



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO UNIVERSIDADE VIRTUAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EDUCACIONAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA EDUCACIONAL

PRISCILLA SUSY GOMES DA SILVA

UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO DIDÁTICO E AVALIAÇÃO
METODOLÓGICA DE PROFISSIONAIS NA PRÁTICA CLÍNICA EM
ALEITAMENTO MATERNO

FORTALEZA

2025

PRISCILLA SUSY GOMES DA SILVA

UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO DIDÁTICO E AVALIAÇÃO
METODOLÓGICA DE PROFISSIONAIS NA PRÁTICA CLÍNICA EM ALEITAMENTO
MATERNO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Tecnologia Educacional do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Educacional do Instituto Universidade Virtual da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Tecnologia Educacional. Área de Concentração: Tecnologia Educacional

Orientador: Prof. Dr. José Gilvan Rodrigues Maia

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S582f Silva, Priscilla Susy Gomes da.

Uma ferramenta computacional para auxílio didático e avaliação metodológica de profissionais na prática clínica em aleitamento materno / Priscilla Susy Gomes da Silva. – 2025.
89 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto UFC Virtual, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Educacional, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. José Gilvan Rodrigues Maia.

1. amamentação. 2. reconhecimento de padrões. 3. computação física. 4. computação na educação em amamentação. I. Título.

CDD 371.33

PRISCILLA SUSY GOMES DA SILVA

UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO DIDÁTICO E AVALIAÇÃO
METODOLÓGICA DE PROFISSIONAIS NA PRÁTICA CLÍNICA EM ALEITAMENTO
MATERNO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Tecnologia Educacional do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Educacional do Instituto Universidade Virtual da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Tecnologia Educacional. Área de Concentração: Tecnologia Educacional

Aprovada em: 31 de Março de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Gilvan Rodrigues Maia (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. André Luis da Costa Mendonça
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Dedico este trabalho a Deus, por guiar meus passos; à minha mãe, por sua força e dedicação incondicionais; ao meu pai, pelo exemplo de trabalho árduo; aos meus irmãos, por caminharem ao meu lado; ao meu marido, por ser meu alicerce nesta jornada; e à minha filha, por sua doçura e paciência.

AGRADECIMENTOS

Como disse Steve Jobs: “A única maneira de fazer um ótimo trabalho é amar o que você faz.” É com essa paixão e dedicação que concluo esta dissertação, um projeto que representa não apenas um marco acadêmico, mas também um avanço significativo na minha trajetória profissional. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e a inspiração de várias pessoas que desempenharam papéis fundamentais ao longo desta jornada.

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu marido, Leonardo Moreira. Seu amor, paciência e encorajamento incondicional foram essenciais para que eu pudesse me dedicar a este projeto. Nos momentos mais difíceis, foi a sua força que me impulsionou a seguir em frente, e sua crença no meu potencial me deu a confiança necessária para encarar cada desafio.

À minha filha, que diariamente me ensina sobre a importância do que fazemos para o futuro das próximas gerações, deixo um agradecimento especial. Seu sorriso e suas pequenas grandes conquistas me deram motivação extra para continuar, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Gostaria também de expressar minha imensa gratidão aos meus pacientes, que foram a verdadeira inspiração por trás desta pesquisa. Cada um de vocês, com suas histórias, desafios e vitórias, me motivou a buscar soluções tecnológicas que possam nos auxiliar na prática clínica. É graças a vocês que este trabalho se tornou uma realidade, e espero que os frutos desta pesquisa possam, de alguma forma, contribuir para melhorar ainda mais o cuidado que oferecemos.

Agradeço de forma especial ao meu orientador, Prof. Dr. Gilvan Maia, por sua orientação ao longo deste processo acadêmico. Prof. Gilvan Maia, muito obrigado pelas suas aulas na disciplina de Desenvolvimento de Tecnologias Aplicadas à Educação, ministradas em conjunto com o Prof. Emanuel Coutinho, que despertaram em mim importantes noções sobre o desenvolvimento de software por meio de um jogo. Sua abordagem de ensino, descontraída e envolvente, tornou o processo de aprendizagem das noções de criação de projetos de software mais leve e prazeroso. Embora a jornada tenha sido repleta de desafios, sua supervisão foi parte essencial deste percurso.

Agradeço ao Prof. Dr. Clemilson Santos pelas valiosas contribuições à minha pesquisa durante suas aulas, na qualificação de mestrado e na defesa de dissertação. Prof. Clemilson, saiba que suas oficinas de Cultura Maker com Arduino, ministradas na disciplina de Pesquisa Aplicada, Desenvolvimento e Inovação, foram essenciais para a criação do produto educacional.

Agradeço também por ter disponibilizado os recursos do Laboratório de Computação Física (LCF) para auxiliar na construção do meu produto educacional.

Agradeço ao colega de mestrado Alfredo Lemos pelo auxílio na montagem e manutenção do protótipo do sistema embarcado do Datetê Care.

Quero também agradecer a todos os colegas, amigos e familiares que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada palavra de apoio, cada gesto de carinho, foi fundamental para que este sonho se tornasse realidade. Este trabalho reflete o apoio coletivo que recebi, e sou profundamente grata a cada um de vocês por fazer parte desta jornada.

Por fim, ao Doutorando em Engenharia Elétrica, Ednardo Moreira Rodrigues, e seu assistente, Alan Batista de Oliveira, aluno de graduação em Engenharia Elétrica, pela adequação do *template* utilizado neste trabalho para que o mesmo ficasse de acordo com as normas da biblioteca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

“É justo que muito custe o que muito vale.”

(Santa Teresinha)

RESUMO

A amamentação é fundamental para a saúde e a sobrevivência das crianças, pois fornece um alimento seguro, natural, nutritivo e sustentável. O leite materno contém anticorpos que protegem contra várias doenças comuns na infância, como diarreia e infecções respiratórias. A ausência de amamentação adequada está associada a 16% das mortes infantis anuais, e as crianças amamentadas tendem a obter melhores resultados em testes de inteligência, além de apresentarem menor probabilidade de desenvolver obesidade ou sobrepeso ao longo da vida. Além disso, as mulheres que amamentam têm um risco reduzido de desenvolver câncer e diabetes tipo II. No entanto, medir com precisão a quantidade de leite materno ingerido por um bebê ainda representa um desafio. Dessa forma, destaca-se a necessidade de um instrumento que não só avalie protocolos específicos, mas também ofereça suporte educacional aos profissionais de amamentação, promovendo uma documentação mais precisa e um manejo mais eficaz. A eficácia do manejo da amamentação pode ser limitada pela dependência da observação clínica e da experiência dos profissionais, o que enfatiza a necessidade de ferramentas mais precisas. Este estudo propõe um protótipo de solução computacional que estima a quantidade de leite materno ingerido com base no som da deglutição do bebê, proporcionando uma análise quantitativa que melhora o monitoramento da amamentação e, como consequência, atua como um recurso educacional para fornecer pareceres ao profissional da amamentação, possibilitando a reavaliação de sua conduta e protocolos. Para a construção desse protótipo, foram aplicados conhecimentos sobre protocolos de amamentação, reconhecimento de padrões e computação física. O protótipo do produto educacional desenvolvido nesta dissertação de mestrado foi avaliado com base no desempenho do modelo de Inteligência Artificial utilizado, sendo o erro mensurado por meio de métricas específicas. Os resultados indicaram que o modelo de Inteligência Artificial do produto educacional apresenta taxas de erro dentro de limites aceitáveis.

Palavras-chave: amamentação; reconhecimento de padrões; computação física; computação na educação em amamentação.

ABSTRACT

Breastfeeding is essential for children's health and survival, as it provides a safe, natural, nutritious, and sustainable source of nourishment. Breast milk contains antibodies that protect against various common childhood diseases, such as diarrhea and respiratory infections. Inadequate breastfeeding is associated with 16% of annual infant deaths, and breastfed children tend to perform better on intelligence tests while having a lower likelihood of developing obesity or being overweight later in life. Additionally, women who breastfeed have a reduced risk of developing cancer and type II diabetes. However, accurately measuring the amount of breast milk ingested by a baby remains a challenge. Therefore, there is a clear need for an instrument that not only evaluates specific protocols but also offers educational support to breastfeeding professionals, promoting more precise documentation and more effective management. The effectiveness of breastfeeding management can be limited by reliance on clinical observation and professional experience, highlighting the need for more accurate tools. This study proposes a prototype of a computational solution that estimates the amount of breast milk ingested based on the sound of the baby's swallowing, providing a quantitative analysis that improves breastfeeding monitoring. Consequently, this solution serves as an educational resource, offering feedback to breastfeeding professionals, allowing for the reevaluation of practices and protocols. The development of this prototype involved applying knowledge of breastfeeding protocols, pattern recognition, and physical computing. The prototype of the educational product developed in this master's thesis was evaluated based on the performance of the Artificial Intelligence model used, with error measured through specific metrics. The results indicated that the Artificial Intelligence model of the educational product exhibits error rates within acceptable limits.

Keywords: breastfeeding; pattern recognition; physical computing; computing in breastfeeding education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arduino Uno R3	36
Figura 2 – Arduino IDE	36
Figura 3 – ESP32-DevKitC V4	38
Figura 4 – As Partes de um Sistema de Computação Física	41
Figura 5 – Tela do SPVAD	43
Figura 6 – Área de Trabalho do Software para Análise Simultânea dos Sinais de Áudio e Vídeo	45
Figura 7 – Visão Geral do SMIA	47
Figura 8 – Mapa Conceitual para Organização de Conteúdos	50
Figura 9 – Bebê Virtual - Posição no Colo da Mãe	50
Figura 10 – Bebê Virtual - Imagem da Pega no Mamilo e Sucção	51
Figura 11 – Bebê Virtual - Imagem da Deglutição	51
Figura 12 – Bebê Virtual - Imagem da Pega no Mamilo e Sucção	51
Figura 13 – Bebê Virtual - Abaixamento da Língua e Aumento do Mamilo na Sucção . .	51
Figura 14 – Bebê Virtual - Imagem do Movimento de Deglutição Durante a Amamentação	51
Figura 15 – Sensor Piezoelétrico Posicionado na Mandíbula do Paciente	53
Figura 16 – Faixas do Sensor de Pletismografia de Impedância Respiratória	53
Figura 17 – Modelo de Desenvolvimento Incremental	58
Figura 18 – Arquitetura de Sistema	64
Figura 19 – Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D	66
Figura 20 – Transdutor Piezoelétrico de 27 milímetro de Diâmetro com Fios Soldados .	69
Figura 21 – Protótipo do Sistema Embarcado para Gerar o <i>Dataset</i> Real	72
Figura 22 – Foto do Protótipo do Sistema Embarcado sendo Utilizado por uma Pessoa .	72
Figura 23 – Foto do Recipiente para Medir o Volume do Líquido a ser Deglutido	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tamanho das Amostra de Dados Reais no <i>Dataset</i>	74
Tabela 2 – Tamanho do <i>Dataset</i> Final	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre os Trabalhos Relacionados e a Solução Proposta	54
Quadro 2 – Especificações Técnicas do Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D	67
Quadro 3 – Especificações Técnicas do Transdutor Piezoelétrico de 27 milímetro . . .	69

LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 1 – Código para Avaliação do Modelo de IA	76
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APK	<i>Android Application Package</i>
ARC	<i>Augmentation Research Center</i>
AVI	<i>Audio Video Interleave</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CAD	<i>Design Assistido por Computador</i>
CNN	Rede Neural Convolucional
CPU	<i>Central Process Unit</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DIWO	<i>Do-It-With-Others</i>
DIY	<i>Do-It-Yourself</i>
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
EDR	<i>Enhanced Data Rate</i>
EE	<i>Enterprise Edition</i>
FSM	<i>Finite-State Machine</i>
GMM	<i>Gaussian Mixture Model</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IA	Inteligência Artificial
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IHC	Interação Humano-Computador
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSP	<i>Java Server Pages</i>
K-NN	<i>K-Nearest Neighbors</i>
LSTM	<i>Long Short-Term Memory</i>
LTS	<i>Long-Term Support</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NLS	Sistema oNLine
OMS	Organização Mundial da Saúde

PSRAM	<i>Pseudo SRAM</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random-Access Memory</i>
RMSE	<i>Root Mean Squared Error</i>
RNA	Rede Neural Artificial
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
RV	Realidade Virtual
SAGE	<i>Semi-Automatic Ground Environment</i>
SD	<i>Secure Digital Card</i>
SoC	<i>System on Chip</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static RAM</i>
SSD	<i>Solid-State Drive</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i>
UNICEF	Fundo Internacional de Emergência das Nações Unidas para a Infância
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Hz	Hertz, unidade de medida de frequência
GHz	Gigahertz (um bilhão de Hertz)
hHz	Hectohertz (cem Hertz)
k	Representa o número de vizinhos mais próximos que serão considerados para classificar ou prever o valor de um ponto de dados
kHz	Kilohertz (mil Hertz)
MHz	Megahertz (um milhão de Hertz)
mL	Mililitro, unidade de medida de capacidade que equivale a um milésimo de litro
pF	Picofarads, unidade de medida de capacitância
THz	Terahertz (1 trilhão de Hertz)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contextualização e Motivação	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Definição do Problema	20
1.4	Hipóteses	20
1.5	Objetivos	20
1.6	Estrutura do Documento	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Amamentação	22
2.2	Reconhecimento de Padrões	24
2.2.1	<i>K-Nearest Neighbors (K-NN)</i>	25
2.2.2	<i>Support Vector Machine (SVM)</i>	25
2.2.3	<i>Floresta Aleatória</i>	26
2.2.4	<i>Rede Neural Artificial (RNA)</i>	27
2.2.5	<i>Rede Neural Convolucional (CNN)</i>	27
2.2.6	<i>Long Short-Term Memory (LSTM)</i>	28
2.3	Computação Física	29
2.3.1	<i>Precursos e Surgimento da Computação Física</i>	29
2.3.2	<i>Cultura Maker</i>	33
2.3.3	<i>Microcontroladores</i>	34
2.3.3.1	<i>Arduino</i>	35
2.3.3.2	<i>ESP32</i>	37
2.3.4	<i>Definições e Características da Computação Física</i>	39
3	TRABALHOS RELACIONADOS	42
3.1	Trabalhos Identificados	42
3.1.1	<i>Aplicações da Computação Gráfica à Engenharia Biomédica: Ensino em Neurociências e Ferramenta de Apoio ao Estudo da Deglutição (Silva, 2007)</i>	42
3.1.2	<i>Componentes do Sinal Acústico da Deglutição: Estudo Preliminar (Spadotto et al., 2012)</i>	44

3.1.3	<i>Sistema de Monitoramento Contínuo da Ingestão de Alimentos (Moreira, 2015)</i>	46
3.1.4	<i>Modelação de um Software para Análise Qualitativa e Quantitativa da Deglutição Orofaríngea por Videofluoroscopia (Silva, 2016)</i>	48
3.1.5	<i>Anatomofisiologia da Sucção e Deglutição do Bebê em Computação Gráfica 3D como Instrumento Educacional (Puccini, 2016)</i>	49
3.1.6	<i>A Wearable Sensor System for Eating Event Recognition Using Accelerometer, Gyroscope, Piezoelectric and Lung Volume Sensors (Mevisen, 2021)</i>	52
3.2	Análise Comparativa	53
4	METODOLOGIA	56
4.1	Tipo de Pesquisa	56
4.1.1	<i>Natureza</i>	56
4.1.2	<i>Objetivos</i>	56
4.1.3	<i>Procedimentos Técnicos</i>	57
4.2	Desenvolvimento do Produto Educacional	57
5	PRODUTO EDUCACIONAL	61
5.1	Introdução e Motivação	61
5.2	Requisitos Funcionais	62
5.3	Arquitetura de Sistema	63
5.4	Tecnologias Adotadas	64
5.4.1	<i>Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D</i>	66
5.4.2	<i>Sensor Piezoelétrico</i>	67
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
6.1	Geração do Dataset de Treinamento	71
6.2	Experimento	74
6.2.1	<i>Ambiente Experimental</i>	74
6.2.2	<i>Métricas de Avaliação do Modelo de IA</i>	75
6.3	Discussão dos Resultados	75
7	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A – Cartilha do Datetê Care	87

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo inicia introduzindo o trabalho, ressaltando a contextualização e motivação sobre a importância e os desafios da amamentação, assim como as áreas de reconhecimento de padrões e computação física como soluções que podem resolver ou mitigar o problema de estimar o volume deglutido pelo bebê durante a amamentação. Em seguida, a justificativa para o trabalho é apresentada, enfatizando a relevância do desenvolvimento de um produto educacional capaz de estimar o volume de leite materno deglutido pelo bebê. Posteriormente, a definição do problema é introduzida por meio da formulação da pergunta que guia a pesquisa. Na sequência, os objetivos, tanto o geral quanto os específicos, são listados e explicados. Por fim, é detalhada a estrutura dos capítulos restantes deste documento.

1.1 Contextualização e Motivação

A amamentação é crucial para a saúde e sobrevivência das crianças. O leite materno é um alimento seguro, natural, nutritivo e sustentável para os bebês, contendo anticorpos que os protegem contra diversas doenças comuns na infância, como diarreia e doenças respiratórias (Moraes *et al.*, 2020; WHO, 2023). Um estudo conduzido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a falta de amamentação adequada seja responsável por 16% das mortes infantis anualmente (WHO, 2023). Ainda segundo a OMS, crianças que são amamentadas apresentam melhor desempenho em testes de inteligência e têm menor probabilidade de desenvolver obesidade ou sobrepeso mais tarde na vida (WHO, 2023). Além disso, as mulheres que amamentam têm um menor risco de desenvolver câncer e diabetes tipo II (Rodrigues *et al.*, 2021; Sequeira, 2022; WHO, 2023).

Na prática do aleitamento materno, ainda hoje é um desafio estimar a quantidade de leite materno ingerida por um bebê. Portanto, uma abordagem objetiva e quantitativa para avaliar a ingestão de leite pelo bebê, algo que até então dependia principalmente de observações indiretas e subjetivas, seria muito benéfica para a área da amamentação. Para os profissionais da amamentação, um recurso que pudesse estimar o volume de leite deglutido em uma sessão de amamentação ajudaria as mães e bebês de forma mais precisa e eficaz, oferecendo um suporte direcionado e bem fundamentado. Já para as famílias, isso traz mais segurança e tranquilidade ao saberem que seu bebê está recebendo a quantidade certa de leite, diminuindo a preocupação e o estresse relacionados à amamentação.

O reconhecimento de padrões é uma área da ciência computacional que se concentra em identificar regularidades em dados complexos para fazer previsões ou classificações (Ripley, 1996). Utiliza técnicas estatísticas e algoritmos de aprendizado de máquina para extrair informações significativas de grandes conjuntos de dados (Liu *et al.*, 2006). Na saúde, o reconhecimento de padrões é aplicado para diagnosticar doenças, prever resultados de tratamentos e personalizar o cuidado ao paciente com base em padrões identificados nos dados clínicos, imagens médicas, sinais vitais e outros tipos de informações de saúde. Isso permite uma abordagem mais precisa e personalizada na prática clínica, melhorando tanto os diagnósticos quanto os resultados dos pacientes.

A computação física se caracteriza por sua capacidade de tornar os computadores sensíveis aos seres humanos e ao ambiente, podendo atuar como uma tecnologia que apoia a inovação (Correia; Dick, 2016). De acordo com O'Sullivan & Igoe (2004), a ideia é considerar dispositivos computacionais que possam perceber melhor os corpos das pessoas, facilitando um diálogo entre o mundo físico e o mundo virtual. A computação física utiliza elementos eletrônicos para desenvolver projetos, o que possibilita a criação de objetos interativos capazes de se comunicar com humanos, o ambiente e outros computadores (Banzi, 2011). Nesse contexto, a computação física alinhada à área de reconhecimento de padrões sonoros de deglutição poderia ser empregada como uma solução capaz de coletar e interpretar informações sobre o bebê durante uma sessão de amamentação. Isso envolve a captura dos sons emitidos pelo bebê durante a sucção, permitindo o processamento desses dados para adquirir conhecimento, por meio de padrões sonoros, sobre a quantidade de leite consumido pelo bebê.

1.2 Justificativa

A amamentação é fundamental para o desenvolvimento saudável de um bebê, fornecendo nutrientes essenciais e promovendo o vínculo entre mãe e filho. Contudo, para que a amamentação seja realmente eficaz, é crucial garantir que a deglutição do bebê esteja ocorrendo de maneira adequada. Existem diversas razões importantes pelas quais a avaliação da deglutição correta durante a amamentação é indispensável. Uma razão primordial é a garantia de nutrição adequada. A deglutição correta é essencial para que o bebê receba a quantidade necessária de leite materno. Uma deglutição ineficaz pode resultar em ingestão insuficiente de nutrientes, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento do bebê, podendo levar a problemas como perda de peso, desidratação e deficiências nutricionais.

Outra razão importante é a prevenção de problemas de saúde. A deglutição inadequada pode causar engasgos e aspirações, permitindo que o leite entre nas vias respiratórias do bebê. Isso não só causa desconforto, mas também pode levar a complicações respiratórias graves, como pneumonia por aspiração. A avaliação da deglutição correta ajuda a prevenir esses riscos, assegurando que o leite vá para o esôfago e não para as vias aéreas. A detecção precoce de problemas de saúde é outra razão crucial. Dificuldades na deglutição podem indicar condições subjacentes, como problemas neurológicos ou anomalias anatômicas. Avaliar a deglutição do bebê pode ajudar na identificação precoce dessas condições, permitindo intervenções rápidas e apropriadas. Diagnósticos precoces geralmente resultam em prognósticos melhores e tratamentos mais eficazes.

O conforto e o bem-estar do bebê também são razões importantes. Uma deglutição correta garante que o bebê esteja confortável durante a amamentação. Bebês com dificuldades para engolir podem apresentar sinais de frustração, irritabilidade e desconforto. Garantir a deglutição adequada promove uma experiência de amamentação mais tranquila e prazerosa tanto para o bebê quanto para a mãe. Finalmente, a amamentação é um momento crucial para estabelecer o vínculo emocional entre a mãe e o bebê. Quando a deglutição ocorre de maneira correta, a amamentação tende a ser uma experiência mais positiva e satisfatória, fortalecendo esse vínculo. Além disso, uma amamentação bem-sucedida aumenta a confiança da mãe em sua capacidade de nutrir e cuidar de seu bebê.

Portanto, é essencial que os profissionais de saúde e cuidadores estejam atentos a sinais de deglutição inadequada e intervenham prontamente quando necessário. O produto educacional almejado nesta pesquisa é uma tecnologia que auxilia esses profissionais da saúde e cuidadores na utilização correta do protocolo de amamentação, sinalizando a necessidade de ajustes, manejos ou interações com outros profissionais de saúde para corrigir eventuais obstáculos identificados, seja com o bebê, com a mãe ou com o protocolo em si.

A implementação deste produto educacional representará um marco na prática do aleitamento materno, pois oferecerá uma abordagem objetiva e quantitativa para avaliar a ingestão de leite pelo bebê, algo que até então dependia principalmente de observações indiretas e subjetivas. Para as famílias, isso significa maior segurança e tranquilidade ao saberem que seu bebê está recebendo a quantidade adequada de leite, reduzindo a ansiedade e o estresse associados à amamentação. Para os profissionais, esse produto educacional permitirá intervenções mais precisas e eficazes, possibilitando um suporte mais direcionado e fundamentado às mães e bebês.

Além disso, ao integrar tecnologia avançada na prática clínica, o produto educacional contribuirá para a modernização e eficiência dos cuidados em saúde materno-infantil, promovendo um impacto positivo e duradouro tanto na qualidade do atendimento quanto nos resultados de saúde a longo prazo.

1.3 Definição do Problema

Segundo Gil (2002), para definir um problema de pesquisa, é importante transformá-lo em uma pergunta formulada, garantir que esteja claramente definido e possa ser observado e medido empiricamente, verificar sua possibilidade de resolução e limitar seu escopo para torná-lo gerenciável. Com base nessas diretrizes, a questão central deste estudo pode ser formulada da seguinte maneira: Como a técnica de reconhecimento de padrões de sinais, integrada aos artefatos da computação física, pode estimar o volume de leite deglutido por um bebê durante a amamentação?

