



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

DNAJÁ ARAÚJO DOS SANTOS JÚNIOR

**DOUTOR NASCENTE: APLICATIVO PARA MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE NASCENTES**

TERESINA, PIAUÍ

2025

DNAJÁ ARAÚJO DOS SANTOS JÚNIOR

DOUTOR NASCENTE: APLICATIVO PARA MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE NASCENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Henrique e Silva Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Alves Elias da Silva

TERESINA, PIAUÍ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Santos Júnior, Dnaja Araújo dos
S237d Doutor nascente : aplicativo para monitoramento e avaliação da
conservação ambiental de nascentes / Dnaja Araújo dos Santos Júnior. - 2025.
51 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Análise e
Desenvolvimento de Sistemas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2025.
Orientador : Prof Dr. Jorge Henrique e Silva Junior.

1. Conservação de nascentes. 2. Monitoramento ambiental. 3. Aplicativo de
campo. 4. Avaliação ambiental. I. Título.

CDD - 004.21

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

DNAJÁ ARAÚJO DOS SANTOS JÚNIOR

DOUTOR NASCENTE: APLICATIVO PARA MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE NASCENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Aprovado pela banca examinadora em 30 de janeiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Jorge Henrique e Silva
Júnior**

Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

**Prof. Dr. Thiago Alves Elias da
Silva**

Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes

Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

**Prof. Esp. Vinícius de Oliveira
Cortez**

Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

TERESINA, PIAUÍ

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela dádiva da vida e à minha família pelo apoio incondicional. Agradeço também a todos os professores e professoras do IFPI por transmitirem seus conhecimentos e contribuírem com minha formação profissional, em especial aos meus orientadores, Prof. Jorge Henrique, pelos conhecimentos ambientais e de ABNT, tão essenciais para o desenvolvimento e a escrita deste trabalho, além de suas ótimas correções, e Prof. Thiago Elias, pelas ótimas correções e sugestões ao longo de todo o trabalho. Por fim, agradeço a uma verdadeira “equipe cirúrgica”, como diria Frederick Brooks. Assim, agradeço a Romero Mendonça, André Luis, Vitor Reis e todos os outros integrantes do LIMS (Laboratory of Innovation on Multimedia Systems) que contribuíram de alguma forma com o planejamento e a programação da aplicação aqui desenvolvida. A todos, ressalto meus agradecimentos e dedico este trabalho.

RESUMO

Ao longo do tempo, o ser humano tem modificado o meio ambiente de várias formas, inclusive de formas negativas. Essas modificações são chamadas de impactos ambientais. Os impactos ambientais afetam vários ecossistemas, dentre eles o aquático, e principalmente de água doce, como rios. Tão importante para a natureza quanto os rios são as suas nascentes, pois elas garantem a qualidade e volume das águas dos rios. Porém, as nascentes precisam de mais atenção devido à sua fragilidade perante os impactos ambientais. Dessa forma, visando monitorar e analisar a qualidade ambiental desses recursos hídricos, a metodologia Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes (AIIN) foi desenvolvida por Gomes, Melo e Vale (2005). Essa metodologia consiste em avaliar parâmetros predefinidos e observáveis a olho nu, como a cor da água, presença de lixo ao redor, entre outros. No entanto, essa metodologia é utilizada geralmente com o método “papel e caneta”, causando desconforto e informações incompletas. Dessa maneira, o uso do smartphone no processo seria de suma importância, uma vez que o aparelho possui vários recursos que poderiam enriquecer a análise, como geolocalização e câmera, contribuindo para uma análise mais eficiente e dados mais completos e confiáveis. Assim, o presente trabalho visou desenvolver o Doutor Nascente, um aplicativo de campo baseado na metodologia AIIN para auxiliar profissionais da área ambiental na realização de suas atividades de monitoramento e avaliação da conservação ambiental de nascentes.

Palavras-chaves: conservação de nascentes, monitoramento ambiental, aplicativo de campo, avaliação ambiental.

ABSTRACT

Over time, humans have modified the environment in various ways, including negative ones. These modifications are called environmental impacts. Environmental impacts affect various ecosystems, including aquatic ones, especially freshwater ecosystems, such as rivers. Equally important for nature as rivers are their springs, as they ensure the quality and volume of river waters. However, springs need more attention due to their fragility against environmental impacts. Thus, aiming to monitor and analyze the environmental quality of these water resources, the Environmental Impact Index Evaluation in Springs (AIIN) methodology was developed by Gomes, Melo e Vale (2005). This methodology consists of evaluating predefined and observable parameters with the naked eye, such as water color, presence of garbage around, among others. However, this methodology is usually used with the "paper and pencil" method, causing discomfort and incomplete information. In this way, the use of smartphones in the process would be of utmost importance, as the device has several features that could enrich the analysis, such as geolocation and camera, contributing to more efficient analysis and more complete and reliable data. Thus, this study aimed to develop Doutor Nascente, a field application based on the AIIN methodology to assist environmental professionals in carrying out their monitoring and evaluation activities of environmental conservation of springs.

Key-words: conservation of springs, environmental monitoring, field application, environmental assessment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama UML de Casos de Uso do Sistema	25
Figura 2 – Arquitetura de um Módulo	29
Figura 3 – Arquitetura do Sistema	30
Figura 4 – Modelo de Dados	31
Figura 5 – Pontos da Coleta de Campo	34
Figura 6 – Captura do Ícone do Aplicativo Doutor Nascente	38
Figura 7 – Tela de Login	39
Figura 8 – Tela de Cadastro	39
Figura 9 – Tela Inicial	40
Figura 10 – Menu Lateral	40
Figura 11 – Tela do Questionário no Indicador 'Coloração Aparente da Água'	41
Figura 12 – Tela de Anexar Fotos e Comentários	41
Figura 13 – Tela de Resumo	42
Figura 14 – Tela de Exibição da Pontuação	42
Figura 15 – Obtendo os Detalhes de um Registro	43
Figura 16 – Tela de Detalhes de um Registro	43
Figura 17 – Apagando um Registro Local	44
Figura 18 – Tela de Confirmação de Exclusão	44
Figura 19 – Mapa da Plataforma Web	45
Figura 20 – Nascente do Ponto P02	46
Figura 21 – Nascente do Ponto P03	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre os Trabalhos	20
Tabela 2 – Requisitos Funcionais	23
Tabela 3 – Requisitos Não Funcionais	24
Tabela 4 – Tecnologias Utilizadas e suas Funções e Versões	27
Tabela 5 – Descrição dos Indicadores Ambientais a Serem Avaliados	36
Tabela 6 – Pontuação Atribuída aos Indicadores Utilizados para o Cálculo do Índice de Impacto Ambiental	37
Tabela 7 – Classificação da Nascente quanto ao Grau de Preservação	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIIN	Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DDD	Domain-Driven Design
GPS	Global Positioning System
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UML	Unified Modeling Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Aspectos Gerais Sobre o Ciclo da Água, os Rios e as Bacias Hidrográficas (Formação, Aspectos Legais e Ambientais)	14
3	TRABALHOS RELACIONADOS	17
3.1	EcoReport	17
3.2	River Analyst	17
3.3	Protótipo de Min, Lee e Acharya	18
3.4	Comparação entre os Trabalhos	19
4	METODOLOGIA	21
4.1	Etapa I: Pesquisa Bibliográfica	21
4.2	Etapa II: Desenvolvimento do Software	21
4.2.1	Fase 1: Especificação	22
4.2.1.1	Requisitos Funcionais	23
4.2.1.2	Requisitos Não Funcionais	23
4.2.1.3	Diagrama de Casos de Uso	24
4.2.1.4	Tecnologias Escolhidas	26
4.2.1.4.1	Flutter	26
4.2.1.4.2	Firebase	26
4.2.1.4.3	Objectbox	26
4.2.1.4.4	Google Maps	27
4.2.1.4.5	Versões das Tecnologias	27
4.2.2	Fase 2: Projeto	28
4.2.2.1	Arquitetura do Sistema	28
4.2.2.2	Modelo de Dados	30
4.2.3	Fase 3: Desenvolvimento	33
4.2.4	Fase 4: Avaliação do Sistema	33
4.3	Etapa III: Validação do Software	33
4.3.1	Área de Análise	34
5	RESULTADOS	35

5.1	Etapa I: Pesquisa Bibliográfica	35
5.1.1	Metodologia Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes (AIIN)	36
5.2	Etapa II: Desenvolvimento do Software	37
5.2.1	Apresentação do Aplicativo	38
5.2.2	Interfaces do Sistema	38
5.3	Etapa III: Validação do Software	45
5.3.1	Dados Coletados nos Testes <i>In Loco</i>	45
5.3.2	Precisão e Aparência	46
5.3.3	Conclusão	46
6	DISCUSSÃO	47
7	CONCLUSÃO	48
7.1	Trabalhos Futuros	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O ser humano tem, ao longo do tempo, modificado o meio ambiente de várias formas, inclusive de formas negativas, devido à exploração excessiva e contínua dos recursos naturais existentes. Essas modificações causadas pelo ser humano são chamadas de impactos ambientais e, segundo a resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são definidas como quaisquer alterações das propriedades físico-químicas e biológicas do meio ambiente que afetam saúde, segurança, atividades socioeconômicas, bem-estar da população, condições estéticas e sanitárias do meio, qualidade dos recursos e biota¹ (Brasil, 1986).

Dentre os ecossistemas mais afetados pela ação humana, destacam-se os aquáticos, principalmente os de água doce, como os rios. As principais ações danosas que ocorrem nesse ecossistema são o uso intensivo e contínuo, a poluição, a supressão de matas ciliares e a contaminação pelo despejo de resíduos sólidos e líquidos *in natura* na água de rios e córregos (Nuvolari, 2013). Tais ações acabam por prejudicar a qualidade da água e, conseqüentemente, a fauna e a flora, visto que a água é um recurso indispensável para a vida.

Tão importante quanto os rios são as áreas no entorno de suas nascentes, essas áreas são responsáveis por garantir a qualidade e volume das águas dos rios. No entanto, as nascentes precisam de um pouco mais de atenção, visto que são mais vulneráveis aos impactos ambientais e podem sofrer mais facilmente eutrofização² e secar com a retirada da vegetação ou alteração das dinâmicas hídricas do solo (Serra, 2024).

Desse modo, a fim de monitorar e analisar a qualidade ambiental desses recursos hídricos, foi desenvolvida uma metodologia do tipo Parâmetro de Avaliação Rápida chamada de Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes (AIIN), uma metodologia proposta por Gomes, Melo e Vale (2005) que consiste em responder um questionário com parâmetros predefinidos e que são observáveis a olho nu, como a cor da água, a presença de lixo ao redor, entre outros.

No entanto, essa metodologia é utilizada geralmente com uma prancheta e caneta ou lápis, o que causa desconforto, retrabalho ao digitalizar os dados no computador e informações incompletas. Nessa situação, os smartphones podem ter um papel crucial, em especial para estudos de meio ambiente, geografia, monitoramento e impactos ambientais, pois, além de serem portáteis e de fácil manuseio, eles possuem câmeras de alta resolução e recursos de geolocalização, o que permite o registro de imagens e coordenadas exatas dos locais de amostragem, resultando em análises mais eficientes, monitoramentos mais concisos e dados mais completos e confiáveis (Castellan, 2022).

¹ Conjunto de seres vivos de um determinado local

² **Eutrofização:** elevação na concentração de nutrientes em águas naturais, sejam elas doces ou salgadas. Apesar de ser um processo natural, pode ser provocado ou agravado por atividades humanas, como o despejo de esgotos e outros efluentes, além da lixiviação de fertilizantes do solo. Trata-se de um dos maiores desafios no manejo de recursos hídricos (Lima, Silva Filho e Araújo, 2016)

Dessa forma, o presente trabalho consiste na criação de um aplicativo de campo baseado na metodologia AIIN (Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes) para auxiliar os profissionais da área ambiental no desenvolvimento de suas atividades de monitoramento e avaliação da conservação ambiental de nascentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um aplicativo que auxilie profissionais ambientais no monitoramento e avaliação da conservação ambiental de nascentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica a fim de escolher as melhores técnicas e métodos de avaliação de impactos ambientais em nascentes para o aplicativo;
- Desenvolver um aplicativo para profissionais ambientais;
- Validar o aplicativo, abrangendo aspectos de precisão e aparência.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O CICLO DA ÁGUA, OS RIOS E AS BACIAS HIDROGRÁFICAS (FORMAÇÃO, ASPECTOS LEGAIS E AMBIENTAIS)

A água da biosfera faz parte do ciclo hidrológico, um processo contínuo que transporta massas de água dos oceanos para a atmosfera, retornando à superfície por meio de precipitações e, através de escoamentos superficiais e subterrâneos, regressa aos oceanos, concluindo o ciclo (Esteves, 1988).

Sob a ação do sol, a água evapora para a atmosfera, condensa, formando as nuvens, e retorna ao solo e aos ambientes aquáticos na forma de chuva (precipitação). Assim, a circulação da água está diretamente relacionada com o equilíbrio entre evapotranspiração, isto é, evaporação dos ambientes físicos e transpiração dos seres vivos sob ação da energia solar, e precipitação (Papini, 2009).

Uma fração da água doce que retorna à superfície como precipitação permanece armazenada nas geleiras. Outra fração infiltra e percorre o solo e as formações de rochas permeáveis em direção às áreas de armazenamento de águas subterrâneas, denominadas aquíferos¹. A maior parte das precipitações converte-se em escoamento superficial, que direciona a água para lagos, rios e córregos, conduzindo-a novamente aos oceanos, onde pode evaporar e reiniciar o ciclo. Esse escoamento, além de reabastecer lagos e córregos, também desempenha um papel na erosão, transportando partículas de solo e fragmentos de rochas de um local para outro (Miller Junior, 2007, p. 57).

O ciclo hidrológico promove a purificação da água por meio de diversos processos naturais. A evaporação e a precipitação funcionam como um processo natural de destilação, eliminando as impurezas dissolvidas. A água que percorre a superfície, em córregos e lagos, e aquela que se infiltra no subsolo, nos aquíferos, é naturalmente filtrada e purificada por meio de processos químicos e biológicos. Dessa forma, o ciclo hidrológico pode ser visto como um mecanismo natural de renovação da qualidade da água (Miller Junior, 2007, p. 57).

