

Enzo Oliveira Fernandes

**Expandindo o ForestEyes: Proposta de um
Jogo Digital para Ampliar o Engajamento no
Monitoramento do Desmatamento via Ciência
Cidadã**

São Paulo

Novembro de 2025

Enzo Oliveira Fernandes

Expandindo o ForestEyes: Proposta de um Jogo Digital para Ampliar o Engajamento no Monitoramento do Desmatamento via Ciência Cidadã

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Co-orientadores: Álvaro Luiz Fazenda; Vanessa Andrade Pereira; Fábio A. M. Cappabianco (UNIFESP).

Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística
Departamento de Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Goldman Vel Lejbman

São Paulo
Novembro de 2025

*Você não é seu emprego. Você não é a quantidade de dinheiro que tem no banco.
Você não é o carro que dirige. Você não é o conteúdo da sua carteira.
Você não é seu título universitário. Você é o espetáculo ambulante da confusão do
mundo.*

— Tyler Durden, *Clube da Luta* (adaptado)

Resumo

O desmatamento das florestas tropicais compromete a biodiversidade, a regulação climática e o equilíbrio hidrológico. Entre agosto/2018 e julho/2019, o programa PRODES registrou 10 129 km² de desmatamento na Amazônia Legal – um aumento de 34 % em relação ao período anterior (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2024). Embora a disponibilidade de imagens de satélite tenha crescido, o volume de dados e a escassez de especialistas atrasam a geração de alertas. A ciência cidadã surge como alternativa para engajar voluntários na análise de imagens de sensoriamento remoto, produzindo conjuntos de dados que alimentam algoritmos de detecção automática. O projeto ForestEyes explora essa abordagem: voluntários classificam segmentos de imagens orbitais como “floresta”, “não-floresta” ou “indefinido”. As classificações, comparadas a dados de referência do PRODES, mostraram que os voluntários alcançam boa acurácia (Fazenda e Fábio A Faria 2024). As primeiras campanhas em Rondônia receberam mais de 35 000 respostas de 383 voluntários em poucas semanas (Fazenda e Fábio A Faria 2024). Este trabalho propõe a *expansão* do ForestEyes através de um *projeto de jogo digital* (game design), visando aumentar o engajamento dos participantes e aprimorar a qualidade das classificações. A proposta é fundamentada em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre gamificação em ciência cidadã. A presente monografia descreve a análise do sistema atual, os resultados da RSL, o desenho de jogo proposto (com mecânicas de pontos, níveis, missões e narrativa) e uma arquitetura de software que se *integra* ao backend científico existente do ForestEyes. Espera-se que a ludificação proposta, a ser implementada em trabalhos futuros, estimule a participação contínua, gere um conjunto de dados confiável e contribua para a conservação das florestas.

Sumário

	Resumo	3
	Sumário	4
	Lista de ilustrações	5
	Lista de tabelas	6
1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Contexto e importância	7
1.2	Ciência cidadã e sabedoria das multidões	7
1.3	O projeto ForestEyes	7
1.4	Contexto, Motivação e Metodologia	8
2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	12
3.1	Procedimentos da Revisão Sistemática	12
3.2	Síntese dos resultados	13
4	PROPOSTA DE EXPANSÃO: O PROJETO DO JOGO FORES- TEYES	16
4.1	Requisitos funcionais	16
4.2	Arquitetura proposta	17
4.3	Fluxo de interação do usuário	17
4.4	Mecânica de Pontuação e Consenso	18
4.5	Proposta Narrativa: O Guardião da Floresta	19
5	PLANO DE AVALIAÇÃO	20
6	DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS	21
7	CONCLUSÃO	22
7.1	Percepção Pessoal	22
	Referências	23

Lista de ilustrações

Figura 1 – Abordagens adotadas nos 14 estudos (jogo completo, gamificação ou combinação) — base para decisões de design do ForestEyes	14
Figura 2 – Distribuição dos estudos por número de participantes — indicativo da escala típica dos experimentos em cidadania científica	14
Figura 3 – Tipos de interação predominantes nos estudos analisados (cliques, classificação, uploads e outros)	15

Lista de tabelas

Tabela 1 – Artigos incluídos na RSL (2015–2025) após triagem PRISMA e aplicação dos critérios PICOC	13
---	----

