

IFSP - INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO - CAMPUS CAMPINAS
CURSO DE INFORMÁTICA INTEGRADO AO ENSINO MÉDIO

R. Heitor Lacerda Guedes, 1000 - Cidade Satélite Íris, Campinas - SP, 13059-581

RELATÓRIO DO PROJETO

pHIA: APLICATIVO DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE FITAS DE PH COM IA

ALUNOS:

JOÃO VITOR R. DO NASCIMENTO

VICENTE DOS SANTOS SILVA

VICTOR HUGO MONTANARI DIAS

ORIENTADOR:

MÁRCIO ANDRÉ MIRANDA

INÍCIO: 02/2025 - FIM: 10/2025

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	1
2. INTRODUÇÃO.....	2
3. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	3
3.1. Fundamentação Teórica.....	3
3.2. Objetivos.....	6
3.2.1. Objetivo Geral.....	6
3.2.2. Objetivos Específicos.....	6
4. CRONOGRAMA EXECUTADO.....	7
5. MATERIAIS E METODOLOGIA.....	8
5.1. Delineamento da Pesquisa.....	8
5.2. Metodologia de Gestão do Projeto.....	8
5.3. Coleta de Dados e Criação do Dataset.....	10
5.3.1. Materiais Utilizados:.....	10
5.3.2. Procedimento Experimental:.....	10
5.4. Desenvolvimento da Solução Tecnológica.....	12
5.4.1. Arquitetura do Sistema.....	12
5.4.2. Backend e Inteligência Artificial.....	13
5.4.3. Aplicativo Móvel (Front-end).....	14
5. RESULTADOS DO PROJETO.....	18
5.1. Validação do Pipeline de Processamento de Imagem.....	18
5.2. Desempenho do Modelo de Inteligência Artificial.....	19
5.3. Resultado Final: O Aplicativo pHIA.....	20
6. CONCLUSÃO.....	22
6.1. Próximos Passos e Trabalhos Futuros.....	22
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: pHIA Scrum na visualização de Sprint.....	9
Figura 2: Detalhes de uma tarefa (issue) no Notion, exibindo seus atributos.....	9
Figura 3: Bancada do laboratório durante a coleta de dados, exibindo o pHmetro, as soluções e as fitas.....	11
Figura 4: Papel Indicador de pH 0-14 da marca Macherey-Nagel.....	12
Figura 5: Diagrama da arquitetura MVP (Minimum Viable Product) do sistema pHIA.....	13
Figura 6: Diagrama da pipeline da Inteligência Artificial.....	14
Figura 7: Tela de captura do aplicativo pHIA com a sobreposição para alinhamento da fita.....	16
Figura 8: Tela de resultados exibindo o valor de pH predito e a opção de salvar no histórico....	17
Figura 9: Sequência de imagens demonstrando as etapas do pipeline.....	19
Figura 10: Mosaico de screenshots das telas principais do aplicativo pHIA.....	21

1. RESUMO

O projeto pHIA foi desenvolvido em resposta à necessidade de aprimorar a análise de dados obtidos com fitas indicadoras de pH, cujo método tradicional de validação visual apresenta limitações de precisão e acessibilidade, especialmente para pessoas com daltonismo. O objetivo do projeto foi promover uma alternativa precisa e de baixo custo, permitindo que usuários realizem a análise de pH por meio da câmera de seus smartphones. Para alcançar esse propósito, foi desenvolvido um aplicativo multiplataforma utilizando React Native, que captura imagens das fitas indicadoras, e um sistema de Inteligência Artificial (IA) em Python. A IA processa as imagens seguindo um pipeline definido: remoção de fundo, balanceamento de cores com base na área branca da fita e extração dos valores de cor RGB dos quatro quadrados indicadores pelo método da mediana. Os modelos preditivos foram treinados a partir de um dataset próprio, gerado em laboratório por meio de titulação ácido-base, com valores de pH aferidos por um pHmetro digital para garantir a calibração. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da solução, criando um método robusto para reduzir erros de leitura, muitas vezes provocados pelo próprio fabricante, em que a própria escala da fita indicadora difere do valor real medido em pHmetro. Além disso, o método foi capaz de democratizar o acesso e estimular o uso de tecnologias digitais no ensino de ciências e em aplicações práticas na indústria. O projeto encontra-se finalizado em sua primeira versão, validando seu potencial de impacto positivo no monitoramento de pH.

Palavra-Chave: pH; Medição; Acessibilidade; Aplicativo; Inteligência artificial; Fitas indicadoras.

2. INTRODUÇÃO

A medição do potencial hidrogeniônico (pH) é um procedimento fundamental em diversas áreas do conhecimento, como na química, biologia, agronomia e em inúmeros processos industriais. O conceito, introduzido por Sorenson em 1909, estabelece uma escala logarítmica que quantifica a acidez ou basicidade de uma solução aquosa, sendo crucial para o controle de qualidade na indústria alimentícia (ALI et al., 2018), no monitoramento ambiental de corpos d'água (MONTEMAYOR; PRICE; ROCHEFORT, 2015), em análises clínicas para diagnósticos de saúde e em práticas agrícolas para o manejo do solo (TAN; FANARAS, 2019).

Dentre os métodos disponíveis para a medição de pH, as fitas indicadoras representam uma das ferramentas mais acessíveis e utilizadas, especialmente em contextos educacionais e em análises de campo, devido ao seu baixo custo e simplicidade de uso. O funcionamento dessas fitas se baseia na impregnação de um papel poroso com substâncias indicadoras ácido-base que mudam de cor em resposta a diferentes valores de pH. A determinação do resultado ocorre através da comparação visual da cor obtida na fita com uma escala de cores padrão fornecida pelo fabricante.

Apesar de sua ampla utilização, este método de análise visual possui limitações intrínsecas que podem comprometer a precisão dos resultados. A interpretação das cores é um processo subjetivo, dependente da percepção cromática individual, da iluminação do ambiente e da qualidade da escala de referência, além de que ocasionalmente os referenciais presentes nas embalagens das fitas diferem do valor real do pH. Tais fatores podem levar a erros de leitura e a uma baixa reprodutibilidade dos dados. Adicionalmente, a escala discreta das fitas, geralmente com intervalos de uma unidade de pH, impede a obtenção de valores intermediários precisos. Uma limitação ainda mais crítica se apresenta para pessoas com daltonismo (dicromacia ou tricromacia anômala), para as quais a distinção entre as cores da escala pode ser extremamente difícil ou impossível, criando uma barreira de acessibilidade em atividades científicas e educacionais.