“A água entra e sai da zona saturada por meio de recarga e descarga. A recarga é a infiltração da água em qualquer formação subsuperficial, frequentemente pela água da chuva ou do degelo da neve. A recarga também pode ocorrer num leito de um rio onde o canal está mais elevado do que a superfície freática. Os rios que recarregam a água subterrânea, dessa forma, são chamados de rios influentes, sendo mais característicos em regiões áridas, onde a superfície freática é profunda. A descarga é a saída da água subterrânea para a superfície, sendo o oposto da recarga. Quando o canal de um rio intercepta a superfície freática, há aí a descarga de água subterrânea. Tal rio efluente é típico de áreas

¹ **Aquíferos:** Leito subterrâneo de rochas porosas ou areias, que permite a percolação e o armazenamento de água e de onde ela pode ser extraída (Nuvolari, 2013)

úmidas e contínuas, a fluir por muito tempo após o término do escoamento superficial, pois é alimentado pela água subterrânea. Assim, o reservatório de água subterrânea pode ser aumentado pelos rios influentes e reduzido pelos efluentes” (Press *et al.*, 2006, p. 322).

A bacia de drenagem, também chamada de bacia hidrográfica, é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Nela está contida a área drenada por um rio principal e seus afluentes que têm como limites os divisores de água (pontos a partir dos quais as águas de chuva escoam para outras vertentes/bacias) (Nuvolari, 2013).

As bacias hidrográficas são áreas fisiográficas drenadas por um curso d’água ou por um sistema de cursos d’água interligados que convergem para um leito ou espelho d’água. São áreas ideais para estudos ambientais por apresentarem características sistêmicas que integram os fatores ecológicos, socioeconômicos e culturais, além de serem consideradas unidades de planejamento e gestão (Barbosa *et al.*, 2018, p. 62).

As bacias hidrográficas em regiões semiáridas sofrem problemas relacionados à irregularidade pluviométrica, o que compromete muitas vezes o planejamento nessas áreas, sendo mais graves em ambientes nos quais muitas vezes não tem uma assistência às condições básicas de moradia, como saneamento básico, água potável e assistência e saúde pública de qualidade. A bacia hidrográfica é considerada a célula básica de análise ambiental, onde é possível conhecer e avaliar seus diversos componentes, processos e interações (Costa e Oliveira, 2015).

As bacias hidrográficas também estão suscetíveis a sofrerem com a alteração antrópica, pois a qualidade de um curso hídrico está diretamente relacionada às alterações verificadas na bacia hidrográfica, e as alterações causadas pelas atividades humanas podem alterar significativamente tanto os reservatórios em uma bacia quanto os cursos d’água, a exemplo disso podemos citar o uso e ocupação do solo, que exercem fundamental influência no escoamento superficial para estes cursos, podendo modificar sua qualidade e quantidade (Garcia *et al.*, 2020).

Parte da água que cai em uma bacia hidrográfica pode escoar e formar rios e lagos e outra parte pode formar os aquíferos, os quais são camadas que armazenam e transmitem a água subterrânea (Press *et al.*, 2006).

A água subterrânea forma-se quando as gotas de chuva se infiltram no solo e em outros materiais não consolidados, penetrando até mesmo em rachaduras e fendas do substrato rochoso. Ela é extraída pela perfuração de poços e bombeamento para superfície (Press *et al.*, 2006).

Os reservatórios de água subterrânea armazenam cerca de 25,9% de toda água doce. O ser humano tem extraído esse recurso, seja pela escavação de poços rasos ou pela captação da água que aflora em nascentes. A água subterrânea pode fluir em aquíferos não confinados ou confinados. A água subterrânea move-se sob a força da gravidade e, desse modo, parte da água da zona não saturada pode mover-se para níveis inferiores, até atingir a superfície freática, que se localiza entre a zona não saturada e a saturada. A água entra e sai da zona saturada por meio de recarga e descarga. A recarga é a infiltração de água em qualquer formação

subsuperficial, frequentemente pela água da chuva ou do degelo da neve. A descarga é a saída da água subterrânea para a superfície, sendo o oposto da recarga (Press *et al.*, 2006).

As descargas (saída) de água dos aquíferos podem originar as nascentes, que equivalem a um afloramento do lençol freático (aquífero livre) que dão origem aos fluxos d'água (Leal *et al.*, 2017; Press *et al.*, 2006).

Os impactos ambientais negativos, provocados em qualquer porção da bacia, podem interferir na qualidade e quantidade da água e, dependendo do impacto, formas ou métodos diferentes de manejo deverão ser implantados visando à melhoria do ambiente (Leal *et al.*, 2017).

Os rios são corpos de água em movimento que fluem em um determinado curso d'água em uma bacia hidrográfica. Os rios desempenham um papel fundamental como agentes geológicos na superfície terrestre. Eles abrangem grande parte da superfície do planeta e são os principais responsáveis pela modelagem das paisagens continentais. Ao longo do tempo, os rios erodem montanhas, transportam os produtos resultantes do intemperismo até os oceanos e acumulam bilhões de toneladas de sedimentos em depósitos de barras fluviais e planícies de inundação (Press *et al.*, 2006).

As atividades humanas podem provocar alterações negativas no ciclo da água, principalmente nas áreas urbanas, onde o desmatamento e a impermeabilização do solo impedem ou alteram as etapas naturais do ciclo da água. Nas áreas urbanas, a chuva cai sobre telhados, calçadas e ruas asfaltadas impermeáveis à água. Assim, em vez de penetrar no solo, corre para os bueiros e daí para os rios, arrastando consigo boa parte da matéria presente sobre a superfície da terra, e se o ambiente terrestre estiver contaminado, há a possibilidade de a água da chuva transportar o contaminante pela superfície despejando-o em ambientes aquáticos, contaminando-os. Também a água da chuva que penetra no solo pode arrastar com ela contaminantes que irão atingir os reservatórios subterrâneos (Papini, 2009).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 ECOREPORT

O artigo de Silva Júnior, Sousa e Silva (2023) desenvolveu um aplicativo mobile visando auxiliar na realização de diagnósticos ambientais em campo, no qual permite a captura de imagens, das informações do dano e da localização dos impactos ambientais. Além disso, essa tecnologia permite também fazer anotações e exportar relatórios da atividade realizada (Silva Júnior, Sousa e Silva, 2023).

O trabalho de Silva Júnior, Sousa e Silva (2023) adotou uma metodologia de desenvolvimento de software para criar o aplicativo EcoReport. Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para identificar as necessidades e funcionalidades de um aplicativo de diagnóstico ambiental. Logo em seguida, a equipe de desenvolvimento projetou a interface gráfica e as funcionalidades do aplicativo, como a captura de imagens, o registro de informações sobre os impactos ambientais e a geração de relatórios. Por fim, o aplicativo foi testado em campo para avaliar sua eficiência na coleta de dados, sendo realizados os testes na mata ciliar do rio Parnaíba, no Piauí, onde foram registrados vários pontos de impacto ambiental, como poluição, erosão e desmatamento.

O EcoReport foi desenvolvido utilizando o Flutter, para agilizar o processo de criação, e o SQLite, para salvar os dados localmente no smartphone. Contudo, no aplicativo não é possível salvar os dados remotamente, o que pode causar a perda dos mesmos no caso de acontecer algum problema com o aparelho no qual foi realizado o registro.

Dito isto, o sistema aqui proposto conta com um aplicativo que, além de permitir uma análise ambiental de nascentes com imagens, anotações, localização e data anexados, permite que o usuário possa sincronizar e armazenar seus registros em um banco de dados remoto, evitando assim o risco de perder os registros realizados e o incômodo que esse imprevisto poderia causar.

Vale ressaltar que, por consequência dessa função de salvar os dados remotamente, o sistema aqui proposto possui uma plataforma web com mapa, exclusiva para administradores, para acompanhar e analisar todos os registros feitos pelos usuários, podendo verificar a pontuação, as coordenadas (local), as observações e as imagens atribuídas, de modo a tornar o controle dos dados registrados mais simples e visual.

3.2 RIVER ANALYST

O trabalho de Negreiros *et al.* (2024) desenvolveu o River Analyst, um banco de dados integrado a um aplicativo web utilizando as tecnologias Django, para criar sua interface gráfica, e Python 3, para desenvolver scripts analisadores de dados, que permite a criação e o gerenciamento

centralizado e escalável de dados fluviais. O River Analyst possibilitou elaborar novos métodos para restaurar rios afetados pelo fenômeno do entupimento do leito do rio, ou seja, infiltração de sedimentos finos na zona hiporreica¹, assim com mais aplicações e registros em campo o software pode ajudar a restaurar diversos ambientes hidrológicos ecologicamente funcionais, como rios (Negreiros *et al.*, 2024).

Além da construção do banco de dados, o trabalho também incluiu a utilização de ferramentas de análise e visualização de dados para interpretar os resultados. Foram empregados modelos estatísticos e hidráulicos para avaliar a conectividade vertical dos rios (interação entre a água superficial e o leito) e identificar áreas críticas onde ocorre o entupimento do leito do rio. A coleta de dados de campo foi realizada utilizando sensores e equipamentos de medição de alta precisão, que forneceram informações detalhadas sobre as características dos sedimentos e a dinâmica hidráulica.

O River Analyst foi desenvolvido com uma interface gráfica que permite a integração de novos dados e a atualização contínua das análises. O uso de padrões de código aberto facilitou a colaboração entre diferentes grupos de pesquisa, garantindo que o software pudesse ser adaptado e aprimorado conforme necessário. A metodologia adotada por Negreiros *et al.* (2024) demonstrou ser eficaz na promoção da conservação e restauração de rios, oferecendo uma abordagem sistemática e escalável para lidar com os desafios impostos pelo entupimento do leito fluvial.

No entanto, por não focar em nascentes, essa tecnologia não possui parâmetros para uma análise apropriada a esse tipo de corpo hídrico, uma vez que nascentes possuem dinâmicas hídricas diferentes de rios. Dessa forma, é necessário outro tipo de avaliação, focada em nascentes e com mais parâmetros ambientais relacionados à conservação desse corpo hídrico (odor e coloração da água, uso por humanos e animais, presença de vegetação, por exemplo). Além disso, nesse trabalho, para cadastrar novos locais, é necessária prévia autorização dos autores, dificultando o uso pleno dessa tecnologia.

Dito isto, diferentemente da tecnologia desenvolvida por Negreiros *et al.* (2024), o sistema aqui proposto conta com um aplicativo mobile focado em nascentes com uma análise ambiental mais rica em parâmetros, tornando a análise mais informativa e completa para esse tipo de corpo hídrico. Além disso, o presente sistema permite que qualquer pessoa possa realizar suas análises ambientais de nascentes, possibilitando assim um uso mais democrático da tecnologia e mais dados no sistema.

3.3 PROTÓTIPO DE MIN, LEE E ACHARYA

O artigo de Min, Lee e Acharya (2019) desenvolveu um protótipo integrado a um aplicativo mobile utilizado para a investigação e o gerenciamento sistemático das fontes de

¹ Região de intercâmbio entre o rio e o aquífero, responsável pelas constantes trocas hídricas, ou seja, é a interface entre a água superficial e subterrânea (Albuquerque, Cabral e Paiva, 2019)

poluição difusa². Esse protótipo utiliza uma plataforma SIG (Sistema de Informação Geográfica) para realizar levantamentos de campo, onde são coletados, armazenados e atualizados em tempo real os dados de localização de fontes de poluição e seus atributos (Min, Lee e Acharya, 2019).

O protótipo foi projetado para funcionar em dispositivos móveis, permitindo que os usuários realizem investigações em campo de maneira prática e eficiente. A aplicação móvel possui uma interface simples, facilitando a coleta de dados de várias fontes de poluição não pontual. Os dados coletados são referenciados geograficamente com coordenadas GPS e incluem informações como tipo de poluente, concentração e possíveis fontes de contaminação.

Além disso, a plataforma SIG integrada ao protótipo permite a visualização e análise dos dados em tempo real, o que facilita a identificação de padrões e tendências na distribuição da poluição. Os dados são armazenados em um servidor central, onde podem ser acessados e atualizados por vários usuários ao mesmo tempo. Esse sistema colaborativo e dinâmico é essencial para o monitoramento eficaz e a tomada de decisões rápidas para amenizar os impactos ambientais causados pela poluição difusa (Min, Lee e Acharya, 2019).

Porém, assim como o trabalho citado anteriormente, a tecnologia desenvolvida por Min, Lee e Acharya (2019) não fornece mais informações sobre a situação ambiental a partir de outros parâmetros ambientais — uso por humanos e animais, presença de vegetação, coloração da água, por exemplo — e também não diz nada a respeito do seu uso em nascentes, focando na questão da poluição em rios.

Dito isto, o presente sistema possui uma análise ambiental mais completa em parâmetros ambientais, permitindo um monitoramento mais preciso e sob a ótica de outros fatores que podem afetar a qualidade ambiental das nascentes, as quais devem receber um pouco mais de atenção devido à sua fragilidade perante os impactos ambientais e sua importância para o meio ambiente.

3.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS TRABALHOS

A Tabela 1, logo abaixo, apresenta uma comparação sucinta entre os trabalhos descritos neste item, a fim de resumir suas principais qualidades.

² Algo que se espalha de forma ampla e uniforme

Tabela 1 – Comparação entre os Trabalhos

	EcoReport	River Analyst	Proto. Min, Lee e Acharya	Presente Trabalho
Monitora a situação ambiental	X	X	X	X
Foca na conservação de nascentes				X
Analisa situação ambiental sob vários parâmetros ambientais				X
Salva os dados remotamente		X	X	X
Cadastra análises sem a necessidade de prévia autorização	X		X	X

Fonte: autoria própria (2024)

4 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos por este trabalho, foi realizada uma pesquisa aplicada, que teve como intuito elaborar e validar um software para profissionais ambientais que torne mais prático e eficiente o monitoramento e a avaliação da conservação ambiental de nascentes.

A pesquisa aplicada corresponde ao processo de gerar novos conhecimentos para resolver problemas práticos, concentrando-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações e de toda sociedade em geral, de modo a solucioná-los utilizando os conhecimentos previamente adquiridos, para elaborar diagnósticos e buscar soluções práticas, frente uma demanda já estabelecida por clientes, instituições e/ou pela sociedade em geral (Fleury e Werlang, 2016).

Para o cumprimento dos objetivos específicos apresentados, esta pesquisa foi dividida em três etapas, sendo elas:

- Etapa I: Pesquisa bibliográfica;
- Etapa II: Desenvolvimento do software;
- Etapa III: Validação do software.