1 Introdução

1.1 Contexto e importância

As florestas tropicais exercem funções ambientais essenciais: abrigam ampla diversidade biológica, regulam o clima e as chuvas, absorvem dióxido de carbono e sustentam comunidades tradicionais. Apesar disso, milhares de quilômetros quadrados são desmatados ou degradados diariamente devido à expansão agropecuária, extração ilegal de madeira, mineração e queimadas (Global Forest Watch 2024). Programas de monitoramento como o PRODES utilizam imagens de satélite e análise de especialistas para detectar mudanças na cobertura florestal. No período 2018–2019, o PRODES observou 10 129 km² de desmatamento na Amazônia Legal, 34 % acima do ciclo anterior (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2024). A crescente oferta de dados de sensoriamento remoto – provenientes de sensores como o MODIS (NASA) e o Landsat-8 – gerou volumes massivos de imagens. Processá-las manualmente é inviável, o que motiva o uso de técnicas de aprendizado de máquina. Contudo, a escassez de especialistas dificulta a criação de conjuntos de treinamento necessários para treinar algoritmos precisos (Bonney et al. 2014).

1.2 Ciência cidadã e sabedoria das multidões

A ciência cidadã é um modelo de pesquisa colaborativa que envolve voluntários na coleta, classificação ou análise de dados (Bonney et al. 2014). Ao somar os julgamentos de muitos indivíduos, aplica-se o princípio da sabedoria das multidões, no qual a agregação das respostas tende a produzir estimativas robustas (Surowiecki 2004). Projetos como ForestWatchers, EarthWatchers e Geo-Wiki demonstraram que voluntários podem auxiliar na classificação de imagens de satélite, gerando mapas de uso do solo ou validando alertas de desmatamento.

1.3 O projeto ForestEyes

Lançado em 2019 e hospedado na plataforma Zooniverse (Zooniverse [s.d.]), o ForestEyes alia ciência cidadã e aprendizado de máquina para monitorar o desmatamento (Fazenda e Fábio A Faria 2024). Sua arquitetura é composta por três módulos interligados (Dallaqua, Fazenda e Fábio AM Faria 2021):

1. **Pré-processamento:** imagens de satélite (como cenas do Landsat-8) passam por redução de dimensionalidade (por exemplo, Análise de Componentes Principais) e

são convertidas em composições RGB simuladas. Algoritmos de superpixels – como SLIC, IFT-SLIC ou MaskSLIC – segmentam as imagens em regiões homogêneas.

2. **Crowdsourcing e classificação:** os segmentos são enviados à plataforma Zooniverse. Cada recorte é avaliado por pelo menos 15 voluntários, que o classificam como floresta, não-floresta ou indefinido. As tarefas apresentam diferentes composições de cores para melhorar a interpretabilidade.
3. **Agregação e qualidade:** as classificações individuais são agregadas por maioria de votos. Métricas como razão de homogeneidade e entropia avaliam a concordância entre os voluntários. As amostras de alta confiança alimentam algoritmos de classificação, como máquinas de vetor de suporte (SVM) e modelos baseados em textura, que geram mapas de desmatamento.

Estudos de validação compararam as respostas dos voluntários do ForestEyes com dados oficiais do PRODES. Nas duas primeiras campanhas, realizadas na região de Rondônia (anos 2013 e 2016), mais de 35 000 classificações foram registradas em 2 050 tarefas por 383 voluntários, em apenas duas semanas (Fazenda e Fábio A Faria 2024). Outras quatro campanhas, com variação nos métodos de segmentação e na resolução das imagens, receberam 51 035 respostas de 281 voluntários em 3 358 tarefas. Os resultados mostraram que, com segmentação eficiente e melhor resolução, os voluntários obtêm acurácia satisfatória na distinção entre áreas florestadas e desmatadas (Dallaqua, Fazenda e Fábio AM Faria 2021).

1.4 Contexto, Motivação e Metodologia

O ForestEyes é um projeto interdisciplinar que combina ciência cidadã, sensoriamento remoto e aprendizado de máquina para monitorar o desmatamento em florestas tropicais. O objetivo central é engajar voluntários na tarefa de classificar segmentos de imagem de satélite.

Apesar dos avanços, o projeto enfrenta desafios comuns à ciência cidadã ao operar na plataforma Zooniverse: a participação tende a decair e a tarefa pode se tornar repetitiva. Embora excelente para classificação, o Zooniverse oferece mecanismos de engajamento limitados. Elementos de jogo mais profundos, como narrativas e progressão – capazes de reter colaboradores – são recursos que a plataforma não comporta nativamente.

