais desenvolvido se mostrou adequado ao propósito, sendo capaz de apresentar expressões faciais dinâmicas das seis emoções básicas: felicidade, tristeza, medo, surpresa, raiva e aversão, montadas a partir de combinações de alterações geométricas do olho e boca impressos em um *display* OLED de área útil de cerca de 22 x 11 cm.

Apesar de rudimentares, as expressões faciais desenvolvidas (ver Tabela 4), atendem ao propósito de formação de uma face dinâmica e são passíveis de compreensão por crianças com TEA. No entanto, tais expressões devem ser testadas posteriormente, para averiguar a facilidade de compreensão por essas crianças.

Vale ressaltar que dentro dos diversos trabalhos consultados, não foram encontrados estudos acadêmicos que integrem as interações sociais, emocionais e afetivas em um robô, tal como as variações de humor conforme proxêmica.

Portanto, com cerca de 20 x 20 x 20 cm, esse robô apresenta-se como uma possível ferramenta portátil capaz de auxiliar no desenvolvimento de habilidades sociais em crianças com TEA, através de respostas afetivas e emocionais autônomas, baseadas nas interações da criança com o robô, gerando respostas positivas para ações de estímulo positivo e respostas emocionais negativas para ações de estímulo negativo.

Entretanto, para que as implementações e aperfeiçoamentos sejam efetivos, este robô precisa ser testado, adaptado e validado através de testes com crianças tipicamente desenvolvidas e posteriormente com crianças com TEA.

Por fim, como trabalhos futuros, destacam-se: aperfeiçoamento das expressões faciais para que seja evidenciada a expressão das emoções de maneira mais clara; aperfeiçoamento do sistema de controle de emoções, para a melhoria da fluidez das transições entre emoções; implementação de um sistema de controle de personalidade, para o acúmulo das emoções vividas dentro de um espectro de tempo maior, que influenciarão na percepção dos estímulos do ambiente; e adição de novas formas de estímulo e interação, possibilitando formas mais complexas e afetivas de interação com a criança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5**, American Psychiatric Association, Arlington, VA, 2013.

BAIO, J. Prevalence of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years — Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2014. National Center on Birth Defects and Developmental Disabilities, CDC, 2014. Disponível em: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/67/ss/ss6706a1.htm>. Acesso em: 10 jan 2019.

BAKKER, I.; VAN DER VOORDT, T.; VINK, P.; De BOON, J. (2014). Pleasure, Arousal, Dominance: Mehrabian and Russel Revisited. **Current Psychology**, v. 33, n. 3, p. 405–421, set. 2014.

BELIZÁRIO-FILHO, José B.; LOWENTHAL, Rosane. **A inclusão escolar e os transtornos do espectro do autismo**. In SCHMIDT, Carlo (Org.). **Autismo, educação e transdisciplinaridade. Campinas**: Ed. Papirus, 2013.

CABIBIHAN, John-John et al. Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism. **International journal of social robotics, Springer**, v. 5, n. 4, p. 593–618, 2013 *apud* VALADÃO, Carlos Torturella et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 161–175, 2016.

CAEIRO, Célia Margarida; DIANA Roldão Serra; JORGE, Joana Dias; ANIELO, Manuela. História da Robótica. In **Estudo sobre inteligência artificial**. Disponível em: < http://www.citi.pt/educacao_final/trab_final_inteligencia_artificial/historia_da_robotica.html >. Acesso em: 25 dez. 2018.

CANO, T. M. Panorama brasileiro do atendimento a autistas e necessidade da inclusão do censo de 2020. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, v. 5, n. 2, p. 203-216, 2016.

CARLOS, G. B. **Controle De Robô Social Baseado Em Proxêmica Para Interação Com Crianças Com Transtorno Do Espectro Autista**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Vitória, 2018.

DUQUETTE, Audrey; MICHAUD, François; MERCIER, Henri. Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism. **Autonomous Robots**, Springer, v. 24, n. 2, p. 147–157, 2008. *apud* VALADÃO, Carlos Torturella et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 161–175, 2016.

EKMAN, P.; FRIESEN, W. V. **Facial action coding system: A technique for the measurement of facial movement**. Palo Alto. CA, 1978 *apud* NITSHC, V.; POPP, M. Emotions in robot psychology. **Biological Cybernetics**, v. 108, n. 5, p. 621–629, 2014.