4.1 ETAPA I: PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A etapa I consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica, que visou identificar publicações científicas sobre as principais técnicas e métodos de avaliação de impactos ambientais que focavam na conservação de nascentes, a fim de encontrar a melhor opção para a metodologia de avaliação do aplicativo.

A pesquisa bibliográfica se deu por meio de busca de dados em livros, artigos científicos e publicações presentes em bases de dados, tais como repositórios institucionais, a plataforma “Periódicos CAPES”, a base de periódicos “Web of Science” (Coleção Principal) e “SciELO”. Outras fontes com materiais diversos (mapas, documentos, textos, etc.) presentes em sites institucionais e aplicativos também foram utilizadas no processo.

4.2 ETAPA II: DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

A etapa II compreendeu a construção do software, ainda como protótipo, para sua utilização em smartphones Android e iOS, com o objetivo de auxiliar profissionais ambientais no monitoramento e avaliação da conservação ambiental de nascentes, tornando essas atividades mais práticas e eficientes.

O sistema foi desenvolvido baseado nos modelos de processo de desenvolvimento de software definidos por Sommerville (2011) e por Forouzan e Mosharraf (2011), como o modelo incremental, apoiado na ideia de desenvolver uma implementação inicial, expô-la aos comentários e/ou sugestões dos usuários e continuar por meio da criação de versões até que um sistema adequado seja desenvolvido.

Dessa forma, o primeiro autor mencionado contribuiu com este trabalho por meio das definições das fases de especificação, desenvolvimento e validação, já os dois últimos autores contribuíram com a fase de projeto, a qual define como o sistema concluirá o que foi definido na fase de especificação (Forouzan e Mosharraf, 2011). É importante salientar que as atividades de especificação, projeto, desenvolvimento e validação são intercaladas, e não separadas, e com rápido *feedback* entre as mesmas.

Assim, o aplicativo foi desenvolvido com a possibilidade de adicionar novas funcionalidades e melhorias no sistema, sempre que necessário, contando com a contribuição de um especialista na área ambiental, em todas as fases do desenvolvimento. A cada entrega, os requisitos envolvidos poderiam ser melhorados para que houvesse o aumento de suas funcionalidades. Em outras palavras, os usuários recebem com antecedência parte da funcionalidade do sistema, podendo já experimentar e testar o software, facilitando assim o entendimento dos requisitos para as incrementações seguintes, caso necessário, até que sejam alcançadas as funcionalidades requeridas (Sommerville, 2011; Forouzan e Mosharraf, 2011).

As fases do processo de desenvolvimento do sistema estão descritas a seguir:

4.2.1 Fase 1: Especificação

A fase de especificação define as funcionalidades do software e as suas restrições sobre as operações (Sommerville, 2011).

Assim, fez-se necessário o levantamento de requisitos para o entendimento do problema, levantando as necessidades dos usuários, a fim de identificar o que o sistema deverá fazer. Esta etapa teve como base o resultado da pesquisa bibliográfica, além de conversas com um especialista da área ambiental, para definir os requisitos que fazem parte do aplicativo, como cadastrar os registros de análise de nascente, visualizar os registros cadastrados no sistema e emitir relatórios.

Em seguida, foi realizada a análise de requisitos. Segundo Pressman (2001), os requisitos de um software são definidos como um conjunto de atributos, características e capacidades que um produto de software deve possuir para ter valor para seus usuários, além de outras características não envolvidas diretamente às funções desempenhadas pelo software (Pressman, 2001). Os requisitos funcionais e não funcionais definidos para este estudo estão organizados a seguir.

4.2.1.1 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais (RF) referem-se ao comportamento do sistema, o que ele deve fazer e como deve se comportar em determinadas situações, para atingir seus objetivos. Sua especificação e descrição devem ser completas, isto é, tornar evidentes todas as funcionalidades requisitadas pelo usuário (Sommerville, 2011; Pressman, 2001). Os requisitos funcionais definidos para o software deste trabalho estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Requisitos Funcionais

REQUISITO	IDENTIFICAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	ATOR	OBJETIVO
RF01	Fazer login	Essencial	Usuário	Entrar no sistema ou criar uma conta.
RF02	Cadastrar registro	Essencial	Usuário	Cadastrar um novo registro de análise de nascente.
RF03	Editar registro	Essencial	Usuário	Editar as informações de um registro de análise de nascente.
RF04	Excluir registro	Essencial	Usuário	Excluir um registro de análise de nascente.
RF05	Visualizar registros pessoais	Essencial	Usuário	Visualizar os registros de análise de nascente cadastrados pelo próprio ator.
RF06	Visualizar registros do sistema	Essencial	Usuário	Visualizar todos os registros de análise de nascente cadastrados no sistema.
RF07	Visualizar detalhes do registro	Essencial	Usuário	Visualizar com detalhes as informações de um registro de análise de nascente.
RF08	Visualizar perfil de usuário relacionado a um registro	Essencial	Usuário	Visualizar perfil de usuário relacionado a um registro de análise de nascente cadastrado no sistema.
RF09	Sincronizar registros locais com os do banco de dados remoto	Essencial	Usuário	Sincronizar as informações dos registros de análise de nascente salvos localmente com as informações do banco de dados remoto.
RF10	Emitir relatórios	Essencial	Usuário	Emitir relatório de dados sobre os registros de análise de nascente realizados.

Fonte: autoria própria (2024)

4.2.1.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais (RNF), também chamados de atributos de qualidade, são requisitos técnicos do software que fazem parte do sistema, que descrevem atributos que o sistema deve possuir e sob quais restrições ele deve operar, como custo, performance, portabilidade, confiabilidade, entre outros (Pressman, 2001). Estes requisitos são mais cruciais que os funcionais, uma vez que, em casos de erros, são mais difíceis de corrigir. A seguir, a Tabela 3

exibe os requisitos não funcionais do sistema.

Tabela 3 – Requisitos Não Funcionais

REQUISITO	CLASSIFICAÇÃO	TIPO	OBJETIVO
RNF01	Essencial	Disponibilidade	O software deve estar disponível sempre, mesmo em locais sem acesso à internet.
RNF02	Essencial	Escalabilidade	O software deve ser facilmente escalável para atender o aumento repentino de demanda.
RNF03	Essencial	Usabilidade	O software deve possuir uma interface limpa e fácil de usar.
RNF04	Essencial	Multiplataforma	O software deve ser compatível com, no mínimo, o Android 5.0 e o iOS 12.0, ou versões mais recentes.

Fonte: autoria própria (2024)

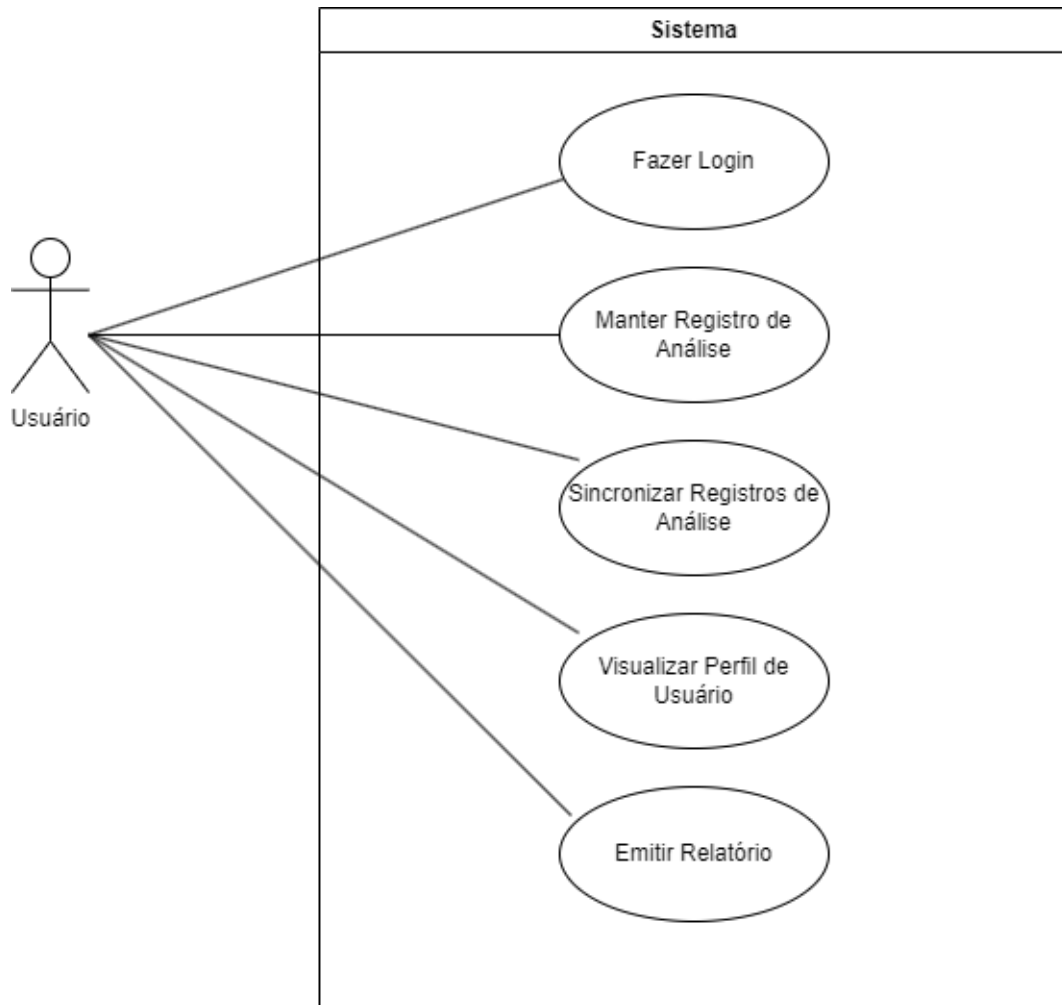
4.2.1.3 Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de caso de uso é uma representação gráfica do sistema na visão do usuário. Ele mostra como o usuário se comunica com o sistema, sendo uma parte muito importante para a definição e validação dos requisitos funcionais por permitir uma comunicação mais clara do que os clientes desejam do sistema a ser desenvolvido (Forouzan e Mosharraf, 2011).

Esse diagrama possui quatro componentes principais: sistema, atores, casos de uso e relações. O sistema é representado por um retângulo e consiste no próprio sistema a ser desenvolvido. O ator, por sua vez, é representado por um boneco palito e simboliza quem interage com o sistema (usuário ou outro sistema). O caso de uso é representado por uma elipse e representa a ação que pode ser realizada pelo ator. Por fim, a relação é retratada como uma linha que liga o ator ao caso de uso e simboliza a associação entre os mesmos, mostrando uma interação (Forouzan e Mosharraf, 2011).

A Figura 1 mostra o diagrama de caso de uso e descreve as funcionalidades do sistema.

Figura 1 – Diagrama UML de Casos de Uso do Sistema



Fonte: autoria própria (2024)

O diagrama acima expressa os seguintes casos de uso:

- **Fazer Login:** refere-se ao RF01, no qual expõe a necessidade do sistema permitir que o usuário consiga fazer login ou então cadastrar-se, caso não possua uma conta;
- **Manter Registro de Análise:** refere-se aos requisitos funcionais do RF02 ao RF07, no qual diz respeito às funcionalidades de *CRUD*¹ dos registros de análises;
- **Sincronizar Registros de Análise:** refere-se ao RF09, no qual expõe a necessidade do sistema permitir que o usuário seja capaz de sincronizar seus registros locais com os do banco de dados remoto;
- **Visualizar Perfil de Usuário:** refere-se ao RF08, no qual expõe a necessidade do sistema permitir que o usuário seja capaz de visualizar o perfil relacionado ao cadastro de um registro;

¹ Acrônimo que se refere às operações básicas de um banco de dados: *Create* (Criar), *Read* (Ler), *Update* (Atualizar) e *Delete* (Apagar)

- **Emitir Relatório:** refere-se ao RF10, no qual expõe a necessidade do sistema permitir que o usuário seja capaz de emitir relatórios de dados sobre os registros de análises de nascentes realizados.

4.2.1.4 Tecnologias Escolhidas

4.2.1.4.1 Flutter

Segundo seu site oficial, Flutter é um framework² de código aberto que utiliza a linguagem Dart para construir aplicativos multiplataforma e compilados nativamente a partir de uma base única de código (Flutter, 2024).

A ferramenta, criada pelo Google, tem como uma das suas principais vantagens a versatilidade, pois permite desenvolver aplicativos para Android e iOS utilizando um único código. Desse modo, o Flutter fornece dois conjuntos de widgets ou componentes prontos para uso, um específico para iOS e um outro para Android, logo, além dos aplicativos desenvolvidos funcionarem da mesma maneira, eles também terão uma aparência apropriada para cada plataforma (Zammetti, 2020).

Outra vantagem do Flutter é a disponibilidade de ferramentas. Os desenvolvedores podem usar muitas das ferramentas que já estão acostumados a empregar em outros tipos de desenvolvimento, diminuindo assim o atrito entre eles mesmos e a curva de aprendizado (Zammetti, 2020).

4.2.1.4.2 Firebase

Firebase é uma plataforma digital da Google utilizada para facilitar o desenvolvimento de aplicativos web ou mobile de uma forma efetiva, rápida e simples (Rock Content, 2019). Essa plataforma é capaz de acelerar e escalonar o desenvolvimento de aplicativos sem ter que gerenciar a infraestrutura, possibilitando assim que os desenvolvedores foquem totalmente no desenvolvimento do aplicativo e resolvam facilmente problemas comuns gerados nesse processo (Firebase, 2023).

4.2.1.4.3 Objectbox

Objectbox é um banco de dados local e NoSQL³ de alto desempenho desenvolvido exclusivamente para dispositivos móveis e dispositivos embarcados. Essa tecnologia fornece APIs⁴ de fácil uso e sincronização de dados pronta para aplicativos móveis (Objectbox, 2024b).

² Conjunto de bibliotecas de software carregadas de recursos utilizado para acelerar e facilitar o processo de desenvolvimento de aplicações, por meio da reutilização de código (Martin, 2018)

³ Termo que se refere aos bancos de dados não relacionais, ou seja, que não utilizam a linguagem SQL

⁴ API significa Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicação) e são mecanismos que permitem que dois componentes de software se comuniquem usando um conjunto de definições e protocolos (AWS, 2023)

Isso permite um desenvolvimento mais rápido e focado nas regras de negócio do próprio aplicativo a ser desenvolvido. Além disso, essa tecnologia é multiplataforma (Objectbox, 2024a), portanto fornece o mesmo suporte e desempenho para as plataformas móveis Android e iOS.