Para enfrentar esse desafio, a equipe do ForestEyes, composta por docentes, um mestrando da FAU (George Lucas) e graduandos de Design (Gabriel e Guilherme) e de Computação (eu), iniciou um esforço conjunto para evoluir a ferramenta. As atividades foram conduzidas de forma colaborativa, com reuniões semanais.

Considerando a interdisciplinaridade, a equipe decidiu iniciar o trabalho com uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A intenção foi mapear iniciativas anteriores

que combinaram jogos e ciência cidadã, identificando lacunas e evitando a duplicidade de esforços.

No âmbito dessa RSL, cada integrante ficou responsável por um subconjunto de estudos. Minhas contribuições concentraram-se na leitura crítica e extração de dados de artigos específicos, como *GuardIAS* e *ThePlantGame*. Enquanto a RSL foi um esforço coletivo, a proposta de arquitetura e o design do jogo apresentados neste TCC representam a minha contribuição individual para solucionar o problema de engajamento identificado.

2 Justificativa e Objetivos

A urgência em combater o desmatamento e a necessidade de analisar grandes volumes de dados justificam a busca por estratégias inovadoras de engajamento. O uso de um jogo digital para *expandir* o ForestEyes é motivado pelos seguintes pontos:

- **Engajamento prolongado:** a RSL aponta que mecânicas de jogo (níveis, *badges*, narrativas) tendem a manter os voluntários motivados, superando a gamificação básica da plataforma atual.
- **Qualificação das classificações:** a proposta de um tutorial interativo e *feedback* imediato no jogo pode auxiliar os participantes a distinguir padrões com maior precisão.
- **Educação ambiental:** a narrativa do jogo pode promover a conscientização ambiental.
- **Integração com a Computação:** o projeto deste TCC envolve tópicos centrais do curso, como análise de sistemas (o ForestEyes “AS-IS”), revisão de literatura, design de jogos, interação humano-computador e projeto de arquiteturas de software.

2.1 Objetivo Geral

Propor um projeto de jogo digital (game design) e uma arquitetura de software para a expansão da plataforma ForestEyes, com o objetivo de ampliar o engajamento de voluntários e melhorar a qualidade das classificações, baseando a proposta em uma Revisão Sistemática da Literatura.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a plataforma ForestEyes existente (“AS-IS”) no Zooniverse, compreendendo seu fluxo de dados, arquitetura e mecânicas de engajamento atuais.
- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a aplicação de jogos e gamificação em ciência cidadã, identificando abordagens, resultados e lacunas no estado da arte.
- Definir os requisitos do jogo, identificando as lacunas entre as mecânicas do ForestEyes “AS-IS” e as melhores práticas observadas na RSL.

- Propor um desenho de jogo detalhado (game design), incluindo mecânicas de engajamento (narrativa, missões, níveis) alinhadas aos achados da RSL.
- Projetar uma arquitetura de software para o protótipo do jogo, detalhando como a nova camada de apresentação (jogo) se integrará com o backend científico e as APIs existentes do ForestEyes/Zooniverse.
- Elaborar um plano de avaliação, definindo as métricas de engajamento e qualidade de dados a serem utilizadas em trabalhos futuros para validar a eficácia da expansão proposta.

3 Revisão Sistemática da Literatura

3.1 Procedimentos da Revisão Sistemática

A Revisão Sistemática da Literatura foi conduzida com apoio da ferramenta Parsifal, uma plataforma web para planejar, registrar e conduzir revisões sistemáticas. A revisão foi baseada em um protocolo definido pela equipe. O objetivo foi identificar estudos entre 2015 e 2025 sobre jogos digitais associados à ciência cidadã.

Para estruturar o protocolo, foram empregados os elementos do PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*):

- **População:** projetos de ciência cidadã e seus participantes;
- **Intervenção:** jogos sérios, jogos digitais e gamificação;
- **Contexto:** monitoramento ambiental e detecção de desmatamento.

Para garantir a qualidade dos estudos incluídos, foi definida uma avaliação em seis questões (Q1–Q6), implementadas diretamente no Parsifal:

- Q1: o trabalho usa jogos ou gamificação no contexto de sabedoria das multidões?
- Q2: esse uso vai além de tarefas simples de aquisição/rotulagem de imagens?
- Q3: há um número relevante de participantes nos experimentos?
- Q4: a gamificação ou o jogo envolve mais do que uma simples interface gráfica?
- Q5: o artigo avalia o impacto da gamificação no engajamento dos usuários?
- Q6: o artigo discute trabalhos relacionados e o estado da arte?