1.4 Hipóteses

Uma hipótese é uma resposta sugerida, possível e temporária para um problema, cuja validade (comprovada por meio de sua sustentabilidade ou validação) será determinada por meio de pesquisa (Marconi; Lakatos, 2017). Assim, este estudo parte das seguintes hipóteses:

- a) existem artefatos da computação física capazes de captar os sinais sonoros da deglutição; e
- b) o reconhecimento de padrões é capaz de reconhecer padrões sonoros de deglutição e estimar o volume deglutido.

1.5 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um protótipo de produto educacional capaz de estimar a quantidade de leite materno ingerido por um bebê durante a amamentação. Com o intuito de possibilitar uma avaliação mais precisa do cumprimento das metas intermediárias da pesquisa e facilitar a conclusão do estudo ao atingir cada uma dessas metas, foram enumerados os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar um estudo exploratório sobre as práticas de amamentação, aplicações de computação física e algoritmos de reconhecimento de padrões;
- b) identificar os artefatos de computação física que sejam capaz de capturar sinais sonoros de

- deglutição dos bebês;
- c) escolher uma técnica de reconhecimento de padrões para identificar nos padrões sonoros o volume deglutido; e
 - d) validar a acurácia e erro apresentado pelo protótipo de produto educacional por meio da medida real deglutida e o que foi estimado.

1.6 Estrutura do Documento

Esta dissertação de mestrado é composto por sete capítulos. O objetivo inicial é contextualizar o tema da pesquisa, apresentando as motivações, questões de pesquisa, hipóteses, contribuições e objetivos. Os capítulos subsequentes desta dissertação de mestrado seguem a seguinte estrutura:

- O Capítulo 2 reúne todo arcabouço teórico necessário para o entendimento do trabalho desenvolvido nesta pesquisa;
- O Capítulo 3 comenta os trabalhos relacionados identificados por meio de uma revisão do estado da arte;
- O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada e suas respectivas etapas que foram seguidas para a realização desta pesquisa;
- O Capítulo 5 descreve os aspectos técnicos, tecnológicos e de utilização do produto educacional proposto;
- O Capítulo 6 explica os resultados da pesquisa e as discussões geradas; e
- O Capítulo 7 conclui o trabalho e apresenta trabalhos futuros que a pesquisa pode proporcionar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como propósito apresentar o embasamento teórico necessário para proporcionar uma compreensão mais aprofundada desta pesquisa. Nesse sentido, o presente capítulo inicia com um panorama sobre a amamentação, destacando sua importância para a saúde do bebê e da mãe. Em seguida, são expostos os aspectos da computação física e sua correlação com o objetivo da pesquisa. Posteriormente, é abordado o processamento digital de sinais de áudio, incluindo sua relação com a pesquisa e a exposição de algumas técnicas de implementação. Por fim, é feita uma breve exposição sobre o reconhecimento de padrões com Inteligência Artificial (IA) e a maneira como a pesquisa pode se beneficiar desse conhecimento.

2.1 Amamentação

A amamentação é a melhor prática para a saúde, desenvolvimento e nutrição infantil (Kehinde *et al.*, 2023). De acordo com a iniciativa de *advocacy*¹ para amamentação da OMS e do Fundo Internacional de Emergência das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), a amamentação deve ser iniciada dentro de uma hora após o nascimento e continuada por seis meses, sem suplementos, líquidos ou alimentos, exceto medicamentos líquidos (Kehinde *et al.*, 2023). A amamentação oferece ao recém-nascido o melhor começo de vida, pois facilita o crescimento e o desenvolvimento, aprofunda o vínculo entre mãe e bebê e melhora o bem-estar do recém-nascido (Peñacoba; Catala, 2019 apud Kehinde *et al.*, 2023). O colostro produzido imediatamente após o parto contém nutrientes e leucócitos que fortalecem a imunidade do recém-nascido (Menchetti *et al.*, 2016 apud Kehinde *et al.*, 2023).

O leite materno contém todos os nutrientes alimentares na proporção correta (Moraes *et al.*, 2020; Kehinde *et al.*, 2023). Além desses nutrientes, contém células imunológicas, células-tronco, ácidos graxos ômega-3, bem como ácido alfa-linolênico, que não podem ser encontrados em fórmulas infantis ou leite artificial (Moraes *et al.*, 2020; WHO, 2023; Kehinde *et al.*, 2023). O ácido alfa-linolênico tem efeitos benéficos no desenvolvimento neurológico e retiniano do bebê (Kehinde *et al.*, 2023). A amamentação é um importante fator protetor contra a obesidade infantil e reduz a incidência de doenças crônicas em estágios avançados da vida adulta (WHO, 2023; Kehinde *et al.*, 2023). A iniciação precoce da amamentação e um período prolongado de amamentação estão ligados a um retorno mais rápido do útero ao seu estado pré-gravídico

¹ Se refere ao ato de defender, promover ou apoiar uma causa, política, ou grupo de pessoas.

(involução), além de reduzir o risco de câncer de mama e de ovários (Rodrigues *et al.*, 2021; WHO, 2023; Kehinde *et al.*, 2023).

Impactos econômicos significativos da amamentação nos sistemas de saúde incluem a redução nos custos extras de cuidados com a saúde para o vírus sincicial respiratório, comumente encontrado em bebês que não foram amamentados (Quesada *et al.*, 2020 apud Kehinde *et al.*, 2023). Notavelmente, a amamentação tem sido associada à redução das despesas anuais para seguradoras privadas e governamentais no tratamento de doenças evitáveis pela amamentação (Kehinde *et al.*, 2023). Para maximizar os benefícios da amamentação para a saúde e a economia, a sociedade deve apoiar a proteção e promoção da amamentação. O apoio e a promoção da amamentação indiscutivelmente ajudam a proteger a saúde humana e ambiental, reduzindo os danos ambientais associados às emissões de carbono geradas pela fabricação e transporte de fórmulas infantis (Dadhich *et al.*, 2021 apud Kehinde *et al.*, 2023). Portanto, o apoio e a educação sobre amamentação são fundamentais para melhorar a nutrição e a saúde humana diante dos desafios globais de saúde.

Apesar do aumento contínuo da conscientização sobre a amamentação na última década, as taxas de amamentação permanecem em níveis mínimos na maioria dos países do mundo (Kehinde *et al.*, 2023). Para esse efeito, a Assembleia Mundial da Saúde desenvolveu estratégias para aumentar a taxa de amamentação e, de fato, a amamentação exclusiva para pelo menos 50% até o ano de 2025 (Kehinde *et al.*, 2023). As estatísticas registradas no painel global de amamentação da OMS em 2019 mostram que apenas 44% dos recém-nascidos são amamentados na primeira hora após o nascimento, em comparação com o objetivo da OMS de melhorar as taxas de início da amamentação para 70% globalmente (Kehinde *et al.*, 2023).

Dados da OMS em 2021 mostram que as taxas de amamentação exclusiva para bebês com menos de seis meses estão atualmente em 40%, com apenas 23 países atingindo pelo menos 60% dos recém-nascidos sendo exclusivamente amamentados (Kehinde *et al.*, 2023). Essas baixas taxas são mais prevalentes nas Américas e na Europa, onde em 2019 apenas 6% dos países das Américas registram uma taxa de amamentação exclusiva acima de 60% (Kehinde *et al.*, 2023) e 25% em toda a região europeia (Kehinde *et al.*, 2023).

No entanto, apesar de todas as melhorias reconhecidas e antecipadas com a adoção da amamentação como a melhor forma de alimentação para recém-nascidos, a taxa de início e exclusividade da amamentação ainda não foi ampliada a um nível substancial globalmente (Edwards *et al.*, 2021 apud Kehinde *et al.*, 2023). A diminuição global nas taxas de amamentação

tem sido associada às dificuldades enfrentadas pelas mães ao tentar iniciar a amamentação (Gianni *et al.*, 2019 apud Kehinde *et al.*, 2023). Estas incluem má pega, mastite, fadiga, crença na insuficiência de leite, ansiedade com o retorno iminente ao trabalho e sentimentos de insegurança (Pevzner; Dahan, 2020; Radke, 2022; Kehinde *et al.*, 2023). A falta de educação adequada sobre amamentação durante o estágio pré-natal foi identificada como responsável por algumas das dificuldades enfrentadas pelas mulheres (Yilak *et al.*, 2020; Kehinde *et al.*, 2023).

A OMS identificou a importância da educação sobre amamentação, enfatizando isso como o elemento central da promoção da saúde durante as visitas pré-natais (Coffman, 2019 apud Kehinde *et al.*, 2023). A educação e o apoio à amamentação, oferecidos por profissionais de saúde qualificados e habilitados, influenciam positivamente as atitudes das mulheres em relação ao início da amamentação (Tanaka; Horiuchi, 2021; Kehinde *et al.*, 2023). Diante disso, esta pesquisa almeja desenvolver um produto tecnológico educacional para ser utilizado por profissionais da amamentação, com o intuito de avaliar suas práticas e manejos durante uma sessão de amamentação.

2.2 Reconhecimento de Padrões

O reconhecimento de padrões engloba uma vasta gama de atividades em várias áreas da vida. Segundo Ripley (1996), nós, humanos, somos especialmente hábeis nisso. Recebemos dados dos nossos sentidos e, muitas vezes, somos capazes de identificar a fonte desses dados de forma imediata e sem esforço consciente. Por exemplo, muitos de nós podemos reconhecer rostos que não vemos há muitos anos, mesmo disfarçados; reconhecer vozes através de uma linha telefônica ruim; como bebês, reconhecer nossas mães pelo cheiro; distinguir as uvas usadas para fazer um vinho, e às vezes até reconhecer o vinhedo e o ano; identificar milhares de espécies de flores e detectar uma tempestade se aproximando (Ripley, 1996).

Já a ciência, tecnologia e negócios trouxeram para nós muitas tarefas semelhantes, incluindo: diagnosticar doenças; detectar células anormais em esfregaços cervicais; reconhecer condições perigosas de condução; identificar tipos de carros e aviões; identificar suspeitos criminosos por impressões digitais e perfis de Ácido Desoxirribonucleico (DNA); classificar galáxias por forma; escolher um movimento ou estratégia ideal em um jogo como o xadrez; identificar mísseis inimigos a partir de sinais de radar ou sonar; detectar cardumes de peixes por sonar; decidir quais clientes serão bons riscos de crédito; e identificar boas oportunidades no mercado financeiro (Ripley, 1996).

Os humanos podem (e fazem) algumas dessas tarefas muito bem, mas a pressão tecnológica é para construir máquinas que possam realizar tais tarefas de maneira mais precisa, rápida ou barata do que os humanos, ou até mesmo para liberar os humanos de tarefas tediosas. Há também tarefas puramente tecnológicas, como a leitura de códigos de barras, nas quais os humanos são ineficazes (Ripley, 1996). O reconhecimento de padrões é a disciplina que visa construir tais soluções, com o objetivo de classificar objetos em várias categorias ou classes. Além disso, o reconhecimento de padrões é também uma parte integral na maioria dos sistemas de IA construídos para a tomada de decisões (Liu *et al.*, 2006). O reconhecimento de padrões envolve diversas técnicas que podem ser aplicadas em diferentes áreas. A seguir, são comentados alguns dos principais algoritmos, modelos, métodos ou técnicas referentes à implementação de reconhecimento de padrões por meio do aprendizado de máquina.

2.2.1 *K-Nearest Neighbors (K-NN)*

O *K-Nearest Neighbors* (K-NN) é um dos algoritmos mais simples e populares de aprendizado de máquina, sendo amplamente utilizado para classificar dados com base na similaridade com exemplos previamente conhecidos (Zhang, 2022). Ele opera como um “vizinho curioso”: ao receber um novo dado, analisa os k exemplos mais próximos dentro de um conjunto já existente e decide sua categoria com base na maioria da sua vizinhança – como uma espécie de “votação”. Se a maior parte dos vizinhos pertence à categoria A, então o novo dado também será classificado como A.

O K-NN está diretamente relacionado ao reconhecimento de padrões, pois classifica novas entradas ao compará-las com padrões previamente identificados. Embora não aprenda regras complexas, o algoritmo é capaz de reconhecer tendências nos dados ao analisar seus vizinhos mais próximos (Zhang, 2022). No contexto do reconhecimento de padrões sonoros, por exemplo, o K-NN pode ser empregado para distinguir diferentes tipos de sons, como palavras faladas, variações de tosse ou a diferenciação entre sons de deglutição normais e anormais.

2.2.2 *Support Vector Machine (SVM)*

O *Support Vector Machine* (SVM) é um algoritmo de aprendizado de máquina utilizado para classificar dados, separando diferentes categorias por meio da melhor linha (ou hiperplano, no caso de múltiplas dimensões) possível (Vapnik, 2013; Pisner; Schnyer, 2020). Ele funciona como um “árbitro” que traça uma linha entre dois grupos de pontos, garantindo a maior

margem de separação entre esses grupos para tornar a divisão o mais clara e precisa possível.

Um exemplo didático seria um gramado onde gatos e cachorros estão espalhados: o objetivo é desenhar uma cerca (reta e infinita) que os separe da melhor maneira. O SVM encontra a posição ideal dessa cerca, garantindo que os gatos fiquem de um lado e os cachorros do outro, maximizando a distância entre os grupos. Para isso, ele busca a linha de separação que cria a maior margem entre os animais mais próximos da cerca, reduzindo a chance de erros.

Todavia, nem sempre é possível separar corretamente todos os animais usando uma cerca perfeitamente reta como no exemplo anterior. É aí que entram duas condições importantes: o relaxamento da restrição do problema; e o uso de uma cerca de alta dimensionalidade. Uma cerca de separação perfeitamente reta é tornada “flexível” ao admitir erros de classificação, relaxando a restrição de solução ideal do problema. Cria-se assim uma margem igualmente flexível, o que ajuda o problema a ser tratável por algoritmos (Vapnik, 2013). Além disso, um truque de mágica usando a dimensionalidade é realizado por meio de uma função que mapeia a relação entre as amostras, o que permite traçar uma cerca que seria plana e infinita em uma dimensão mais elevada, porém que se comporta como uma cerca curva (e potencialmente finita) no gramado onde estão os animais. Esse é um artifício matemático conhecido como “truque do *kernel*” e que confere um enorme potencial teórico ao SVM (Vapnik, 2013).

No reconhecimento de padrões sonoros, por exemplo, o SVM pode ser aplicado para distinguir diferentes tipos de sons, como separar palavras faladas de ruídos de fundo ou identificar variações sutis em sons de deglutição para detectar possíveis dificuldades. Ele faz isso analisando características extraídas dos sons e determinando a melhor forma de agrupá-los de maneira eficiente e precisa.

2.2.3 Floresta Aleatória

A Floresta Aleatória (ou *Random Forest*) é um algoritmo de aprendizado de máquina que toma decisões combinando várias “árvores de decisão” (Breiman *et al.*, 2017; Parmar *et al.*, 2019). Cada árvore de decisão é como uma série de perguntas que ajudam a classificar um dado (Breiman *et al.*, 2017), mas, em vez de confiar em apenas uma árvore, a Floresta Aleatória cria várias árvores diferentes e decide a resposta final pela maioria dos votos (no caso de classificação) ou pela média das respostas (no caso de prever valores numéricos). Isso torna o modelo mais preciso e resistente a erros (Parmar *et al.*, 2019).

Um exemplo prático seria a situação em que um grupo de médicos está tentando

diagnosticar um paciente. Cada médico faz perguntas diferentes e oferece sua opinião sobre o diagnóstico. Em vez de confiar apenas em um único médico, a decisão final é tomada com base na opinião da maioria. No reconhecimento de padrões sonoros, por exemplo, a Floresta Aleatória pode ser usada para identificar diferentes tipos de sons, como distinguir entre sons normais e anormais na deglutição de um paciente, analisando diversos padrões e características extraídas dos áudios. Esse processo permite uma análise mais robusta e precisa, combinando a opinião de múltiplos especialistas (ou árvores) para tomar a melhor decisão.

2.2.4 Rede Neural Artificial (RNA)

Uma Rede Neural Artificial (RNA) é um modelo de aprendizado de máquina inspirado no funcionamento do cérebro humano (Rosenblatt, 1958; Abiodun *et al.*, 2019). Assim como o cérebro usa neurônios para processar informações, uma RNA usa neurônios artificiais, organizados em camadas. Cada neurônio recebe informações, faz cálculos simples e passa o resultado adiante. Com muitas camadas e conexões, a rede consegue aprender padrões complexos a partir dos dados e melhorar suas respostas com o tempo (Rumelhart *et al.*, 1986; Abiodun *et al.*, 2019).

Como exemplo de aplicação, uma RNA pode ser comparada a uma criança aprendendo a reconhecer frutas. No início, ela recebe imagens e tenta adivinhar quais são maçãs e quais são laranjas. Se errar, um adulto corrige e a criança ajusta sua forma de pensar. Com o tempo, a criança melhora e acerta com mais frequência. No reconhecimento de padrões sonoros, uma RNA pode aprender a identificar diferentes tipos de sons, como distinguir palavras faladas ou detectar sinais anormais na deglutição. Isso pode ser útil em diagnósticos médicos, permitindo a detecção de problemas com base em sinais sonoros, como aqueles associados à deglutição, diretamente a partir de áudios.

2.2.5 Rede Neural Convolutacional (CNN)

Uma Rede Neural Convolutacional (CNN) é um tipo especial de rede neural que pode ser aplicada ao processamento de sinais e séries temporais (LeCun *et al.*, 1998; Abiodun *et al.*, 2019), como sinais sonoros. Diferente de redes neurais tradicionais, a CNN utiliza filtros, chamadas camadas convolucionais, que funcionam como “lentes” para destacar características importantes dos sinais (Goodfellow *et al.*, 2016). Essas informações passam então por outras camadas que aprendem a distinguir padrões, seja em sinais sonoros ou outros tipos de dados

temporais (Abiodun *et al.*, 2019). A vantagem desse tipo de abordagem está na possibilidade de utilizar dados “crus” como entrada para o modelo, pois este é capaz de aprender a extrair características relevantes sobre os dados de entrada, as quais eram modeladas e fornecidas pelo elemento humano, ao mesmo tempo em que aprende a realizar uma tarefa.

Um exemplo seria o problema de ensinar um computador a reconhecer diferentes tipos de sons de deglutição, como engolir líquidos ou alimentos. Em vez de definir manualmente as características que tornam cada tipo de deglutição distinto, a CNN analisa diversas sequências de sinais sonoros da deglutição e aprende automaticamente quais padrões são relevantes. Por exemplo, ela pode identificar variações no tempo e na intensidade das vibrações durante o processo de deglutição. Dessa forma, a CNN é capaz de diferenciar deglutições normais das anormais, auxiliando na identificação de problemas de deglutição, como a disfagia², com base exclusivamente no comportamento dos sinais ao longo do tempo, sem necessidade de intervenção manual.

2.2.6 Long Short-Term Memory (LSTM)

Uma *Long Short-Term Memory* (LSTM) é um tipo de rede neural que é excelente para trabalhar com sequências de dados, como textos, áudios ou séries temporais (Hochreiter; Schmidhuber, 1997; Smagulova; James, 2019). Diferente de redes neurais comuns, a LSTM é uma rede recorrente dotada de uma memória especial que lhe permite lembrar informações importantes por mais tempo e esquecer coisas desnecessárias (Hochreiter; Schmidhuber, 1997). Ela é como um “diário” que registra e decide o que é importante lembrar ao longo do tempo, ajudando a rede a entender melhor sequências e contextos. A LSTM serviu como base para outras arquiteturas de redes neurais recorrentes mais modernas (Cho *et al.*, 2014; Goodfellow *et al.*, 2016).

No caso de sinais sonoros de deglutição, uma LSTM pode analisar sequências de dados de sinais sonoros de deglutição para entender padrões ao longo do tempo, como identificar quando uma deglutição é normal ou anômala, considerando o contexto das deglutições anteriores. Isso permite detectar problemas de deglutição, como a disfagia, com mais precisão, baseando-se nas mudanças e repetições de padrões ao longo do tempo.

² A disfagia é a dificuldade para engolir alimentos, líquidos ou saliva de forma segura e eficiente. Isso pode causar engasgos, sensação de alimento preso na garganta e até risco de aspiração para os pulmões.

2.3 Computação Física

Esta seção oferece uma visão histórica dos principais marcos, personalidades, trabalhos e áreas de conhecimento que fundamentaram o desenvolvimento do que conhecemos hoje como computação física. Em seguida, aborda a definição e discussão sobre a cultura *maker* e o movimento *Do-It-Yourself* (DIY). O Arduino é apresentado como a tecnologia fundamental para suportar aplicações de computação física. Por fim, são explicados os conceitos formais da computação física, suas características e aplicações.

2.3.1 Precursores e Surgimento da Computação Física

Antes de discutir a computação física, é importante primeiramente explorar a história dos pioneiros da Interação Humano-Computador (IHC). A IHC é uma especialidade que abrange muitos campos e, portanto, é multidisciplinar, mas mantém uma relação intrínseca como subcampo da ciência da computação (Dix *et al.*, 2003). A maioria dos sistemas de computação interativos é projetada para servir a um propósito humano e interagir com humanos em contextos específicos.

Usuários humanos e seus contextos são componentes principais do problema de *design* que não podem ser ignorados simplesmente por serem complexos de abordar. Na verdade, a maior parte do código em sistemas interativos está relacionada à interação do usuário (Dix *et al.*, 2003). A falta de atenção adequada aos usuários e ao contexto das tarefas não apenas resulta em interfaces de usuário ruins, mas também coloca em risco sistemas inteiros.

Os profissionais conhecidos como *designers* de interação criam interações em mundos virtuais e as incorporam em mundos físicos (Dix *et al.*, 2003). O *design* é o ponto central da ação. Uma disciplina eficaz de IHC não pode depender principalmente da “análise de usabilidade”, embora esta seja importante. O *design* floresce na compreensão das restrições, na percepção do espaço de *design* e no conhecimento profundo dos elementos do *design*: o usuário, a tarefa e a máquina. Os *designs* clássicos e influentes em IHC, como a Xerox e a Apple, não foram desenvolvidos a partir da análise de usabilidade (embora esta tenha desempenhado papéis importantes), mas sim por meio de princípios geradores concebidos pelos *designers* de interface do usuário que tinham controle sobre o *design* e a implementação (Dix *et al.*, 2003).

Agora, serão apresentadas algumas pessoas cujos trabalhos originaram avanços que culminaram no que é chamado hoje de computação física. Douglas Engelbart é um pioneiro

no *design* de ambientes computacionais interativos modernos (Engelbart, 1988). Ele detém a patente do mouse, criou o primeiro sistema de edição bidimensional e foi o primeiro a demonstrar o uso de protocolos de procedimento remoto, texto e gráficos mistos, e visualização de tela compartilhada.

Desde o início dos anos 1950, o objetivo de Douglas Engelbart era usar a tecnologia de computadores como um meio de complementar a atividade de resolução de problemas humanos (Dix *et al.*, 2003). Muitas das ideias que a equipe de Engelbart desenvolveu no *Augmentation Research Center* (ARC) – como processamento de texto e o mouse – só alcançaram sucesso comercial em massa décadas após sua invenção (Engelbart, 1988). Uma demonstração ao vivo do seu Sistema oNLine (NLS), também conhecido posteriormente como NLS/Augment, foi o primeiro sistema a usar o mouse.

As primeiras aplicações de imagens em telas de exibição foram desenvolvidas para aplicações militares, mais notavelmente o projeto *Semi-Automatic Ground Environment* (SAGE) da Força Aérea dos EUA. No entanto, foi apenas em 1962, quando um jovem estudante de pós-graduação no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), Ivan Sutherland, surpreendeu a comunidade estabelecida de ciência da computação com seu programa Sketchpad, que as capacidades das imagens visuais foram percebidas (Dix *et al.*, 2003). O Sketchpad permitia a um operador de computador usar o computador para criar, muito rapidamente, modelos visuais sofisticados em uma tela de exibição que se assemelhava a uma televisão.