4.2.1.4.4 Google Maps

Google Maps é uma plataforma desenvolvida pela Google que disponibiliza mapas de forma simples e de fácil uso. Essa plataforma possui 99% de cobertura no mundo, possuindo dados confiáveis e abrangentes sobre mais de 200 países e territórios (Morgan, 2022). Outra vantagem do Google Maps são as suas 25 milhões de atualizações diárias, o que garante informações de localização precisas e em tempo real (Morgan, 2022). Por meio de seu SDK⁵ é possível adicionar mapas a aplicações mobile ou web, de modo a permitir a própria exibição dos mapas e a resposta aos gestos do usuário, como cliques e arrastos, disponibilizando marcadores e janelas de informações ao mapa (Google Developers, 2024). E por meio das APIs disponibilizadas é possível a integração com o Firebase, dessa forma, projetando os dados registrados no Firebase em mapas, tornando-os mais visuais e compreensíveis aos seus usuários.

4.2.1.4.5 Versões das Tecnologias

Na tabela abaixo (Tabela 4) estão as versões das tecnologias utilizadas neste trabalho, bem como suas respectivas funções no sistema e sites de referência.

Tabela 4 – Tecnologias Utilizadas e suas Funções e Versões

TECNOLOGIA	FUNÇÃO	VERSÃO	SITE DE REFERÊNCIA
Flutter	Desenvolvimento do aplicativo multiplataforma	3.19.1	https://flutter.dev/
Firebase: firebase_core	Conexão do aplicativo com serviços do Firebase	2.27.1	https://pub.dev/packages/firebase_core/versions/2.27.1
Firebase: firebase_auth	Autenticação no sistema	4.17.9	https://pub.dev/packages/firebase_auth/versions/4.17.9
Firebase: firebase_storage	Armazenamento de imagens	11.7.2	https://pub.dev/packages/firebase_storage/versions/11.7.2
Firebase: cloud_firestore	Banco de dados remoto	4.15.9	https://pub.dev/packages/cloud_firestore/versions/4.15.9
Objectbox	Banco de dados local	2.5.0	https://pub.dev/packages/objectbox/versions/2.5.0
Google Maps JavaScript API	Disponibilização de mapas para a plataforma web	3.58.0	https://developers.google.com/maps/documentation/javascript?hl=pt-br

Fonte: autoria própria (2024)

⁵ SDK significa Software Development Kit (Kit de Desenvolvimento de Software) e são ferramentas fornecidas pelo fabricante de uma plataforma de hardware, sistema operacional ou linguagem de programação para o desenvolvimento de softwares, incluindo a disponibilização de APIs (Red Hat, 2024)

4.2.2 Fase 2: Projeto

A fase de projeto define como o sistema finalizará o que foi definido na fase de especificação. Nesta fase são definidos todos os componentes do sistema (Forouzan e Mosharraf, 2011).

Dessa forma, nesta fase são estabelecidos a arquitetura do sistema e o modelo de dados, sendo que a arquitetura é a estrutura geral do sistema, incluindo como os diferentes componentes irão interagir e comunicar-se entre si (Bass, Clements e Kazman, 2012). O modelo de dados, por sua vez, consiste em uma representação de como os dados estão organizados e estruturados dentro de um sistema, de forma conceitual (Elmasri e Navathe, 2018). Abaixo serão expostos com mais detalhes a arquitetura do sistema e o modelo de dados definidos.

4.2.2.1 Arquitetura do Sistema

O software foi estruturado em módulos para cada funcionalidade, de modo a facilitar a manutenção e a implementação de novas funcionalidades. Os módulos criados no sistema foram:

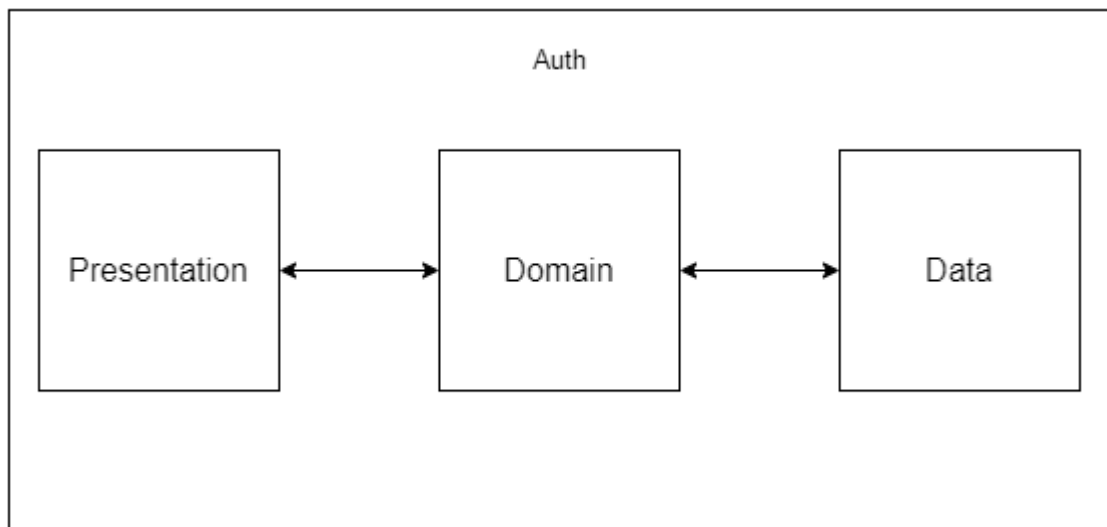
- **Auth:** responsável pelo processo de autenticação no aplicativo;
- **Analysis_record:** responsável pelos registros de análises de nascentes, da estrutura básica do questionário até a geração do relatório;
- **Data_sync:** responsável pela sincronização de dados entre os bancos de dados local e remoto.
- **Maps_web:** responsável pela exibição e organização dos dados dos registros de análises de nascentes no mapa da plataforma web, exclusiva para administradores.

A arquitetura escolhida para o desenvolvimento dos módulos do aplicativo baseou-se na estrutura de camadas do Domain-Driven Design (DDD), uma abordagem de design de software que foca em modelar o software de acordo com o domínio do negócio e com a participação constante de especialistas nesse domínio (Evans, 2004). As camadas do DDD são:

- **Presentation:** responsável pelas interfaces de usuário e pela interação do usuário com o sistema;
- **Application:** responsável por coordenar as operações do sistema, mas sem conter regras de negócios. Ela organiza as tarefas e delega as responsabilidades para as camadas inferiores;
- **Domain:** contém as regras de negócios e de domínio. É o foco principal do sistema, onde os conceitos e regras do domínio são implementados;
- **Infrastructure:** apoia as outras camadas, fornecendo serviços como persistência de dados e outras funcionalidades técnicas.

Contudo, por o sistema já estar modularizado e por usar o Firebase e o Objectbox como bancos de dados, não foi preciso implementar todas as camadas propostas pelo DDD. Desse modo, não foi preciso implementar as camadas *Application* e *Infrastructure* em sua totalidade. Em vez disso, foi implementada a camada *Data*, responsável apenas pelas configurações dos bancos de dados e pela persistência dos dados nos mesmos. Dessa forma, as camadas efetivamente implementadas nos módulos do sistema foram *Domain*, *Presentation* e *Data*, conforme ilustrado pela Figura 2.

Figura 2 – Arquitetura de um Módulo

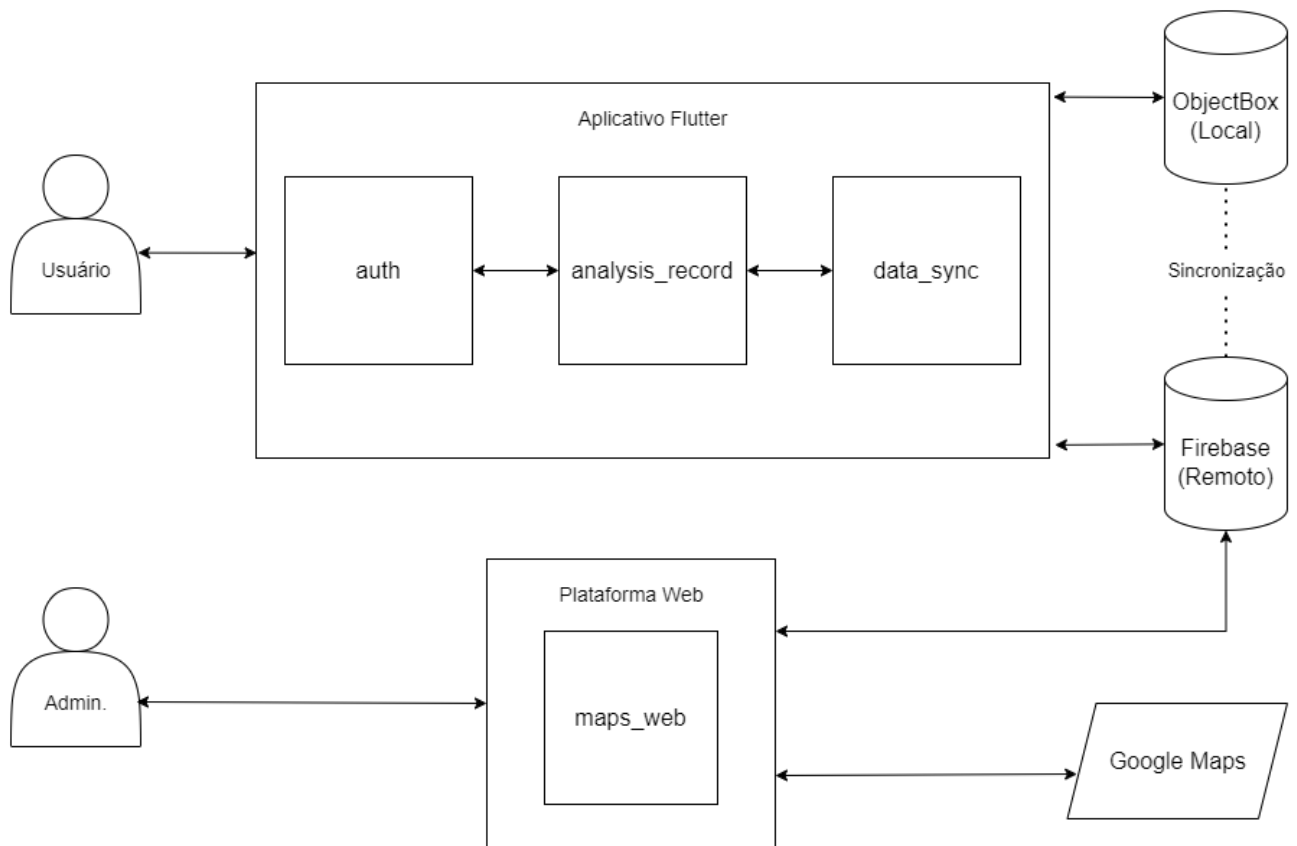


Fonte: autoria própria (2024)

Por fim, na Figura 3 é descrita a arquitetura completa do sistema, de acordo com as informações desta seção. Essa ilustração mostra a interação do usuário com o sistema, a integração e o fluxo de dados entre os módulos desenvolvidos e os dois bancos de dados utilizados: o Firebase, para manter os dados salvos remotamente, e o Objectbox, para manter os dados salvos localmente, de modo que, mesmo sem conexão com a internet — o que pode ocorrer com frequência principalmente nas regiões mais afastadas das áreas urbanas —, o usuário do aplicativo possa registrar suas análises de nascentes sem perder os dados registrados.

Da mesma forma, a arquitetura mostra a interação da plataforma web com o aplicativo por meio da ligação com o Firebase, para obter os dados salvos remotamente, e, utilizando-se do Google Maps, a plataforma web exibe mapas com as informações advindas do banco de dados remoto utilizado, de modo a tornar os dados registrados mais visuais e compreensíveis aos administradores do sistema, facilitando assim o controle dos dados dos registros feitos pelos usuários.

Figura 3 – Arquitetura do Sistema



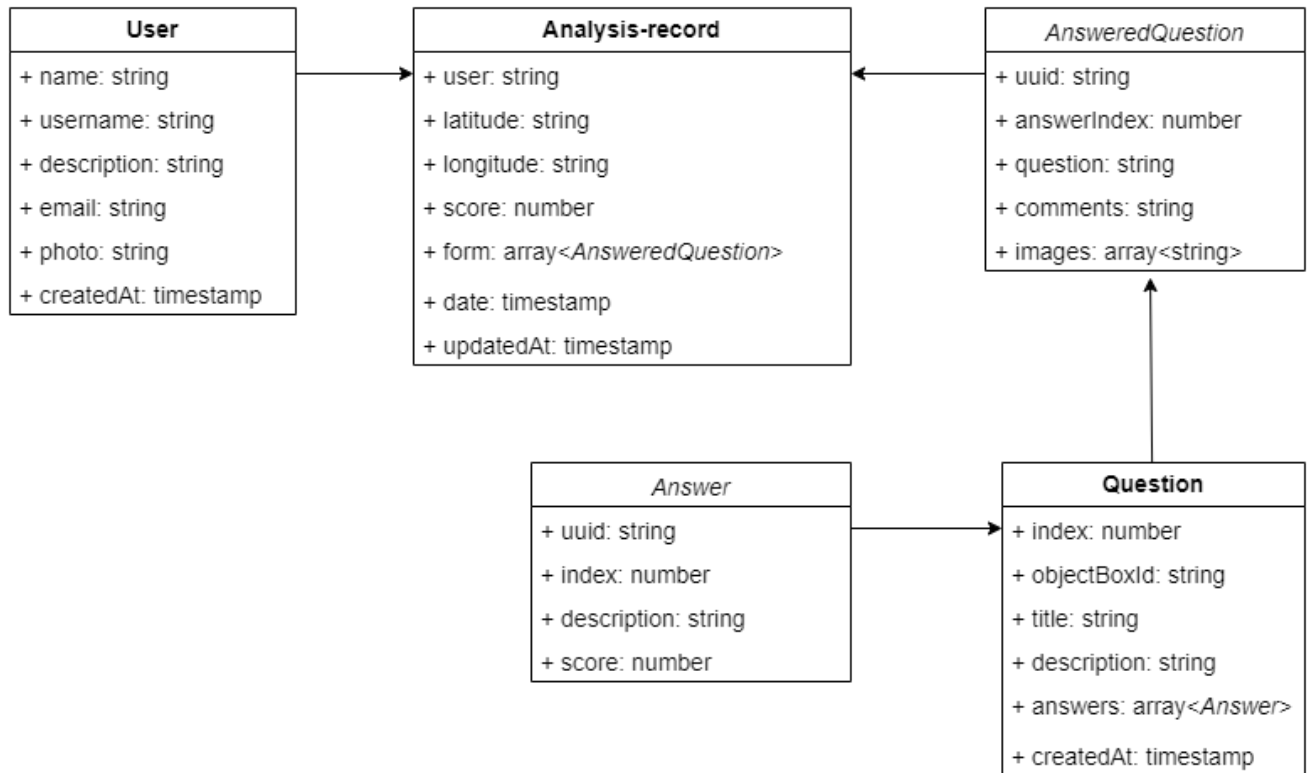
Fonte: autoria própria (2024)

4.2.2.2 Modelo de Dados

O modelo de dados é uma representação conceitual de como os dados estão organizados e estruturados dentro de um sistema. Ele utiliza conceitos lógicos, como objetos, suas propriedades e seus relacionamentos, que os usuários podem entender mais rapidamente que os conceitos de armazenamento no computador (Elmasri e Navathe, 2018).