Cada questão podia ser respondida com *sim*, *parcialmente* ou *não*, automaticamente mapeadas para 1,0, 0,5 e 0,0 pontos. A soma gera uma nota de 0 a 6 para cada artigo. Definiu-se um ponto de corte de 3,0: apenas estudos com nota maior ou igual a esse valor foram mantidos para as etapas seguintes.

A Tabela 1 lista os estudos que passaram por todas as etapas de triagem (título, resumo e texto completo) e obtiveram nota de qualidade maior ou igual a 3,0.

Tabela 1 – Artigos incluídos na RSL (2015–2025) após triagem PRISMA e aplicação dos critérios PICOC

Artigo	Ano
CEDAR: An Augmented Reality Mobile Application Using a Participatory Design Framework for Citizen Science Data Sensing	2024
Serious games and citizen science; from parallel pathways to greater synergies	2023
Data-Driven Classification of Human Movements in Virtual Reality-Based Serious Games: Preclinical Rehabilitation Study in Citizen Science	2022
Gamification of Crowd-Driven Environment Design	2020
Gamified emissions through the wisdom of crowds	2021
Project Kappa: An augmented-reality based sensor data crowdsourcing platform for environmental monitoring	2021
A crowdsourcing-based game for land cover validation	2017
ThePlantGame: Actively Training Human Annotators for Domain-specific Crowdsourcing	2016
Crowdsourcing mobile content through games: an analysis of contribution patterns	2016
Engaging Citizens in Environmental Monitoring via Gaming	2018
Join the Fold: Video Games, Science Fiction, and the Refolding of Citizen Science	2023
Gamification for Mobile Crowdsourcing Applications: An Example from Flood Protection	2019
Sensified Gaming – Design Patterns and Game Design Elements for Gameful Environmental Sensing	2016
Crowdsourcing of labeling image objects: an online gamification application for data collection	2023

Fonte: Elaboração própria a partir dos estudos selecionados na RSL.

3.2 Síntese dos resultados

A seguir, apresentam-se os principais padrões observados nos estudos incluídos, ilustrados por gráficos gerados a partir dos dados da RSL.

Abordagem de jogo

Para entender que tipo de solução tem sido proposta na literatura, agregamos os estudos em três categorias: jogo completo, gamificação de sistemas existentes e abordagens combinadas. A Figura 1 apresenta a distribuição encontrada e orienta a escolha de mecânicas para o ForestEyes.

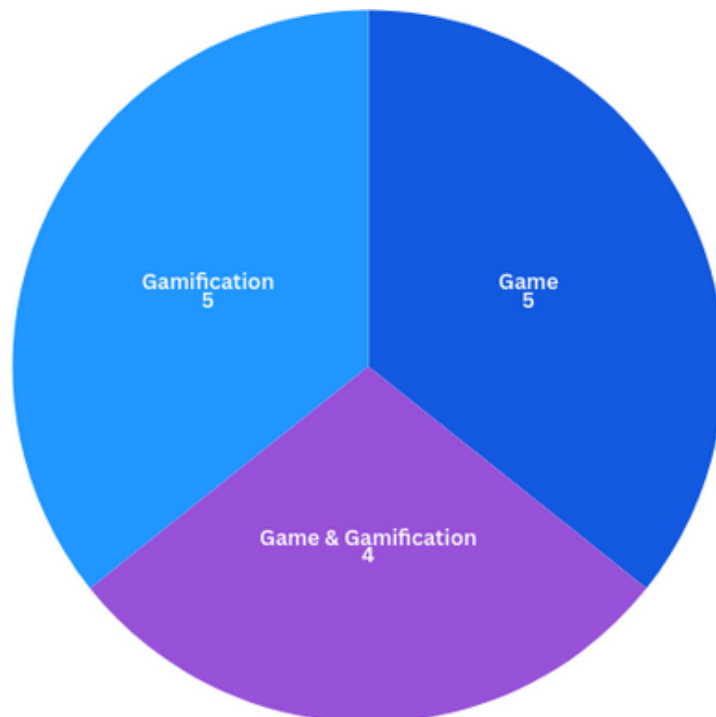


Figura 1 – Abordagens adotadas nos 14 estudos (jogo completo, gamificação ou combinação) — base para decisões de design do ForestEyes

Fonte: Elaboração própria com base na codificação dos artigos da RSL.