Sutherland foi um dos pioneiros na IHC e é considerado o ancestral dos programas modernos de *Design Assistido por Computador* (CAD), além de ser um grande avanço no desenvolvimento de gráficos computacionais em geral (Dix *et al.*, 2003). Em 1963, Ivan Sutherland publicou, em sua tese de doutorado, a criação de imagens gráficas diretamente em uma tela usando um lápis ótico (Avalos-Viveros *et al.*, 2018). Assim, o Sketchpad permitiu que os usuários interagissem diretamente com gráficos na tela usando um lápis ótico, um precursor das interfaces gráficas modernas.

Apesar do termo “design de interação” ter sido criado por Bill Moggridge da IDEO e Bill Verplank da Xerox no final dos anos 1980 (Grinham; Ku, 2012), a primeira manifestação desse tipo de *design* pode ser encontrada em estudos no final dos anos 1960 e na formação e pesquisa contínua do Media Lab do MIT. Em seu artigo de 1969, “*Towards a Theory of Architecture Machines*”, Nicholas Negroponte, o fundador do Media Lab do MIT, questionou se uma máquina poderia deduzir respostas a partir de uma série de dados ambientais.

A pergunta mencionada no parágrafo anterior e outras desenvolvidas no Media Lab buscavam realizar o computador e sua lógica algorítmica como parceiro ou “associado” do *designer* humano, desenvolvendo uma teoria de “humanismo através das máquinas” (Negroponte, 1970 apud Grinham; Ku, 2012). Já em seu trabalho intitulado “*The Soft Architecture Machine*”, Negroponte explora a ideia de arquitetura responsiva, que envolve a integração da computação em espaços físicos para criar ambientes interativos e adaptativos (Negroponte, 1976).

O conceito de computação tangível ou interfaces tangíveis foi introduzido pela primeira vez na apresentação dos projetos Tangible Bits, desenvolvidos por membros do Tangible Media Group do MIT em 1997. O objetivo dos projetos era criar um ambiente computacional que permitisse aos usuários “agarrar e manipular” *bits* no centro da atenção dos usuários, acoplando os *bits* com objetos físicos cotidianos e superfícies arquitetônicas (Ishii; Ullmer, 1997).

Inspirado pelas possibilidades táteis de instrumentos científicos históricos (consistindo em botões, alavancas, botões e rodas giratórias) e pela crença de que a interação deve ser baseada em como o homem opera seu corpo e manipula objetos físicos, Tangible Bits foi apresentado como um ambiente interativo composto por várias interfaces que trabalham juntas para otimizar a IHC. A interação ocorre em ambientes reais, não simulados, onde os usuários - através do toque, posição, movimento e fala - controlam os elementos virtuais introduzidos no ambiente (Nesheim, 2011).

Na computação tangível, a interação frequentemente envolve pequenos ícones físicos, chamados *Physical icons*, que atuam como dispositivos de apresentação dos objetos e eventos virtuais, quando reconhecidos pelo software (Nesheim, 2011). *Physical icons* são pequenos dispositivos de computação que podem ser agarrados, que reconhecem marcadores virtuais representando um conjunto de informações e podem armazenar e transmitir essas informações digitais (Nesheim, 2011). *Physical icons* foram primeiramente demonstrados por Hiroshii Ishii, atual chefe do Tangible Media Group no MIT Media Lab, e apresentados no artigo de pesquisa “*Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms*” (Ishii; Ullmer, 1997).

O paradigma da realidade mista tem raízes óbvias nas tecnologias de realidade virtual dos anos 90, com o objetivo de estender a realidade do usuário com componentes virtuais. Mas, enquanto os *designers* e engenheiros de Realidade Virtual (RV) centravam a interface na visão, a realidade mista moveu o foco da interação dos olhos para outros sentidos corporais, seja exclusivamente ou em combinação (Nesheim, 2011). Assim, os projetos de Hiroshi Ishii

permitiram que os usuários interagissem com informações digitais através de objetos físicos, aproximando ainda mais o mundo digital do mundo físico.

O conceito de *design* de interação foi primeiro proposto por Bill Moggridge na década de 80 (Kuang, 2009). Bill Moggridge é um dos fundadores da conhecida empresa de *design* IDEO no Vale do Silício, nos Estados Unidos. Até a década de 1980, o *design* de interação como termo foi proposto pela primeira vez por Bill Moggridge e William Verplank (Kuang, 2009). Hoje, o *design* de interação tem recebido atenção mundial extensa. O *design* de interação refere-se ao *design* de produtos interativos que suportam o trabalho e a vida diária das pessoas. Ele pesquisa produtos artificiais, o ambiente, o comportamento do sistema e projeta ou define os elementos de aparência que transmitem tais ações (Kuang, 2009).

Especificamente, o *design* de interação lida com o problema de como criar uma nova experiência do usuário, e o objetivo é fortalecer e expandir a forma de trabalho, comunicação e interação das pessoas. O *design* de interação origina-se da interação entre humano e computador ou produtos com software (Kuang, 2009). Como resultado, muitas vezes há um equívoco de que apenas o *design* de interação presta atenção na interface de software e em seus problemas relacionados. A substância do *design* de interação é planejar e esperar razoavelmente que os usuários usem os produtos, suas experiências ao usar esses produtos e a forma relacionada dos produtos.

O *design* de interação é diferente do *design* tradicional, que se preocupa principalmente com a forma ou características dos produtos, conteúdo e conotação dos produtos, mas enfatiza que, em primeiro lugar, visa planejar e descrever o comportamento das coisas, e depois descrever a forma mais eficaz de transmitir tal ato (Kuang, 2009). O *design* de interação concentra-se no *design* de produtos centrados no usuário, pesquisando e planejando o comportamento do usuário ao usar os produtos, afetando assim o status dos usuários, fazendo com que os usuários tenham uma experiência melhor sobre os produtos (Kuang, 2009).

Atualmente, o *design* interativo e o *design* de produtos interativos em países estrangeiros não se limitam mais ao campo da ciência da computação e dos produtos de software (Kuang, 2009). Ele está se infiltrando no domínio do *design* e desenvolvimento de produtos físicos. Por exemplo, o método de *design* contextual proposto pela empresa de *design* IDEO, para a qual Moggridge trabalhou, deriva da filosofia do *design* de interação. A IDEO projeta em um campo muito amplo do *design* de produtos industriais, e não apenas se limita ao *design* de produtos relacionados a computadores ou aqueles que contêm software (Kuang, 2009).

2.3.2 Cultura Maker

A cultura *maker* é um movimento que conquistou grande popularidade nos últimos anos (Duque *et al.*, 2023). Trata-se de uma filosofia que promove a criatividade, a inovação e a experimentação por meio da fabricação e construção de objetos com as próprias mãos. Atualmente, existem uma série de comunidades/culturas impulsionadas pelos usuários para o *design* e desenvolvimento de tecnologias criativas. Muitas delas têm uma forte presença *online*, onde a interação e o compartilhamento entre os membros desempenham um papel central. Exemplos incluem culturas *maker*, comunidades DIY e o movimento de código aberto (Nylander; Tholander, 2017). A cultura *maker* abrange uma ampla gama de atividades, desde a eletrônica e a robótica até a carpintaria e a costura (Duque *et al.*, 2023).

O movimento *maker*, assim como a cultura *maker*, está inserido na atmosfera do Movimento DIY ou *hands-on* (mão na massa), tendo surgido por volta dos anos 2000, com a publicação da primeira revista especializada em cultura *maker*, a Make Magazine. Dougherty (2013), um dos responsáveis pela disseminação do termo *maker*, descreve o movimento como impulsionado pela introdução de novas tecnologias, como impressão 3D e o microcontrolador Arduino, pela disponibilidade de ferramentas de prototipagem e fabricação mais rápidas, bem como pela facilidade de acesso a peças e distribuição direta de produtos físicos *online*. Ele destaca a participação crescente de pessoas em comunidades *online* interconectadas, definidas por interesses e habilidades, além de esforços locais para reunir aqueles com objetivos comuns.

Dougherty (2013) também indica que conceitos de programação e robótica podem ser utilizados no desenvolvimento das práticas *maker*, com o uso de plataformas de hardware aberto como o Arduino e tecnologias de fabricação digital, como impressoras 3D. Esses recursos costumam ser agrupados em laboratórios de fabricação digital, conhecidos como espaços *makers* ou *Fab Labs*. Anderson (2012) caracteriza o movimento como “uma nova revolução industrial”, diferenciando-o de períodos anteriores pela adoção de ferramentas digitais, pela norma cultural de compartilhamento de *designs* e colaboração *online*, e pelo uso de padrões de *design* comuns para facilitar a rápida interação e compartilhamento.

Uma característica desses é o forte foco no trabalho criativo e na colaboração, e como o compartilhamento entre os membros torna possível aprender uns com os outros na criação de novas tecnologias, permitindo que outros se tornem criadores, desenvolvam seus próprios projetos DIY ou aumentem a quantidade de código aberto disponível (Nylander; Tholander, 2017). Os espaços *makers* surgem como parte integrante do movimento *maker*. Hatch (2013)

argumenta que esse movimento representa uma revolução em andamento, não com o objetivo de substituir o antigo, mas sim de construir, criar e dar vida a novas ideias inovadoras.

Apesar das pessoas estarem “fazendo coisas” desde sempre (muitas vezes referindo-se a práticas antigas, como pinturas rupestres, para explicar nossa necessidade humana de criar), o movimento ganhou destaque nos últimos anos. Ele diz respeito ao aumento de pessoas envolvidas na produção criativa de artefatos em suas vidas cotidianas, buscando fóruns físicos ou digitais para compartilhar seus processos e produtos.

Hatch (2013) apresenta um “Manifesto do Movimento Maker” que detalha as atividades e mentalidades dos *makers*, centradas em nove ideias principais: fazer, compartilhar, dar, aprender, ter acesso seguro às ferramentas necessárias, brincar, participar, apoiar e mudar. Ele enfatiza a importância da criação de objetos físicos como uma característica distintiva do movimento *maker* em comparação com revoluções anteriores da computação e da internet. Hatch também destaca que as perturbações econômicas estão criando oportunidades para que pessoas comuns criem, inovem e tenham sucesso financeiro, promovendo mudanças sociais positivas por meio de sua criatividade e trabalho árduo.

Hatch acredita que o espírito criativo está presente em cada ser humano, possibilitando que todos desempenhem um papel significativo nesta nova sociedade *maker*. O movimento *maker* se baseia na tradição do DIY, que se desdobra em um conceito complementar, o *Do-It-With-Others* (DIWO). Esses coletivos consistem na formação de grupos de pessoas, amadoras e/ou profissionais, que trabalham juntas em diversas áreas relacionadas à ciência e à tecnologia, colaborando para apoiar o desenvolvimento dos projetos de cada membro.

2.3.3 *Microcontroladores*

O principal tipo de computador, utilizado na computação física, é o microcontrolador (O’Sullivan; Igoe, 2004). Este é um computador muito pequeno e simples que é bom em três coisas: receber informações de sensores, controlar motores básicos e outros dispositivos que criam mudanças físicas, e enviar informações para computadores e outros dispositivos (O’Sullivan; Igoe, 2004). Eles funcionam como portais entre o mundo físico e o mundo da computação. Os microcontroladores frequentemente estão no coração de dispositivos eletrônicos complexos, então entender como eles funcionam proporcionará uma nova visão sobre dispositivos eletrônicos (O’Sullivan; Igoe, 2004).

Microcontroladores são pequenos e baratos, o que permite explorar projetos específi-

cos de localização que incorporam computadores nos lugares mais improváveis, como arbustos e tênis, ou desenvolver projetos nos quais as ações de muitos dispositivos simples se somam para formar um todo mais interessante. Microcontroladores são encontrados em tudo, desde máquinas de lavar até interruptores de luz (O’Sullivan; Igoe, 2004). Os projetistas, entusiastas e *designers* se beneficiam dessa ubiquidade, pois ela reduziu os custos e melhorou a facilidade de uso dos microcontroladores (O’Sullivan; Igoe, 2004).

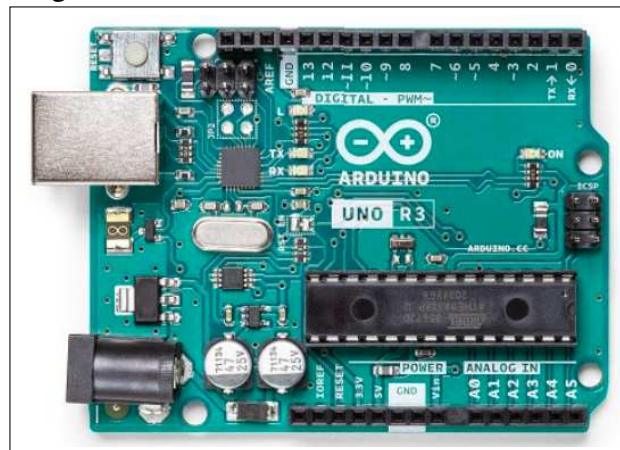
2.3.3.1 *Arduino*

Em 2005, Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis tiveram a ideia de um dispositivo programável fácil de usar para projetos de *design* de arte interativa no *Interaction Design Institute Ivrea*, em Ivrea, Itália (Pan; Zhu, 2018). O dispositivo precisava ser simples, fácil de conectar a várias coisas (como relés, motores e sensores) e fácil de programar. Também precisava ser barato para torná-lo econômico para estudantes e artistas. Eles selecionaram dispositivos da família AVR de microcontroladores de 8 *bits* da Atmel e projetaram uma placa de circuito autônoma com conexões fáceis de usar, escreveram um *firmware bootloader* para o microcontrolador e integraram tudo em um ambiente de desenvolvimento simples que utilizava programas chamados “sketches” (Pan; Zhu, 2018). O resultado foi o Arduino.

Arduino é um microcontrolador de código aberto que permite programação e interação (Kondaveeti *et al.*, 2021); é programado em C/C++ com uma biblioteca Arduino para permitir o acesso ao hardware (Pan; Zhu, 2018). Isso permite maior flexibilidade na programação e a capacidade de usar eletrônicos que podem se conectar com o Arduino. Como o Arduino é de código aberto, os planos para os circuitos estão disponíveis *online* gratuitamente para qualquer pessoa que queira usar e criar sua própria placa com base nos esquemas, desde que compartilhem o que criam (Pan; Zhu, 2018). Isso permite considerável personalização nos projetos; até o momento, os usuários construíram Arduinos de diferentes tamanhos, formas e níveis de potência para controlar seus projetos (Pan; Zhu, 2018). A Figura 1 exibe a placa do Arduino Uno R3, um dos mais populares.

O Arduino é composto por duas partes principais: a) a placa Arduino, que é um hardware no qual se trabalha para construir seus objetos ou projetos; e b) o Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) (Figura 2), que é um software que é executado no seu computador. O IDE é usado para criar um *sketch* (um pequeno programa de computador) que é enviado para a placa Arduino (Ismailov; Jo’rayev, 2022).

Figura 1 – Arduino Uno R3



Fonte: ARDUINO OFFICIAL STORE (2024).

Figura 2 – Arduino IDE



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Pan & Zhu (2018), o Arduino é diferente de outras plataformas no mercado por causa das seguintes características:

- É um ambiente multiplataforma; pode ser executado no Windows, MacOS e Linux;
- É baseado em uma IDE de programação de processamento, que é um ambiente de desenvolvimento fácil de usar, utilizado por artistas e *designers*;

- O envio do programa para o Arduino é via cabo *Universal Serial Bus* (USB), não uma porta serial. Esta característica é útil, pois muitos computadores modernos não possuem portas seriais;
- É hardware e software de código aberto — se desejar, pode-se baixar o diagrama de circuito, comprar todos os componentes e fazer sua própria placa Arduino, sem pagar nada aos criadores do Arduino;
- O hardware é barato;
- Há uma comunidade ativa de usuários, portanto, há muitas pessoas que podem ajudar; e
- O projeto Arduino foi desenvolvido em um ambiente educacional, e, portanto, é ótimo para iniciantes fazerem as coisas funcionarem rapidamente.

2.3.3.2 ESP32

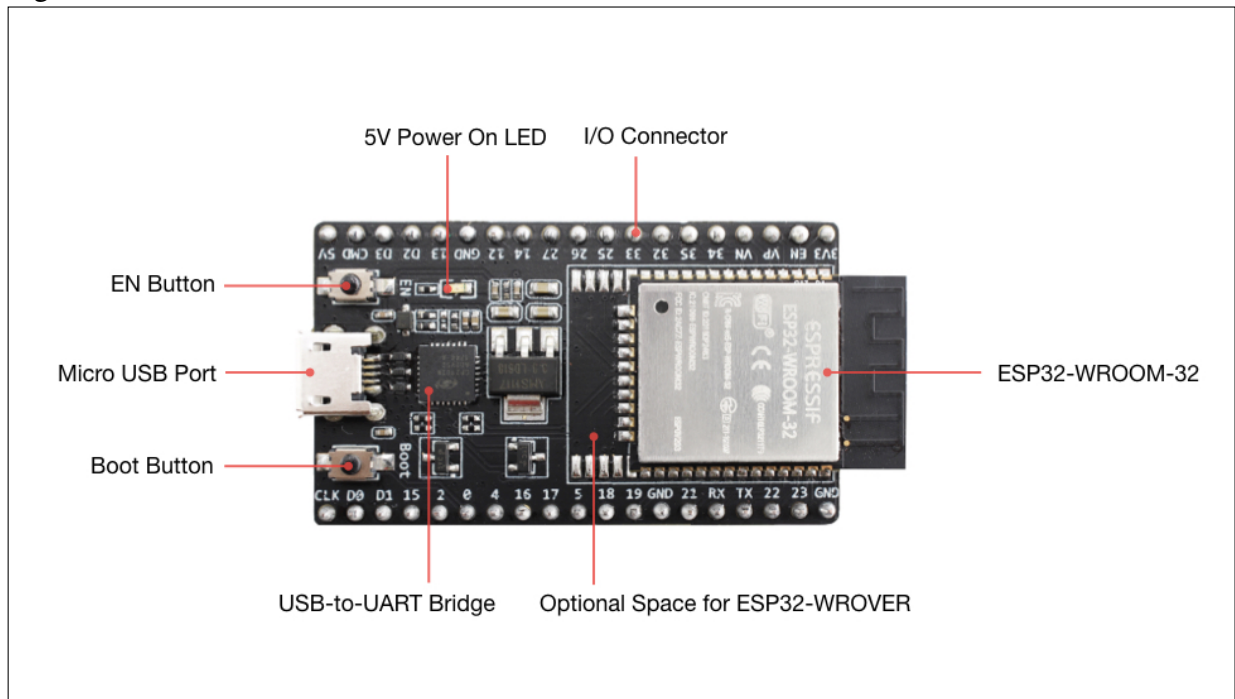
O ESP32 é um poderoso microcontrolador *System on Chip* (SoC) com Wi-Fi 802.11 b/g/n integrado, *bluetooth* versão 4.2 de modo duplo e uma variedade de periféricos. É um sucessor avançado do *chip* 8266, principalmente na implementação de dois núcleos com diferentes versões de *clock* de até 240 MHz. A popularidade do *chip* ESP32 está crescendo e agora tanto as variantes de hardware desse *chip* quanto vários ramos de seu desenvolvimento de software estão se desenvolvendo. Uma ampla comunidade de desenvolvedores, assim como acadêmicos, lidam com a utilização do *chip* ESP32 de geração superior como sucessor do microcontrolador ESP8266.

As principais vantagens do *chip* ESP32 abrangem sua ampla capacidade de aplicação em diferentes contextos, a compatibilidade com diversos padrões e protocolos de comunicação Wi-Fi, bem como sua caracterização como uma solução economicamente viável (Babiuch *et al.*, 2019). Comparado ao seu predecessor, além das características supracitadas, ele também aumenta o número de pinos *General Purpose Input/Output* (GPIO) de 17 para 36, o número de canais *Pulse Width Modulation* (PWM) para 16 e está equipado com 4 MB de memória *flash*.

O *chip* ESP32 foi desenvolvido pela empresa Espressif Systems, que atualmente oferece várias versões do SoC ESP32 na forma do *kit* de desenvolvedor ESP32 (Babiuch *et al.*, 2019). O ESP32 inclui dois núcleos (processador Xtensa LX6 feito com tecnologia de 40 nm) (Babiuch *et al.*, 2019). Os núcleos da *Central Process Unit* (CPU) podem ser controlados individualmente. Há 520 KB de *Static RAM* (SRAM) *on-chip* disponível para dados e instruções (Babiuch *et al.*, 2019).

Alguns módulos SoC, como o ESP32-Wrover, possuem 4 MB de *flash Serial Peripheral Interface* (SPI) externa e 8 MB adicionais de SPI *Pseudo SRAM* (PSRAM) (*Random-Access Memory* (RAM) pseudoestática). O equipamento padrão também inclui sensor de efeito Hall³, sensor de temperatura e sensor de toque, outros sensores integrados são implementados no *kit Azure Internet of Things* (IoT) e no *kit* de desenvolvedor (Babiuch *et al.*, 2019). A Figura 3 exibe o ESP32-DevKitC V4.

Figura 3 – ESP32-DevKitC V4



Fonte: ESPRESSIF SYSTEMS (2024).

As placas ESP32 são produzidas em *designs* de protótipos que podem ser usados em aplicações de automação residencial inteligente, automação, *wearables*, aplicações de áudio, aplicações de IoT baseadas em nuvem e muito mais (Babiuch *et al.*, 2019). É possível escolher um *kit* de desenvolvimento específico ou projetar um sistema embarcado personalizado construído no microcontrolador ESP32. O desenvolvimento na plataforma ESP32 nos oferece muitas maneiras de usar. O dispositivo ESP32 pode ser desenvolvido a partir de qualquer sistema operacional Windows, Linux ou MacOS (Babiuch *et al.*, 2019).

Esta é uma plataforma de código aberto projetada para prototipagem rápida baseada em microcontroladores Atmel (Babiuch *et al.*, 2019). O desenvolvimento de software para microcontroladores é realizado no ambiente de desenvolvimento integrado Arduino, que é escrito em

³ O efeito Hall é um fenômeno onde um campo magnético pode ser detectado através da criação de uma voltagem em um material condutor.

Java. Este é um software desenvolvido a partir do ambiente de aprendizado, que foi ligeiramente modificado e aprimorado por certos recursos, como o *Wiring Language*. *Wiring* é uma linguagem de programação projetada para programar um microcontrolador sem conhecimento específico de hardware e possui uma similaridade com o *framework* C++ (Babiuch *et al.*, 2019).

Atualmente, o Arduino IDE não suporta apenas microcontroladores Atmel, mas outros tipos de microcontroladores podem ser instalados. Portanto, a Espressif decidiu usar essa opção para criar um *plugin* chamado Arduino core para o *chip* ESP32 Wi-Fi que instala suporte para o desenvolvimento de microcontroladores ESP32 no ambiente Arduino IDE (Babiuch *et al.*, 2019). A extensão Arduino core para o *chip* ESP32 Wi-Fi é lançada como um projeto de código aberto cujos códigos-fonte estão localizados em. A empresa Espressif lançou a primeira versão estável do Arduino core para o *chip* ESP32 Wi-Fi em meados de 2018 e padronizou como instalar suporte para o Arduino IDE (Babiuch *et al.*, 2019).

O início do programa padrão é, como na plataforma Arduino, atribuído à função *setup*, que inicializa os valores de inicialização do microcontrolador e a função *loop* que é responsável por executar o programa (Babiuch *et al.*, 2019). Ao desenvolver microcontroladores ESP32, a função *loop* é sempre executada no primeiro núcleo do processador (Babiuch *et al.*, 2019). Os benefícios de usar este ambiente são sua configuração simples e bom suporte da comunidade. Usando este ambiente, pode-se começar a prototipar muito rapidamente o microcontrolador ESP32. Este ambiente é projetado para o desenvolvimento de projetos mais simples, sendo que projetos complexos perdem a clareza e a sustentabilidade do projeto (Babiuch *et al.*, 2019). Ao mesmo tempo, esta plataforma é ideal para ganhar experiência com o desenvolvimento do microcontrolador ESP32 (Babiuch *et al.*, 2019).