Diante desse cenário, o projeto pHIA foi desenvolvido com o objetivo de superar tais desafios, propondo uma solução tecnológica que une a praticidade das fitas

indicadoras com a precisão da análise digital. Por meio de um aplicativo móvel e de algoritmos de Inteligência Artificial, o projeto buscou criar um método de baixo custo para a análise de pH que fosse ao mesmo tempo mais preciso, objetivo e acessível. Este relatório descreve todas as etapas do desenvolvimento dessa solução, desde a fundamentação teórica e a coleta de dados em laboratório até a construção do software e a validação dos resultados obtidos.

3. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Para guiar o desenvolvimento do projeto e assegurar que o problema de pesquisa fosse abordado de forma estruturada, foram definidos uma fundamentação que viabilizou e guiou os processos de desenvolvimento da solução, além do objetivo geral e uma série de objetivos específicos.

3.1. Fundamentação Teórica

Atualmente, medir o pH de soluções é uma prática presente em diversas áreas do conhecimento e do cotidiano. A simplicidade do processo por meio de fitas indicadoras de pH o torna uma ferramenta amplamente utilizada por pessoas que buscam métodos práticos, rápidos e de baixo custo para esse tipo de análise. A interpretação correta do valor de pH é necessária para garantir a eficácia de processos, a segurança de substâncias e a qualidade dos produtos, este fator é exemplificado no estudo de Aoi e Marunaka (2014), que em seu estudo relata que a manutenção do pH fisiológico dos fluidos corporais depende de mecanismos específicos de transporte de prótons, sendo essencial para a função celular adequada e prevenção de doenças metabólicas. Isso evidencia o papel crítico do pH em processos biológicos fundamentais e justifica a importância de métodos precisos de sua determinação em diferentes contextos.

Para compreender a relevância dessa medição, é necessário entender o que o pH representa e como é interpretado. O pH é uma medida logarítmica que indica a acidez ou alcalinidade de uma substância, variando em uma escala de 0 a 14. Soluções com pH inferior a 7 são consideradas ácidas, enquanto aquelas com pH superior a 7 são classificadas como básicas; o valor 7 corresponde a soluções neutras. Por se tratar

de uma escala logarítmica de base 10, pequenas variações numéricas representam alterações significativas na concentração de íons hidrogênio (H^+) presentes na solução. Como destacam Behbahani et al. (2022), mesmo mudanças sutis no pH em microambientes, como biofilmes formados em dispositivos médicos, podem comprometer a eficácia de tratamentos antimicrobianos, evidenciando a importância de medições precisas. Essa necessidade de precisão justifica, portanto, a escolha por métodos de análise que considerem ao menos uma casa decimal na leitura do pH.

Apesar de práticos e de baixo custo, os métodos tradicionais de medição com fitas de pH apresentam limitações significativas que comprometem a precisão. A interpretação visual das cores é subjetiva, diretamente influenciada pela iluminação ambiente (Xiong et al., 2024) e pode gerar erros de até 2 unidades de pH, segundo Elsenety et al. (2022). Essa imprecisão é agravada pela dificuldade de leitura por pessoas com daltonismo e pela incapacidade das fitas de registrarem valores decimais — cruciais em uma escala logarítmica. Tais desafios motivaram o desenvolvimento de soluções tecnológicas que, ao integrarem aprendizado de máquina a dispositivos móveis, promovem medições mais exatas e acessíveis mesmo para usuários não especializados.

Como alternativa, surge o uso de dispositivos móveis combinados com técnicas de Machine Learning, que unem a acessibilidade e o baixo custo das fitas com a precisão dos algoritmos de aprendizado de máquina treinados através de escalas utilizando pHmetros. Nessa abordagem, o usuário capta a imagem da fita com a câmera do smartphone, e o aplicativo analisa a cor utilizando valores RGB para estimar com precisão o pH da solução. Segundo Elsenety et al. (2022), essa abordagem oferece alta exatidão, baixo custo, ampla aplicabilidade e não requer manutenção, tornando-se uma solução promissora, especialmente para ambientes educacionais e experimentação prática em campo, como demonstrado no próprio estudo, que descreve o desenvolvimento de um aplicativo capaz de prever valores de pH com elevada precisão por meio da análise digital de imagens.

Recentemente, sistemas colorimétricos para predição estão sendo desenvolvidos em massa, assim como o modelo de Tonon (2024), que desenvolveu sensores em papel associados a um software próprio de colorimetria digital. Tal combinação permite

a análise direta em campo com resultados comparáveis aos obtidos por métodos laboratoriais convencionais. O uso de câmeras comuns, como as de smartphones, para capturar a coloração resultante nas zonas reativas dos sensores demonstra como a análise de imagem tem se tornado uma ferramenta robusta e acessível, dispensando o uso de equipamentos fotométricos sofisticados. Além disso, os algoritmos utilizados no processamento das imagens foram ajustados para reduzir interferências de iluminação, o que contribui para a confiabilidade dos dados obtidos.

De forma análoga à criação de sistemas preditivos de colorimetria, a integração de tecnologias móveis no ensino de química tem se mostrado uma ferramenta poderosa, como demonstra o trabalho de Yu et al. (2023), que desenvolveu um aplicativo para quantificar fitas de pH em smartphones. Embora sua solução não utilizasse Inteligência Artificial e possuísse limitações de predição, provou ser uma alternativa de baixo custo aos pHmetros convencionais, além de superar barreiras de acessibilidade ao converter cores em valores numéricos para estudantes com daltonismo. Inspirado por essa abordagem, o presente projeto adota princípios similares de análise de imagem, mas busca avançar na precisão e aplicabilidade da tecnologia, oferecendo uma solução robusta para ambientes não laboratoriais.

Por outro lado, a utilidade de aplicativos móveis para medição de pH não se restringe ao âmbito educacional, mas estende-se a aplicações clínicas e de monitoramento domiciliar, reforçando a confiabilidade dessas soluções digitais. Um exemplo notável é o estudo de López et al. (2022), que avaliou a aceitação e eficácia do Lit-Control pH Meter e do aplicativo myLit-Control para monitoramento urinário em pacientes com urolitíase. Eles ressaltam que os resultados demonstraram alta adesão (73% dos pacientes registraram valores regularmente) e satisfação (pontuação média de 6.0 em 7 no questionário de usabilidade), comprovando que soluções móveis podem substituir métodos tradicionais com precisão e praticidade.

A análise da literatura demonstra um consenso sobre a necessidade de modernizar a medição de pH por fitas indicadoras, superando as limitações de subjetividade, precisão e acessibilidade do método visual tradicional. Estudos como os de Yu et al. (2023) e López et al. (2022) validam o uso de aplicativos móveis como uma alternativa viável, de baixo custo e alta aceitação. Neste contexto, o projeto pHIA se

insere não apenas como uma aplicação desses princípios já consolidados, mas como um avanço ao integrar modelos de Inteligência Artificial para refinar a análise colorimétrica. A fundamentação teórica aqui apresentada estabelece a base para o desenvolvimento de uma solução robusta e inovadora, além de demonstrar a relevância do projeto em corrigir uma fragilidade no mercado vinculada a precisão, cujo detalhamento metodológico será explorado nas seções a seguir.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um aplicativo móvel multiplataforma que, utilizando a câmera do dispositivo e um modelo de Inteligência Artificial, seja capaz de determinar o valor do pH a partir de imagens de fitas indicadoras de forma precisa, objetiva e acessível, superando as limitações do método de análise visual.