Número de participantes

A escala dos estudos impacta diretamente a validade externa dos achados. Por isso, classificamos cada trabalho pelo número de participantes. A Figura 2 resume essa distribuição, evidenciando a predominância de amostras pequenas.

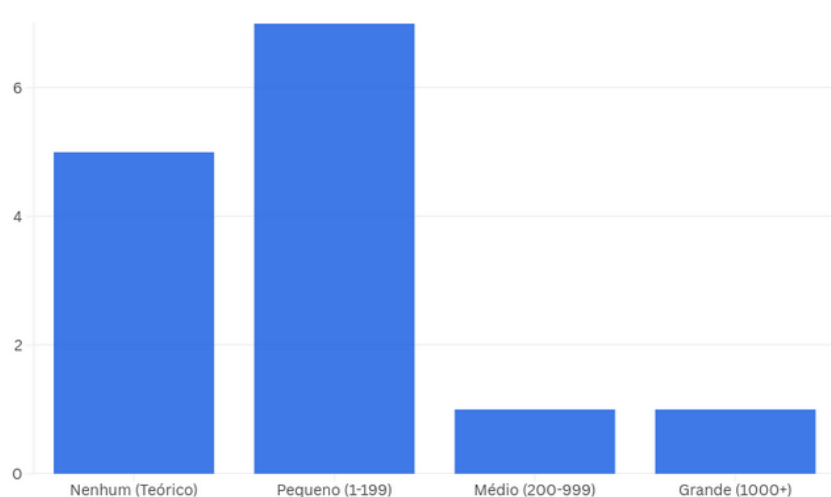


Figura 2 – Distribuição dos estudos por número de participantes — indicativo da escala típica dos experimentos em cidadania científica

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados extraídos dos artigos.

Tipos de interação

O desenho de interface e de tarefas depende do tipo de interação exigida ao voluntário. A Figura 3 sintetiza as interações predominantes nos estudos analisados e justifica a decisão de equilibrar simplicidade (cliques) com desafios significativos no jogo proposto.

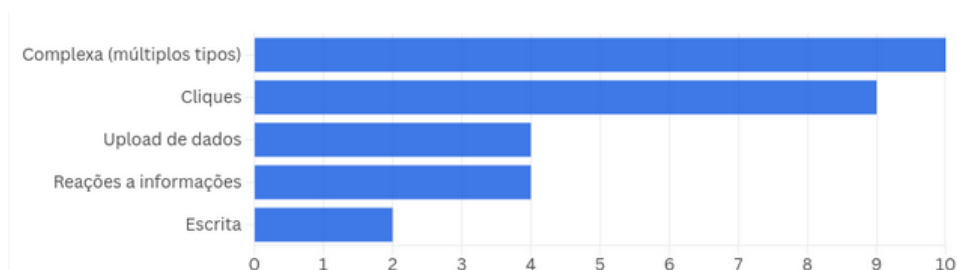


Figura 3 – Tipos de interação predominantes nos estudos analisados (cliques, classificação, uploads e outros)

Fonte: Elaboração própria com base na codificação das tarefas reportadas na literatura.

Outros padrões

Além dos aspectos quantitativos, destacam-se:

- **Tempo de interação e número de tarefas:** a maioria dos artigos não informou o tempo médio de interação por tarefa; nos que relataram, predominou o tempo curto (≤ 60 s). Quanto ao número de interações, sete estudos permitiam múltiplas tarefas por participante, enquanto três se restringiram a uma tarefa única. A falta de dados sobre tempo e interação destaca uma lacuna na literatura.
- **Áreas científicas e plataformas:** os estudos concentraram-se principalmente em Ciências da Computação e Ciências Ambientais. A maioria utilizou plataformas personalizadas; apenas quatro mencionaram explicitamente o uso do motor de jogos Unity. Isso demonstra a ausência de uma plataforma dominante e a tendência de desenvolvimento de soluções *ad hoc*.
- **Pontos fortes e fracos:** como pontos fortes, os artigos destacaram a capacidade de aumentar o engajamento e a inovação tecnológica (utilização de realidade aumentada, sensores IoT etc.). Entre as fraquezas, ressaltaram-se o caráter conceitual de vários trabalhos, amostras reduzidas e a ausência de validação de longo prazo. Esses resultados orientam a necessidade de estudos mais abrangentes e de experimentos com participação ampla.