O modelo de dados do aplicativo é apresentado na Figura 4, onde é mostrado um diagrama UML de classes do sistema.

Figura 4 – Modelo de Dados



Fonte: autoria própria (2024)

O diagrama acima expressa as seguintes entidades:

- **User**: o profissional da área ambiental que utiliza o aplicativo;
- **Analysis-record**: o registro da análise de nascente realizado;
- **Question**: a pergunta do parâmetro da metodologia AIIN a ser respondida;
- **AnsweredQuestion**: a pergunta do parâmetro da metodologia AIIN já respondida;
- **Answer**: a resposta predefinida do parâmetro da metodologia AIIN.

Conforme ilustrado na Figura 4, assim estarão relacionadas as classes no software. Note que as classes *AnsweredQuestion* e *Answer* estão destacadas em itálico no diagrama, isso porque essas classes são apenas atributos do tipo *map*⁶ nos bancos de dados utilizados, onde a classe *AnsweredQuestion* é um atributo da classe *Analysis-record* e a classe *Answer* é um atributo da classe *Question*. Logo abaixo serão detalhados os atributos das classes representadas nesse diagrama.

⁶ Estrutura de dados no Dart que permite armazenar e organizar informações em pares chave-valor

- User:

- **name**: nome do usuário
- **username**: nome de perfil do usuário no sistema
- **description**: breve descrição do perfil do usuário
- **email**: e-mail do usuário
- **photo**: foto de perfil do usuário
- **createdAt**: data de criação do perfil do usuário

- Analysis-record:

- **user**: usuário que registrou a análise
- **latitude**: latitude da nascente
- **longitude**: longitude da nascente
- **score**: pontuação total alcançada no questionário da metodologia AIIN
- **form**: lista de *maps* da “classe” *AnsweredQuestion*
- **date**: data de criação do registro
- **updatedAt**: data da última atualização do registro

- Question:

- **index**: utilizado para exibir as perguntas em ordem no questionário
- **objectId**: identificador utilizado exclusivamente no Objectbox
- **title**: título da pergunta
- **description**: descrição da pergunta
- **answers**: lista de *maps* da “classe” *Answer*
- **createdAt**: data da criação da pergunta

- AnsweredQuestion:

- **uuid**: identificador único deste *map*
- **answerIndex**: index da resposta da pergunta
- **question**: pergunta respondida
- **comments**: comentários anexados ao registro
- **images**: lista de imagens anexadas ao registro

- Answer:

- **uuid**: identificador único deste *map*
- **index**: index da resposta
- **description**: descrição da resposta
- **score**: pontuação atribuída à resposta

4.2.3 Fase 3: Desenvolvimento

Nesta fase, o software deve ser criado para atender às especificações definidas na fase de especificação e na fase de projeto (Sommerville, 2011; Forouzan e Mosharraf, 2011).

Dessa maneira, foi definido como o sistema funcionaria na parte interna, para que os requisitos funcionais e não funcionais especificados pudessem ser atendidos, considerando alguns aspectos com a arquitetura do sistema, as tecnologias utilizadas, entre outros.

Esta fase incluiu a construção do aplicativo, quando se convertem os conteúdos das fases anteriores para a linguagem do computador e adaptada para o software, utilizando as tecnologias Flutter, Firebase, Objectbox e Google Maps, formando a estrutura inicial do sistema (processo de codificação).

Assim, fez-se a tradução das representações do projeto de uma linguagem humana para uma linguagem artificial (ou de máquina), resultando em instruções que o computador torna-se capaz de executar.

4.2.4 Fase 4: Avaliação do Sistema

Nesta fase, o software deve ser validado para garantir que o mesmo atenda às demandas dos *stakeholders* (clientes e outras partes interessadas no software). A validação do software tem o objetivo de mostrar que este se adequa às suas especificações e satisfaz os requisitos desejados pelos usuários do sistema (Sommerville, 2011).

Assim, esta fase compreendeu a validação da qualidade do aplicativo proposto no presente trabalho, através de testes *in loco* com acompanhamento de um especialista na área ambiental, avaliando aspectos como precisão e aparência geral do aplicativo, apresentados na etapa a seguir.

4.3 ETAPA III: VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

A última etapa deste trabalho refere-se ao terceiro objetivo específico deste estudo: “Validar o aplicativo, abrangendo aspectos de precisão e aparência”. Dessa forma, para atingir esse objetivo, foram realizados testes *in loco*, com o acompanhamento de um profissional

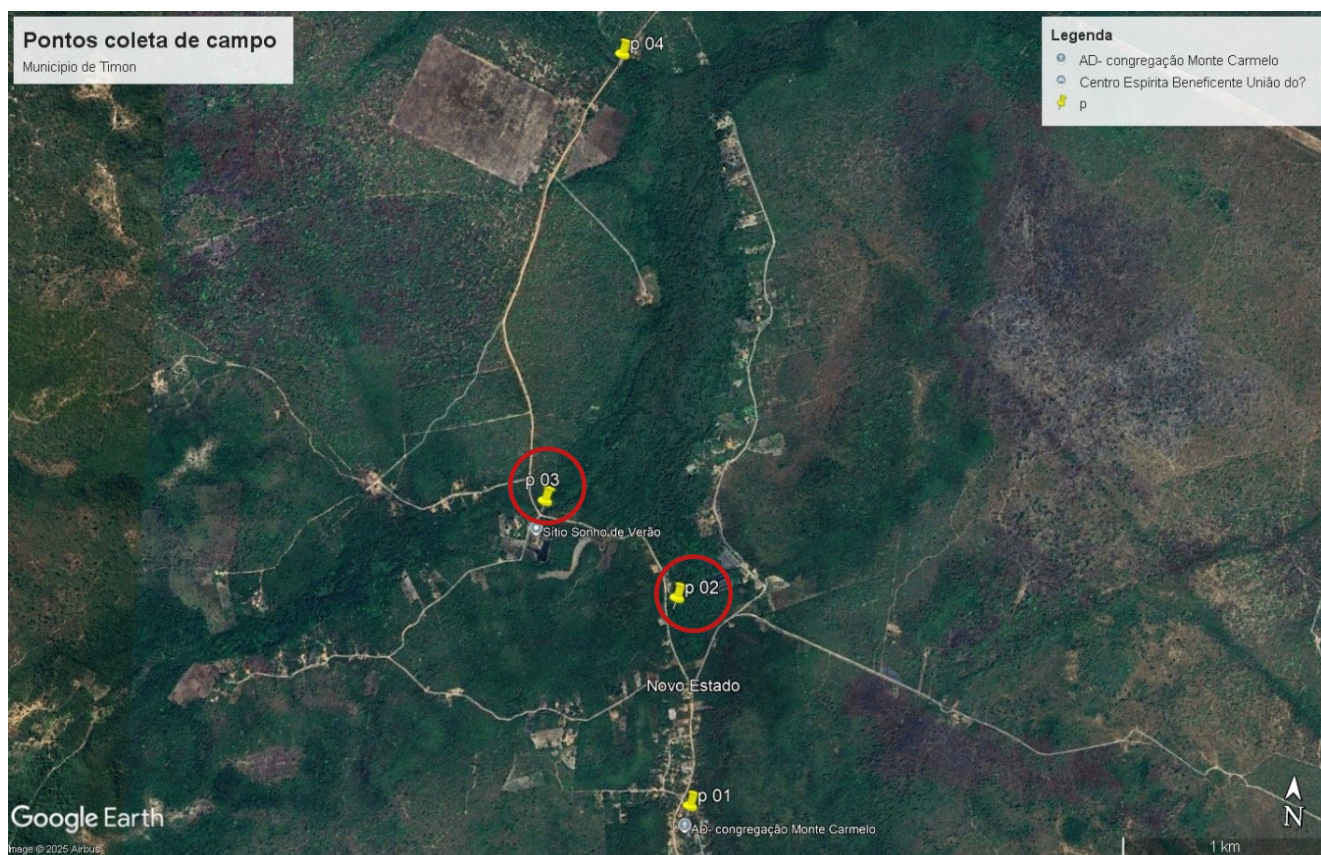
ambiental, a fim de comparar a aplicação desenvolvida com o método tradicional “papel e caneta”. Logo abaixo está a descrição da área de análise desses testes.

4.3.1 Área de Análise

O trabalho de campo foi realizado na comunidade Bambu, na região conhecida como “Novo Estado”, localizada no município de Timon, Maranhão, a 27 km do centro urbano. A região é conhecida por ter várias nascentes e olhos d’água, com vegetação densa, próximo ao “Balneário Portal da Amazônia”.

Foram visitados 4 pontos na área de estudo próximos ao “Riacho Coroatá”, conforme ilustrado pela Figura 5. A visita à comunidade foi feita por intermédio da associação de moradores, na qual informou haver 6 nascentes na região, porém só 3 estavam ativas. Durante a visita de campo *in loco*, só foi possível identificar 2 das 6 nascentes descritas (P02 e P03, destacadas em vermelho), pois as outras estavam inativas ou cobertas pelo “Riacho Coroatá”. Nos dois pontos onde foram identificadas as nascentes, foi utilizado o aplicativo para fazer a avaliação macroscópica (a olho nu), frente ao método tradicional “papel e caneta”.

Figura 5 – Pontos da Coleta de Campo



Fonte: autoria própria (2024)

O resultado desses testes *in loco* pode ser conferido no item “Resultados”.

5 RESULTADOS

5.1 ETAPA I: PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Sabe-se que a água é um bem natural extremamente valioso e importante para os seres vivos, pois ela é necessária na realização dos processos físicos, químicos e biológicos dos mesmos. No entanto, os seres humanos têm explorado esse recurso de forma não sustentável, resultando em graves problemas relacionados à baixa qualidade dos recursos hídricos, incluindo as nascentes, e sua escassez (Buzelli e Cunha-Santino, 2013). Dessa forma, são necessários métodos e técnicas para avaliar a qualidade ambiental desse recurso vital, a fim de conservá-lo.

Como forma de se buscar os melhores métodos e técnicas para avaliar a conservação ambiental das nascentes, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, atendendo a etapa I deste trabalho, através de livros, artigos científicos e publicações presentes em bases de dados como as plataformas “Periódicos CAPES”, “SciELO”, entre outras.

Assim, encontrou-se a metodologia de Gomes, Melo e Vale (2005), que consiste em um questionário com 13 parâmetros visíveis a olho nu e com pontuação que varia de 1 a 3 para cada parâmetro. Essa metodologia classifica a conservação ambiental da nascente em 5 classes (ótimo, bom, regular, ruim e péssimo).

Vale ressaltar que a distribuição de pontos entre as classes “ótimo” e “regular” vai de 39 a 31, representando um aproveitamento de, pelo menos, 80%, ou seja, para que uma nascente obtenha uma classificação positiva ou neutra, é necessário que a mesma atinja ao menos 80% dos pontos. Isto ocorre pois as nascentes são corpos d’água muito sensíveis aos impactos ambientais, sendo necessária uma avaliação mais rigurosa. Vários trabalhos utilizaram a metodologia de Gomes, Melo e Vale (2005), como o trabalho de Carvalho, Porto e Oliveira (2020) e Santos *et al.* (2021), dedicados para nascentes, e o trabalho de Silva, Marvila e Santos (2021), adaptado para rios.

Nessa pesquisa também encontrou-se a metodologia de Gomes (2015), baseada na metodologia de Gomes, Melo e Vale (2005) e desenvolvida para nascentes. Ela faz uma adaptação e expande a análise de nascentes, possuindo 20 parâmetros visíveis a olho nu, com pontuação atribuída que varia também de 1 a 3, sendo que o valor 1 representa “sem impacto ou não observável”, o valor 2 representa que o parâmetro está presente de forma moderada, marcando sua presença em alguns poucos atributos, e o valor 3, por sua vez, descreve que o parâmetro possui impacto observável. Essa metodologia possui 3 classificações (preservada, moderadamente preservada e degradada), com aproveitamento de 60% dos pontos, as quais são combinadas com aspectos legais e geológicos, permitindo um maior e melhor entendimento das nascentes comparado à metodologia de Gomes, Melo e Vale (2005).

Porém, devido ao pouco tempo para o desenvolvimento deste trabalho e por sua simplicidade de implementação, adaptação e utilização pelos usuários, foi optado por utilizar no aplicativo a metodologia de Gomes, Melo e Vale (2005), apesar de suas limitações, que serão debatidas no item “Discussão”.

A seguir está uma descrição com mais detalhes da metodologia inspirada e adotada nesta etapa para o aplicativo.

5.1.1 Metodologia Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes (AIIN)

A metodologia Avaliação de Índices de Impacto Ambiental em Nascentes (AIIN) é uma metodologia proposta por Gomes, Melo e Vale (2005) que consiste em responder um questionário com parâmetros predefinidos e observáveis a olho nu relativos à situação da nascente. Abaixo estão esses parâmetros observáveis (Tabela 5), também chamados de indicadores ambientais, e suas possíveis pontuações (Tabela 6).