3.2.2. Objetivos Específicos

Para a consecução do objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão bibliográfica aprofundada sobre métodos de medição de pH, visão computacional aplicada à colorimetria e desenvolvimento de aplicativos móveis.
- Coletar um dataset robusto e controlado de imagens de fitas de pH em laboratório, utilizando o método de titulação ácido-base para gerar uma ampla gama de valores de pH, aferidos com um pHmetro digital para garantir a calibração.
- Desenvolver um pipeline de processamento de imagem para padronizar as fotos capturadas, incluindo etapas de remoção de fundo, balanceamento de cores e

extração automatizada dos valores de cor (RGB) dos quadrados indicadores da fita.

- Treinar, avaliar e otimizar diferentes modelos de regressão de Inteligência Artificial para prever o valor de pH com base nos dados de cor extraídos.
- Desenvolver a interface do aplicativo móvel (front-end) em React Native, focando em uma experiência de usuário intuitiva e acessível.
- Implementar o sistema de backend em Python para receber as imagens, executar o pipeline de processamento e o modelo de IA, e retornar o valor de pH predito.
- Validar a precisão e a usabilidade da solução proposta, comparando os resultados do aplicativo com as leituras de um pHmetro profissional.

4. CRONOGRAMA EXECUTADO

Etapa	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Definição do tema	x								
Pesquisa bibliográfica	x	x	x	x					
Implementação de algoritmos de processamento de imagem				x	x	x	x	x	
Disponibilizar algoritmos para consumo no aplicativo							x	x	x
Validação dos resultados retornados pela IA		x	x	x	x				
Prototipação do aplicativo			x	x	x				
Programação do aplicativo					x	x	x	x	x
Apresentação na feira									x

5. MATERIAIS E METODOLOGIA

Esta seção descreve detalhadamente todos os procedimentos adotados para a concepção, desenvolvimento e validação da solução pHIA. A metodologia foi dividida em etapas que abrangem desde a gestão do projeto e a coleta de dados em laboratório até o desenvolvimento da arquitetura de software, do backend com Inteligência Artificial e do aplicativo móvel.

5.1. Delineamento da Pesquisa

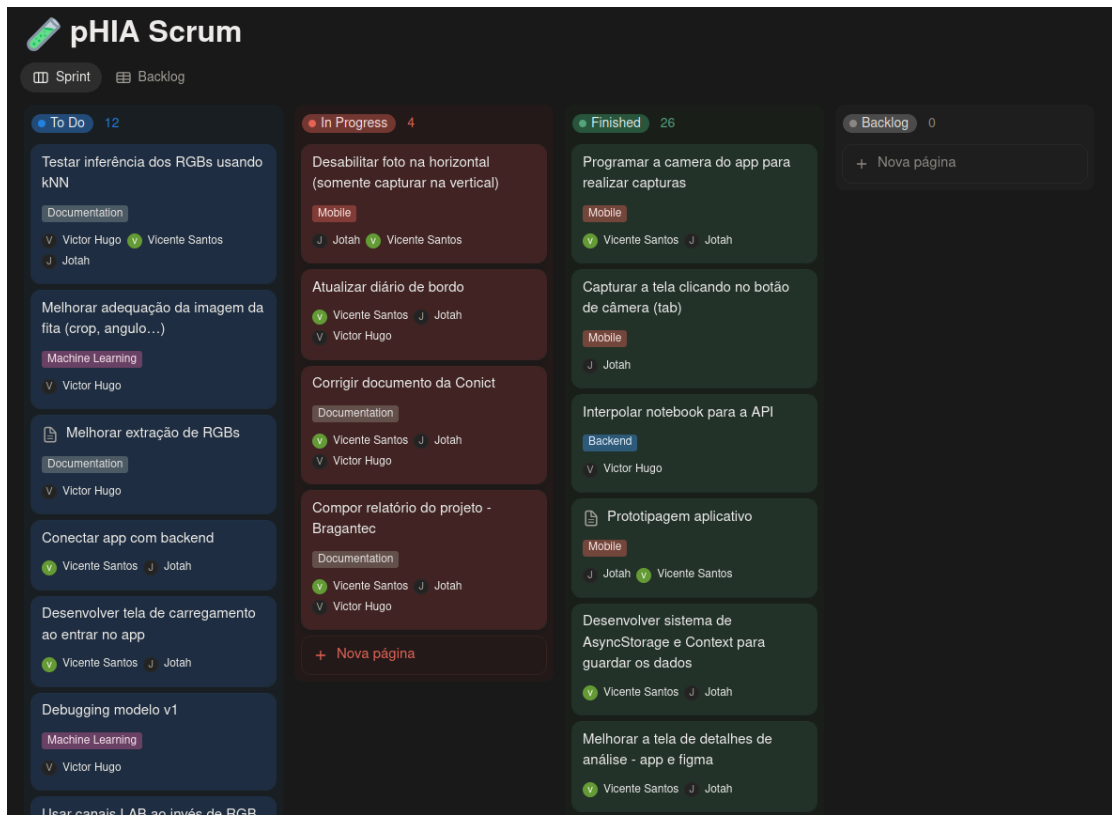
A pesquisa caracterizou-se como aplicada, descritiva e experimental, com uma abordagem quantitativa. O método científico foi a base para a validação e análise dos resultados obtidos a partir do desenvolvimento e teste do sistema inteligente de medição de pH. O estudo teve como objetivo principal avaliar a viabilidade do uso de fitas indicadoras de pH em conjunto com técnicas de *machine learning* e redes neurais artificiais como uma alternativa precisa e de baixo custo aos pHmetros.

5.2. Metodologia de Gestão do Projeto

Para garantir a organização e a eficiência do desenvolvimento, adotou-se como inspiração a metodologia ágil Scrum. O trabalho foi estruturado em sprints semanais, com as tarefas sendo definidas e atribuídas durante reuniões de planejamento que ocorriam todas as quartas-feiras. Para a gestão e o acompanhamento das tarefas (tasks), foi utilizada a plataforma Notion. Nela, foi configurado um quadro com duas visualizações principais: um Sprint Board em colunas (To Do, In Progress, Finished) e um Backlog em formato de tabela para tarefas futuras.