Os achados da RSL reforçam que a gamificação pode estimular a participação em ciência cidadã, mas que ainda há poucos projetos que combinam jogos com monitoramento ambiental em larga escala. Essa lacuna motiva o desenvolvimento do jogo proposto no contexto do ForestEyes.

4 Proposta de Expansão: O Projeto do Jogo ForestEyes

Com base na análise do sistema “AS-IS” e nos resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), esta seção detalha o projeto de expansão do ForestEyes. O objetivo é evoluir a ferramenta atual de classificação para um jogo sério, integrando mecânicas de engajamento sem comprometer o rigor científico dos dados coletados.

4.1 Requisitos funcionais

A partir das lacunas identificadas na plataforma Zooniverse e das boas práticas observadas nos artigos analisados, o jogo deve atender aos seguintes requisitos:

- **Integração com o ForestEyes:** aproveitar os dados já existentes (imagens segmentadas e rotulações anteriores) e permitir que novas classificações alimentem diretamente o banco de dados do projeto.
- **Sistema de missões:** organizar as tarefas em missões temáticas (por exemplo, “Monitorar fronteiras do desmatamento” ou “Verificar alertas de queimadas”), oferecendo objetivos claros e recompensas.
- **Pontuação e níveis:** atribuir pontos conforme o desempenho (acerto em relação ao consenso, tempo de resposta) e permitir progressão em níveis, liberando novos desafios.
- **Feedback e tutorial:** apresentar instruções interativas e retorno instantâneo sobre a precisão das classificações, com dicas para melhorar o desempenho do voluntário.
- **Narrativa envolvente:** contextualizar o jogador como um “guardião da floresta”, apresentando um enredo que explique os impactos do desmatamento e a importância da participação individual.
- **Ranking e Medalhas (*Badges*):** implementação de rankings locais e globais, além de um sistema de conquistas que recompense comportamentos benéficos identificados na RSL:
 - *Consistência:* Para usuários que contribuem por dias consecutivos.
 - *Precisão:* Para usuários que mantêm acurácia superior a 90% em relação ao consenso.
 - *Exploração:* Para quem classifica imagens de biomas raros ou pouco analisados.

- **Aprendizado ativo:** integrar algoritmo que selecione dinamicamente os segmentos a serem rotulados, priorizando os mais incertos ou que necessitam de validação adicional.

4.2 Arquitetura proposta

A plataforma ForestEyes atual, hospedada no Zooniverse, é altamente eficaz para a tarefa central de classificação e agregação de dados. No entanto, o ecossistema Zooniverse é otimizado para esse fluxo de trabalho específico e apresenta limitações para a implementação de mecânicas de jogo complexas – como narrativas ramificadas, missões personalizadas e progressão de níveis – que foram identificadas como cruciais na RSL para o engajamento a longo prazo.

Por essa razão, a arquitetura proposta não busca substituir o ForestEyes, mas sim *expandi-lo*. O jogo será implementado como uma aplicação web responsiva (*frontend*), que funcionará como uma nova “porta de entrada” para a tarefa de classificação, *consumindo* os dados do *backend* científico existente.

A arquitetura geral inclui:

- **Camada de apresentação (o jogo):** interface construída com *frameworks* web modernos (como React ou Vue) ou a adaptação de um motor de jogo (como Godot exportado para Web), focada em usabilidade, acessibilidade e na execução das mecânicas lúdicas.
- **Camada de lógica de negócio (serviço de gamificação):** um novo microserviço (API) responsável pela gestão das missões, cálculo de pontuações, controle de níveis, atribuição de *badges* e gerenciamento de perfis de jogador.
- **Camada de dados (ForestEyes “AS-IS”):** o sistema atual. A nova camada de lógica se comunicará via APIs REST com o *backend* do ForestEyes/Zooniverse para:
 1. buscar segmentos de imagem para classificar (por exemplo, via GET /api/segmento);
 2. enviar as classificações feitas pelo jogador (por exemplo, via POST /api/classificacao).
- **Módulo de aprendizado ativo:** integrado ao *backend*, selecionará novos segmentos com base em medidas de incerteza do classificador. Essa camada também armazenará métricas de consenso e entropia para cada segmento (Dallaqua, Fazenda e Fábio AM Faria 2021).

4.3 Fluxo de interação do usuário

1. **Registro e login:** o participante cria um perfil ou utiliza suas credenciais da plataforma ForestEyes/Zooniverse.