Tabela 5 – Descrição dos Indicadores Ambientais a Serem Avaliados

ITEM	DESCRIÇÃO
Odor da água	Com o uso do recipiente para coleta e verificação do odor
Coloração aparente da água	Utilizando recipiente transparente para coleta e verificação da cor
Lixo ao redor	Presença de lixo no local e caracterização dos mesmos
Matérias flutuantes	Presença de objetos na superfície
Espumas	Presença na superfície da água
Óleos	Presença na superfície da água
Esgotos	Presença de emissário e sua distância da nascente
Vegetação	Caracterização próxima à nascente
Uso por animais	Evidência de uso por animais
Uso antrópico	Uso antrópico, evidência de utilização da nascente por humanos (bombas de sucção, irrigação, etc.)
Residências	Quantificação aproximada da distância da nascente até as residências ou outros estabelecimentos
Tipo de áreas de inserção	Se a nascente está localizada em área que visa à preservação
Áreas de cultivo	Se há presença de cultivo próximo

Fonte: adaptado de Gomes, Melo e Vale (2005)

Tabela 6 – Pontuação Atribuída aos Indicadores Utilizados para o Cálculo do Índice de Impacto Ambiental

ITEM	NOTA ATRIBUIDA		
	1	2	3
Odor da água	Forte	Fraco	Ausente
Coloração aparente da água	Escura	Clara	Transparente
Lixo ao redor	Muito	Pouco	Ausente
Matérias flutuantes	Muito	Pouco	Ausente
Espumas	—	Pouco	Ausente
Óleos	—	Pouco	Ausente
Esgotos	Esgoto doméstico	Fluxo superficial	Ausente
Vegetação	Ausente	Pouco	Muito
Uso por animais	Presença	Apenas marcas	Ausente
Uso antrópico	Presença	Apenas marcas	Ausente
Residências	<50 m	Entre 50 e 100 m	>100 m
Tipo de áreas de inserção	Ausente	Privada	Protegida
Áreas de cultivo	Presença	Apenas marcas	Ausente

Fonte: adaptado de Gomes, Melo e Vale (2005)

Ao final desse questionário, é contabilizada a pontuação total da qualidade da conservação ambiental da nascente analisada. Com essa pontuação é possível classificar a preservação ambiental como ótima, boa, razoável, ruim ou péssima, conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 7 – Classificação da Nascente quanto ao Grau de Preservação

CLASSE	GRAU DE PRESERVAÇÃO	PONTUAÇÃO*
A	Ótimo	De 37 a 39 pts.
B	Bom	De 34 a 36 pts.
C	Razoável	De 31 a 33 pts.
D	Ruim	De 28 a 30 pts.
E	Péssimo	Abaixo de 28 pts.

Fonte: adaptado de Gomes, Melo e Vale (2005)

5.2 ETAPA II: DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Nesta seção, o software será apresentado em suas etapas de desenvolvimento. O aplicativo desenvolvido neste trabalho recebeu o nome de “Doutor Nascente”. Esta denominação foi escolhida em virtude da facilidade de pronúncia e sonoridade, além de ser claro no seu objetivo principal: auxiliar profissionais ambientais no monitoramento e na avaliação da conservação ambiental de nascentes, como um médico a examinar sintomas em seus pacientes.

Logo abaixo está a apresentação do aplicativo e suas interfaces desenvolvidas em funcionamento em um smartphone Android, também é possível observar a interface da plataforma web

desenvolvida para os administradores do sistema.

5.2.1 Apresentação do Aplicativo

O aplicativo Doutor Nascente foi desenvolvido como uma ferramenta de campo para auxiliar profissionais da área ambiental na realização de tarefas de análise e monitoramento da conservação ambiental de nascentes, de modo a torná-la mais prática e eficiente. Esse software foi desenvolvido para Android e iOS, a fim de que se torne disponível para as principais plataformas móveis da atualidade.

O ícone do aplicativo foi enviado para um designer gráfico, de modo que fosse elaborado de forma visualmente simples, refletindo sua identidade. Para ter acesso ao aplicativo, o usuário deve clicar no ícone referente na tela do dispositivo móvel. A figura 6 representa o ícone do aplicativo na tela de um smartphone.

Figura 6 – Captura do Ícone do Aplicativo Doutor Nascente



Fonte: autoria própria (2024)

Com esse software é possível analisar a conservação ambiental de nascentes por meio de um questionário com perguntas predefinidas relacionadas aos parâmetros da metodologia AIIN e, por meio do smartphone, é possível anexar observações, fotos e localização da nascente onde foi feita a análise, de modo a tornar o registro mais completo e informativo. Ao terminar esse processo, é mostrada para o usuário a pontuação alcançada e se a conservação ambiental da nascente é considerada ótima, boa, razoável, ruim ou péssima.

Na seção logo abaixo são exibidas as interfaces do sistema, exemplificando a utilização do software desenvolvido e de suas funcionalidades.

5.2.2 Interfaces do Sistema

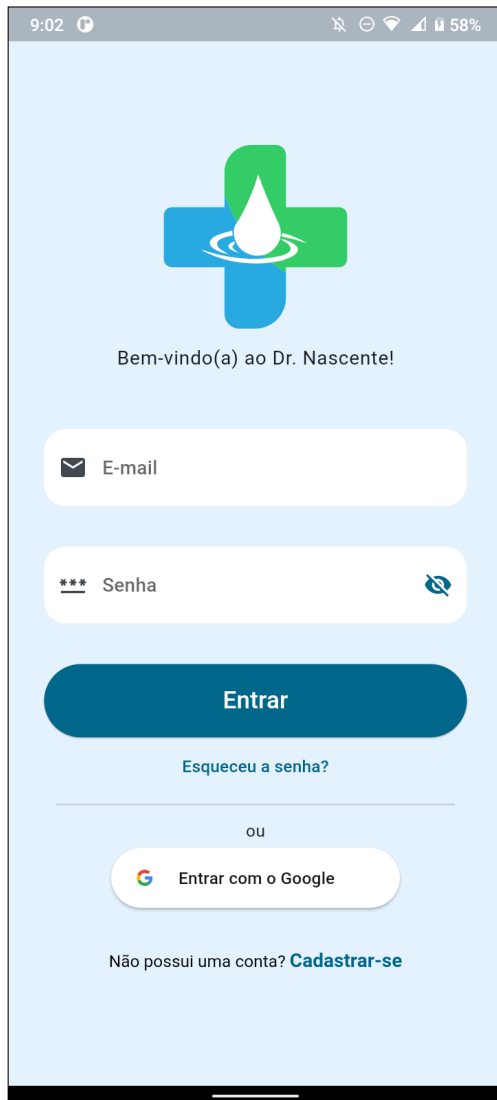
Toda a interface do sistema foi construída utilizando o Flutter e as tendências do Material Design¹. Abaixo serão apresentadas capturas de tela tiradas do aplicativo em funcionamento

¹ Linguagem de design livre desenvolvida pela Google com o objetivo de padronizar e unificar as interfaces gráficas do Android, do Flutter e de outras tecnologias da empresa (Material Design, 2022)

em um smartphone com Android 11, bem como do mapa da plataforma web desenvolvida.

Nas Figuras 7 e 8, encontram-se, respectivamente, as telas de login e de cadastro do sistema.

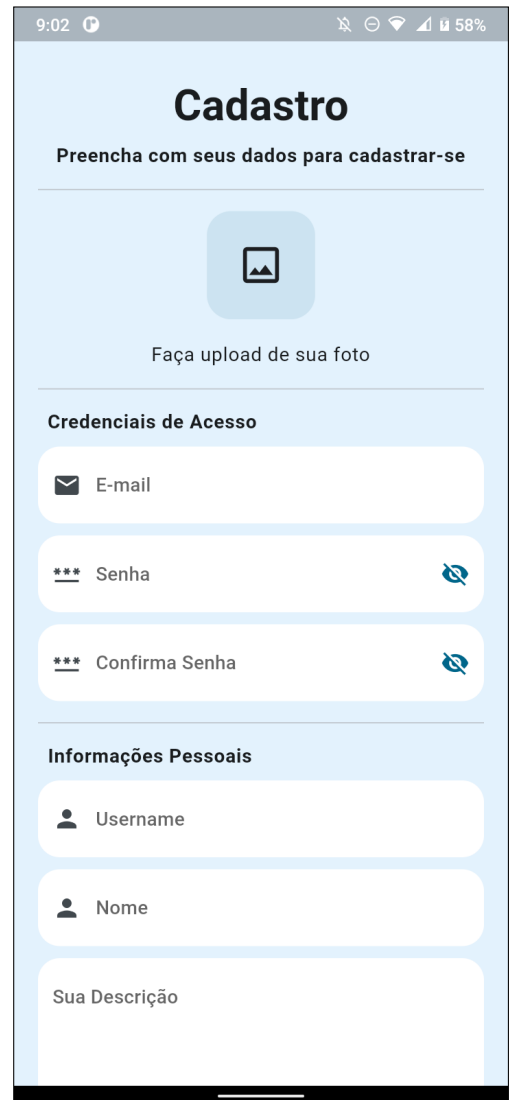
Figura 7 – Tela de Login



A tela de login apresenta um cabeçalho com o status da bateria em 58% e o horário 9:02. No topo, há um ícone de uma gota d'água dentro de uma cruz verde e azul. Abaixo, o texto "Bem-vindo(a) ao Dr. Nascente!" é exibido. O formulário de login contém campos para "E-mail" e "Senha" (com ícone de olho para alternar visibilidade). Um botão azul "Entrar" está abaixo dos campos. Abaixo do botão, há um link "Esqueceu a senha?". Uma linha horizontal com o texto "ou" separa o login de uma opção de login com o Google. No rodapé, há um link "Não possui uma conta? Cadastrar-se".

Fonte: autoria própria (2024)

Figura 8 – Tela de Cadastro



A tela de cadastro apresenta o título "Cadastro" e o subtítulo "Preencha com seus dados para cadastrar-se". No topo, há um ícone de uma foto. Abaixo, o texto "Faça upload de sua foto" é exibido. O formulário de cadastro está dividido em duas seções: "Credenciais de Acesso" e "Informações Pessoais". A seção "Credenciais de Acesso" contém campos para "E-mail", "Senha" e "Confirma Senha" (com ícones de olho para alternar visibilidade). A seção "Informações Pessoais" contém campos para "Username", "Nome" e "Sua Descrição".

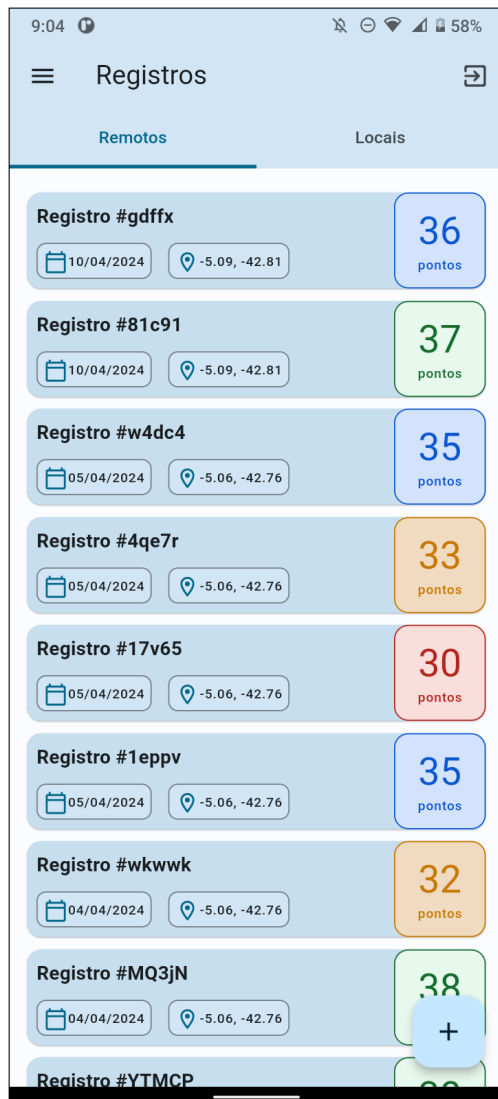
Fonte: autoria própria (2024)

Após a conclusão do cadastro ou login, o usuário é redirecionado para a página inicial, conforme mostrado na Figura 9. Essa página exibe os registros disponíveis, tanto salvos remotamente como salvos localmente, e, na ausência destes, apresenta uma mensagem de aviso.

A interface também inclui outras funcionalidades mostradas na Figura 9, como cadastrar um novo registro (botão no canto inferior direito), sair do sistema (botão no canto superior direito) e menu lateral (botão no canto superior esquerdo).

No menu lateral são apresentadas outras informações como o tutorial de uso do aplicativo, o sobre nós, os termos de uso e a política de privacidade, conforme a Figura 10.

Figura 9 – Tela Inicial



Fonte: autoria própria (2024)

Figura 10 – Menu Lateral



Fonte: autoria própria (2024)

Quando o usuário seleciona a opção de cadastrar um novo registro, é redirecionado para o questionário da metodologia AIIN, onde terá que responder perguntas relacionadas aos indicadores ambientais apresentados na seção 5.1.1 deste presente trabalho, conforme a Figura 11. Para enriquecer ainda mais a pesquisa e a análise da nascente, é possível também anexar fotos e comentários a um determinado indicador, conforme ilustrado pela Figura 12.

Figura 11 – Tela do Questionário no Indicador 'Coloração Aparente da Água'

The screenshot shows a mobile application interface for adding a record. At the top, there is a status bar with the time 9:07 and battery level 58%. Below the status bar is a header with a back arrow and the text 'Adicionar Registro'. A progress bar is visible below the header. The main content area is a light blue rounded rectangle containing the text 'Item 2: Coloração aparente da água' and a subtitle 'Utilizando recipiente transparente para coleta e verificação da cor.' Below this, there are three large, rounded buttons: a red button labeled 'Escura' with a sad face icon, a blue button labeled 'Clara' with a neutral face icon, and a green button labeled 'Transparente' with a happy face icon. At the bottom of this section is a blue button labeled 'Continuar' with a right arrow icon.