EKMAN, P.; FRIESEN, W.; Hager J. **Facial Action Coding System (FACS): Manual and Investigator's Guide**, A Human Face, Salt Lake City, UT, 2002 *apud* NITSHC, V.; POPP, M. Emotions in robot psychology. **Biological Cybernetics**, v. 108, n. 5, p. 621–629, 2014.

EKMAN, P.; FRIESEN, W. **Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions from Facial Clues. Malor Books**, Los Altos, CA, USA, 2003.

EYSENCK. M.; KEANE M. **Cognitive psychology: A student's handbook**, 4ª edição. United Kingdom: Psychology Press, 2000 *apud* NITSHC, V.; POPP, M. Emotions in robot psychology. **Biological Cybernetics**, v. 108, n. 5, p. 621–629, 2014.

FEIJO, Fabrício Rodrigues; BOTELHO, Delane. Efeito Dos Fatores De Merchandising Nas Vendas Do Varejo. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 52, n. 6, p. 628-642, dez. 2012. Available from < http://dx.doi.org/10.1590/S0034-75902012000600005>. Acesso em: 14 janeiro. 2018.

FOMBONNE, E. Epidemiology of pervasive developmental disorders. **Pediatric Researchs**, v. 65, n. 6, p. 591 -598, 2009.

GEPNER, B.; FÉRON, F. Autism: a world changing too fast for a mis-wired brain? **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, 33, 1227-1242, 2009.

GOERGEN, Maria S. **Sobre o diagnóstico em transtorno do espectro do autismo (TEA): considerações introdutórias à temática**. In SCHMIDT, Carlo (Org.). **Autismo, educação e transdisciplinaridade**. Campinas: Ed. Papirus, 2013.

GOULART, C. **Unobtrusive Technique Based On Infrared Thermal Imaging For Emotion Recognition In Children- With-Asd- Robot Interaction**. Qualification thesis - RENORBIO/ Postgraduate Program in Biotechnology - UFES. March, Vitoria. 166p.

GOULART, C.; VALADÃO, CARLOS.; BINOTTE, V.; FAVARATTO, A.; FUNAYAMA, D.; CALDEIRA, E.; BASTOS-FILHO, T. Social Robot for Interaction with Children. In: Proceedings of the **XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB)**. Búzios - RJ, 8p, 2018.

CRAIG, R.; VAIDYANATHAN, R.; JAMES, C.; MELHUISH, C. Assessment of human response to robot facial expressions through visual evoked potentials. In: **Proceedings of the 10th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)**, p 647–652, 2010 *apud* NITSHC, V.; POPP, M. Emotions in robot psychology. **Biological Cybernetics**, v. 108, n. 5, p. 621–629, 2014.

GRIFFIN, Emory A. Proxemic Theory of Edward Hall. In **A First Look at Communication Theory**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1991. cap. 6, p. 60-67.

HALL, Edward T. A system for the notation of proxemic behavior. **American anthropologist, Wiley Online Library**, v. 65, n. 5, p. 1003–1026, 1963 *apud* CARLOS, G. B. **Controle De Robô Social Baseado Em Proxêmica Para Interação Com Crianças Com**

Transtorno Do Espectro Autista. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Vitória, 2018.

HALL, Edward T. The Hidden Dimension, Double Day & Co. **Garden City: New York**, 1966. *apud* CARLOS, G. B. **Controle De Robô Social Baseado Em Proxêmica Para Interação Com Crianças Com Transtorno Do Espectro Autista**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Vitória, 2018.

ITOH K.; MIWA H.; NUKARIYA, Y.; ZECCA M.; TAKANOBU H.; ROCCELLA S; et al. "Behavior generation of humanoid robots depending on mood," in **Proc. 9th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems (IAS-9)**, Amsterdam, p. 965-972, 2006

KIM, Elizabeth S. et al. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. **Journal of autism and developmental disorders**, Springer, v. 43, n. 5, p. 1038–1049, 2013 *apud* VALADÃO, Carlos Torturella et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 161–175, 2016.

KLIN, A. Autismo e síndrome de Asperger: uma visão geral. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, v. 28, n. Supl I, p. S3-11, 2006.

LAMAS, W.; TANI, H.; SOUSA, J.; REIS, L. Metodologia baseada em oximetria para monitoramento das reações de sujeitos autistas em audições musicais. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 25, p. 175-184, 2009 *apud* VALADÃO, Carlos Torturella et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 161–175, 2016.