2. **Tutorial:** um guia interativo apresenta os conceitos básicos de desmatamento e ensina a classificar segmentos, mostrando exemplos de floresta, não-floresta e ruído (nuvens, rios).
3. **Seleção de missão:** o jogador escolhe ou recebe uma missão gerada automaticamente de acordo com seu nível. Cada missão contém uma sequência de segmentos a serem classificados.
4. **Classificação:** para cada segmento, o jogador visualiza a imagem e escolhe a categoria apropriada. O *feedback* instantâneo informa se a escolha coincide com o consenso (quando disponível) ou se será avaliada posteriormente.
5. **Recompensas:** ao concluir a missão, o jogador recebe pontos, avança de nível e pode desbloquear novos conteúdos educativos sobre florestas e conservação.
6. **Repetição:** novas missões são oferecidas, com dificuldade adaptativa conforme o desempenho. O algoritmo de aprendizado ativo garante que os segmentos selecionados sejam relevantes para a melhoria do classificador.

4.4 Mecânica de Pontuação e Consenso

Para garantir que a gamificação não incentive classificações aleatórias (o problema conhecido como *click-spam*), propõe-se um algoritmo de pontuação variável baseado no consenso. A pontuação P obtida pelo jogador em uma tarefa t é definida pela Equação 4.1:

$$P(t) = B + (C \times M) \quad (4.1)$$

Onde:

- B é a **Pontuação Base** concedida por completar a tarefa (ex: 10 XP), garantindo uma recompensa mínima pela participação;
- C é o **Fator de Consenso** (binário ou contínuo), que verifica se a resposta do usuário coincide com a maioria dos votos anteriores para aquele segmento ou com o *Ground Truth* (quando disponível);
- M é o **Multiplicador de Precisão**, um valor extra (ex: 50 XP) concedido apenas quando há concordância, incentivando o jogador a analisar a imagem com cuidado em vez de apenas clicar rapidamente.

Dessa forma, jogadores que “chutam” respostas acumulam pontos lentamente (recebendo apenas a base B), enquanto jogadores diligentes progridem rapidamente nos níveis devido ao multiplicador M .

4.5 Proposta Narrativa: O Guardião da Floresta

A RSL indicou que narrativas contextuais aumentam a retenção de longo prazo. Diferente da abordagem tradicional do Zooniverse, onde as tarefas são apresentadas de forma isolada, o jogo proposto situa o voluntário em um universo ficcional coerente.

O jogador assume o papel de um “Guardião Digital”, operando um satélite futurista capaz de detectar alterações na cobertura vegetal. A experiência narrativa se dá em três etapas:

1. **Onboarding:** Ao entrar, o jogador recebe uma transmissão de “boas-vindas” explicando que a floresta está sob ameaça e que a Inteligência Artificial central precisa de ajuda humana para calibrar seus sensores.
2. **Progressão de Cenário:** Conforme o jogador avança de nível, o visual da sua base virtual evolui (de um posto de observação simples para uma estação espacial avançada).
3. **Feedback Contextual:** Ao classificar corretamente uma área de desmatamento, o jogo não exibe apenas “Correto”, mas sim uma mensagem de impacto: “Ameaça identificada. Coordenadas enviadas para as equipes de preservação”.

Essa camada narrativa visa transformar a tarefa repetitiva de classificação em uma missão com propósito claro, aumentando o senso de autoeficácia do voluntário.

5 Plano de Avaliação

A avaliação do jogo (a ser executada em trabalhos futuros) envolverá testes com voluntários (estudantes universitários e público geral) e comparará os resultados com campanhas anteriores do ForestEyes.

As principais métricas serão:

- **Engajamento:** número de tarefas concluídas por usuário, tempo médio de participação e taxa de retorno (participação em dias distintos).
- **Qualidade dos dados:** acurácia em relação ao consenso de especialistas ou ao PRODES, razão de homogeneidade e entropia das classificações (Dallaqua, Fazenda e Fábio AM Faria 2021).
- **Percepção dos usuários:** questionários qualitativos para avaliar usabilidade, motivação e aprendizado.

Os testes serão realizados em duas etapas: uma com amostra piloto para ajustes de usabilidade e outra mais ampla (por exemplo, teste A/B contra a interface do Zooniverse), envolvendo participantes externos. Os resultados serão analisados estatisticamente, verificando se a gamificação aumentou a participação e a qualidade das contribuições.