2.3.4 Definições e Características da Computação Física

A computação física trata de criar uma conversa entre o mundo físico e o mundo virtual do computador (O’Sullivan; Igoe, 2004), abrangendo o *design* e realização de objetos e instalações interativas, permitindo o desenvolvimento de produtos concretos e tangíveis do mundo real que surgem da imaginação das pessoas (Przybylla, 2014). Portanto, a computação física utiliza a capacidade computacional limitada dos microcontroladores para conectar entrada e saída de quase qualquer tipo de material, não importando suas formas e tamanhos (Vallgård, 2009).

A computação física tem sido muito destacada, especialmente por pessoas fora da

área da computação. Entre os criadores (como entusiastas, artistas e *designers*) que utilizam microcontroladores como o Arduino, que é atualmente a plataforma mais popular para computação física, essa prática é vista como uma atividade que envolve criar protótipos com eletrônicos. Isso inclui o uso de sensores, atuadores e microcontroladores para desenvolver materiais para *designers* e artistas (Przybylla, 2014).

Quando falamos sobre computadores, muitas vezes dizemos que eles são úteis porque tornam as coisas interativas. Mas o que significa ser “interativo”? É um termo vago e frequentemente mal utilizado. O autor e programador de jogos Chris Crawford oferece uma ótima definição: interação é um processo iterativo de ouvir, pensar e falar entre dois ou mais atores (O’Sullivan; Igoe, 2004). A maioria dos projetos de computação física (e a maioria das aplicações de computador em geral) pode ser dividida nesses três estágios: ouvir, pensar e falar — ou, em termos de computador: entrada, processamento e saída (O’Sullivan; Igoe, 2004). Dividir um projeto dessa maneira ajuda a focar melhor nos desafios específicos (O’Sullivan; Igoe, 2004). Para muitas pessoas, a entrada é tudo o que querem aprender sobre computação física. Elas já estão satisfeitas com sua capacidade de se expressar em um computador, seja através da tela ou dos alto-falantes, mas se sentem limitadas pela entrada de um mouse e teclado. A entrada geralmente é mais fácil do que a saída porque exige menos energia para detectar atividade do que para mover coisas (O’Sullivan; Igoe, 2004).

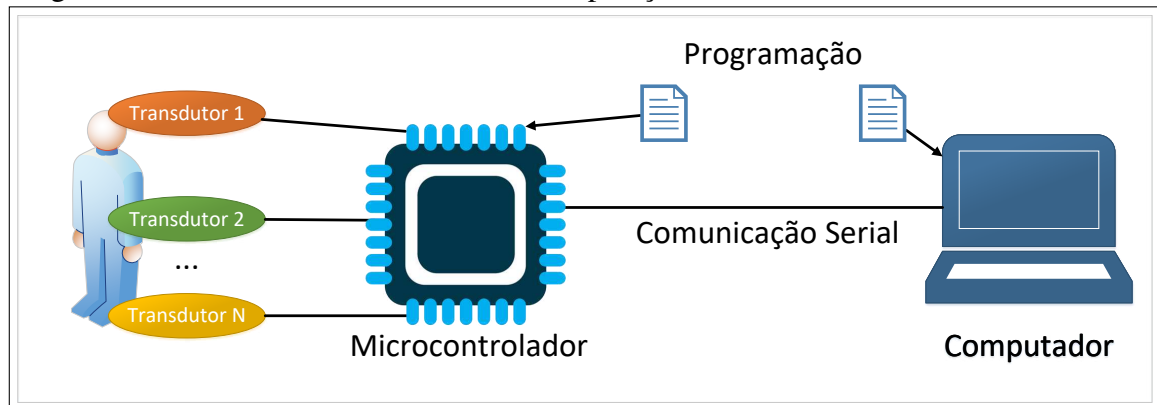
Os projetos de computação física mais inovadores não apenas detectam o mundo; eles também o transformam (O’Sullivan; Igoe, 2004). Em geral, a saída física pode ser mais desafiadora do que a entrada porque frequentemente requer habilidades elétricas, além das eletrônicas, e muitas vezes mecânicas (O’Sullivan; Igoe, 2004). Existem alguns dispositivos para luz, som e movimento que são muito fáceis de usar. Além disso, é possível ampliar as possibilidades conectando a entrada física a um computador *desktop*, que possui grandes capacidades para saída de som e vídeo (O’Sullivan; Igoe, 2004). A entrada e a saída são as partes físicas da computação física. A terceira parte requer um computador para ler a entrada, tomar decisões com base nas mudanças detectadas, ativar saídas ou enviar mensagens para outros computadores (O’Sullivan; Igoe, 2004). É neste ponto que entra a programação.

Um dos principais conceitos da computação física é a transdução, ou seja, a conversão de uma forma de energia em outra (O’Sullivan; Igoe, 2004). Por exemplo, um microfone é um transdutor clássico porque transforma ondas sonoras em uma variação de tensão elétrica. Já os alto-falantes fazem o inverso, convertendo energia elétrica em som. Transdutores funci-

onam como os olhos, ouvidos, mãos, pernas e boca de qualquer sistema de computação física (O’Sullivan; Igoe, 2004).

O grande desafio da computação física é converter diversas formas de energia, como luz, calor ou pressão, em energia eletrônica que um computador possa entender (O’Sullivan; Igoe, 2004). Às vezes, é fácil encontrar o transdutor certo para uma tarefa específica; outras vezes, é necessário ajustar a interação para utilizar um transdutor que já se conhece (O’Sullivan; Igoe, 2004). Transdutores de entrada (sensores), como interruptores e resistores variáveis, convertem calor, luz, movimento e som em energia elétrica. Transdutores de saída (atuadores), como motores e buzinas, convertem energia elétrica em diferentes formas de energia que o corpo pode perceber. A Figura 4 ilustra as partes de um sistema de computação física.

Figura 4 – As Partes de um Sistema de Computação Física



Fonte: Adaptado de O’Sullivan & Igoe (2004).

Na Figura 4, observa-se uma pessoa interagindo com um sistema de computação física através de transdutores de entrada (sensores) e saída (atuadores). Os dados obtidos pelos sensores são transmitidos, via circuitos, para o microcontrolador, onde são processados. No microcontrolador, um programa escrito em uma linguagem de programação define as regras de processamento dos dados e calcula as saídas correspondentes. Verifica-se, na Figura 4, que existem programas tanto no microcontrolador quanto em um computador. Nesse caso, o processamento dos dados captados pelos sensores é realizado por ambos os programas, que se comunicam através de uma comunicação serial para sincronizar e dividir as tarefas de processamento. Após o término do processamento, as saídas são enviadas ao usuário pelos transdutores de saída, comumente chamados de atuadores.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos trabalhos relacionados ao estudo proposto. São abordados estudos prévios sobre o mesmo tema ou temas semelhantes, destacando suas contribuições, lacunas identificadas e metodologias. O principal objetivo é oferecer uma visão do estado da arte na área de estudo, mostrando como o trabalho proposto se insere nesse contexto e quais contribuições ele pretende trazer.

3.1 Trabalhos Identificados

Existem algumas pesquisas relacionadas à avaliação de produtos educacionais no contexto da amamentação ou soluções que visam auxiliar na resolução de problemas da deglutição, volume ingerido durante a deglutição, amamentação etc. A seguir, são apresentados trabalhos que se relacionam diretamente com os aspectos técnicos, educacionais e/ou de objetivos de pesquisa desta dissertação.

3.1.1 Aplicações da Computação Gráfica à Engenharia Biomédica: Ensino em Neurociências e Ferramenta de Apoio ao Estudo da Deglutição (Silva, 2007)

A dissertação de mestrado de Silva (2007) abordou o uso da computação gráfica aplicada à Engenharia Biomédica com foco no ensino de Neurociências e na construção de uma ferramenta de apoio ao estudo da deglutição. Decidiu-se aplicar a computação gráfica à gastroenterologia para obter uma contagem precisa dos intervalos de tempo de deglutição. Como principal contribuição à pesquisa, a dissertação descreveu o desenvolvimento de um sistema denominado SPVAD, baseado no processamento de imagens e na visualização computacional, com o objetivo de ampliar as opções disponíveis para profissionais que lidam com disfagia.

O SPVAD fornece uma maneira objetiva de medir os intervalos de tempo em cada fase do processo de deglutição, permitindo calcular o tempo gasto nas fases oral, faríngea e esofágica. O funcionamento do SPVAD começa com um pré-processamento dos arquivos gerados a partir do exame videofluoroscópico, implementando uma conversão de formato de arquivo. Essa conversão permite o uso de uma plataforma baseada em MATLAB¹, que realiza o processamento de imagens, possibilitando a contagem dos intervalos de tempo.

¹ MathWorks. MATLAB. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

O SPVAD processa o arquivo *Audio Video Interleave* (AVI) (sem áudio) de entrada, separando-o em unidades menores quadro a quadro (*frame a frame*), permitindo a visualização quadro a quadro ou de 10 em 10 quadros — onde cada clique do mouse percorre 10 quadros. Além disso, é possível navegar no exame em qualquer quantidade de *frames* que o usuário solicitar, bastando que o operador do sistema insira a quantidade de *frames* desejada, somando-se à posição atual onde o sistema se encontra. A Figura 5 apresenta o processamento de um arquivo, com o objetivo central de mostrar a interface do sistema ao usuário.

Figura 5 – Tela do SPVAD



Fonte: Silva (2007, p. 77).

Os objetivos dos experimentos realizados foram: a) realizar medições em indivíduos normais, buscando caracterizar o estado de uma deglutição normal; e b) mensurar os intervalos de tempo de deglutição através do SPVAD. Desenvolveu-se um processo de análise de imagens que permitiu a estimativa dos intervalos de tempo de deglutição, validado por meio de um experimento clínico. Os resultados apresentados demonstram claramente a viabilidade da contagem precisa do intervalo de tempo de deglutição em imagens fluoroscópicas através do SPVAD, incluindo detalhes relacionados ao fracionamento do bolo alimentar.

Por fim, conclui-se que o SPVAD fornece ao usuário os intervalos de tempo gastos

nas fases oral, faríngea e esofágica do processo de deglutição, economizando esforço manual na contagem dos intervalos de tempo das referidas fases e na separação das imagens fornecidas pela videofluoroscopia. O estudo clínico conduzido possibilita a tentativa de definição de “um padrão normal de deglutição”, cujos tempos médios de duração das fases oral e faríngea correspondem, respectivamente, a 0,490-0,700 segundos e a 0,400-0,624 segundos (sem fracionamento). O sistema permite que o usuário escolha seus parâmetros livremente, como na marcação de uma etapa qualquer, selecionando onde a mesma se inicia e finaliza.

3.1.2 Componentes do Sinal Acústico da Deglutição: Estudo Preliminar (Spadotto et al., 2012)

O trabalho proposto por Spadotto *et al.* (2012) tem como objetivo principal analisar os componentes do sinal acústico da deglutição com o auxílio de um software específico. Foram avaliados 14 indivíduos saudáveis – quatro do gênero masculino e 10 do gênero feminino – com idades entre 20 e 50 anos. Por meio de um questionário, foram excluídos da amostra indivíduos com dificuldades de deglutição prévias ou atuais, problemas digestivos ou em tratamento com medicações que pudessem causar dificuldade de deglutição.

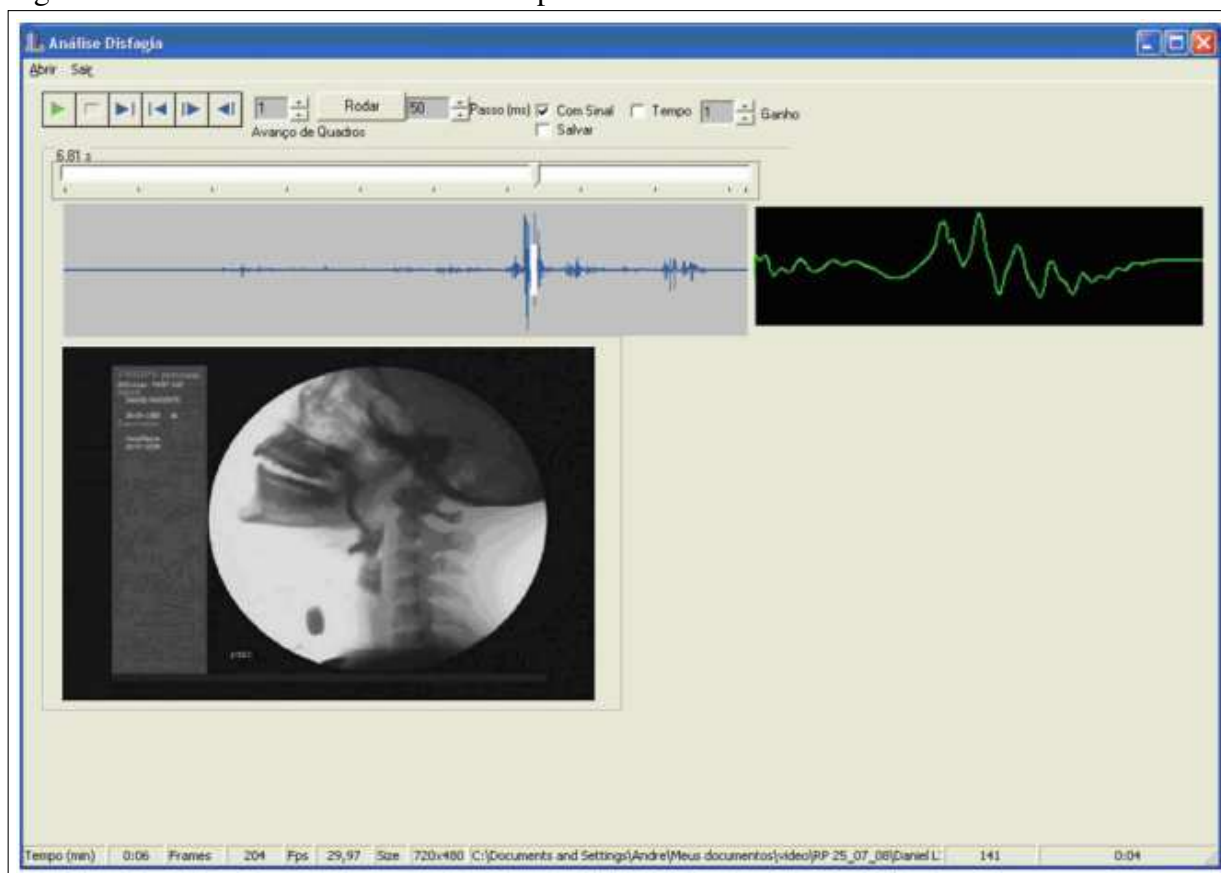
A coleta de exames consistiu na captura simultânea da imagem videofluoroscópica e do som da deglutição. O sinal de áudio foi capturado por um microfone dinâmico colocado na região da cartilagem cricoide (borda lateral inferior). O microfone foi conectado a uma mesa de som, marca Wattsom®, para pré-amplificação e controle de ganho. A saída de áudio da mesa de som foi conectada diretamente ao gravador.

Para aumentar a fidedignidade da identificação e interpretação do sinal de áudio, a coleta deste sinal foi realizada simultaneamente à videofluoroscopia da deglutição. A captura simultânea do sinal acústico e da imagem videofluoroscópica possibilitou determinar com precisão os aspectos da fisiologia onde ocorria o *burst*² da deglutição, evitando sua confusão com outros ruídos locais, conforme Figura 6.

Ambos os sinais foram digitalizados e armazenados em um gravador de *Digital Versatile Disc* (DVD), marca Philips®, modelo DVDR3455H/78. A qualidade de digitalização é de 29,97 quadros por segundo para o vídeo e de 44.100 amostras por segundo para o sinal acústico, que na edição era convertido para 22.050 Hz. O sinal de vídeo foi adquirido do

² Na deglutição, um *burst* refere-se a um evento acústico ou uma série de sons específicos que ocorrem durante o processo de engolir. Esses *bursts* são gerados pela movimentação e interação das estruturas anatômicas, como a língua, o palato, a epiglote e a faringe, enquanto o alimento ou líquido é transportado da boca para o esôfago.

Figura 6 – Área de Trabalho do Software para Análise Simultânea dos Sinais de Áudio e Vídeo



Fonte: Spadotto *et al.* (2012).

exame de videofluoroscopia realizado com um instrumento Arcomax Philips®, (Philips Medical Systems, modelo BV Pulsera, Veenpluis, Países Baixos). Todos os exames foram acompanhados por uma fonoaudióloga especialista em videofluoroscopia, juntamente com um técnico de raio-X e um bioengenheiro, responsável pelo perfeito funcionamento do equipamento de captura do som.

Para a preparação das consistências dos alimentos foram utilizados: copo plástico descartável, seringa descartável de 20 mL, colher de plástico descartável, água em temperatura ambiente, espessante de alimento e bário. A consistência líquida consistia de bário líquido (sulfato de bário 100%, Bariogel®, Laboratório Cristália, Itapira, SP, Brasil) e a consistência pastosa foi preparada com 50 mL de bário líquido acrescido de 4,5 g de espessante (Thick & Easy®, Hormel Health Labs, Austin, MN, EUA).

Como resultados, foram identificados três componentes de som (*burst*) na maioria das deglutições avaliadas. O primeiro *burst* apresentou tempo médio de 87,3 milissegundos (ms) para água e 78,2 ms para substância pastosa. O segundo *burst* teve um tempo médio de 112,9 ms para água e 85,5 ms para consistência pastosa. O intervalo médio entre o primeiro e o segundo

burst foi de 82,1 ms (água) e 95,3 ms (consistência pastosa), e entre o segundo e o terceiro foi de 339,8 ms e 322,0 ms, respectivamente, para água e consistência pastosa. Como conclusão, o trabalho comenta que o software permitiu a visualização de três componentes do som durante a deglutição de indivíduos saudáveis e mostrou que o sinal da deglutição em indivíduos normais é altamente variável.

3.1.3 Sistema de Monitoramento Contínuo da Ingestão de Alimentos (Moreira, 2015)

O trabalho proposto na dissertação de mestrado de Moreira (2015) é motivado pelo tratamento de doenças e distúrbios associados à deglutição, em particular a disfagia. A disfagia geralmente está relacionada a outros problemas, como dispneia, odinofagia, disfonia, aspiração traqueobronquial, dor torácica, aerofagia, perda de peso, refluxo nasal e/ou sialorreia. O objetivo descrito foi criar um sistema de monitoramento de ingestão de alimentos denominado SMIA.

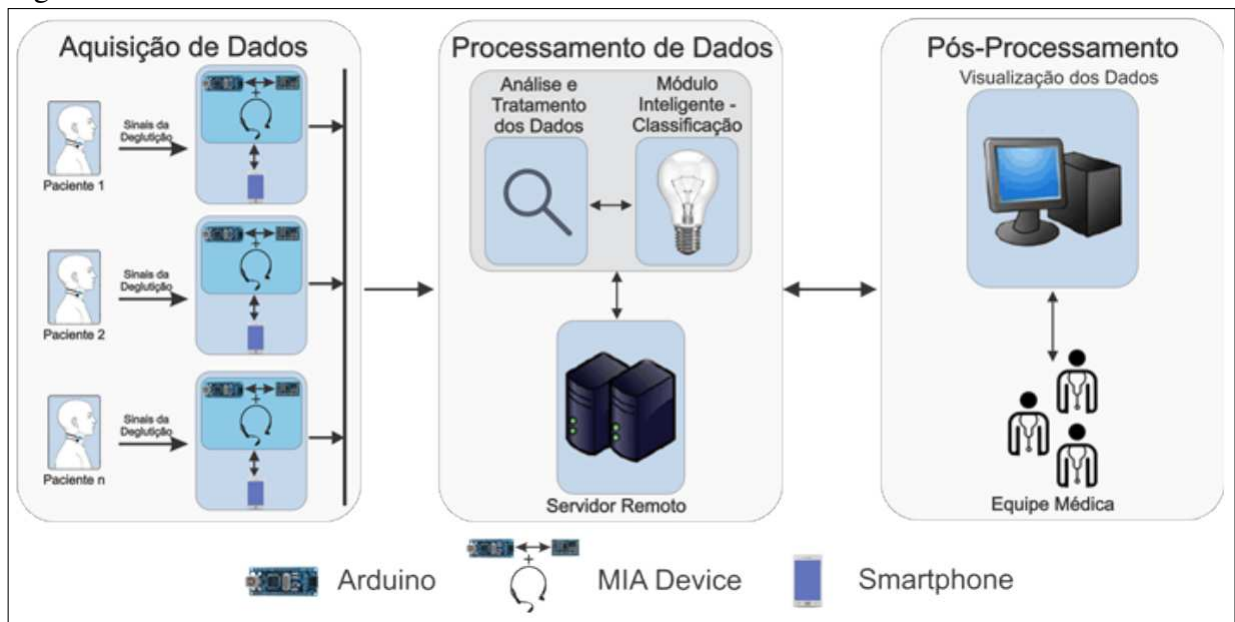
O SMIA utiliza um dispositivo não invasivo para detectar os movimentos de deglutição e classificar os alimentos ingeridos como líquidos ou sólidos. Além disso, o sistema gera um diário alimentar que registra o total de refeições diárias e sua duração. Essas informações são disponibilizadas para a equipe médica, que pode analisar o diário do paciente de forma remota, a qualquer momento. Portanto, o contexto do trabalho está voltado para auxiliar no acompanhamento de dietas, especialmente para pessoas com disfagia. Esse público, mais do que os outros, precisa saber a consistência dos alimentos que consome.

Para o funcionamento do SMIA, foram definidos os seguintes requisitos relacionados à arquitetura: a) capturar, por meio de um dispositivo, os dados resultantes dos movimentos e sons gerados durante a deglutição; b) transferir esses dados para um dispositivo móvel via comunicação sem fio; c) armazenar os dados com a possibilidade de transmissão para um servidor quando houver conexão com a Internet; d) transmitir os dados para o servidor; e) processar os dados; f) classificar o alimento como sólido ou líquido; e g) disponibilizar as informações para a equipe médica.

A Figura 7 apresenta uma visão geral do SMIA. O SMIA é composto por três componentes: **MIA Device**, **MIA Mobile** e **MIA Web**. O **MIA Device** é responsável por adquirir o sinal gerado pela deglutição. O **MIA Mobile** é um aplicativo para dispositivos móveis que recebe, salva temporariamente e envia os dados do **MIA Device** para o servidor, além de funcionar como painel de controle para iniciar e parar a coleta de dados. O **MIA Web** é um sistema web que armazena, processa e classifica os dados de todos os pacientes, utilizando um

módulo inteligente, e gera o diário alimentar.

Figura 7 – Visão Geral do SMIA



Fonte: Moreira (2015, p. 36).

Para usar o sistema, o usuário deve posicionar o **MIA Device** na garganta e ligá-lo. O microfone do **MIA Device** deve ser conectado ao dispositivo móvel via *bluetooth*. Quando o usuário iniciar a coleta, os dados serão capturados e enviados para o dispositivo móvel, onde serão armazenados temporariamente até serem enviados ao servidor. No servidor, os dados são processados e armazenados em um banco de dados, passando por uma rede neural que os classifica como líquidos ou sólidos. Após a classificação, as informações são salvas e compõem o diário alimentar de cada paciente.

Nos experimentos conduzidos, o bolo alimentar foi analisado por meio dos sinais de áudio, acelerômetro e giroscópio gerados durante a deglutição, inicialmente classificando-o como sólido e líquido, e posteriormente como sólido, líquido e pastoso utilizando a RNA. Tanto os dados de movimento quanto os sonoros são importantes, pois apresentam características distintas que, quando combinadas, melhoram a classificação do alimento. A RNA atendeu às expectativas de classificação dos descritores em sólidos e líquidos, que era o objetivo inicial do trabalho.

Também foram realizados testes para incluir a classe de alimento pastoso, mas os resultados foram significativamente inferiores àqueles da classificação proposta nos objetivos desta dissertação. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi alcançado no que diz respeito a auxiliar o médico no monitoramento das dietas de seus pacientes, permitindo o acompanhamento dos tipos de alimentos ingeridos, classificando-os como líquidos ou sólidos, além de observar a

frequência de ingestão e os horários.