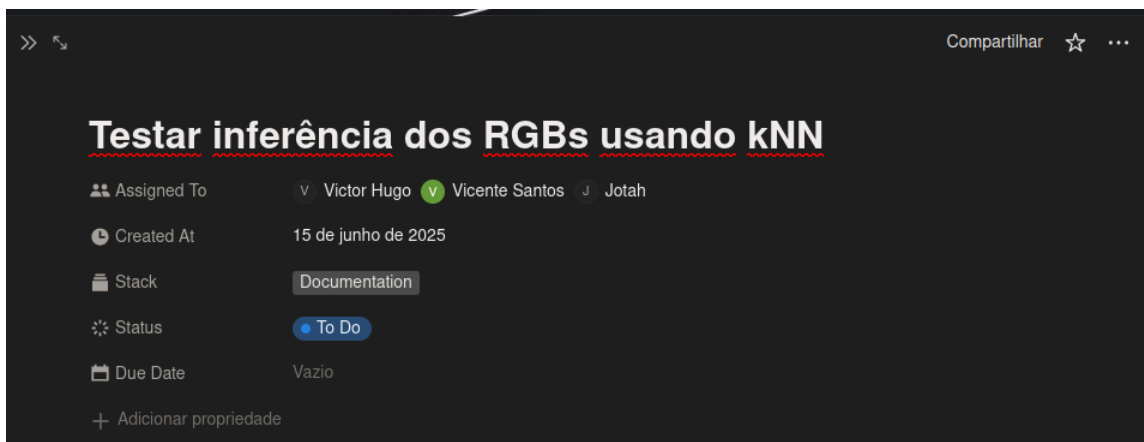
Cada tarefa continha campos detalhados como descrição, status, stack tecnológica (Mobile, Backend, Machine Learning, DevOps, Documentation), responsável e datas de criação e entrega, permitindo um controle claro do progresso do projeto.

Figura 1: pHIA Scrum na visualização de Sprint.



Fonte: Do autor

Figura 2: Detalhes de uma tarefa (issue) no Notion, exibindo seus atributos.



Fonte: Do autor

5.3. Coleta de Dados e Criação do Dataset

A criação de um dataset de alta qualidade foi a etapa fundamental para o treinamento da Inteligência Artificial. Este procedimento foi realizado integralmente no laboratório de química do IFSP - Campus Campinas.

5.3.1. Materiais Utilizados:

- Papel indicador de pH universal 0-14 (marca Macherey-Nagel).
- pHmetro digital de bancada, previamente calibrado.
- béqueres, buretas, pipetas graduadas e provetas.
- Soluções de Ácido Clorídrico (HCl) e Hidróxido de Sódio (NaOH), ambos em diferentes concentrações.
- Smartphone para captura das imagens em condições de iluminação controlada.

5.3.2. Procedimento Experimental:

- O método empregado para gerar um espectro controlado de valores de pH foi a titulação ácido-base.
- Iniciou-se com uma solução ácida de HCl, e a base (NaOH) foi adicionada gradualmente, gota a gota, para elevar o pH de forma controlada.
- A cada incremento, a solução era homogeneizada e a medição do pH era realizada simultaneamente com dois instrumentos: o pHmetro digital, que fornecia o valor de referência preciso, e a fita indicadora Macherey-Nagel.
- Imediatamente após a imersão da fita, uma fotografia era capturada com o smartphone, mantendo uma distância e iluminação padronizadas para garantir a consistência do dataset.
- Este processo foi repetido de forma a cobrir a maior faixa possível da escala de pH, gerando um conjunto de imagens onde cada uma estava rigorosamente associada a um valor de pH medido pelo pHmetro. Conforme registrado no diário de bordo, notou-se uma maior dificuldade em alcançar valores de pH extremamente básicos (acima de 13) com essa lógica de iniciar com uma solução ácida, um fator considerado na análise de desempenho do modelo.

Figura 3: Bancada do laboratório durante a coleta de dados, exibindo o pHmetro, as soluções e as fitas.



Fonte: Do autor

Figura 4: Papel Indicador de pH 0-14 da marca Macherey-Nagel.



Fonte: Do autor

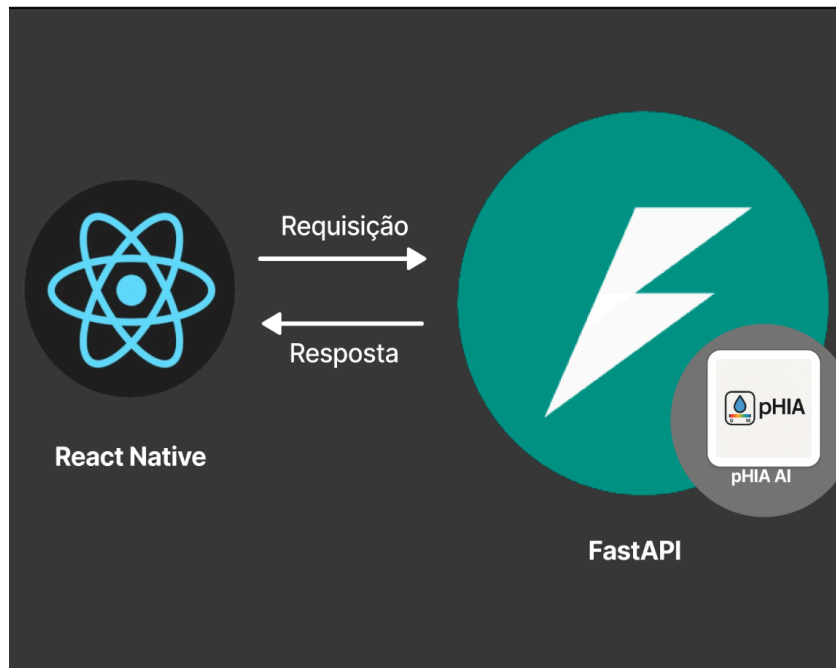
5.4. Desenvolvimento da Solução Tecnológica

Com o dataset coletado, iniciou-se o desenvolvimento do software, que foi dividido em backend (servidor e IA) e front-end (aplicativo móvel).

5.4.1. Arquitetura do Sistema

O projeto foi estruturado em uma arquitetura cliente-servidor, seguindo os princípios RESTful. Esta abordagem separou as responsabilidades: o aplicativo móvel (cliente) é responsável pela captura da imagem e interação com o usuário, enquanto o servidor (backend) concentra o processamento pesado, incluindo a execução do pipeline de IA. Essa separação garantiu que o aplicativo permanecesse leve e compatível com uma gama maior de dispositivos, além de facilitar a manutenção e futuras atualizações do modelo de IA sem a necessidade de atualizar o app.

Figura 5: Diagrama da arquitetura MVP (Minimum Viable Product) do sistema pHIA.