6 Discussão e Perspectivas Futuras

A integração de um jogo digital ao ForestEyes alinha-se às tendências identificadas na revisão sistemática, que apontam a gamificação como ferramenta promissora para ciência cidadã. Ao transformar a classificação de imagens em uma experiência lúdica, espera-se aumentar a participação de voluntários, melhorar a qualidade dos rótulos e gerar conjuntos de dados mais robustos para algoritmos de detecção de desmatamento.

Entretanto, desafios persistem. A adaptação de um motor de jogo e a integração com plataformas existentes exigem esforço de desenvolvimento. A motivação dos jogadores pode cair ao longo do tempo se as mecânicas não forem constantemente renovadas. Além disso, a seleção de segmentos via aprendizado ativo precisa equilibrar a incerteza do classificador com o fluxo de jogo, evitando que tarefas repetitivas desmotivem os participantes.

Futuras extensões incluem:

- **Realidade aumentada e sensores móveis:** incorporar jogos em realidade aumentada que estimulem os participantes a coletar dados *in situ* (como qualidade do ar ou fotos georreferenciadas), enriquecendo o monitoramento ambiental.
- **Expansão para outros biomas:** aplicar o modelo a outros ecossistemas (Mata Atlântica, Cerrado), adaptando a classificação a diferentes tipos de vegetação e padrões de degradação.
- **Integração com plataformas educacionais:** usar o jogo como recurso em escolas e universidades, promovendo conhecimento sobre conservação e ciência de dados.

7 Conclusão

O desmatamento continua sendo uma ameaça à biodiversidade e ao clima. Projetos de ciência cidadã como o ForestEyes demonstram que voluntários podem contribuir significativamente para a análise de imagens de sensoriamento remoto, produzindo dados de alta qualidade (Dallaqua, Fazenda e Fábio AM Faria 2021). Contudo, o engajamento sustentável dos participantes é um desafio.

Este trabalho propõe a criação de um projeto de jogo digital (game design) para expandir o ForestEyes, fundamentado nas evidências de uma Revisão Sistemática da Literatura, para aumentar a participação e a precisão das classificações. Foram apresentados o contexto teórico, a análise do sistema existente, os requisitos, a arquitetura proposta e o plano de avaliação do protótipo.

Acredita-se que a gamificação da ciência cidadã pode promover não apenas melhor coleta de dados, mas também maior conscientização pública sobre a importância da conservação florestal. A implementação e o teste do protótipo aqui projetado constituem os próximos passos lógicos deste projeto de pesquisa.

7.1 Percepção Pessoal

Em nível pessoal, admito que este trabalho foi diferente do que eu esperava. Quando entrei no projeto, imaginei que minha participação começaria pela implementação: programar o jogo, montar telas e criar funcionalidades. Praticamente achei que seria “sentar e codar”.

A realidade foi outra: antes de qualquer código, havia uma revisão sistemática inteira pela frente, com dezenas de artigos, protocolos e reuniões de análise. No início isso foi desafiador, pois eu não tinha experiência com pesquisa formal. Mas foi exatamente essa etapa que me deu as bases para propor algo consistente. O que parecia ser apenas um obstáculo antes da programação acabou se tornando a parte mais valiosa do processo de aprendizado neste trabalho.

Referências

- Bonney, Rick et al. (2014). “Next steps for citizen science”. Em: *Science* 343.6178, pp. 1436–1437.
- Dallaqua, Fabio BJ R, Álvaro L Fazenda e Fábio AM Faria (2021). “ForestEyes Project: conception, enhancements, and challenges”. Em: *Future Generation Computer Systems* 124, pp. 422–435.
- Fazenda, Álvaro L e Fábio A Faria (2024). “ForestEyes: Citizen Scientists and Machine Learning-Assisting Rainforest Conservation”. Em: *Communications of the ACM* 67.8, pp. 95–96. URL: <https://cacm.acm.org/latin-america-regional-special-section/foresteyes-citizen-scientists-and-machine-learning-assisting-rainforest-conservation/>.
- Global Forest Watch (2024). *Forest Monitoring, Land Use & Deforestation Trends*. URL: <https://www.globalforestwatch.org> (acesso em 06/11/2025).
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2024). *Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal por Satélite – PRODES*. URL: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> (acesso em 06/11/2025).
- Surowiecki, James (2004). *The Wisdom of Crowds*. New York: Anchor Books.
- Zooniverse ([s.d.]). *ForestEyes – usando cidadãos para rastrear o desmatamento*. URL: <https://www.zooniverse.org/projects/dallaqua/foresteyes/about> (acesso em 09/11/2025).