3.1.4 Modelação de um Software para Análise Qualitativa e Quantitativa da Deglutição Orofaríngea por Videofluoroscopia (Silva, 2016)

A dissertação de mestrado de Silva (2016) tem como principal objetivo desenvolver um sistema que, através do processamento de dados, avalie qualitativa e quantitativamente o processo de deglutição utilizando imagens dinâmicas captadas por videofluoroscopia. A avaliação quantitativa da deglutição visa quantificar o tempo que o bolo alimentar, independentemente de sua consistência, leva para percorrer as fases da deglutição. O método de avaliação videofluoroscópico permite capturar imagens em movimento, que posteriormente podem ser tratadas para avaliar quantitativamente o processo de deglutição utilizando o processamento de imagens. Como principais contribuições, o trabalho destaca: a) quantificar o tempo total do processo de deglutição e de cada uma das três fases consideradas; e b) desenvolver um software que permita registrar todas as informações de um paciente com disfagia e realizar a análise qualitativa e quantitativa da deglutição por meio desse método de avaliação.

A videofluoroscopia é um método radiológico que permite observar a dinâmica de estruturas como a deglutição em todas as suas fases: preparatória, oral, faríngea e esofágica. O estudo da deglutição por videofluoroscopia tem como objetivo determinar a disfunção do processo de deglutição e auxiliar na tomada de decisões sobre o comportamento e a terapia a serem aplicados em caso de disfagia. A videofluoroscopia é considerada o padrão ouro para a avaliação da disfagia orofaríngea e suas disfunções, permitindo classificar os vários estágios da disfagia: discreta, moderada ou severa. O exame videofluoroscópico tem sido cada vez mais utilizado na avaliação da disfagia orofaríngea, utilizando as imagens captadas em vídeo ou a análise do próprio vídeo. Alguns autores, no entanto, destacam diversas desvantagens na utilização da videofluoroscopia, incluindo aspectos econômicos, logísticos e funcionais, como a exposição à radiação, a necessidade de ingestão de bário e limitações na detecção de detalhes delicados durante a aplicação dessa técnica de avaliação.

As imagens obtidas através do videofluoroscópio têm como objetivo final a detecção de problemas de deglutição, medir e traçar deslocamentos e velocidades, utilizando o processamento de dados através de sinais digitais e reconhecimento de padrões. A quantificação da deglutição assume particular relevância na investigação de vários autores, que têm analisado a distância e a duração do processo de deglutição através de diversos instrumentos e softwares.

Parâmetros já quantificados na literatura incluem a velocidade do trânsito oral (0,46 segundos), a velocidade do vestíbulo faríngeo, e a abertura do esfíncter esofágico, que apresenta uma probabilidade muito alta de aspiração se os valores de abertura forem superiores a 24 segundos, a duração da fase orofaríngea (10 segundos), a velocidade na fase faríngea (0,84 segundos) e a duração do início da fase faríngea (0,12 segundos).

Para a análise qualitativa e quantitativa da deglutição orofaríngea por videofluoroscopia no trabalho realizado, revelou-se pertinente entender o processo de deglutição e seus problemas. Identificaram-se diversos pontos que podem e devem ser analisados durante o processo de deglutição. Apesar das desvantagens, como a da radiação emitida durante a realização da videofluoroscopia, este é o método mais adequado para a captação e tratamento das imagens dinâmicas do processo de deglutição, permitindo o processamento de imagens através de filtros e armazenando os dados que são apresentados posteriormente em relatórios. O modelo proposto considera as necessidades dos profissionais na análise da disfagia orofaríngea, sendo uma ferramenta útil para o diagnóstico de problemas de deglutição.

3.1.5 Anatomofisiologia da Sucção e Deglutição do Bebê em Computação Gráfica 3D como Instrumento Educacional (Puccini, 2016)

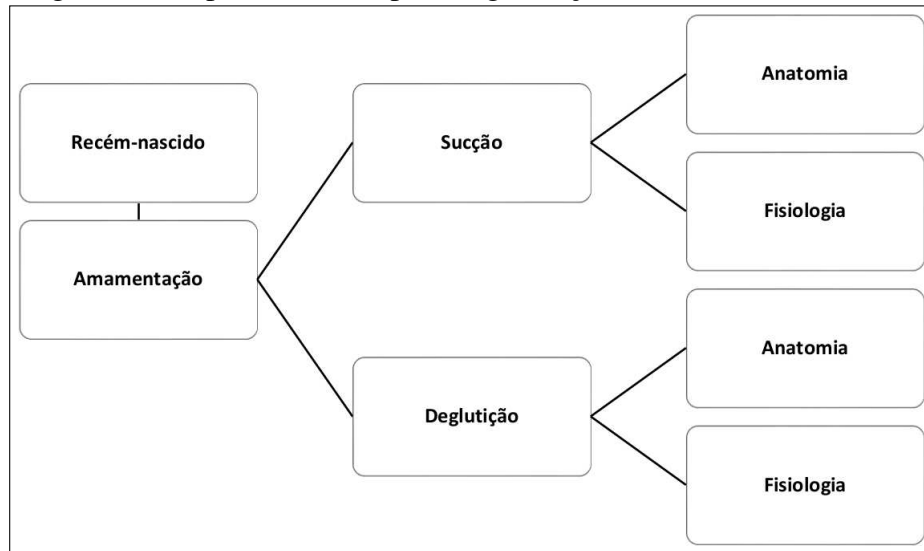
A dissertação de mestrado de Puccini (2016) teve como objetivo principal descrever o desenvolvimento de uma sequência em computação gráfica sobre a sucção e a deglutição, resultante da produção digital do Bebê Virtual, bem como validar tal produção quanto ao conteúdo e prover adequações necessárias ao material educacional. A principal motivação do trabalho é a falta de recursos didáticos, na literatura, que demonstrassem o processo de amamentação baseado em evidências científicas.

A primeira versão do Bebê Virtual foi finalizada em 2010, com o objetivo de auxiliar na teleamamentação no Núcleo São Paulo da Telessaúde Brasil. As ações deste projeto permitiram desenvolver um roteiro científico e criar iconografias em computação gráfica 3D sobre a anatomia e fisiologia da sucção e deglutição no recém-nascido. Esta presente pesquisa contribuiu no aprimoramento das imagens para se aproximar da realidade e finalizar a produção do Bebê Virtual.

A criação do roteiro científico que guiou a construção das iconografias em computação gráfica 3D, incluindo as sequências estáticas e dinâmicas que compõem o simulador realístico para representar a anatomofisiologia da sucção e da deglutição durante a amamentação,

contou com a colaboração de profissionais de anatomia, fonoaudiologia e medicina. Esse roteiro científico foi baseado na elaboração de um mapa conceitual, que definiu os principais temas e tópicos associados aos macrotemas e suas inter-relações, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Mapa Conceitual para Organização de Conteúdos



Fonte: Puccini (2016, p. 34).

Após as etapas de planejamento da pesquisa, foi possível criar um material educacional interativo utilizando imagens estáticas e sequências dinâmicas em computação gráfica 3D (Figuras 9, 10 e 11), abordando a anatomia e a fisiologia da sucção e deglutição durante a amamentação. O resultado foi um produto fiel à realidade do organismo do recém-nascido a termo, levando em conta o referencial teórico adotado na época em que o trabalho foi desenvolvido.

Figura 9 – Bebê Virtual - Posição no Colo da Mãe



Fonte: Puccini (2016, p. 43).

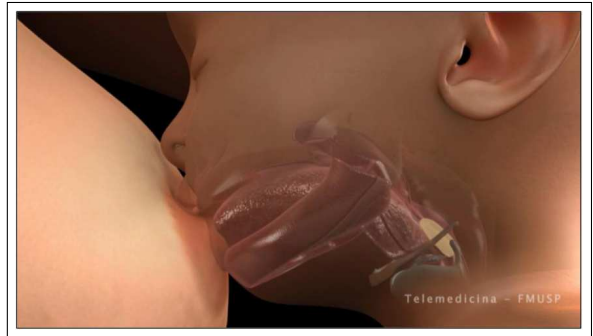
Com base nos resultados alcançados, o produto educacional foi ajustado. As Figuras 12, 13 e 14 mostram as imagens do modelo atual de sucção e deglutição durante a amamentação

Figura 10 – Bebê Virtual - Imagem da Pega no Mamilo e Sucção



Fonte: Puccini (2016, p. 44)

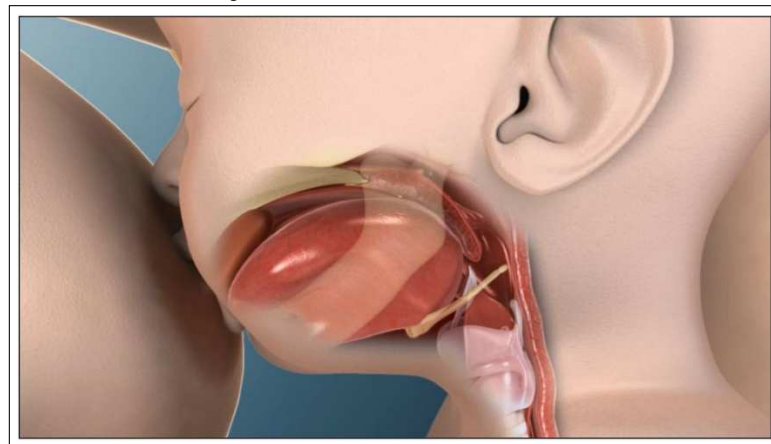
Figura 11 – Bebê Virtual - Imagem da Deglutição



Fonte: Puccini (2016, p. 44)

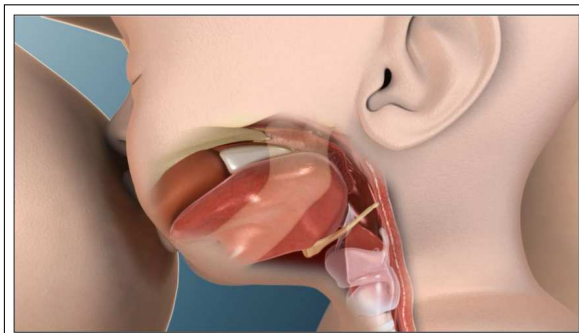
no bebê virtual, obtidas após essas adequações. O objetivo foi aprimorar os detalhes e a fidelidade à realidade para fins educacionais.

Figura 12 – Bebê Virtual - Imagem da Pega no Mamilo e Sucção



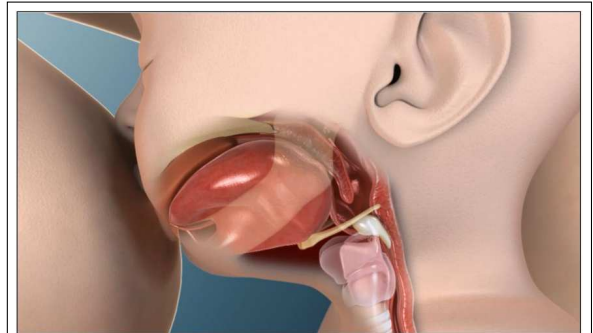
Fonte: Puccini (2016, p. 48).

Figura 13 – Bebê Virtual - Abaixamento da Língua e Aumento do Mamilo na Sucção



Fonte: Puccini (2016, p. 49)

Figura 14 – Bebê Virtual - Imagem do Movimento de Deglutição Durante a Amamentação



Fonte: Puccini (2016, p. 49)

Como conclusão, o trabalho enfatiza que a utilização de computação gráfica 3D para

demonstrar os mecanismos envolvidos na amamentação pode ser um recurso altamente benéfico e inovador no ensino sobre o tema. Estudos indicam que a tecnologia interativa tem sido eficaz no ensino de anatomia e fisiologia, sendo especialmente relevante na área da saúde. A validação do conteúdo permitiu a atualização dos processos de sucção e deglutição no Bebê Virtual, assegurando sua confiabilidade e relevância atualizada, e proporcionando uma representação didática das evidências científicas relacionadas à amamentação.

3.1.6 A Wearable Sensor System for Eating Event Recognition Using Accelerometer, Gyroscope, Piezoelectric and Lung Volume Sensors (Mevissen, 2021)

O trabalho descrito na dissertação de mestrado de Mevissen (2021) teve como objetivo principal investigar como realizar, tecnologicamente, medições associadas aos eventos de alimentação e como esses eventos podem ser reconhecidos por um sistema de sensores vestíveis. Inicialmente, a pesquisa determinou qual sensor ou combinação de sensores era mais adequada para um sistema focado no reconhecimento de eventos de alimentação.

Esse sistema consistiu em: a) um *smartwatch* com acelerômetro de três eixos para detectar gestos alimentares e giroscópio; b) um sensor piezoelétrico posicionado na mandíbula para reconhecer a mastigação dos alimentos (Figura 15); e c) um sensor de pletismografia de impedância respiratória com duas faixas que medem a mudança no volume pulmonar para detectar a deglutição dos alimentos (Figura 16). Na classificação da mastigação de alimentos, a combinação de sensores melhorou os escores de classificação, com a combinação dos três sensores apresentando o melhor desempenho. No entanto, os resultados para a classificação da deglutição foram muito inconsistentes para identificar a melhor combinação de sensores.

Outro aspecto importante da pesquisa foi decidir qual algoritmo de aprendizado de máquina ou combinação de algoritmos, e qual configuração de aprendizado, seria mais adequada para o reconhecimento de eventos de alimentação. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa entre os algoritmos de classificação de máquina de vetores de suporte e floresta aleatória. Verificou-se que os modelos não eram generalizáveis para as três medidas de sensoriamento, necessitando, assim, que o modelo fosse treinado para uma pessoa específica.

Esse sistema de sensores contendo os três supracitados sensores foi testado em um experimento. O objetivo do experimento era mostrar se é possível e em que medida os eventos de alimentação podem ser reconhecidos. Esses eventos de alimentação foram gestos de comer para o *smartwatch*, mastigação de alimentos para o sensor piezoelétrico e deglutição de alimentos

Figura 15 – Sensor Piezoelétrico Posicionado na Mandíbula do Paciente



Fonte: Mevissen (2021, p. 11)

Figura 16 – Faixas do Sensor de Pletismografia de Impedância Respiratória



Fonte: Mevissen (2021, p. 12)

para o sensor de pletismografia de impedância respiratória.

A sequência de eventos de alimentação foi testada ajustando o comprimento do vetor de características e implementando uma máquina de estados finitos para filtrar falsos positivos. Embora diferentes comprimentos de vetor de características não tenham tido um efeito significativo na classificação de mastigação e deglutição de alimentos, vetores de características mais longos proporcionaram os melhores resultados na classificação de gestos alimentares. A máquina de estados finitos filtrou algumas classificações falsas positivas, mas não melhorou os resultados gerais.

O modelo de aprendizado de máquina mais adequado para o reconhecimento de eventos de alimentação é um modelo SVM genérico baseado em dados de três sensores de diferentes comprimentos de vetor de características, sem o uso de um modelo *Finite-State Machine* (FSM). Com base nisso, voltando às principais questões de pesquisa, é possível detectar a maioria dos gestos de alimentação e a mastigação de alimentos com o sistema de sensores vestíveis utilizando algoritmos de aprendizado de máquina. No entanto, a detecção da deglutição de alimentos foi difícil, apresentando pontuações significativamente mais baixas do que a detecção de gestos alimentares e de mastigação.

3.2 Análise Comparativa

Os trabalhos relacionados descritos neste capítulo apresentam: a) alguma aplicação de tecnologia para identificar eventos associados à alimentação ou à deglutição, seja para tratar distúrbios ou realizar medições; ou b) a aplicação de modelagem 3D de um bebê virtual, por meio

de computação gráfica, como material educacional para demonstrar o processo de amamentação. O Quadro 1 apresenta uma taxonomia comparativa entre os trabalhos relacionados e a solução proposta nesta dissertação de mestrado.

Quadro 1 – Comparação entre os Trabalhos Relacionados e a Solução Proposta

Trabalho	Baixo Custo	Medição de Líquido Ingerido	Propósito Educacional
(Silva, 2007)	Sim	Não	Uso clínico
(Spadotto <i>et al.</i> , 2012)	Não	Não	Não
(Moreira, 2015)	Sim	Não	Uso clínico
(Silva, 2016)	Não	Não	Uso clínico
(Puccini, 2016)	Iconografias em 3D	Não	Sim
(Mevissen, 2021)	Não	Não	Não
Solução Proposta	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pela autora.

O trabalho de Silva (2007) utilizou computação gráfica para o ensino de Neurociências e o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao estudo da deglutição, também voltada para profissionais que lidam com disfagia. No entanto, sua abordagem se limitou à inferência do estado da deglutição e à estimativa de intervalos de tempo, sem realizar a medição do volume de líquido ingerido.

Já o estudo de Spadotto *et al.* (2012) analisaram os componentes do sinal acústico da deglutição por meio de um software específico. Os dados foram coletados por exames simultâneos de videofluoroscopia e captação do som da deglutição, utilizando líquidos e substâncias pastosas em volumes de 20 mL e 50 mL. O estudo demonstrou a variabilidade do sinal da deglutição em indivíduos saudáveis, mas não abordou a estimativa do volume de líquido ingerido.

O trabalho de Moreira (2015) foi motivado pelo tratamento de distúrbios da deglutição, especialmente a disfagia, e teve como objetivo desenvolver o SMIA. Nos experimentos, a deglutição foi analisada por meio de sinais de áudio, acelerômetro e giroscópio, permitindo inicialmente a classificação dos alimentos em sólidos e líquidos. Posteriormente, com o uso de RNA, a classificação foi refinada para três categorias: sólido, líquido e pastoso. Embora o SMIA seja um sistema de monitoramento, ele não estima o volume de alimento ingerido, mas apenas classifica os alimentos e registra informações como horários de ingestão.

O estudo de Silva (2016) desenvolveu um sistema para avaliação qualitativa e quantitativa da deglutição por meio do processamento de imagens dinâmicas captadas por vi-

deofluoroscopia. O trabalho quantificou o tempo total do processo de deglutição e incluiu o desenvolvimento de um software para registrar informações de pacientes com disfagia, permitindo uma análise detalhada da deglutição. No entanto, o estudo não estima o volume de líquido ingerido, pois seu foco está na identificação de disfunções no processo de deglutição e no auxílio à tomada de decisões sobre condutas e terapias para disfagia.

Por sua vez, o trabalho de Puccini (2016) possui características puramente educacionais, pois se trata da descrição do desenvolvimento de uma sequência de iconografias 3D, por meio de computação gráfica, dos eventos de sucção e deglutição em um bebê virtual. Portanto, não contempla a medição do volume de líquido deglutido.

Nas conclusões do trabalho, Mevissen (2021) afirma que não houve benefícios significativos no uso combinado de sensores para a classificação de eventos de alimentação, em comparação com o uso de um único sensor. No entanto, para a mastigação, a combinação de três sensores apresentou o melhor desempenho. Já os resultados para a deglutição foram inconsistentes, não permitindo determinar a melhor combinação de sensores. Portanto, motivando ainda mais o desenvolvimento da solução proposta nesta dissertação.

Embora a solução desta dissertação utilize o sensor piezoelétrico de forma semelhante ao trabalho de Mevissen (2021), ela tende a apresentar um custo menor devido à natureza da tecnologia de hardware utilizada, como a ausência da necessidade de um *smartwatch* com acelerômetro de três eixos e um sensor de pletismografia de impedância respiratória. Além disso, o trabalho de Mevissen (2021) não é voltado para a medição do volume de líquido deglutido.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada nesta pesquisa, proporcionando uma análise minuciosa dos métodos científicos empregados para investigar a questão central do estudo. Abrange tópicos como a natureza da pesquisa, objetivos, procedimentos técnicos e participantes. Além disso, detalha a utilização do modelo de desenvolvimento incremental, um dos modelos de processo de software mencionados por Sommerville (2011), no desenvolvimento do produto educacional.

4.1 Tipo de Pesquisa

Esta seção baseia-se no livro de Wazlawick (2009), que aborda a metodologia de pesquisa científica aplicada à ciência da computação. Esse fundamento é essencial, pois o estudo atual utiliza métodos científicos para criar um produto educacional em formato de software.

4.1.1 Natureza

Segundo Wazlawick (2009), a pesquisa pode ser classificada, quanto à sua natureza, em trabalhos originais e resumos de assuntos. Os trabalhos originais têm como objetivo introduzir novos conhecimentos, fundamentados em observações e teorias desenvolvidas para explicá-las. Em contraste, os resumos de assuntos visam organizar sistematicamente uma área de conhecimento, destacando frequentemente sua trajetória histórica e o estado atual da arte. Considerando que este estudo envolve a especificação, desenvolvimento e avaliação de um produto educacional que utiliza o reconhecimento de padrões de sinais de áudio na criação de um produto digital baseado na computação física, com o intuito de oferecer uma nova forma de *feedback* para profissionais da amamentação sobre o protocolo e o manejo adotados, este estudo é melhor classificado como um trabalho original em termos de natureza.

4.1.2 Objetivos

Quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva ou explicativa, conforme (Wazlawick, 2009). A pesquisa exploratória geralmente representa a fase inicial de um processo de investigação mais amplo e ocorre quando o pesquisador começa sem uma hipótese ou objetivo claramente definido (Wazlawick, 2009). Neste estudo, a abordagem

exploratória foi adotada para formalizar o tema através de um levantamento inicial do estado da arte, com a finalidade de delinear o problema de pesquisa, definir o escopo inicial e estabelecer os objetivos gerais e específicos iniciais.

4.1.3 Procedimentos Técnicos

A pesquisa é classificada como bibliográfica no que tange aos procedimentos técnicos, pois envolve a análise de artigos, dissertações, teses, livros e outras publicações geralmente disponíveis em editoras e indexadas (Wazlawick, 2009). Este tipo de pesquisa é um passo fundamental e preliminar em qualquer trabalho científico, mesmo que não gere novo conhecimento. Em vez disso, fornece ao pesquisador informações públicas que ele ainda não possuía.

Nesta pesquisa, a abordagem bibliográfica foi utilizada para o levantamento dos trabalhos relacionados, conforme apresentado no Capítulo 3. Por meio de uma revisão da literatura, foram explorados trabalhos científicos correlatos e seus respectivos conceitos teóricos. Ademais, a pesquisa bibliográfica foi essencial para a construção dos elementos teóricos contidos no Capítulo 2, ao realizar uma revisão do estado da arte sobre o tema e o problema abordado neste estudo.

Segundo Wazlawick (2009), a pesquisa experimental precisa utilizar técnicas rigorosas de amostragem e testes de hipóteses para garantir que seus resultados sejam estatisticamente válidos e generalizáveis. Portanto, além da pesquisa bibliográfica, este estudo também inclui uma abordagem experimental. O modelo de desenvolvimento incremental de software adotado neste trabalho incorpora estágios de testes e validação, realizados para monitorar o progresso do produto educacional e assegurar que as funcionalidades desejadas estejam corretas.

Na parte experimental do produto educacional de software, foi realizada a avaliação do modelo de IA incorporado ao produto. Para isso, foram utilizadas as métricas *Root Mean Squared Error* (RMSE) e *Mean Absolute Error* (MAE), que medem a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores reais, cada uma adotando uma abordagem específica.