Fonte: Do autor

5.4.2. Backend e Inteligência Artificial

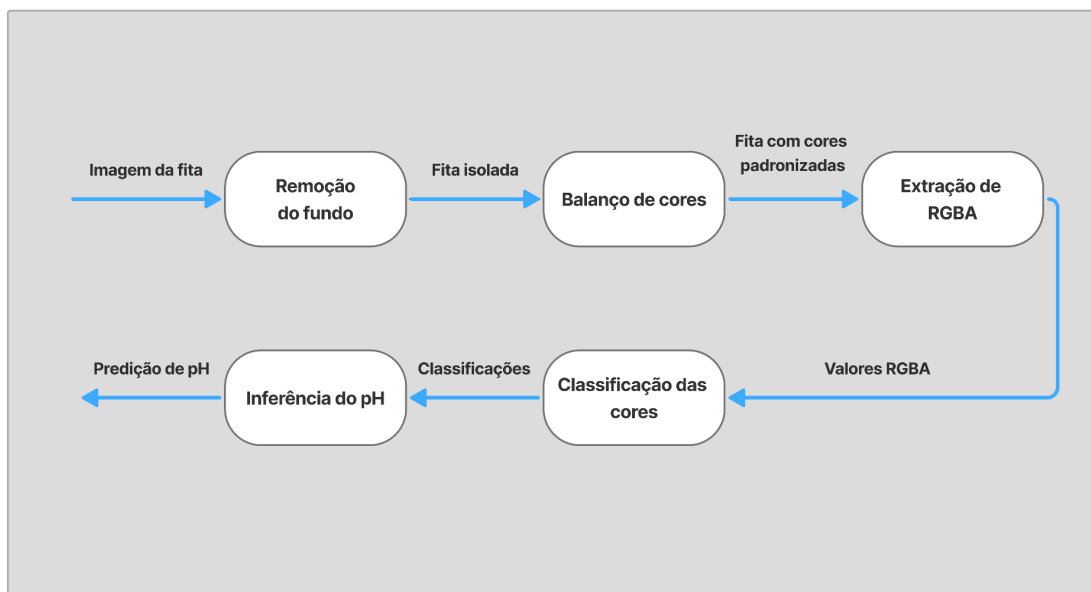
O cérebro do sistema foi desenvolvido em Python, utilizando um conjunto de bibliotecas especializadas em visão computacional e machine learning. O processo de inferência do pH a partir de uma imagem segue um pipeline automatizado:

- **Recepção da Imagem:** O backend, construído com o framework FastAPI, disponibiliza um endpoint HTTP que recebe a imagem enviada pelo aplicativo.
- **Remoção de Fundo:** Para isolar a fita de pH, foi utilizada uma rede neural U²-Net pré-treinada, que remove o fundo da imagem, evitando interferências.
- **Balanceamento de Cores:** A área branca da fita (não reagente) foi usada como ponto de referência para um balanceamento de branco programático, corrigindo pequenas variações de iluminação e garantindo a fidelidade das cores.
- **Extração das Cores:** Utilizando OpenCV e NumPy, foi implementado um algoritmo para localizar os quatro quadrados de reação da fita. Para cada

quadrado, em vez de uma média simples, calculou-se a cor mediana dos pixels, uma abordagem mais robusta a ruídos e pequenas imperfeições.

- **Predição do pH:** Os quatro valores de cor extraídos em RGB são então inseridos em uma Rede Neural Artificial (ANN) de regressão, desenvolvida com Keras e TensorFlow. Este modelo, treinado com o dataset coletado em laboratório, retorna o valor de pH final.
- **Armazenamento e Resposta:** O resultado da predição é armazenado localmente no celular do usuário e, em seguida, exibido para ele em seu aplicativo.

Figura 6: Diagrama da pipeline da Inteligência Artificial.



Fonte: Do autor

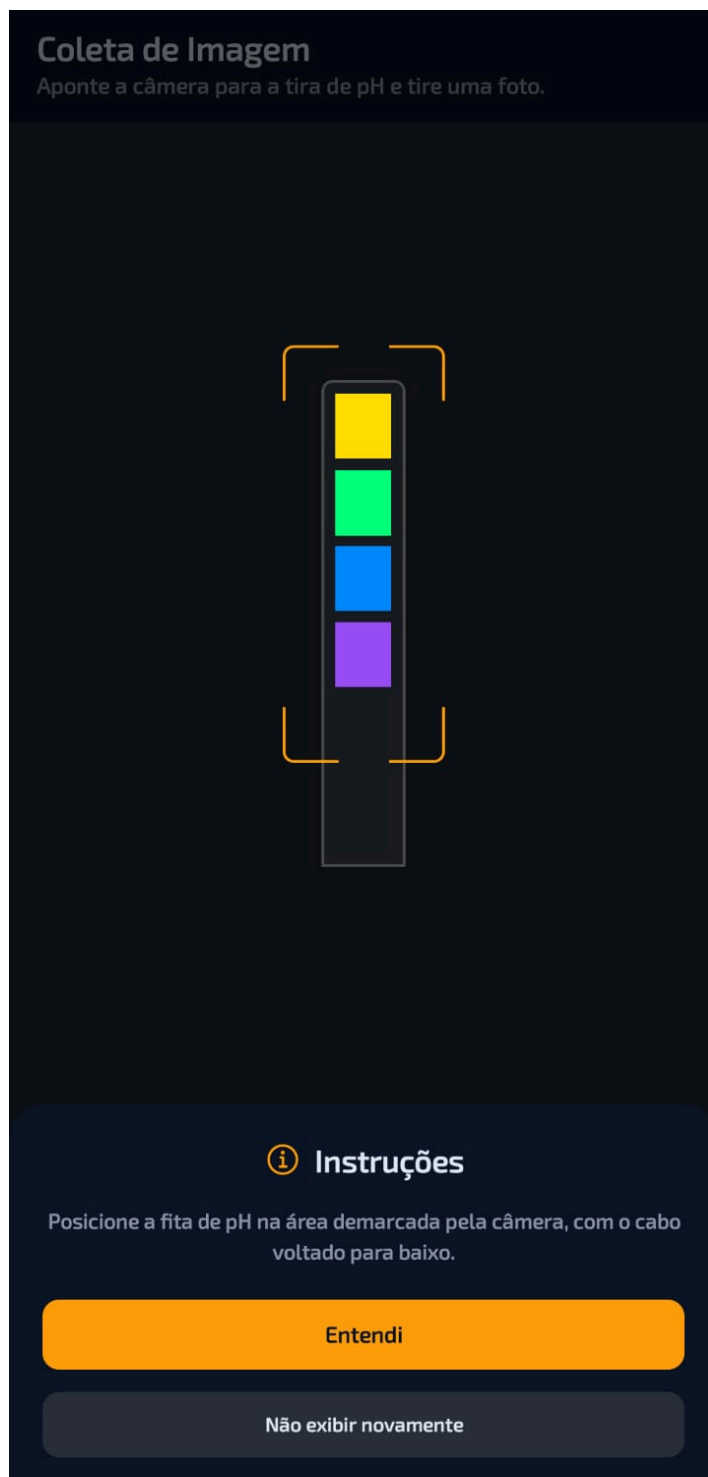
5.4.3. Aplicativo Móvel (Front-end)

O aplicativo foi desenvolvido utilizando React Native e Expo, permitindo a criação de uma base de código única para os sistemas Android e iOS. A escolha se deu pela agilidade no desenvolvimento e pela vasta comunidade de suporte.