Fonte: autoria própria (2024)

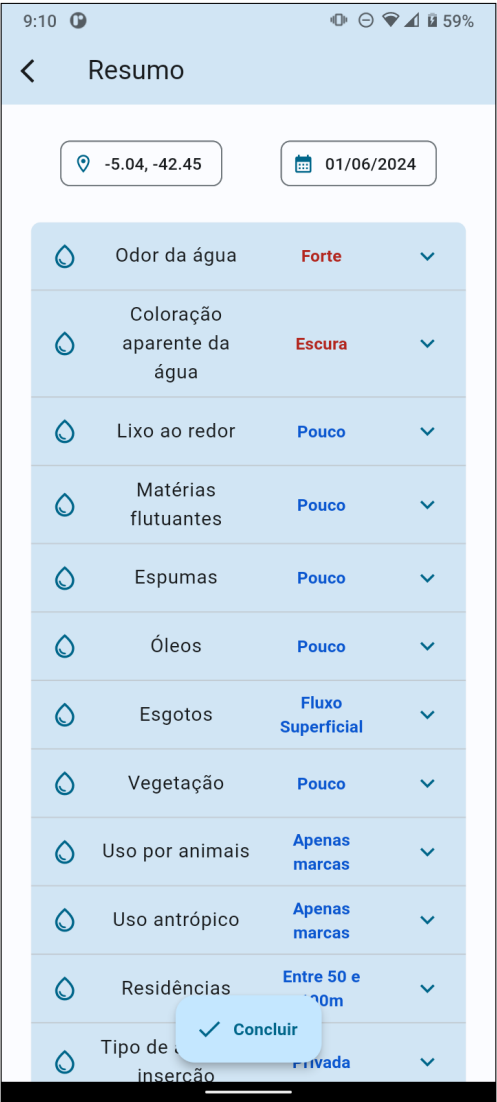
Figura 12 – Tela de Anexar Fotos e Comentários

The screenshot shows the same mobile application interface as Figure 11, but with additional options. Below the 'Transparente' button, there is a section titled 'Imagens' with a counter '0/8' and a blue button with a plus sign. Below this, there is a large text area labeled 'Observações'. At the bottom of the main content area is a blue button labeled 'Próximo parêntro' with a right arrow icon.

Fonte: autoria própria (2024)

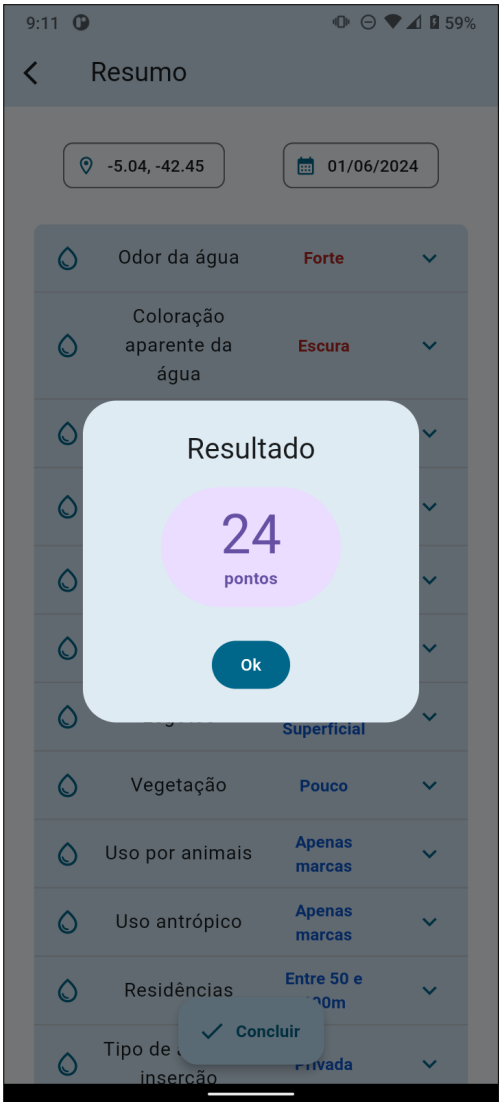
Após responder a todas as perguntas do questionário, é apresentado ao usuário o resumo do questionário respondido, onde é possível corrigir as informações ou confirmar e finalizar o cadastro do registro, conforme mostrado na Figura 13. Logo após finalizar o cadastro, o sistema mostrará brevemente a pontuação da qualidade ambiental obtida no registro, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 13 – Tela de Resumo



Fonte: autoria própria (2024)

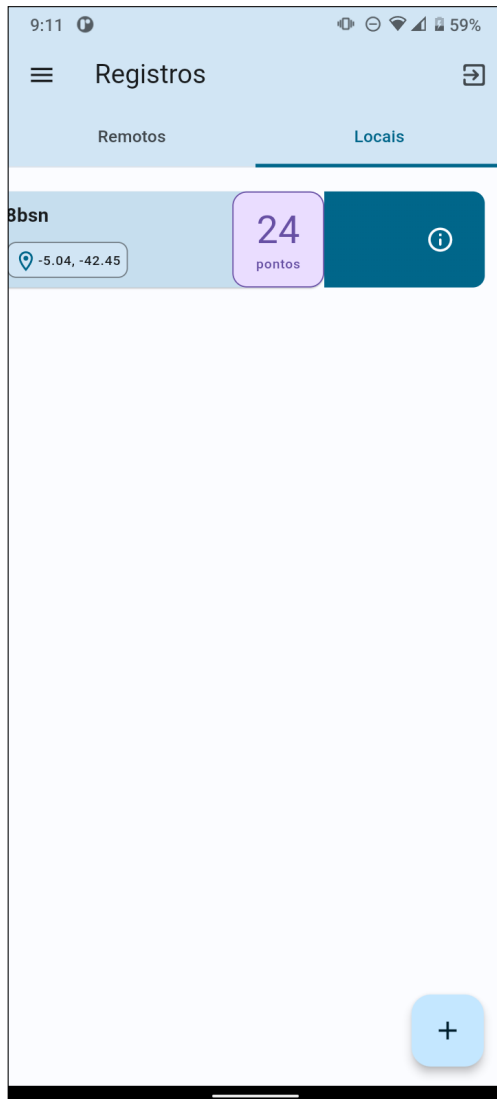
Figura 14 – Tela de Exibição da Pontuação



Fonte: autoria própria (2024)

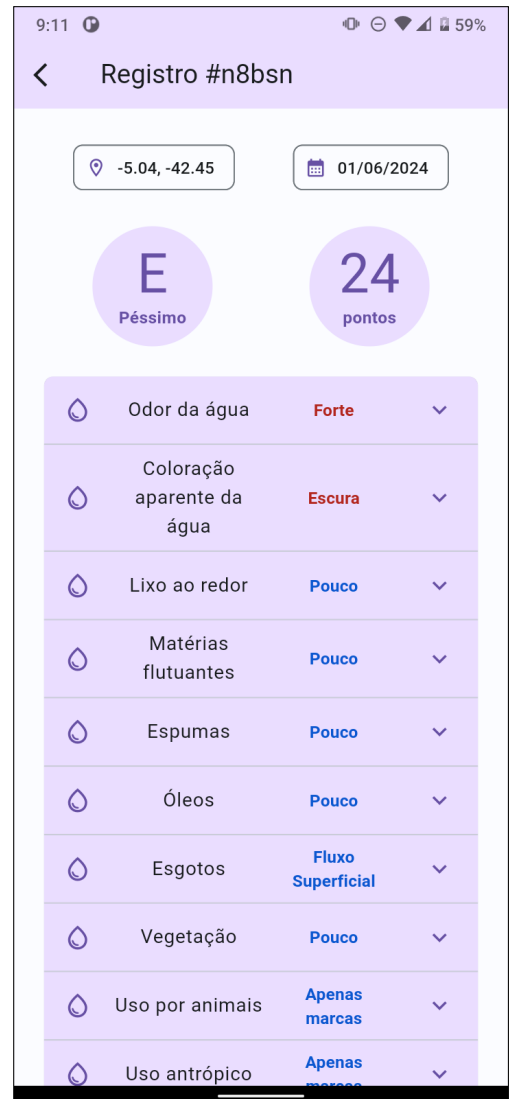
Voltando à tela inicial, é possível ver mais detalhes de um registro, como sua classificação e pontuação no índice de qualidade ambiental e quais fatores causaram essa pontuação. Basta que o usuário deslize o registro escolhido para esquerda, conforme a Figura 15. Ao executar essa ação, é apresentada a tela de detalhes, conforme ilustrado pela Figura 16.

Figura 15 – Obtendo os Detalhes de um Registro



Fonte: autoria própria (2024)

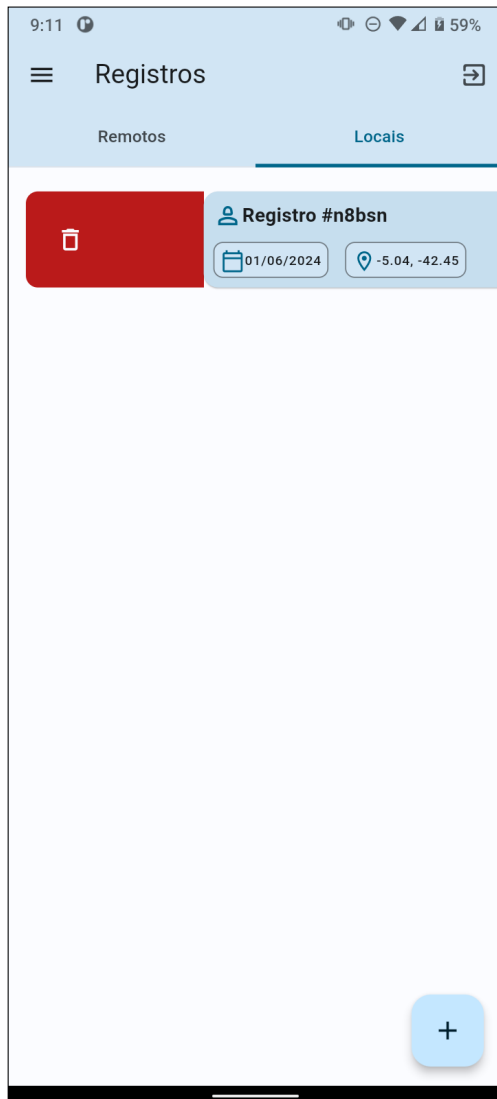
Figura 16 – Tela de Detalhes de um Registro



Fonte: autoria própria (2024)

Da mesma forma, também é possível apagar um registro local na tela inicial. Basta que o usuário deslize o registro escolhido para direita, conforme mostrado pela Figura 17. Executando essa ação, é apresentada uma tela de confirmação, onde o usuário poderá confirmar ou cancelar a exclusão do registro, conforme a Figura 18.

Figura 17 – Apagando um Registro Local



Fonte: autoria própria (2024)

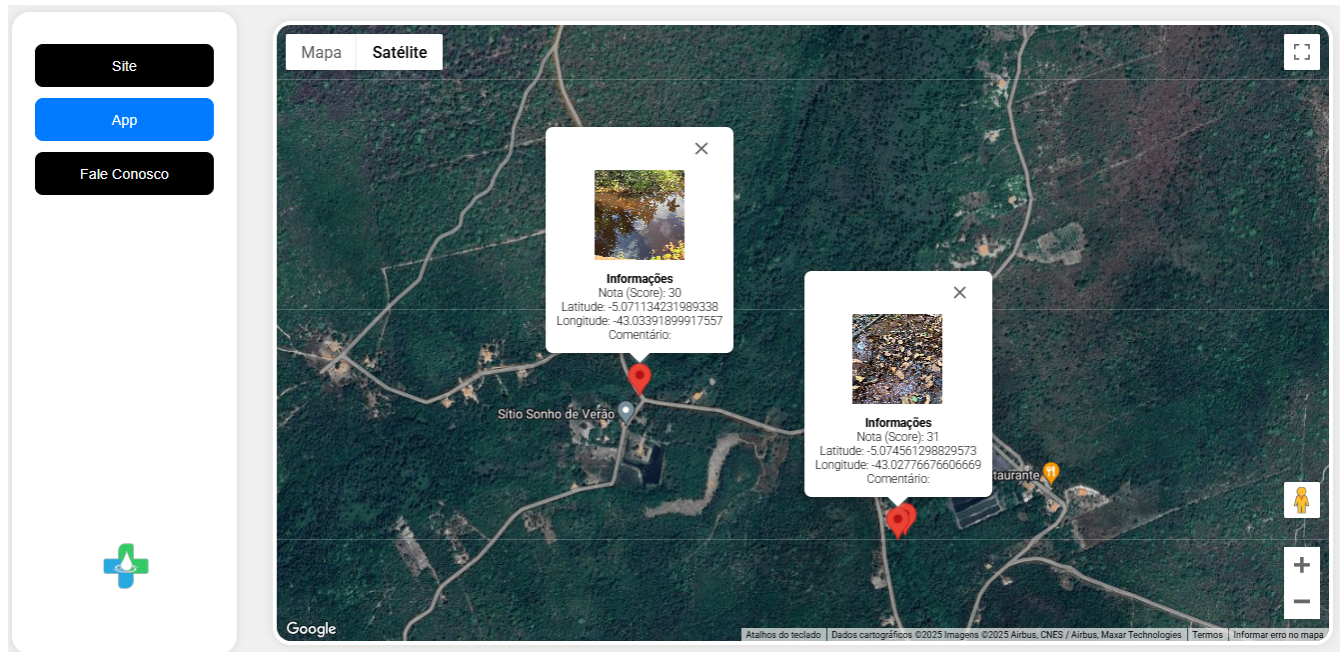
Figura 18 – Tela de Confirmação de Exclusão



Fonte: autoria própria (2024)

Por fim, para os administradores do sistema, está disponível uma plataforma web com mapa, com o objetivo de facilitar o controle dos dados registrados pelos usuários, tornando esse processo mais visual e compreensível, sendo possível verificar a pontuação (score), o local, as observações (comentários) e as imagens atribuídas àquela análise de nascente, conforme ilustrado pela Figura 19, logo abaixo.