4.2 Desenvolvimento do Produto Educacional

Um processo de software é composto por uma série de atividades ou etapas interconectadas que resultam na criação de um produto de software (Sommerville, 2011). Essas atividades podem incluir o desenvolvimento de software a partir do zero em uma linguagem

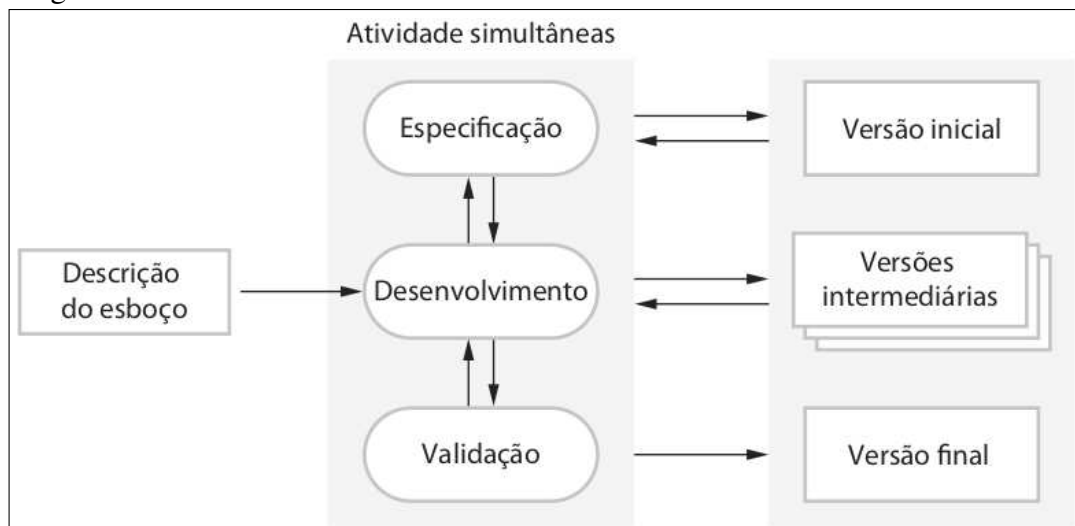
de programação comum. De acordo com Sommerville (2011), existem diversos processos de software, mas todos devem englobar quatro atividades essenciais para a engenharia de software:

1. **Especificação de software:** Define a funcionalidade do software e as restrições ao seu funcionamento.
2. **Projeto e implementação de software:** Produz o software conforme as especificações.
3. **Validação de software:** Garante que o software atende às necessidades do usuário.
4. **Evolução de software:** Assegura que o software pode evoluir para responder às necessidades de mudança dos usuários.

O modelo de processo de software escolhido para guiar o desenvolvimento do produto educacional proposto nesta pesquisa é o modelo de desenvolvimento incremental. Segundo Sommerville (2011), este modelo facilita a obtenção de *feedback* dos usuários sobre o progresso do desenvolvimento e também favorece a entrega e implementação rápida de um software útil ao cliente, mesmo que nem todas as funcionalidades estejam presentes. O desenvolvimento incremental é a abordagem mais comum para o desenvolvimento de sistemas aplicativos (Sommerville, 2011).

Este modelo de desenvolvimento incremental intercala as atividades de especificação, desenvolvimento e validação. Baseia-se na ideia de criar uma implementação inicial, submetê-la aos comentários dos usuários e continuar iterativamente, criando várias versões até que uma aplicação adequada seja alcançada, conforme Figura 17. As atividades de especificação, desenvolvimento e validação são intercaladas, e não separadas, com um *feedback* rápido entre todas as atividades (Sommerville, 2011).

Figura 17 – Modelo de Desenvolvimento Incremental



Fonte: Sommerville (2011, p. 22).

Na aplicação do modelo de desenvolvimento incremental para a criação do produto educacional, foram planejados diversos ciclos iniciais de incremento. Cada um desses incrementos resulta em um entregável que deve ser avaliado pelos envolvidos na pesquisa. Os principais incrementos planejados são:

1. O primeiro incremento é focado em reunir toda a documentação necessária para listar os requisitos da aplicação proposta. Para isso, todo o estado da arte é compilado e revisado, incluindo: estudos sobre reconhecimento de padrões de sinais sonoros; características da computação física; desafios, protocolos e manejo na amamentação; e tecnologias associadas aos microcontroladores Arduino e ESP32. Esses elementos são essenciais para a especificação dos requisitos funcionais do produto educacional.
2. O segundo incremento tem como objetivo a familiarização com as tecnologias Arduino e ESP32, além da análise de sensores capazes de captar sinais sonoros da deglutição quando posicionados próximos à região da garganta e do pescoço. Após essa análise, um projeto em um microcontrolador é desenvolvido para captar esses sinais e armazená-los em uma base de dados. A ideia é disponibilizar a entrada de dados principal do produto educacional, de modo que os algoritmos ou técnicas de reconhecimento de padrões sonoros possam, no futuro, estimar o volume deglutido.
3. O objetivo do terceiro incremento é disponibilizar um *dataset* de sinais sonoros de ingestão de líquido e seus respectivos volumes deglutidos. O *dataset* pode ser encontrado no estado da arte ou, caso não seja encontrado, pode ser gerado pela própria pesquisa, constituindo uma contribuição secundária para trabalhos correlatos que darão continuidade ao trabalho aqui proposto. Por fim, o *dataset* será utilizado como base de treinamento para os algoritmos ou técnicas de reconhecimento de padrões que serão avaliados na solução desenvolvida.
4. O quarto incremento é focado no estudo e validação dos algoritmos ou técnicas de reconhecimento de padrões utilizando o *dataset* mencionado anteriormente. Para isso, é desenvolvido um projeto em Python, utilizando bibliotecas de reconhecimento de padrões que implementam diversas categorias de algoritmos. O objetivo é testar os algoritmos e identificar qual deles melhor se adequa à solução proposta. Para cada algoritmo ou técnica de reconhecimento de padrões testado, serão utilizadas métricas como acurácia e erro para determinar qual algoritmo será incorporado ao produto educacional.
5. O quinto incremento é voltado para o projeto, desenvolvimento e implementação do cliente

embarcado do produto educacional. Para isso, é utilizado um microcontrolador e um sensor capaz de captar os sinais sonoros da deglutição.

6. Por fim, o sexto incremento é voltado para a avaliação do erro do método de inferência baseado no reconhecimento de padrões de sinais sonoros em um ambiente de dados reais.

5 PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar o produto educacional Datetê Care, que estima o volume de líquido deglutido por meio de sistemas embarcados e IA. O propósito do sistema é fornecer um *feedback* educacional para consultores de amamentação, auxiliando na revisão de seus protocolos quando a amamentação não estiver sendo efetiva.

Inicialmente, o capítulo traz uma breve introdução e a motivação para o desenvolvimento do produto, ressaltando a importância de sua adequação a dispositivos móveis e sistemas embarcados. Em seguida, são discutidos os requisitos funcionais, o protótipo para a geração do *dataset* de treinamento, a arquitetura do sistema e as tecnologias adotadas. Por fim, são apresentadas considerações finais sobre o produto educacional.

5.1 Introdução e Motivação

A prática da fonoaudiologia materno-infantil, assim como a de outros profissionais envolvidos no apoio à amamentação, enfrenta desafios que vão além do conhecimento técnico. Avaliar com precisão o manejo da amamentação, incluindo a correta pega e a eficácia da sucção, é essencial para garantir o sucesso deste processo fundamental ao desenvolvimento infantil. No entanto, mesmo para profissionais experientes, a identificação de sinais sutis que distinguem uma mamada efetiva de uma simples simulação continua a ser um desafio significativo. Essa dificuldade é ainda mais agravada pela escassez de ferramentas objetivas que auxiliem na avaliação dessas nuances durante a amamentação.

Atualmente, a eficácia do manejo da amamentação depende, em grande medida, da observação clínica e da experiência individual dos profissionais, o que pode resultar em variações consideráveis nos resultados e no bem-estar do bebê. Tal cenário resalta a necessidade urgente de um instrumento que não apenas avalie protocolos específicos, mas também ofereça suporte educacional aos profissionais, promovendo uma documentação mais precisa e um manejo mais eficaz. Com esse objetivo, este estudo propõe o desenvolvimento de um protótipo inovador, capaz de mensurar, por meio do som da deglutição do bebê, a quantidade de leite materno ingerido durante a amamentação. Este dispositivo possui o potencial de transformar a maneira como a amamentação é monitorada e avaliada, oferecendo uma análise quantitativa precisa do volume deglutido.

Ao garantir uma melhor desempenho na amamentação e uma evolução nutricional

adequada, o protótipo poderá também proporcionar uma compreensão mais aprofundada dos inúmeros benefícios do leite materno, orientando intervenções que otimizem a saúde e o bem-estar do bebê. Espera-se, com isso, não apenas aprimorar o atendimento, mas também contribuir para a formação contínua dos profissionais da área, assegurando que cada criança tenha o melhor começo de vida possível. Uma cartilha do Datetê Care, abordando aspectos funcionais e educacionais, foi desenvolvida e está disponível no Apêndice A. Seu objetivo é sintetizar a finalidade do produto educacional, mesmo que ainda esteja em fase de protótipo.

5.2 Requisitos Funcionais

Os requisitos de um sistema representam as ações que ele deve realizar, os serviços que deve oferecer e as restrições relevantes para seu funcionamento (Sommerville, 2011). Eles são elaborados com base nas necessidades dos clientes, visando atender a um propósito específico, como controle de dispositivos, realização de pedidos ou obtenção de informações. O processo de identificação, análise, documentação e validação desses requisitos é conhecido como engenharia de requisitos (Sommerville, 2011).

Os requisitos funcionais de um sistema definem suas funcionalidades essenciais, podendo variar de acordo com o tipo de software a ser desenvolvido, os usuários envolvidos e a abordagem utilizada na elaboração dos requisitos (Sommerville, 2011). Quando apresentados como requisitos do usuário, esses requisitos são geralmente descritos de forma abstrata, facilitando sua compreensão pelos usuários do sistema. Por outro lado, os requisitos funcionais específicos do sistema detalham as funções do sistema, suas entradas e saídas, bem como possíveis situações excepcionais (Sommerville, 2011). Com base nos objetivos da pesquisa e na metodologia apresentada no Capítulo 4, foram identificados os seguintes requisitos funcionais:

- **[RF01]** - O produto educacional deve ser capaz de capturar sinais sonoros da deglutição de uma pessoa por meio de um projeto de sistema embarcado;
- **[RF02]** - O produto educacional deve possuir uma estrutura para armazenar os sinais sonoros da deglutição em uma base de dados para treinamento dos algoritmos ou técnicas de reconhecimento de padrões;
- **[RF03]** - O produto educacional deve ser capaz de armazenar os sinais sonoros da deglutição de uma pessoa na base de dados de treinamento, convertendo os sinais sonoros em dados estruturados adequados ao modelo de dados da base de treinamento;
- **[RF04]** - O produto educacional deve implementar um algoritmo ou técnica de reconheci-

mento de padrões de sinais sonoros para inferir a quantidade de líquido deglutido diante de um sinal sonoro de deglutição;

- [RF05] - O produto educacional deve implementar uma aplicação com interface *mobile* para apresentar as informações de deglutição ao usuário, permitindo que este avalie sua prática, protocolo e manejo durante o processo de deglutição do paciente; e
- [RF06] - O produto educacional deve integrar o algoritmo ou técnica de reconhecimento de padrões de sinais sonoros, a base de dados de treinamento, o cliente embarcado e o cliente *mobile*.

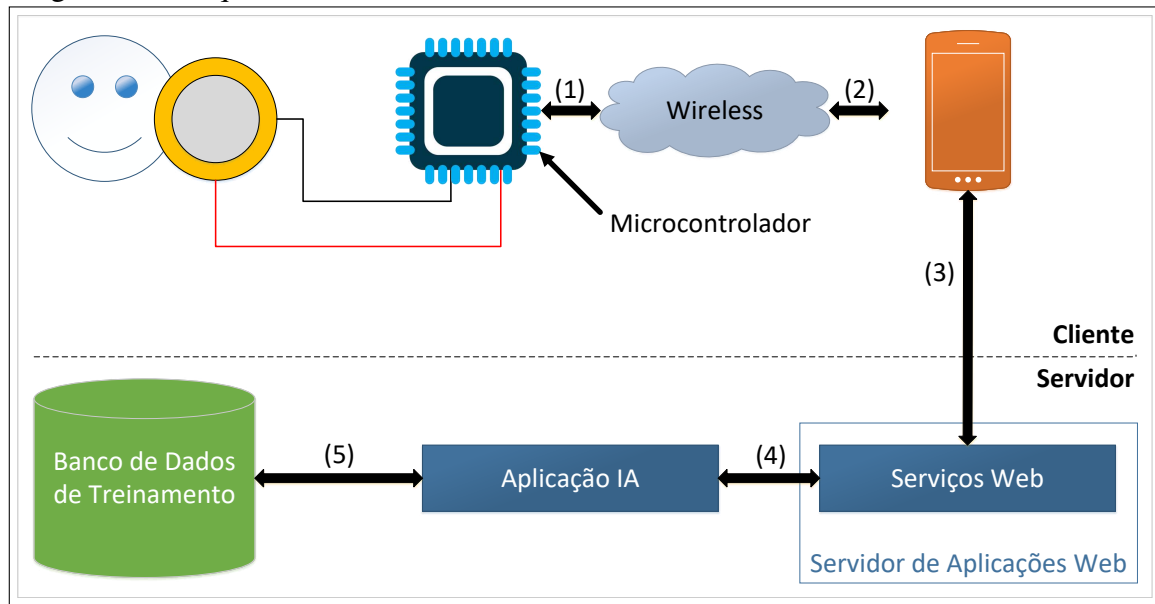
5.3 Arquitetura de Sistema

Uma arquitetura de sistema consiste na estrutura básica de um sistema, abrangendo seus componentes, suas inter-relações internas e conexões com o ambiente (Bass *et al.*, 2003). Trata-se de uma representação conceitual ou abstrata que pode incluir diagramas, modelos e descrições textuais. A arquitetura de sistema do produto educacional Datetê Care baseia-se no modelo cliente-servidor, no qual um sistema distribuído é estruturado dividindo funções entre servidores, responsáveis por fornecer recursos ou serviços, e clientes, que os requisitam (Tanenbaum; Steen, 2007). Em uma arquitetura cliente-servidor típica na web, o cliente geralmente é um navegador, enquanto o servidor é um processo em execução contínua que aguarda as solicitações dos clientes (Nascimento *et al.*, 2021). Especificamente no produto educacional Datetê Care, sua arquitetura conta com um tipo de cliente para dispositivos móveis. A Figura 18 ilustra a arquitetura de sistema proposta para a implementação do produto educacional Datetê Care.

Um microcontrolador e um sensor piezoelétrico em formato de disco foram utilizados para compor um sistema embarcado com o objetivo de captar sinais da deglutição. Os sinais captados são transmitidos por meio de redes sem fio, como Wi-Fi ou *Bluetooth*, para o aplicativo Datetê Care em um *smartphone*, conforme ilustrado pelas setas (1) e (2).

Ao chegar ao aplicativo Datetê Care, residente no *smartphone*, os sinais encapsulados são enviados, via requisição *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), para o componente **Servidor Web**, localizado no lado servidor, conforme indicado pela seta (3). Em seguida, o **Servidor Web** encaminha o sinal para o componente **Aplicação IA**, ação representada pela seta (4), onde a quantidade de volume deglutido é estimada utilizando algoritmos de reconhecimento de padrões e um **Banco de Dados de Treinamento**.

Figura 18 – Arquitetura de Sistema



Fonte: Elaborado pela autora.

O **Banco de Dados de Treinamento** foi gerado a partir de um conjunto de dados que representam diversas situações de sinais de deglutição associados a volumes específicos de líquidos ingeridos. A interação entre a **Aplicação IA** e o **Banco de Dados de Treinamento** é representada pela seta (5). A aplicação residente no *smartphone* tem como principais objetivos receber os sinais do sistema embarcado e exibir o resultado do volume de líquido deglutido após o processamento realizado no lado servidor.

5.4 Tecnologias Adotadas

Java é uma linguagem de programação amplamente empregada para criar diversos tipos de aplicativos, incluindo os de web, móveis e softwares empresariais (Vyas, 2023). Com a crescente necessidade de aplicativos eficientes, confiáveis e seguros nas empresas, o Java se destaca por sua estabilidade e capacidade multiplataforma, desempenhando um papel essencial nesse contexto (Zhao; Li, 2024). Em maio de 2024, o índice TIOBE posicionou o Java como a quarta linguagem de programação mais popular (TIOBE, 2024). Este índice mensal fundamenta suas classificações na quantidade de engenheiros qualificados ao redor do mundo, além de cursos e fornecedores terceirizados (TIOBE, 2024).

O Java *Enterprise Edition* (EE) amplia a plataforma básica de programação Java, oferecendo funcionalidades para a implementação de aplicativos corporativos distribuídos que operam em redes de computadores, incluindo ambientes web (Lano; Tehrani, 2023). Devido à

sua simplicidade, menor complexidade e demanda reduzida de conhecimento tecnológico para a criação de aplicativos web, foi decidido utilizar o Java EE como a parte de serviços do produto educacional. Dessa forma, o aplicativo foi desenvolvido com Java Servlets e *Java Server Pages* (JSP), em conjunto com tecnologias para construção de páginas web, como *HyperText Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS) e JavaScript.

O Android é um sistema operacional amplamente utilizado em dispositivos móveis, como *smartphones* (Alanda *et al.*, 2020; Castilla *et al.*, 2023). Devido à ampla adoção do Android, seu desenvolvimento ocorre de forma acelerada, o que resulta em atualizações frequentes. Baseado em Linux, o Android é uma plataforma totalmente gratuita que permite tanto o desenvolvimento de novos aplicativos em Java quanto a modificação de aplicativos existentes (Castilla *et al.*, 2023). A introdução da plataforma Android teve um impacto significativo no desenvolvimento de aplicativos móveis, levando à sua aceitação generalizada no mercado global, onde os usuários se tornam cada vez mais exigentes (Castilla *et al.*, 2023).

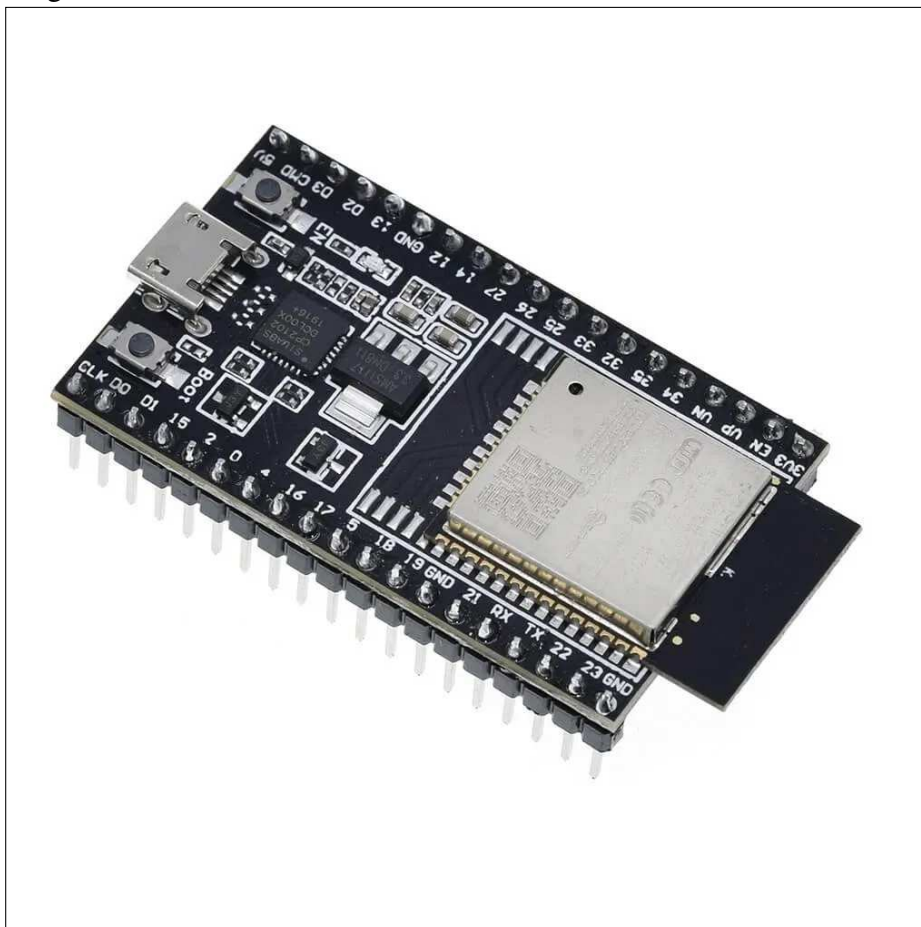
A plataforma Android oferece uma vasta gama de aplicativos que possibilitam a realização de diversas tarefas, como processamento de texto e dados, edição de imagens, reprodução de áudio e vídeo, entre outras funcionalidades (Alanda *et al.*, 2020). Presente na maioria dos dispositivos tecnológicos, como *tablets*, *smartphones* e televisores, os aplicativos móveis no Android são distribuídos por meio da Google Play Store (anteriormente Android Marketplace). Além disso, suportam a instalação de aplicativos via conexão USB, arquivos *Android Application Package* (APK) e cartões *Secure Digital Card* (SD) (Castilla *et al.*, 2023).

O PostgreSQL é um sistema robusto de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional de código aberto, com mais de 35 anos de desenvolvimento contínuo. Essa longa trajetória lhe confere uma sólida reputação de confiabilidade, funcionalidades avançadas e alto desempenho (PostgreSQL, 2024). Existe uma abundante quantidade de informações disponíveis sobre como instalar e operar o PostgreSQL, acessíveis através de sua documentação oficial. A comunidade de código aberto também fornece diversos recursos úteis para aprender sobre o PostgreSQL, compreender seu funcionamento e explorar oportunidades de carreira. Na implementação do produto educacional, o PostgreSQL foi escolhido para armazenar dados e informações do produto educacional, além de oferecer suporte à manipulação dos conteúdos dos cadastros de profissionais da amamentação e seus respectivos pacientes, incluindo os históricos de sessões de amamentação que foram realizadas. Além disso, o PostgreSQL foi utilizado para a implementação da base de treinamento.

5.4.1 Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D

O ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D é uma placa de desenvolvimento de pequeno porte baseada no ESP32, produzida pela Espressif. A maioria dos pinos de entrada e saída são expostos nos *headers* de pinos em ambos os lados, facilitando a interface. Os desenvolvedores podem conectar periféricos usando fios *jumper* ou montar o ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D em uma *protoboard*. A Figura 19 apresenta os detalhes do microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D.

Figura 19 – Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D



Fonte: Elaborado pela autora.

O ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D apresenta diversas vantagens em relação ao Arduino Uno, especialmente no que diz respeito à conectividade, poder de processamento e recursos integrados. Entre os principais benefícios, destacam-se:

- Wi-Fi e Bluetooth Integrados: Dispensa módulos adicionais, facilitando o desenvolvimento de aplicações IoT.
- Maior Poder de Processamento: Possui um processador dual-core de até 240 MHz, supe-

rando o desempenho das placas Arduino tradicionais.

- **Consumo de Energia Mais Eficiente:** Suporta modos de baixo consumo, tornando-o ideal para dispositivos alimentados por bateria.
- **Melhor Custo-Benefício:** Oferece mais funcionalidades pelo mesmo preço ou até por um valor inferior ao de algumas placas Arduino.
- **Suporte a Multitarefa:** Permite a execução simultânea de múltiplos processos por meio do FreeRTOS.

Se o projeto envolve IoT, conectividade sem fio, maior poder de processamento ou baixo consumo de energia, o ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D é a melhor escolha. Por outro lado, o Arduino Uno pode ser mais indicado para projetos básicos, prototipagem rápida e aplicações com menor demanda de hardware. O Quadro 2 apresenta as especificações técnicas do Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D.

Quadro 2 – Especificações Técnicas do Microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D

Descrição	Valor
Modelo	ESP-WROOM-32D
Processador	Xtensa 32-Bit LX6 Dual Core
Clock	Ajustável de 80MHz a 240MHz
Memória Flash Externa	32-Bit de acesso e 4MB
Memória SRAM	520KB
Memória ROM	448KB
Tensão de Alimentação	2,7 à 3,6VDC
Tensão de Nível Lógico	3,3VDC (não tolera 5V)
Corrente de Consumo Típica	80mA
Corrente de Consumo Máxima	500mA
Wi-Fi	802.11 b/g/n: 2.4 à 2.5GHz
Segurança	WiFi: WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS
Bluetooth	4.2 BR / EDR e BLE
Suporte	Arduino IDE, Lua e MicroPython, Código C básico

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.2 Sensor Piezoelétrico

A primeira utilização da piezoelectricidade foi feita por Paul Langevin durante a Primeira Guerra Mundial, no desenvolvimento de sonares (Silva *et al.*, 2022, p. 10). No entanto, ela foi descoberta em 1880 pelos irmãos Jacques e Pierre Curie (Alexandre, 2013; Silva *et al.*, 2022). Durante a guerra, cristais de quartzo foram acoplados a massas metálicas para gerar

ultrassom na faixa de dezenas de kHz (Silva *et al.*, 2022, p. 10). A funcionalidade dos sonares baseia-se na pressão mecânica, que provoca variações na espessura do cristal. Essas variações geram movimentos nas faces do cristal, originando ondas sonoras (Silva *et al.*, 2022, p. 10). Os ecos dessas ondas, ao retornarem, produzem vibrações nos cristais, alterando suas dimensões físicas e gerando um campo elétrico (Silva *et al.*, 2022, p. 10).