Funcionalidades Implementadas:

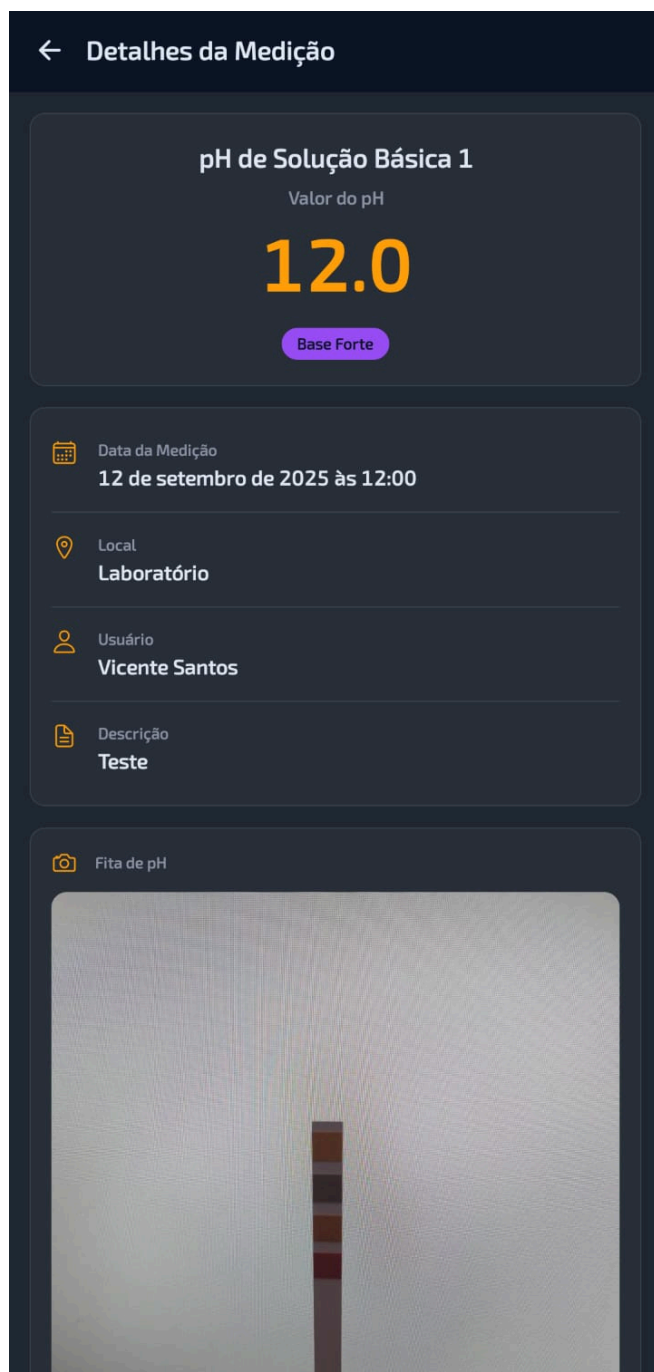
- Tela de Captura: A interface da câmera foi equipada com uma sobreposição gráfica para guiar o usuário a posicionar a fita de pH corretamente, garantindo o enquadramento ideal para a análise.
- Comunicação com o Backend: Após a captura, o aplicativo envia a imagem para o servidor FastAPI e exibe uma animação de carregamento enquanto aguarda a resposta.
- Exibição de Resultados: O valor de pH retornado pelo servidor é exibido de forma clara e objetiva para o usuário.
- Histórico de Medições: Foi implementada uma funcionalidade de histórico local, permitindo ao usuário salvar e consultar suas medições anteriores.
- Evolução da Interface: Durante o desenvolvimento, percebeu-se que o design inicial era pouco intuitivo. Com base nisso, foi realizada uma refatoração completa da estilização da interface (UI/UX), das cores, e do logotipo, resultando em um design mais moderno, limpo e com uma usabilidade aprimorada.

Figura 7: Tela de captura do aplicativo pHIA com a sobreposição para alinhamento da fita



Fonte: Do autor

Figura 8: Tela de resultados exibindo o valor de pH predito e a opção de salvar no histórico.



Fonte: Do autor

5. RESULTADOS DO PROJETO

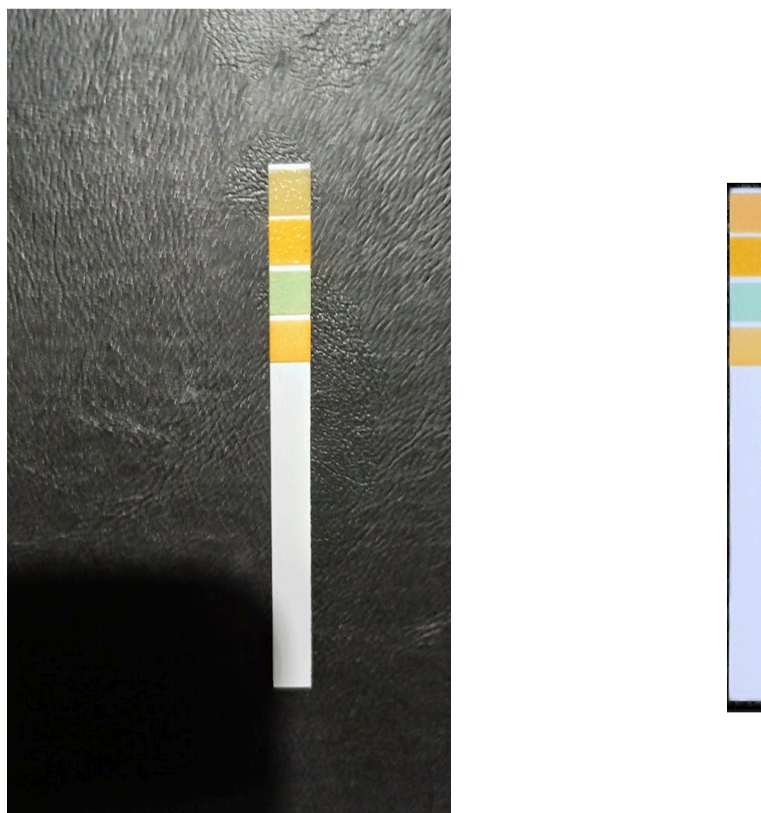
Esta seção apresenta os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto pHIA, abrangendo desde a validação do processamento de imagem até a avaliação quantitativa do modelo de Inteligência Artificial e a análise qualitativa do aplicativo móvel desenvolvido.