LANGNER, O.; DOTSCH, R.; BIJLSTRA, G; WIGBOLDUS, D. H. J.; HAWK, S. T. Presentation and validation of the radboud faces database. **Cognition and Emotion**, v. 24, n. 8, p. 1377–1388, dez. 2010.

LÜTKEBOHLE, I; HEGEL, F; SCHULZ, S; HACKEL, M; WREDE, B; WACHSMUTH, S, SAGERER, G. The Bielefeld anthropomorphic robot head "Flobi". In: **Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**, 2010, p 3384-3391.

MARKRAM, K.; RINALDI, T.; MARKRAM, H. The intense world syndrome – an alternative hypothesis for autism. **Frontiers of Neuroscience**. v. 1, n.1, p. 77–96, nov 2007.

MEHRABIAN, A. Pleasure-arousal-dominance: a general framework for describing and measuring individual differences in temperament. **Current Psychology**, v. 14, n. 4, p. 261–292, 1996 *apud* BAKKER, I.; VAN DER VOORDT, T.; VINK, P.; De BOON, J. (2014). Pleasure, Arousal, Dominance: Mehrabian and Russel Revisited. **Current Psychology**, v. 33, n. 3, p. 405–421, set. 2014.

MEHRABIAN, A.; RUSSEL, J.A. An approach to environmental psychology. Cambridge, M.A. **MIT Press**, 1974 *apud* VIEIRA, V. A. Meta-Análise do modelo teórico E-O-R de Mehrabian e Russell (1974). In: **32º. Encontro Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração. Anais**, Rio de Janeiro, 2008.

MIWA H.; TAKANOBU H.; A. Takanishi. Humanlike head robot we-3rv for emotional human-robot interaction. In **Fourteenth CISMIFToMM Symposium RoManSy**, p. 519–526, 2002.

MOTA, Allan Deangelle. **Apostila Arduino Básico: Vol. 1**. Serra – ES: Vida de Silício, 2015. 40p. Apostila. Disponível em: https://portal.vidadesilicio.com.br/apostila-arduino-basico/. Acesso em: 25 dez. 2018.

NITSHC, V.; POPP, M. Emotions in robot psychology. **Biological Cybernetics**, v. 108, n. 5, p. 621–629, 2014.

PARALLAX INC. **Robotics with the Board of Education Shield for Arduino**. 2016. Disponível em: <https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/122-32335-Robotics-BOE-Shield-Bot-Arduino-v1.0.pdf>. Acesso em: 25 dez. 2018.

PAZOS, F. **Automação de sistemas & robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2002.

RIESGO, R. **Neuropediatria, autismo e educação**. In SCHMIDT, Carlo (Org.). **Autismo, educação e transdisciplinaridade**. Campinas/SP: Papirus, 2013.

SANTOS, A.; GOULART, C.; BINOTTE, V.; RIVERA, H.; VALADÃO, C.; BASTOS, T. Development of an artificial dynamic face applied to an affective robot. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)**. Porto Alegre–RS, 2017.

SCASSELLATI, B.; ADMONI, H.; MATARIĆ, M. Robots for use in autism research. **Annual Review of Biomedical Engineering**. v. 14, n. 1, p. 275-94, 2012 *apud* VALADÃO, Carlos Torturella et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 161–175, 2016.

SCHMIDT, Carlo. **Autismo, educação e transdisciplinaridade**. Campinas: Papirus, 2013.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSH, I.; SCARAMUZZA, D. **Autonomous mobile robots**. Massachusetts Institute of Technology, 2004.

TUCHMAN, R.; RAPIN, I. **Autismo: Abordagem neurobiológica**. Porto Alegre: Artmed. 2009 apud RIESGO, R. **Neuropediatria, autismo e educação**. In SCHMIDT, Carlo (Org.). **Autismo, educação e transdisciplinaridade**. Campinas/SP: Papirus, 2013.

VALADÃO, Carlos Torturella et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 161–175, 2016.

VIEIRA, V. A. Meta-Análise do modelo teórico E-O-R de Mehrabian e Russell (1974). In: **32º. Encontro Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração**. Anais, Rio de Janeiro: R.J.; Anpad, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Media Centre**, Autism spectrum disorders, 2017. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/autism-spectrum-disorders/en/> acessado em 11 de janeiro de 2019.

WU, T.; BUTKO, N. J.; RUVULO, P.; BARTLETT, M. S.; MOVELLAN, J. R. Learning to make facial expressions. In **IEEE 8TH International Conference on Development and Learning**, Shanghai, China, 2009.