O sensor piezoelétrico é feito de um material que gera cargas elétricas em sua superfície quando é deformado por pressão ou tensão (Silva, 2020). Materiais piezoelétricos têm a capacidade de gerar uma tensão elétrica entre suas extremidades quando são deformados mecanicamente (Alexandre, 2013). A magnitude da tensão elétrica gerada é proporcional à deformação. O contrário também é verdadeiro: quando uma tensão elétrica é aplicada nas extremidades de um material piezoelétrico, ele se deforma mecanicamente em proporção ao valor da tensão aplicada (Alexandre, 2013; Silva, 2020). Exemplos de materiais que possuem esse efeito naturalmente são o quartzo, a turmalina e o topázio (Silva, 2020).

Na pesquisa, optou-se pelos sensores piezoelétricos devido à sua alta sensibilidade, tamanho compacto, custo reduzido, facilidade de aquisição e implementação nas superfícies de ensaio, como destacado por (Pankey *et al.*, 2005 apud Alexandre, 2013). Além disso, é possível obter ondas ultrassônicas com frequências próximas dos THz (1 trilhão de *hertz*) por meio da oscilação de elementos piezoelétricos (Alexandre, 2013). Por fim, as seguintes pesquisas, que utilizaram sensores piezoelétricos com propósitos relacionados ao mesmo uso do sensor neste trabalho, motivaram ainda mais a escolha do sensor do tipo piezoelétrico:

- Ertekin *et al.* (2001) propuseram o uso de um sensor piezoelétrico para estudar o processo de deglutição humana, avaliando a deglutição de saliva ou uma quantidade específica de água;
- Pankey *et al.* (2005) desenvolveram um sistema de detecção e medição de chuva com base nas vibrações sentidas na superfície do para-brisa do veículo, resultando em uma patente;
- Alexandre (2013) realizou um estudo de uma solução para detecção de chuva em veículos automóveis utilizando um sensor piezoelétrico, visando obter uma solução mais versátil e aplicável em vários pontos do veículo;
- Silva (2020) propôs a análise da concordância entre as medidas extraídas de sinais de vibração da pele do pescoço, capturados por um sensor piezoelétrico, com o objetivo de detectar situações de abuso vocal ou uso inadequado da voz; e
- Trabalho proposto por Mevissen (2021) que foi comentado no Capítulo 3.

A Figura 20 exibe o sensor piezoelétrico de 27 milímetros de diâmetro com fios soldados, que foi utilizado na construção do produto educacional desta pesquisa.

Figura 20 – Transdutor Piezoelétrico de 27 milímetro de Diâmetro com Fios Soldados



Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 3 apresenta as especificações técnicas do Transdutor Piezoelétrico de 27 milímetro.

Quadro 3 – Especificações Técnicas do Transdutor Piezoelétrico de 27 milímetro

Descrição	Valor
Diâmetro	27 milímetros
Espessura	0,5 milímetro
Material	Cerâmica Piezoelétrica
Frequência de Ressonância	4 hHz
Capacitância	1800 pF
Tensão de operação recomendada	12 Volts DC

Fonte: Elaborado pela autora.

A inferência do volume de líquido deglutido a partir das leituras de um sensor piezoelétrico representa um desafio que pode ser abordado por meio de CNN. Essas redes são amplamente reconhecidas por sua eficácia na extração de padrões em dados de séries temporais multivariadas (Abiodun *et al.*, 2019), como as registradas por sensores. A aplicação das CNN permite identificar características sutis nas leituras do sensor que estão diretamente relacionadas ao volume de líquido ingerido. Para implementar esse processo, utilizou-se uma CNN desenvolvida com a biblioteca Keras¹, estruturada para prever o volume de deglutição com

¹ Keras é uma biblioteca de código aberto para aprendizado profundo, projetada para ser intuitiva e fácil de usar, permitindo a criação e treinamento de redes neurais com poucas linhas de código.

base nas informações fornecidas pelos sensores.

As etapas para a construção desse modelo de IA incluem, inicialmente, o pré-processamento dos dados, que envolve a divisão das amostras em conjuntos de treino e a formatação das entradas de maneira adequada à estrutura exigida pela CNN. Em seguida, define-se e compila-se o modelo da CNN, configurando as camadas e parâmetros necessários para que a rede aprenda as características dos dados. Por fim, procede-se ao treinamento e à avaliação do modelo, permitindo validar sua capacidade de inferir corretamente o volume de líquido com base nas leituras do sensor. Essas etapas formam uma metodologia para a análise e previsão de volumes de líquidos ingeridos, fornecendo subsídios técnicos para aplicações e aprimoramentos em soluções baseadas em sensores piezoelétricos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os achados da pesquisa, analisando-os à luz dos objetivos propostos e do levantamento do estado da arte. Inicialmente, foram descritos os conjuntos de dados utilizados na avaliação do produto educacional. Na sequência, são descritos os principais resultados obtidos no cenário de avaliação, seguidos de uma interpretação crítica.

6.1 Geração do Dataset de Treinamento

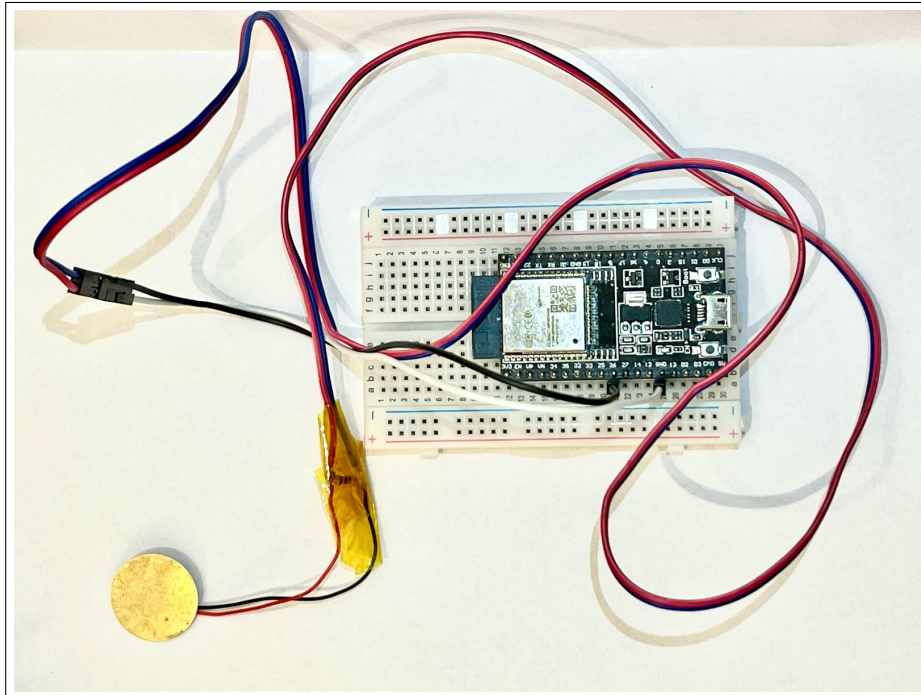
Nos experimentos, foi criado um *dataset* de treinamento relacionado à deglutição de líquidos com o objetivo de estimar o volume de líquido ingerido. Para isso, desenvolveu-se um *dataset* composto por uma parte de dados reais e outra de dados sintéticos, gerados por um programa, preservando o comportamento e a tendência dos dados reais.

Para a geração dos dados reais do *dataset* de treinamento, foi utilizado o sistema embarcado do Datetê Care para medir os sinais de deglutição. Isso foi realizado por meio de um sensor piezoelétrico de 27 milímetros de diâmetro, com fios soldados, gerenciado por um microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D. O sensor foi acoplado à região entre a mandíbula e o pescoço, permitindo a captação dos sinais gerados durante a deglutição de líquidos.

Como resultado, obtém-se uma sequência de valores numéricos ao longo do tempo, correspondendo ao volume total de líquido ingerido. Essa sequência de números, juntamente com o volume deglutido, compõe parte do *dataset* de treinamento. A Figura 21 apresenta o sistema embarcado do Datetê Care, composto pelo microcontrolador, *protoboard*, *jumpers* (fios), resistor e sensor piezoelétrico. Já a Figura 22 apresenta o protótipo do sistema embarcado do Datetê Care em uso, com o sensor piezoelétrico acoplado à região do pescoço de uma pessoa.

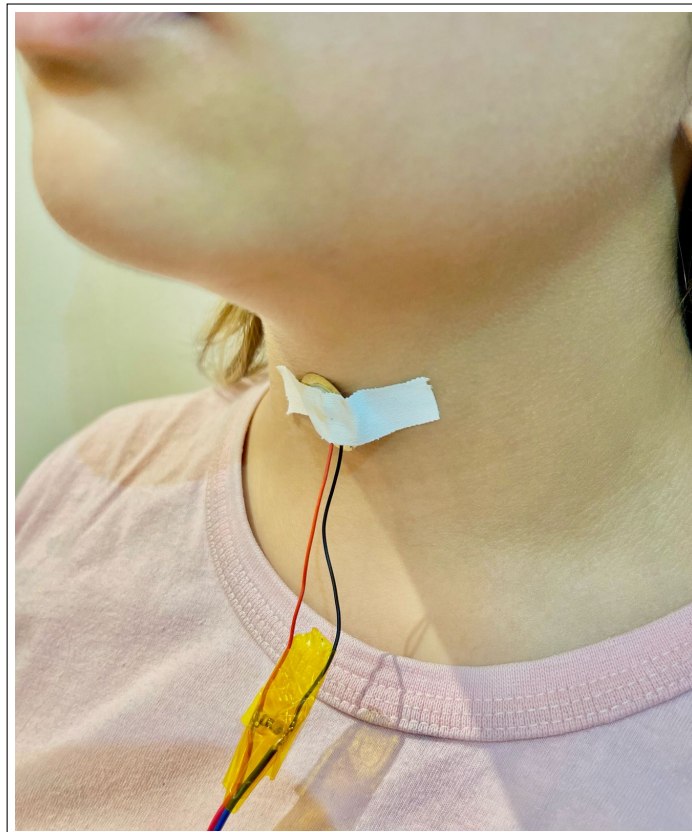
Como pode ser observado, a estrutura do *dataset* de treinamento contém valores que simulam medições de sinais sonoros da deglutição de líquidos ao longo do tempo, juntamente com seus respectivos volumes. Para a criação da parte real do *dataset*, foram coletadas amostras de sinais sonoros da deglutição de líquidos em volumes variando de 30 a 160 mL. Durante esse processo, uma pessoa utilizou o Datetê Care, conforme ilustrado na Figura 22, e realizou deglutições de água nas quantidades indicadas, enquanto o sistema registrava os sinais sonoros correspondentes. Para medir o volume de líquido em mL a ser ingerido, foi utilizado o recipiente mostrado na Figura 23.

Figura 21 – Protótipo do Sistema Embarcado para Gerar o *Dataset* Real



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 22 – Foto do Protótipo do Sistema Embarcado sendo Utilizado por uma Pessoa



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 23 – Foto do Recipiente para Medir o Volume do Líquido a ser Deglutido



Fonte: Elaborado pela autora

A estrutura do *dataset* é composta pelo volume de líquido deglutido (em mL), pelo número de picos detectados pelo sensor piezoelétrico durante a deglutição e pela intensidade desses picos. É importante ressaltar que as amostras reais foram medidas em um ambiente controlado, dentro de um escritório particular, com as portas fechadas e sem o uso de ar condicionado, ventilador ou qualquer outro equipamento que pudesse gerar ruídos sonoros. Observou-se que ambientes com ruídos, dependendo da intensidade, podem gerar picos inexistentes e/ou aumentar a intensidade dos picos de deglutição registrados. A Tabela 1 apresenta um resumo do tamanho das amostras reais, coletadas a partir das medições realizadas em um mesmo indivíduo.

O aumento do *dataset* foi realizado utilizando uma técnica chamada *Gaussian Mixture Model* (GMM). A GMM é uma maneira de entender os dados como sendo formados por várias “partes” ou grupos, cada um com um padrão específico. Imagine que os sinais de deglutição de líquidos seguem certos padrões, como se estivessem distribuídos em diferentes grupos. A GMM ajuda a identificar esses padrões e, com isso, criar novos dados que seguem os mesmos padrões dos dados reais. Isso permitiu aumentar o *dataset* sem precisar de mais

Tabela 1 – Tamanho das Amostra de Dados Reais no *Dataset*

Volume deglutido (mL)	Número de amostras reais
30	3
60	3
90	3
120	3
160	3

Fonte: Elaborado pela autora.

medições reais, o que ajudou a melhorar o modelo de IA e a torná-lo mais preciso. Após a aplicação da GMM nos dados reais, o *dataset* final atingiu o tamanho apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Tamanho do *Dataset* Final

Volume deglutido (mL)	Número total de amostras
30	100
60	100
90	100
120	100
160	100

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2 Experimento

O experimento realizado no Datetê Care tem como principal objetivo analisar o desempenho do modelo de IA utilizado, com base em métricas de erro, considerando o *dataset* de treinamento empregado.

6.2.1 Ambiente Experimental

No experimento foi utilizado um *notebook* Lenovo ThinkPad E480, equipado com um processador Intel Core i5-8250U (1.60 GHz), 16 GB de RAM DDR4, um *Solid-State Drive* (SSD) de 500 GB e o sistema operacional Ubuntu 20.04.6 *Long-Term Support* (LTS). Para a execução dos programas de geração dos *datasets* (tanto a parte real quanto a sintética), treinamento do modelo de IA e análise dos erros do modelo, foi utilizada a versão 3.8.10 do Python.

A versão do *kit* de desenvolvimento do Arduino utilizada neste trabalho foi a 1.8.19. É importante ressaltar que, embora o *kit* de desenvolvimento do Arduino tenha sido utilizado, o microcontrolador empregado foi o ESP32. O protótipo do cliente embarcado é composto por

um microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D, um resistor de 1 M Ω e um sensor piezoelétrico de 27 milímetros, no formato de disco. A conexão entre o microcontrolador e o sensor piezoelétrico foi realizada utilizando uma *protoboard* de 400 pontos.

6.2.2 Métricas de Avaliação do Modelo de IA

O RMSE e o MAE são métricas usadas para avaliar o erro em modelos que fazem previsões numéricas. Elas medem a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores reais, mas de formas diferentes.

O RMSE, descrito na Equação 6.1, mede o erro médio entre os valores previstos e os valores reais, dando um peso maior a erros maiores.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (6.1)$$

Onde:

- n - Número total de observações (tamanho do conjunto de dados).
- y_i - Valor real da i -ésima observação.
- $\hat{y}_i$ - Valor previsto pelo modelo para a i -ésima observação.
- $(y_i - \hat{y}_i)^2$ - Diferença entre o valor real e o previsto, elevada ao quadrado.

Já o MAE, apresentado na Equação 6.2, mede o erro médio entre os valores previstos e os reais, tratando todos os erros de forma linear.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (6.2)$$

Onde:

- n - Número total de observações (tamanho do conjunto de dados).
- y_i - Valor real da i -ésima observação.
- $\hat{y}_i$ - Valor previsto pelo modelo para a i -ésima observação.
- $|y_i - \hat{y}_i|$ - Diferença absoluta entre o valor real e o valor previsto para cada observação.

6.3 Discussão dos Resultados

A análise dos dados obtidos na avaliação do produto educacional Datetê Care, ainda em fase de protótipo, focou no desempenho do modelo de IA. Para medir a eficácia da IA, foram

utilizadas métricas de erro, que avaliam a precisão do modelo e ajudam a identificar possíveis limitações. Os resultados foram discutidos com base na literatura e nas expectativas do estudo, proporcionando uma compreensão mais clara do impacto do modelo de IA na solução proposta e de sua aceitação pelos usuários.

A avaliação do modelo de IA foi realizada por meio do Código-fonte 1, que implementa as métricas RMSE e MAE em Python. Para esse cálculo, utilizou-se a lista *y_true*, que contém os valores reais dos volumes deglutidos (em mL), e a lista *y_pred*, que armazena os valores previstos pelo modelo de IA (também em mL). Em seguida, as métricas foram computadas para quantificar o erro das previsões, indicando, em mL, o desvio médio e o desvio médio quadrático entre os valores reais e preditos.

Código-fonte 1 – Código para Avaliação do Modelo de IA

```

1 from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error
2 import numpy as np
3
4 # Valores reais e preditos
5 y_true = [...] # Volumes reais deglutidos (em mL)
6 y_pred = [...] # Volumes estimados pelo modelo de IA (em mL)
7
8 # Calcular métricas
9 mae = mean_absolute_error(y_true, y_pred)
10 rmse = np.sqrt(mean_squared_error(y_true, y_pred))
11
12 print(f"MAE: {mae:.2f} mL")
13 print(f"RMSE: {rmse:.2f} mL")

```

Os valores obtidos foram MAE = 18,67 mL e RMSE = 19,26 mL, indicando que, em média, as previsões do modelo apresentam um erro absoluto de 18,67 mL, enquanto o erro médio considerando as variações mais extremas é de 19,26 mL.

Para avaliar a adequação do modelo, é fundamental interpretar esses valores dentro da faixa de volumes deglutidos utilizada no treinamento. Como os volumes de referência variam entre 30 mL e 160 mL, um MAE de 18,67 mL representa aproximadamente 11,67% do maior volume presente nos dados de treinamento (160 mL), o que indica um erro moderado para aplicações que toleram alguma imprecisão. Já o RMSE de 19,26 mL sugere que, além do erro médio, há amostras com desvios mais expressivos, possivelmente devido a variações individuais

na deglutição ou à presença de ruídos no sensor piezoelétrico.

Dessa forma, o modelo apresenta um nível de precisão aceitável para aplicações onde pequenas variações são esperadas. No entanto, para cenários que exigem alta exatidão, como avaliações clínicas detalhadas, pode ser necessário aprimorar o modelo. Estratégias como a ampliação do conjunto de dados de treinamento para incluir uma faixa mais extensa de volumes, o refinamento dos processos de normalização e calibração dos sensores, além da otimização da arquitetura da rede neural, podem contribuir para a redução dos erros e para a melhoria da confiabilidade das previsões.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu um protótipo de produto educacional capaz de estimar a quantidade de leite materno ingerido por um bebê durante a amamentação. No Capítulo 1, foram levantadas duas hipóteses. A primeira investigou se artefatos da computação física seriam capazes de captar os sinais sonoros da deglutição. A segunda analisou se técnicas de reconhecimento de padrões poderiam identificar os sons da deglutição e estimar o volume ingerido.

Durante o desenvolvimento e dos achados da pesquisa, foi possível confirmar que os artefatos da computação física foram, de fato, capazes de captar os sinais sonoros da deglutição. Para isso, utilizou-se um sensor piezoelétrico de 27 milímetros de diâmetro, com fios soldados e conectados a um microcontrolador ESP32 DevKitC V4 WROOM-32D. Além disso, os sensores piezoelétricos demonstraram alta sensibilidade, o que permitiu a captação eficiente dos sinais de deglutição de líquidos, além de apresentarem tamanho compacto, baixo custo, fácil aquisição e implementação.

Os experimentos conduzidos tiveram como objetivo avaliar o desempenho do modelo de IA na inferência do volume de líquido deglutido. Os resultados obtidos demonstraram que o modelo apresentou um desempenho moderado dentro da faixa de volumes utilizada para o treinamento. O modelo alcançou um MAE de 18,67 mL e um erro quadrático médio RMSE de 19,26 mL, indicando que, embora seja capaz de fornecer estimativas razoáveis, há margem para melhorias em termos de precisão.

A análise das métricas sugere que, além do erro médio, existem previsões com desvios mais expressivos, o que pode estar associado a variações individuais na deglutição ou à presença de ruído nos dados adquiridos pelo sensor piezoelétrico. Dessa forma, embora o modelo seja promissor para aplicações que toleram certo grau de imprecisão, sua utilização em contextos que exigem alta confiabilidade, como diagnósticos clínicos rigorosos, pode demandar ajustes adicionais.

Dentre as possíveis estratégias de aprimoramento, destaca-se a ampliação do conjunto de dados de treinamento, a inclusão de volumes mais variados para melhorar a generalização do modelo e o refinamento dos processos de pré-processamento dos dados. Além disso, a otimização da arquitetura do modelo e a calibração mais precisa dos sensores podem contribuir para a redução dos erros e para o aumento da confiabilidade das previsões. Assim, os resultados obtidos reforçam a viabilidade do uso de IA para a estimativa do volume deglutido, ao mesmo tempo em que evidenciam a necessidade de aprimoramentos para aplicações mais exigentes.

Como trabalhos futuros, pretende-se implementar e avaliar o desempenho de outros modelos de IA, analisando suas taxas de acerto. Também pretende-se implementar e integrar todos os componentes da arquitetura proposta do Datetê Care por meio das tecnologias mencionadas no Capítulo 5. Além disso, busca-se aprimorar o acabamento do produto educacional Datetê Care, como, por exemplo, integrando o cliente embarcado em uma *case* impressa em 3D, tornando-o mais resistente. Também se propõe a expansão das funcionalidades do Datetê Care, incluindo o cadastro de pacientes e profissionais da amamentação, além do registro de históricos e laudos. Pretende-se, ainda, explorar diferentes tipos e modelos de sensores na área de sistemas embarcados, com o objetivo de melhorar a qualidade do sinal sonoro na captação do volume de líquido deglutido. Almeja-se, ainda, concluir todos os componentes da arquitetura proposta, incluindo a parte *mobile* e a integração com os requisitos funcionais **RF05** e **RF06**.

Após a implementação das melhorias mencionadas, planeja-se conduzir novos experimentos de usabilidade e aceitação, como o *Technology Acceptance Model* (TAM)¹, envolvendo uma amostra de profissionais da amamentação, com o objetivo de identificar possíveis oportunidades de aprimoramento. Por fim, almeja-se avaliar o desempenho do Datetê Care em bebês, após aprovação e parecer favorável do Comitê de Ética.

¹ O modelo TAM tem como objetivo avaliar os fatores que influenciam a aceitação e adoção de uma tecnologia pelos usuários, analisando principalmente a utilidade percebida e a facilidade de uso percebida.