5.1. Validação do Pipeline de Processamento de Imagem

O primeiro resultado tangível do projeto foi a implementação bem-sucedida de um pipeline automatizado para o pré-processamento e extração de dados das imagens. A eficácia de cada etapa foi validada visualmente, garantindo que a informação de cor enviada ao modelo de IA fosse a mais limpa e precisa possível. O processo completo pode ser observado na sequência de imagens abaixo:

- **Captura Original:** A imagem é capturada pelo usuário através do aplicativo.
- **Remoção de Fundo:** O modelo U²-Net isola a fita de pH, eliminando ruídos visuais do ambiente que poderiam interferir na análise de cor.
- **Extração de Cores:** O algoritmo desenvolvido localiza os quatro quadrados reativos e, conforme definido na metodologia, calcula a mediana dos valores de cor de cada um, resultando em quatro valores de cor representativos que servirão de entrada para o modelo de IA.

Figura 9: Sequência de imagens demonstrando as etapas do pipeline.



	A	B	C	D
1	Color	R	G	B
2	Q1	233	183	109
3	Q2	235	178	43
4	Q3	166	219	217
5	Q4	232	196	111

Fonte: Do autor

Este pipeline se mostrou robusto e essencial para padronizar as análises, independentemente das diferentes condições de captura do usuário.

5.2. Desempenho do Modelo de Inteligência Artificial

Após o treinamento com o dataset coletado em laboratório, o modelo de regressão de Rede Neural Artificial (ANN) foi avaliado quanto à sua capacidade de

predizer valores de pH. A performance do modelo foi analisada comparando os valores preditos pelo pHIA com os valores reais medidos pelo pHmetro digital (ground truth).

Inicialmente o que fomos capazes de fazer foi capacitar o modelo para retornar intervalos resultados, em nossa etapa de treino com o dataset programamos o retorno de intervalos de 1,5 em 1,5.

Uma amostra dos resultados comparativos pode ser observada na tabela abaixo, demonstrando a alta correlação entre as medições.

Tabela 1: Comparação entre valores de pH medidos com o pHmetro e os valores preditos pelo aplicativo pHIA para uma amostra de testes.

Amostra	pH Real (pHmetro)	pH Predito no pHIA)
1	3.39	2.50 - 4.00
2	4.33	4.00 - 5.50
3	6.25	5.50 - 7.00
4	8.05	7.00 - 8.50
5	9.90	10.00 - 11.50

Fonte: Do autor

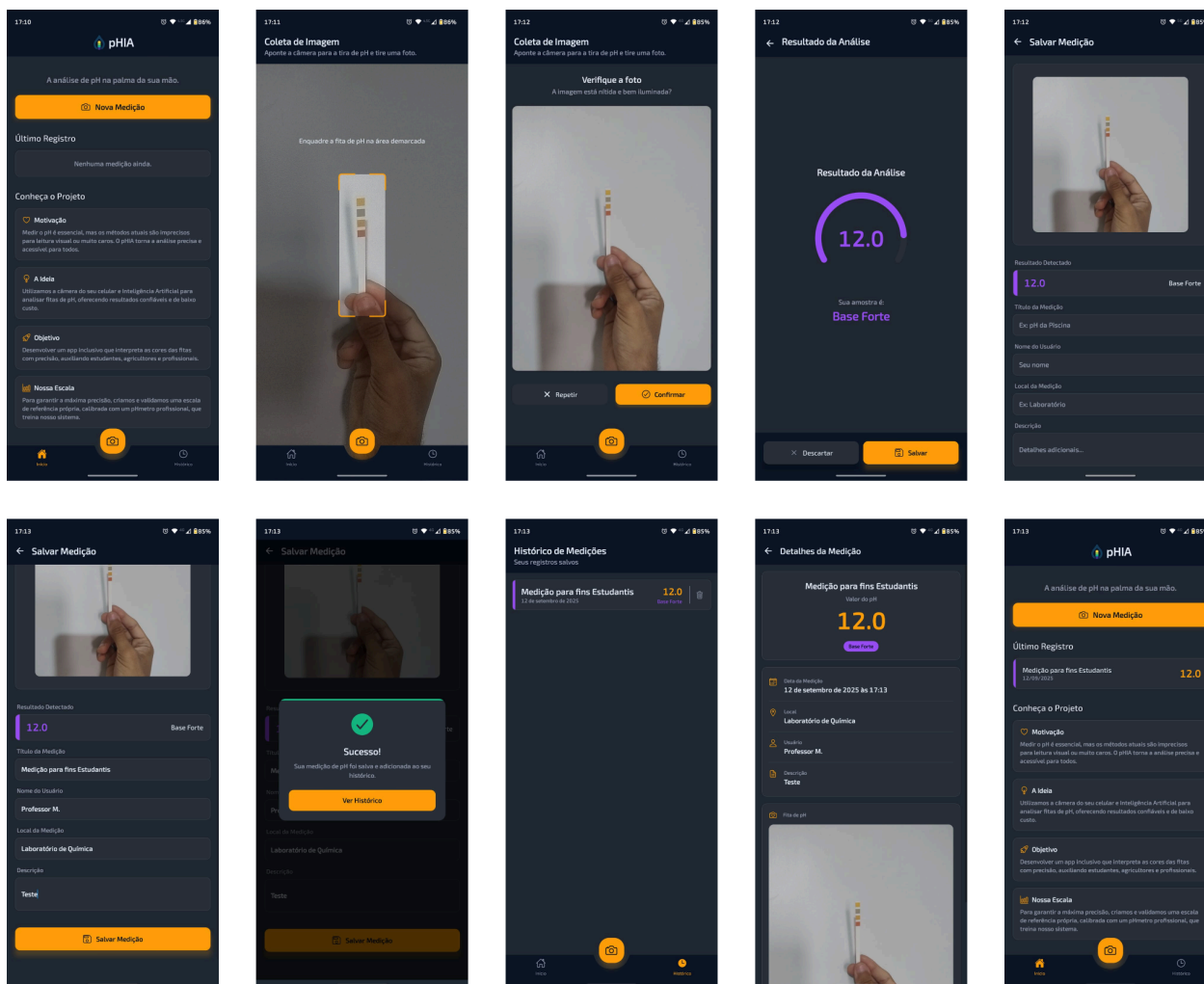
O modelo final alcançou um resultado esperado, sendo capaz de identificar os intervalos corretos, as predições do aplicativo pHIA desviaram apenas em valores muito próximos de outros intervalos. Este resultado é significativamente mais preciso que a análise visual humana, que pode apresentar erros de até 2.0 unidades de pH, como apontado por Elsenety et al. (2022).