Figura 19 – Mapa da Plataforma Web



Fonte: autoria própria (2024)

5.3 ETAPA III: VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

5.3.1 Dados Coletados nos Testes *In Loco*

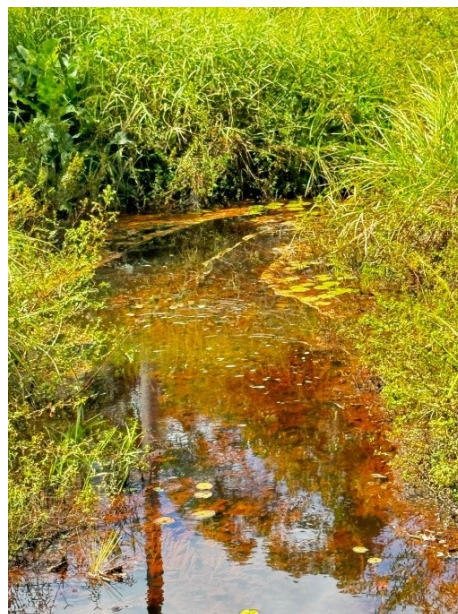
A coleta *in loco* ocorreu no dia 23 de junho de 2024, na comunidade Bambu. Das 6 nascentes informadas, só duas foram identificadas. Os moradores mencionaram que as nascentes costumam mudar de lugar. Identificamos com auxílio do aplicativo 2 pontos em que elas realmente ocorrem, no ponto P02 (Figura 20) e no ponto P03 (Figura 21), os demais pontos ou estavam inativos, ou cobertos pelo leito do riacho. Foi a aplicação da metodologia onde o ponto P02 obteve pontuação 31, razoável, e o ponto P03 obteve pontuação 30, ruim, as mesmas pontuações atingidas pelo método tradicional, revelando a eficácia do aplicativo e a necessidade de um estudo mais aprofundado das nascentes da região para verificar sua sustentabilidade.

Figura 20 – Nascente do Ponto P02



Fonte: autoria própria (2024)

Figura 21 – Nascente do Ponto P03



Fonte: autoria própria (2024)

5.3.2 Precisão e Aparência

Os avaliadores do aplicativo relataram uma experiência positiva, destacando a aparência e a precisão das análises em comparação com o método tradicional “papel e caneta”. Pôde-se notar também que a avaliação utilizando o aplicativo foi bem mais rápida, já que o processo de escrita com papel e caneta é mais lenta do que alguns clique em uma tela dedicada a um determinado parâmetro ambiental. Além disso, por o aplicativo já salvar os dados coletados (pontuação, observações e fotos do local) na nuvem, não foi necessário digitalizar esses dados em um computador, revelando assim que o aplicativo é prático, rápido e eficiente frente ao método tradicional.

O aplicativo também pode ser utilizado por comunidades tradicionais (indígenas, quilombolas, comunidades rurais, pescadores, etc.), fornecendo uma ferramenta de monitoramento dos recursos hídricos pelas populações que possuem contato diário com as nascentes. Os povos e comunidades tradicionais são grupos culturalmente diferenciados que se reconhecem como tais, possuem formas próprias de organização social e utilizam territórios e recursos naturais para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica (Brasil, 2007).

5.3.3 Conclusão

O Doutor Nascente demonstrou ser uma ferramenta eficaz e eficiente para a avaliação da conservação ambiental de nascentes, proporcionando dados precisos e de fácil compreensão pelos usuários. Comparado ao método tradicional, o aplicativo oferece mais praticidade e rapidez na coleta de dados e, além disso, foi bem avaliado pelos avaliadores na questão da precisão e aparência.

6 DISCUSSÃO

O aplicativo Doutor Nascente atua de maneira semelhante a uma calculadora, processando os dados dos parâmetros da metodologia AIIN e apresentando ao usuário, ao final, o resultado que indica o grau de qualidade ambiental da nascente analisada. No entanto, apesar de ser um aplicativo inovador, o presente sistema não consegue realizar análises muito profundas/precisas, devido à metodologia de avaliação adotada e utilizada.

A metodologia AIIN, de Gomes, Melo e Vale (2005), possui alguns problemas relacionados aos seus parâmetros, como, por exemplo, a “coloração” da água que se pode confundir com a sua “transparência”, o que pode induzir o usuário a ter percepções diferentes da conservação ambiental ao realizar as análises. Do mesmo modo, no parâmetro “tipo de áreas de inserção” são consideradas mais conservadas as áreas públicas que as áreas privadas, o que não é necessariamente verdade em todos os casos. Além disso, outro problema está no uso dos termos “muito” e “pouco”, que são subjetivos e afetam diretamente na precisão das avaliações.

Desse modo, a fim de sanar esses problemas, futuramente, a metodologia adotada por este trabalho será modificada, sendo adaptada e utilizada a metodologia de Gomes (2015), que além de resolver tais problemas e limitações, inclui aspectos legais e geológicos dentre seus 20 parâmetros, permitindo assim um maior e melhor entendimento das nascentes comparado à metodologia de Gomes, Melo e Vale (2005).

Mesmo assim, sobre os parâmetros da metodologia AIIN, pode-se destacar que caso seja observada a presença de materiais flutuantes, espumas e óleos sobre a superfície da nascente, isso se enquadra como crime ambiental, visto que, segundo a resolução n.º 357/2005 do CONAMA, a presença de matérias flutuantes, espumas e/ou óleos na superfície da nascente deveria ser virtualmente ausente (Brasil, 2005). Dessa forma, deve-se discutir e elaborar alguma maneira de realizar ou formular uma denúncia ambiental pelo aplicativo, a fim de proteger esse valioso recurso natural.

Por outro lado, se for encontrado odor e a depender da cor da água, já se deve fazer uma análise aprofundada da água. Pois o odor indica um possível princípio de eutrofização. Dessa forma, para futuras atualizações do sistema, pode-se pensar na criação de gatilhos no servidor, os quais podem acionar algum aviso sobre tais problemas e recomendar possíveis ações, a fim de tornar o aplicativo mais completo e também usá-lo como uma forma de prova para uma possível denúncia ambiental.

Contudo, o aplicativo mostrou-se útil, prático e eficaz para o que foi proposto, conforme demonstrado no item “Resultados”. Dessa maneira, a discussão aqui elaborada teve como intuito expor as limitações do Doutor Nascente e as possíveis melhorias que podem ser implementadas no futuro, objetivando tornar o aplicativo o melhor possível.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o aplicativo Doutor Nascente, uma ferramenta que visa auxiliar os profissionais da área ambiental no monitoramento e avaliação da qualidade ambiental de nascentes, bem como os aspectos técnicos envolvidos no seu desenvolvimento. O aplicativo utiliza a metodologia AIIN para embasar seus resultados. Para isso, estudou-se a própria metodologia AIIN e também alguns aspectos gerais relacionados à água.

Considera-se o aplicativo Doutor Nascente uma ferramenta útil, prática, eficaz e de fácil uso devido ao seu design e sua interface simples. Em breve, o aplicativo estará disponível nas lojas de aplicativos — na Play Store, para aparelhos Android, e Apple Store, para aparelhos iOS.

Por fim, o trabalho trata dos aspectos gerais sobre o ciclo da água, os rios e as bacias hidrográficas. Assim, pretende-se propagar esses conhecimentos com intuito de conscientizar sobre o funcionamento dos recursos hídricos e sua importância para o meio ambiente.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Além das melhorias descritas e debatidas no item “Discussão”, futuramente, o Doutor Nascente poderá ser integrado a uma plataforma SIG, a qual disponibilizará um mapa com informações em tempo real para um acompanhamento mais completo, detalhado e baseado em estatísticas, onde o usuário poderá obter mais informações sobre o estado de conservação ambiental de nascentes e sua evolução por meio de outros registros já cadastrados. Isso garantirá um melhor uso das informações, sendo observáveis quais são as regiões mais preservadas e as regiões menos preservadas e quais suas possíveis causas, o que pode assegurar melhores políticas públicas para cada região em específico, visando sempre preservar um recurso tão importante para a fauna e a flora que são as nascentes.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, T. B. Veras de; CABRAL, J. J. da S. P.; PAIVA, A. L. Ribeiro de. Interação Água subterrânea-Água superficial e comunidade de organismos da meiofauna do ambiente hiporreico. *Águas Subterrâneas*, 2019. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29638>>.

AWS. *O que é uma API? – Explicação sobre interfaces de programação de aplicações* – AWS. 2023. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/api/#>>. Acesso em: 22 jun. 2023.

BARBOSA, L. N. et al. (Ed.). *Bacias Hidrográficas e Análise de Seus Parâmetros Quantitativos*. Mossoró - RN: EDUERN, 2018. VII. (Planejamento Urbano de Bacias Hidrográficas, VII). ISBN 978-85-7621-216-4.

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. *Software Architecture in Practice*. 3. ed. Boston, MA: Addison-Wesley Professional, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n° 001, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília: DOU de 17 fev, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: DOU de 18 mar, 2005. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. *Decreto n° 6.040, de 07 de fevereiro de 2007*. 2007. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Art. 3°, inc. I. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. d. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de barra bonita, sp. *Revista Ambiente & Água*, SciELO Brasil, v. 8, p. 186–205, 2013.

CARVALHO, C. G. dos S.; PORTO, R. A.; OLIVEIRA, U. R. Avaliação macroscópica de impactos ambientais em nascentes do rio de ondas no oeste da bahia: Macroscopic assessment of environmental impacts in springs of the ondas river in west bahia. *Geosciences= Geociências*, v. 39, n. 3, p. 831–845, 2020.

CASTELLAN, B. T. *Mapeamento de mata ciliar em área de preservação permanente na microbacia do Córrego da Caçada*. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2022. Disponível em: <<http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.456>>.

COSTA, L. R. F.; OLIVEIRA, V. P. V. Os sistemas ambientais e a análise ambiental no contexto semiárido: o caso da sub-bacia hidrográfica do riacho santa rosa. *Revista Equador (UFPI)*, v. 4, n. 02, p. 56–76, 2015.

- ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. *Sistemas de Banco de Dados*. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2018.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 575 p.
- EVANS, E. *Domain-driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2004. ISBN 9780321125217.
- FIREBASE. *Firestore Products*. 2023. Disponível em: <<https://firebase.google.com/products-build?hl=pt>>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. R. da C. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. *Anuário de Pesquisa GVPesquisa*, 2016.
- FLUTTER. *Flutter - Build apps for any screen*. 2024. Disponível em: <<https://flutter.dev/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- FOROUZAN, B. A.; MOSHARRAF, F. *Fundamentos da Ciência da Computação*. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- GARCIA, J. M. *et al.* Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. *Sociedade & Natureza*, v. 30, p. 228–254, 2020.
- GOMES, É. R. *Diagnóstico e avaliação ambiental das nascentes da Serra dos Matões, município de Pedro II, Piauí*. 209 f. Tese (Doutorado em Geografia) — Pós-graduação em Geografia no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” Campus Rio Claro, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/987e83e6-865e-4507-bbb3-8434f2e2ebb4>>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- GOMES, P. M.; MELO, C. de; VALE, V. S. do. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. *Sociedade & Natureza*, Universidade Federal de Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103–120, 2005.
- GOOGLE DEVELOPERS. *Antes de Começar | Google Maps for Flutter*. 2024. Google Maps Platform. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/flutter-package/overview?hl=pt-br>>. Acesso em: 21 out. 2024.
- LEAL, M. S. *et al.* Caracterização hidroambiental de nascentes. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, p. 146–155, 2017.
- LIMA, E. F.; SILVA FILHO, J. P.; ARAÚJO, A. F. S. *Dicionário de termos usados em Ecologia*. Parnaíba: UFPI, 2016. 180 p.
- MARTIN, R. C. *Arquitetura Limpa: O guia do artesão para estrutura e design de software*. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018. ISBN 9788550804606.
- MATERIAL DESIGN. *Get Started*. 2022. Disponível em: <<https://m3.material.io/get-started>>. Acesso em: 01 set. 2024.
- MILLER JUNIOR. *Ciência Ambiental*. São Paulo: Thomson, 2007.
- MIN, K. S.; LEE, D. H.; ACHARYA, T. D. Development of real-time investigation technique for nonpoint pollution source distribution using programming interface. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, v. 27, n. 3, p. 126–134, 2019.

- MORGAN, B. *Adicionar o Google Maps a um app do Flutter*. 2022. Google Codelabs. Disponível em: <<https://codelabs.developers.google.com/codelabs/google-maps-in-flutter?hl=pt-br#0>>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- NEGREIROS, B. *et al.* A database application framework toward data-driven vertical connectivity analysis of rivers. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 172, p. 105916, 2024.
- NUVOLARI, A. *Dicionário de saneamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 336 p.
- OBJECTBOX. *GitHub - objectbox/objectbox-dart: Flutter database for super-fast Dart object persistence*. 2024. Disponível em: <<https://github.com/objectbox/objectbox-dart>>. Acesso em: 31 mar. 2024.
- OBJECTBOX. *Objectbox - Edge Database + Sync for Mobile, IoT & Embedded Devices*. 2024. Disponível em: <<https://objectbox.io/>>. Acesso em: 31 mar. 2024.
- PAPINI, S. *Vigilância em saúde ambiental: uma nova área da ecologia*. São Paulo: Atheneu Editora, 2009.
- PRESS, F. *et al.* *Para entender a terra*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.
- PRESSMAN, R. S. *Engenharia de Software: uma abordagem profissional*. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2001.
- RED HAT. *O que é SDK*. 2024. Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/cloud-native-apps/what-is-SDK>>. Acesso em: 21 out. 2024.
- ROCK CONTENT. *Conheça Firebase: a ferramenta de desenvolvimento e análise de aplicativos mobile*. 2019. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/firebase/>>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- SANTOS, R. B. dos *et al.* Avaliação macroscópica da nascente do brejo da prata, afluente do rio paraíso cerrado piauiense. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 298–319, 2021.
- SERRA, L. A. *Análise espaço-temporal das áreas de influência do terminal portuário do Itaqui, São Luís - MA: estudo de caso acerca dos sistemas hídricos e das áreas de preservação permanente*. 89 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.
- SILVA, E. S. G. da; MARVILA, P. de S.; SANTOS, A. E. dos. Avaliação da qualidade ambiental do rio salinas-mg por meio da análise macroscópica. *Pensar Acadêmico*, v. 19, n. 1, p. 78–86, 2021.
- SILVA JÚNIOR, C. C. Nunes da; SOUSA, W. R. Nunes de; SILVA, M. Targino da. Ecoreport: Aplicativo mobile como ferramenta de diagnóstico ambiental. *Revista de Sistemas e Computação-RSC*, v. 12, n. 3, 2023.
- SOMMERVILLE, I. *Engenharia de Software*. 9. ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- ZAMMETTI, F. *Flutter na prática: Melhore seu desenvolvimento mobile com o SDK open source mais recente do Google*. São Paulo: Novatec Editora, 2020. ISBN 9788575228227.