REFERÊNCIAS

- ABIODUN, O. I.; JANTAN, A.; OMOLARA, A. E.; DADA, K. V.; UMAR, A. M.; LINUS, O. U.; ARSHAD, H.; KAZAURE, A. A.; GANA, U.; KIRU, M. U. Comprehensive review of artificial neural network applications to pattern recognition. **IEEE Access**, IEEE, New York, v. 7, p. 158820–158846, oct. 2019. ISSN 2169-3536. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945545>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- ALANDA, A.; SATRIA, D.; MOODUTO, H.; KURNIAWAN, B. Mobile application security penetration testing based on owasp. **IOP Conference Series - Materials Science and Engineering**, IOP Publishing, Bristol, v. 846, n. 1, p. 012036, may 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/846/1/012036>. Acesso em: 21 set. 2024.
- ALEXANDRE, A. S. G. P. **Estudo e desenvolvimento de um sensor de chuva piezoelétrico para automóveis**. 2013, 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Área Departamental de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Lisboa, Portugal, 2013.
- ANDERSON, C. **Makers: The New Industrial Revolution**. 1st. ed. New York: Crown, 2012. ISBN 9780307720979.
- ARDUINO OFFICIAL STORE. **Arduino Uno Rev3 - Arduino Official Store**. 2024. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 28 mai. 2024.
- AVALOS-VIVEROS, H.; MOLERO-CASTILLO, G.; BENITEZ-GUERRRO, E.; BÁRCENAS, E. Towards a method for biosignals analysis as support for the design of adaptive user-interfaces. **Research in Computing Science**, Yerevan, v. 147, n. 11, p. 9–19, may 2018. ISSN 1870-4069.
- BABIUCH, M.; FOLTÝNEK, P.; SMUTNÝ, P. Using the esp32 microcontroller for data processing. In: **2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)**. Krakow-Wieliczka, Poland: IEEE, 2019. p. 1–6. ISBN 978-1-7281-0702-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765944>. Acesso em: 17 nov. 2024.
- BANZI, M. **Getting Started with Arduino**. 1st. ed. Sebastopol: O'Reilly, 2011. 180 p. ISBN 1449309879.
- BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Practice**. 2nd. ed. [s.l.]: Addison-Wesley, 2003. ISBN 978-0321154958.
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.; OLSHEN, R. A.; STONE, C. J. **Classification and Regression Trees**. [s.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2017. 368 p. ISBN 9781138469525.
- CASTILLA, R.; PACHECO, A.; FRANCO, J. Digital government: Mobile applications and their impact on access to public information. **SoftwareX**, Elsevier, Amsterdam, v. 22, p. 101382, may 2023. ISSN 2352-7110. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271102300078X>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- CHO, K.; MERRIËNBOER, B. V.; GULCEHRE, C.; BAHDANAU, D.; BOUGARES, F.; SCHWENK, H.; BENGIO, Y. Learning phrase representations using rnn encoder-decoder for statistical machine translation. In: **Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)**. Doha, Qatar: Association for Computational Linguistics, 2014. p. 1724–1734. Disponível em: <https://aclanthology.org/D14-1179/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

COFFMAN, L. The np's role in promoting and supporting breastfeeding. **Nurse Practitioner**, PubMed, Philadelphia, v. 44, n. 3, p. 38–42, mar. 2019. ISSN 1538-8662. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30789531/>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CORREIA, R. T.; DICK, M. E. Design para experiência e computação física: uma proposta de análise. **DAPesquisa**, São Paulo, v. 11, n. 15, p. 112–129, mai. 2016. ISSN 1808-3129. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/dapesquisa/article/view/6817>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DADHICH, J. P.; SMITH, J. P.; IELLAMO, A.; SULEIMAN, A. Climate change and infant nutrition: Estimates of greenhouse gas emissions from milk formula sold in selected asia pacific countries. **Journal of Human Lactation**, PubMed, Califórnia, v. 37, n. 2, p. 314–322, may 2021. ISSN 1552-5732. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33586512/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DIX, A.; FINLAY, J.; ABOWD, G. D.; BEALE, R. **Human–Computer Interaction**. 3rd. ed. United States: Pearson Education Limited, 2003. 834 p. ISBN 978-0-13-046109-4.

DOUGHERTY, D. The Maker Mindset. In: HONEY, M. (Ed.). **Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators**. 1st. ed. New York, USA: Routledge, 2013. p. 7–11. ISBN 9780203108352. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203108352>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DUQUE, R. de C. S.; FILHO, P. H.; SOUZA, L. B. P.; LIMA, A. G. de; CABRAL, M. V. A.; ROZENDO, J. F.; SILVA, I. A. da. **A Cultura Maker: e suas implicações no contexto educacional**. 1a. ed. Vitória: Educação Transversal Edições, 2023. 158 p. ISBN 978-65-87634-24-1.

EDWARDS, R.; CRAGG, B.; DUNN, S.; PETERSON, W. E. The breastfeeding and early motherhood experiences of older first-time mothers: A constructivist grounded theory study. **Midwifery**, Elsevier, London, v. 96, p. 102945, may 2021. ISSN 0266-6138. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266613821000243>. Acesso em: 21 dez. 2024.

ENGELBART, D. The augmented knowledge workshop. In: GOLDBERG, A. (Ed.). **A History of Personal Workstations**. 1st. ed. New York, NY, USA: ACM Press, 1988. p. 185–248. ISBN 0201112590. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/61975.66918>. Acesso em: 23 jul. 2024.

ERTEKIN, C.; KIYLIOGLU, N.; TARLACI, S.; TURMAN, A. B.; SECIL MD, . Y.; AYDOGDU, I. Voluntary and reflex influences on the initiation of swallowing reflex in man. **Dysphagia**, Springer-Verlag, Berlin, v. 16, n. 1, p. 40–47, 2001. ISSN 0179-051X. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s004550000041>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide - ESP32**. 2024. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html>. Acesso em: 12 jul. 2024.

GIANNI, M. L.; BETTINELLI, M. E.; MANFRA, P.; SORRENTINO, G.; BEZZE, E.; PLEVANI, L.; CAVALLARO, G.; RAFFAELI, G.; CRIPPA, B. L.; COLOMBO, L.; MORNIROLI, D.; LIOTTO, N.; ROGGERO, P.; VILLAMOR, E.; MARCHISIO, P.; MOSCA, F. Breastfeeding difficulties and risk for early breastfeeding cessation. **Nutrients**,

PubMed, Basel, v. 11, n. 10, p. 2266–2266, sep. 2019. ISSN 2072-6643. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31547061/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4a. ed. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224-3169-8.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. London, England: MIT Press, 2016. 800 p. ISBN 9780262035613.

GRINHAM, J.; KU, K. 4D Environments and Design: Prototyping Interactive Architecture. *In: MURPHY, A.; GOULTHORPE, M. (Ed.). **Proceedings of the 100th ACSA Annual Meeting Proceedings, Digital Aptitudes***. Washington, D.C.: ACSA Press, 2012. p. 68–75. ISBN 978-0-935502-81-7. Disponível em: <https://www.acsa-arch.org/proceedings/Annual%20Meeting%20Proceedings/ACSA.AM.100/ACSA.AM.100.8.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

HATCH, M. **The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers**. 1st. ed. New York: McGraw Hill LLC, 2013. 256 p. ISBN 9780071821131.

HOCHREITER, S.; SCHMIDHUBER, J. Long short-term memory. **Neural Computation**, MIT Press, Cambridge, v. 9, n. 8, p. 1735–1780, 1997.

ISHII, H.; ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *In: **Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems***. Atlanta, Georgia, USA: Association for Computing Machinery, 1997. (CHI '97), p. 234–241. ISBN 0897918029. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/258549.258715>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ISMAILOV, A. S.; JO'RAYEV, Z. B. Study of arduino microcontroller board. **Science and Education**, Open Science LLC, Lisbon, v. 3, n. 3, p. 172–179, 2022. ISSN 2181-0842.

KEHINDE, J.; O'DONNELL, C.; GREALISH, A. The effectiveness of prenatal breastfeeding education on breastfeeding uptake postpartum: A systematic review. **Midwifery**, Elsevier, London, v. 118, p. 103579, mar. 2023. ISSN 0266-6138. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266613822003278>. Acesso em: 15 out. 2024.

KONDAVEETI, H. K.; KUMARAVELU, N. K.; VANAMBATHINA, S. D.; MATHE, S. E.; VAPPANGI, S. A systematic literature review on prototyping with arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. **Computer Science Review**, Elsevier, Amsterdam, v. 40, p. 100364, 2021. ISSN 1574-0137. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574013721000046>. Acesso em: 20 nov. 2024.

KUANG, Y. A study on industrial product design system based on interaction design philosophy. *In: **2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design***. Wenzhou, China: IEEE, 2009. p. 232–235. ISBN 978-1-4244-5266-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CAIDCD.2009.5375134>. Acesso em: 20 nov. 2024.

LANO, K.; TEHRANI, S. Y. **Introduction to Software Architecture: Innovative Design using Clean Architecture and Model-Driven Engineering**. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland, 2023.

LECUN, Y.; BOTTOU, L.; BENGIO, Y.; HAFFNER, P. Gradient-based learning applied to document recognition. **Proceedings of the IEEE**, IEEE, New Jersey, v. 86, n. 11, p. 2278–2324, 1998.

LIU, J.; SUN, J.; WANG, S. Pattern recognition: An overview. **International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)**, New York, v. 6, n. 6, p. 57–61, jun. 2006. ISSN 1738-7906. Disponível em: http://paper.ijcsns.org/07_book/200606/200606A10.pdf. Acesso em: 22 nov. 2024.

MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8a. ed. São Paulo: Atlas, 2017. ISBN 978-85-970-1076-3.

MENCHETTI, L.; TRAINA, G.; TOMASELLO, G.; CASAGRANDE-PROIETTI, P.; LEONARDI, L.; BARBATO, O.; BRECCHIA, G. Potential benefits of colostrum in gastrointestinal diseases. **Frontiers in Bioscience (Scholar Edition)**, PubMed, Singapore, v. 1, n. 8, p. 331–351, jun. 2016. ISSN 1945-0524. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27100711/>. Acesso em: 18 set. 2024.

MEVISSSEN, S. **A wearable sensor system for eating event recognition using accelerometer, gyroscope, piezoelectric and lung volume sensors**. 2021, 105 f. Dissertação (Master's Degree in Biomedical Engineering) — Faculty of Science and Technology, University of Twente, Enschede, Netherlands, 2021.

MORAES, I. C. d.; SENA, N. d. L.; OLIVEIRA, H. K. F. d.; ALBUQUERQUE, F. H. S.; ROLIM, K. M. C.; FERNANDES, H. I. V. M.; SILVA, N. C. d. Percepção sobre a importância do aleitamento materno pelas mães e dificuldades enfrentadas no processo de amamentação. **Revista de Enfermagem Referência**, Coimbra, serV, p. e19065 – e19065, abr. 2020. ISSN 0874-0283. Disponível em: http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0874-02832020000200009&nrm=iso. Acesso em: 20 nov. 2024.

MOREIRA, I. A. T. **Sistema de Monitoramento Contínuo da Ingestão de Alimentos**. 2015, 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, 2015.

NASCIMENTO, J. V. B. do; NETO, M. M.; COUTINHO, E. F.; MOREIRA, L. O. Um levantamento sobre os aspectos técnicos dos principais riscos de segurança e ataques em aplicações web. **Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD)**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 1–12, jul. 2021. ISSN 2525-9555. Disponível em: <http://revistasmd.virtual.ufc.br/arquivos/volume-6/numero-1/rsmd-v6-n1-6.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

NEGROPONTE, N. **The Architecture Machine: Toward a More Human Environment**. 1st. ed. [s.l.]: The MIT Press, 1970. 164 p. ISBN 9780262368063.

NEGROPONTE, N. **Soft Architecture Machines**. 1st. ed. [s.l.]: The MIT Press, 1976. 140 p. ISBN 9780262367837.

NESHEIM, E. **Framing Embodiment in General-Purpose Computing: A study identifying key components in a multimodel general-purpose computational environment**. 2011, 93 f. Dissertação (Master's Degree in Humanistic Informatics) — Department of Linguistic, Literary and Aesthetic Studies, University of Bergen, Bergen, Norway, 2011.

NYLANDER, S.; THOLANDER, J. Community-based innovation among elite orienteers. *In: Proceedings of the 8th International Conference on Communities and Technologies*. Troyes, France: Association for Computing Machinery, 2017. (C&T '17), p. 87–95. ISBN 9781450348546. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3083671.3083696>. Acesso em: 20 nov. 2024.

O'SULLIVAN, D.; IGOE, T. **Physical computing**: sensing and controlling the physical world with computers. 1st. ed. Boston: Course Technology Press, 2004. 496 p. ISBN 1-59200-346-X.

PAN, T.; ZHU, Y. **Designing Embedded Systems with Arduino**: A Fundamental Technology for Makers. Singapore: Springer Singapore, 2018.

PANKEY, B. W.; BYRNE, C. J.; ACKERMAN, M. S.; ROHDE, M. M.; WILLIAMS, W. J. **Method for determining a rate of rain**. 2005. Disponível em: <https://patents.justia.com/patent/6892580>. Acesso em: 18 de jul. 2024.

PARMAR, A.; KATARIYA, R.; PATEL, V. A review on random forest: An ensemble classifier. *In: HEMANTH, J.; FERNANDO, X.; LAFATA, P.; BAIG, Z. (Ed.). International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (ICICI) 2018*. Coimbatore, India: Springer International Publishing, 2019. p. 758–763. ISBN 978-3-030-03146-6. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03146-6_86. Acesso em: 20 nov. 2024.

PEÑACOBÁ, C.; CATALA, P. Associations between breastfeeding and mother-infant relationships: A systematic review. **Breastfeeding Medicine**, PubMed, Nova York, v. 14, n. 9, p. 616–629, aug. 2019. ISSN 1556-8342. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31424264/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PEVZNER, M.; DAHAN, A. Mastitis while breastfeeding: Prevention, the importance of proper treatment, and potential complications. **Journal of Clinical Medicine**, PubMed, Basel, v. 9, n. 8, p. 2077–2083, jul. 2020. ISSN 1932-6203. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32707832/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PISNER, D. A.; SCHNYER, D. M. Chapter 6 - support vector machine. *In: MECHELLI, A.; VIEIRA, S. (Ed.). Machine Learning*. Academic Press, 2020. p. 101–121. ISBN 978-0-12-815739-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128157398000067>. Acesso em: 20 nov. 2024.

POSTGRESQL. **PostgreSQL - The World's Most Advanced Open Source Relational Database**. 2024. Disponível em: <https://www.postgresql.org/>. Acesso em: 30 mai. 2024.

PRZYBYLLA, M. Physical computing in computer science education. *In: Proceedings of the Tenth Annual Conference on International Computing Education Research*. Glasgow, Scotland, UK: Association for Computing Machinery, 2014. (ICER '14), p. 169–170. ISBN 9781450327558. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2632320.2632336>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PUCCINI, F. R. S. **Anatomofisiologia da sucção e deglutição do bebê em computação gráfica 3D como instrumento educacional**. 2016, 69 f. Dissertação (Mestre em Ciências no Programa de Fonoaudiologia) — Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, Brasil, 2016.

QUESADA, J. A.; MÉNDEZ, I.; MARTÍN-GIL, R. The economic benefits of increasing breastfeeding rates in Spain. **International Breastfeeding Journal**, PubMed, London, v. 4, n. 15, p. 34–34, may 2020. ISSN 1746-4358. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32366305/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

RADKE, S. M. Common complications of breastfeeding and lactation: An overview for clinicians. **Clinical Obstetrics and Gynecology**, Wolters Kluwer, Philadelphia, v. 65, n. 3, p. 524–537, sep. 2022. ISSN 1932-6203. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/GRF.0000000000000716>. Acesso em: 20 nov. 2024.

RIPLEY, B. D. **Pattern Recognition and Neural Networks**. 1st. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 403 p. ISBN 0-521-46086-7.

RODRIGUES, F. O. S.; SILVEIRA, J. V. F.; COSTA, M. S.; TORRES, G. N.; FARIA, I. M. Amamentação na prevenção do câncer de mama: revisão de literatura. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, São Paulo, v. 18, p. e5900, jan. 2021. ISSN 2595-7899. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reac.e5900.2021>. Acesso em: 19 abr. 2024.

ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological Review**, American Psychological Association, Washington, v. 65, n. 6, p. 386–408, 1958.

RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, Springer Nature Limited, Heidelberg, v. 323, n. 6088, p. 533–536, 1986.

SEQUEIRA, C. D. d. S. **Amamentação e Diabetes na Gravidez**. 2022, 56 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina) — Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal, 2022.

SILVA, A. A. d.; AMORIM, F. B. d.; ANDRADE, I. D. d.; SIQUEIRA, J. A.; SOUZA, L. V. G. d.; NASCIMENTO, R. d. S. **Alarme com sensor Piezoelétrico**. 2022, 24 f. Monografia (Curso Técnico em Eletrônica) — Etec Júlio de Mesquita, Santo André, 2022.

SILVA, A. E. F. **Modelação de um Software para Análise Qualitativa e Quantitativa da Deglutição Orofaríngea por Videofluoroscopia**. 2016, 100 f. Dissertação (Mestrado em Informática Médica) — Faculdade de Medicina e Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.

SILVA, I. F. **Análise de um Sensor Piezoelétrico na Aquisição de Sinais de Vibração da Pele do Pescoço (VPP)**. 2020, 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa, Brasil, 2020.

SILVA, S. F. **Aplicações da computação gráfica à engenharia biomédica: ensino em neurociências e ferramenta de apoio ao estudo da deglutição**. 2007, 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2007.

SMAGULOVA, K.; JAMES, A. P. A survey on lstm memristive neural network architectures and applications. **The European Physical Journal Special Topics**, Springer-Verlag GmbH Germany, Heidelberg, v. 228, p. 2313–2324, oct. 2019. ISSN 1951-6401. Disponível em: <https://doi.org/10.1140/epjst/e2019-900046-x>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. ISBN 978-85-7936-108-1.

SPADOTTO, A. A.; GATTO, A. R.; COLA, P. C.; SILVA, R. G. d.; SCHELP, A. O.; DOMENIS, D. R.; DANTAS, R. O. Componentes do sinal acústico da deglutição: estudo preliminar. **Jornal da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 218–222, mai. 2012. ISSN 2179-6491. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-64912012000300006>. Acesso em: 18 jul. 2024.

TANAKA, R.; HORIUCHI, S. Implementing an education program for nurse-midwives focused on early essential care for breast milk expression among mothers of preterm infants. **International Breastfeeding Journal**, PubMed, London, v. 16, n. 1, p. 47–47, jun. 2021. ISSN 1746-4358. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34174915/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. V. **Sistemas Distribuídos: Princípios e Paradigmas**. 2a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. ISBN 978-85-7605-142-8.

TIOBE. **TIOBE Index for May 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>. Acesso em: 30 mai. 2024.

VALLGÅRDA, A. K. A. **Computational Composites: Developing the Aesthetic Potential of Computational Technology**. 2009, 85 f. Tese (Doutorado) — IT University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, 2009.

VAPNIK, V. N. **The nature of statistical learning theory**. 2nd. ed. [s.l.]: Springer New York, 2013. 314 p. ISBN 978-1-4757-3264-1.

VYAS, B. Security challenges and solutions in java application development. **Eduzone - International Peer Reviewed/Refereed Multidisciplinary Journal**, New Delhi, v. 12, n. 2, p. 268–275, set. 2023. ISSN 2319-5045. Disponível em: <https://eduzonejournal.com/index.php/eiprmj/article/view/467>. Acesso em: 15 nov. 2024.

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2009. ISBN 978-85-352-3522-7.

WHO. **Global Breastfeeding Scorecard 2023**. 2023. 1-9 p. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/breastfeeding#tab=tab_1. Acesso em: 24 abr. 2024.

YILAK, G.; GEBRETSADIK, W.; TADESSE, H.; DEBALKIE, M.; BANTE, A. Prevalence of ineffective breastfeeding technique and associated factors among lactating mothers attending public health facilities of south ari district, southern ethiopia. **PLoS One**, PubMed, California, v. 15, n. 2, p. e0228863, feb. 2020. ISSN 1932-6203. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32045451/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ZHANG, S. Challenges in knn classification. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, IEEE, New Jersey, v. 34, n. 10, p. 4663–4675, 2022. ISSN 1558-2191. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TKDE.2021.3049250>. Acesso em: 21 dez. 2024.

ZHAO, X.; LI, X. The latest trends and challenges in enterprise application development with java. **Advances in Computer, Signals and Systems**, Guangdong, v. 8, n. 2, p. 44–50, mar. 2024. ISSN 2371-8838. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.23977/acss.2024.080207>. Acesso em: 25 dez. 2024.

APÊNDICE A – CARTILHA DO DATETÊ CARE



► POR QUE O DATETÊ CARE EXISTE?

Porque acreditamos que o cuidado com a amamentação vai além da alimentação: é sobre criar uma base sólida para o desenvolvimento saudável do seu bebê, com a certeza de que você está fazendo o melhor para ele. O Datetê Care nasceu para transformar as incertezas da amamentação em confiança, utilizando tecnologia de ponta para medir, com precisão, o quanto de leite o bebê ingere durante cada mamada.



MONITORAMENTO DA AMAMENTAÇÃO



CONFIANÇA EM CADA MAMADA.
PRECISÃO EM CADA GOTINHA

VISITE-NOS

RUA ALEGRE, 123, CIDADE BRASILEIRA
(12) 3456-7890
@GRANDESITE
OLA@GRANDESITE.COM.BR



ESTACIONAMENTO COM VAGAS PARA PCD.



MISSÃO

Ajudar mães e profissionais de saúde a monitorar o desenvolvimento da amamentação com precisão e segurança, promovendo uma experiência de cuidado completa, que une ciência, afeto e confiança.



VALORES

Confiança: Garantir a tranquilidade das mães e famílias com dados precisos sobre a amamentação.

- Tecnologia e Cuidado: Combinar inovação científica com o toque humano de carinho e afeto durante a amamentação.
- Desenvolvimento Saudável: Apoiar o desenvolvimento do bebê com base em informações confiáveis e adequadas.

O QUE É O DATETÊ CARE?

- Datetê Care é um aplicativo inovador que monitora a amamentação por meio do som da deglutição do bebê.
- Ele fornece dados em tempo real sobre o volume de leite ingerido, ajudando mães e profissionais a acompanharem o desenvolvimento nutricional do bebê.

PARA QUEM É O DATETÊ CARE?

- Mães e nutrízes: Para acompanhar a amamentação com mais segurança.
- Mães não nutrízes e cuidadores: Para apoiar o bebê na alimentação.
 - Profissionais de saúde: Para embasar avaliações clínicas e otimizar intervenções.

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS

- ✓ Monitoramento preciso baseado na ciência da deglutição.
- ✓ Interface intuitiva, fácil de usar.
- ✓ Relatórios personalizados para acompanhamento clínico.
- ✓ Apoio à amamentação, garantindo mais segurança para mães e bebês.

COMO USAR O DATETÊ CARE?

- 📲 **Acesse o Aplicativo**
 - ↳ Baixe na loja de apps e faça login.
 - ↳ Escolha o seu perfil (Mãe/Nutriz, Cuidador ou Profissional de Saúde).

- 👤 **Cadastre o Bebê**
 - ↳ Insira nome, idade e peso para personalizar o monitoramento.



- 📲 **Acesse o Aplicativo**
 - ↳ Baixe na loja de apps e faça login.
 - ↳ Escolha o seu perfil (Mãe/Nutriz, Cuidador ou Profissional de Saúde).

- 👤 **Cadastre o Bebê**
 - ↳ Insira nome, idade e peso para personalizar o monitoramento.

- 🔊 **Prepare-se para a Medição**
 - ↳ Posicione o bebê corretamente.
 - ↳ Silencie o ambiente para captar os sons da deglutição.
 - ↳ Conecte o dispositivo de captação ao celular.

- 🔍 **Inicie a Avaliação**
 - ↳ Pressione "Iniciar Gravação" e amamente normalmente.
 - 🔊 O app analisará os sons da deglutição e mostrará os dados em tempo real.

- 📊 **Análise os Resultados**
 - ↳ Volume ingerido (ml)
 - ↳ Duração da mamada
 - ↳ Eficiência da sucção (%)
 - ↳ Sugestões personalizadas para melhorar a pega e a alimentação.

- 📁 **Acompanhe o Histórico**
 - ↳ Acesse registros de mamadas anteriores.
 - ↳ Gere relatórios para compartilhar com profissionais de saúde.

- 🌐 **Personalize sua Experiência**
 - ↳ Ajuste configurações como idioma, unidades de medida e modo noturno.

BENEFÍCIOS DO DATETÊ CARE

- 1. Monitoramento Preciso**

A tecnologia do Datetê Care permite medir com precisão a quantidade de leite ingerida pelo bebê em cada mamada, fornecendo dados reais e confiáveis.
- 2. Clareza nas Mamadas**

O aplicativo ajuda a transformar dúvidas em certezas, proporcionando informações objetivas sobre o progresso da amamentação, tanto para os pais quanto para os profissionais de saúde.
- 3. Recomendações Personalizadas**

Com base nas informações de cada mamada, o Datetê Care oferece recomendações adaptadas para o desenvolvimento do bebê.
- 4. Recurso Educacional**

É uma ferramenta útil para profissionais de saúde, como pediatras e fonoaudiólogos, ajudando no aprendizado sobre amamentação e cuidados com o bebê.
- 5. Baixo Custo**

O Datetê Care é uma solução acessível, com tecnologia de qualidade, com impacto positivo no acompanhamento da amamentação.
- 6. Suporte à Pesquisa Científica**

O aplicativo pode ser utilizado como fonte de dados para estudos científicos, contribuindo para o avanço do conhecimento na área.
- 7. Fácil de Usar**

Com uma interface simples e intuitiva, o aplicativo é fácil de utilizar, tornando o processo de monitoramento da amamentação prático para os pais.