5.3. Resultado Final: O Aplicativo pHIA

O resultado final do projeto é um aplicativo móvel funcional e intuitivo. Conforme apontado no diário de bordo, a interface do usuário (UI) passou por uma refatoração completa durante o desenvolvimento, resultando em um design mais moderno e uma

experiência de uso (UX) aprimorada. As principais telas do aplicativo demonstram seu fluxo de operação simples e direto, projetado para ser acessível a todos os públicos.

Figura 10: Mosaico de screenshots das telas principais do aplicativo pHIA.



Fonte: Do autor

O aplicativo não apenas entrega um resultado numérico preciso, mas também incorpora funcionalidades úteis como um guia de enquadramento para a foto e um histórico de medições, transformando o conceito inicial em uma ferramenta prática e completa.

6. CONCLUSÃO

Ao término desta etapa do projeto, conclui-se que os objetivos traçados foram alcançados parcialmente, representando um avanço significativo na validação da proposta central do pHIA. O projeto conseguiu comprovar sua hipótese fundamental: a análise visual de fitas de pH é um método impreciso e subjetivo, e a aplicação de visão computacional pode reduzir drasticamente os erros de interpretação. Durante a fase de coleta de dados, ao comparar os valores do pHmetro com a escala de cores da fita, foram observadas discrepâncias de até 6 unidades de pH na avaliação manual, o que valida a necessidade urgente de um sistema automatizado e objetivo.

O sistema pHIA, em sua primeira versão funcional (V1), entrega um resultado que, embora não possua a precisão decimal inicialmente almejada, já oferece uma melhoria substancial. Atualmente, o modelo classifica o pH em intervalos de 1.5 unidades, eliminando a subjetividade da interpretação humana e fornecendo uma medição mais confiável e acessível, especialmente para usuários com daltonismo ou sem experiência técnica. Portanto, o projeto estabeleceu com sucesso uma base tecnológica robusta, transformando uma ideia em uma ferramenta funcional que soluciona o problema central proposto.

6.1. Próximos Passos e Trabalhos Futuros

O desenvolvimento do pHIA atingiu um marco importante como prova de conceito, e a equipe já delineou um plano claro para as próximas evoluções do sistema. Os trabalhos futuros se concentrarão em aprimorar a precisão e expandir as funcionalidades da plataforma:

- **Aprimoramento da Precisão:** O foco principal será refinar o modelo de Inteligência Artificial para que ele possa prever o pH com a precisão de, no mínimo, uma casa decimal, migrando do sistema de intervalos para um de regressão fina.
- **Implementação de Banco de Dados e Login:** Desenvolver um sistema de login de usuários e integrar um banco de dados (utilizando serviços como Firebase ou AWS) para salvar o histórico de capturas e as imagens associadas na nuvem, permitindo o acesso a partir de diferentes dispositivos.

- Expansão da Compatibilidade: Criar um sistema de calibração no aplicativo que permita ao usuário registrar e treinar o modelo para novas marcas de fitas indicadoras, tornando a ferramenta universal.
- Ampliação do Escopo: Investigar a expansão da tecnologia para outras análises colorimétricas utilizadas em laboratório (como testes de cloro, dureza da água, etc.), transformando o pHIA em uma plataforma de análise laboratorial de baixo custo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOI, Wataru; MARUNAKA, Yoshinori, Importance of pH Homeostasis in Metabolic Health and Diseases: Crucial Role of Membrane Proton Transport, BioMed Research International, 2014, 598986, 8 pages, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/598986>. Acesso em: 28 mai. 2025.

Behbahani SB, Kiridena SD, Wijayaratna UN, Taylor C, Anker JN, Tzeng TJ. pH variation in medical implant biofilms: Causes, measurements, and its implications for antibiotic resistance. Front Microbiol. 2022 Oct 31;13:1028560. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1028560>. PMID: 36386694; PMCID: PMC9659913.

ELSENETY, Mohamed M.; MOHAMED, Mahmoud B. I.; SULTAN, Mohamed E.; ELSAYED, Badr A. Facile and highly precise pH-value estimation using common pH paper based on machine learning techniques and supported mobile devices. Scientific Reports, v. 12, n. 22584, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27054-5>. Acesso em: 9 abr. 2025.

YU, Hua-Zhong; LI, Jiaxing; O'NEIL, Marissa L.; PATTISON, Connor; ZHOU, James H-W; ITO, Joshua M.; MERBOUH, Naby; WONG, Calvin S. T., et al. Mobile App to Quantify pH Strips and Monitor Titrations: Smartphone-Aided Chemical Education and Classroom Demonstrations. Journal of Chemical Education, [S. l.], v. 100, n. 9, p. 3634-3640, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00227>. Acesso em: 16 abr. 2025.

LÓPEZ, J. M.; MAINEZ, J. A.; MORA, Christian J.; GIL, J.; GARGANTA, R. Usefulness and acceptability of a Smart pH meter and mobile medical App as a monitoring tool in patients with urolithiasis: short-term prospective study. Archivos Españoles de Urología, Madrid, v. 75, n. 1, p. 60-68, jan. 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35173078/>. Acesso em: 16 abr. 2025.

Montemayor MB, Price J, Rochefort L. The importance of pH and sand substrate in the revegetation of saline non-waterlogged peat fields. J Environ Manage. 2015 Nov 1;163:87-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.052>. Epub 2015 Aug 22. PMID: 26301685.

REACT NATIVE. React Native: documentação oficial. Menlo Park: Meta Platforms, [2025]. Disponível em: <https://reactnative.dev/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SCRUM.ORG. Scrum Glossary. [S. l.]: Scrum.org, [2025]. Disponível em: <https://www.scrum.org/resources/scrum-glossary>. Acesso em: 9 abr. 2025.

TAN, Aimin; FANARAS, John C. Use of high-pH (basic/alkaline) mobile phases for LC–MS or LC–MS/MS bioanalysis. Biomedical Chromatography. 2019; 33:e4409. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bmc.4409>. Acesso em: 16 abr. 2025.

TONON, Tallis Pacheco. Desenvolvimento de sensores colorimétricos em papel e software de colorimetria digital para avaliação da qualidade de água diretamente em campo. 2024. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2024.1404010>. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1404010>. Acesso em: 16 abr. 2025.

Xiong XL, Ma YP, Liu H, Huang CZ, Zhou J. Efficient and Accurate pH Determination with pH Test Strips Based on Machine Learning. Anal Chem. 2024 Jul 16;96(28):11498-11507. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.4c02153>. Epub 2024 Jul 1. PMID: 38946253.