PROJETO, IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE UMA PLATAFORMA DE SOFTWARE QUE AUXILIA NA DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Cléber Moterani Tavares[(1)]
Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas, mestre em Ciência e Tecnologia da Computação pela Universidade Federal de Itajubá (2013), especialista em Banco de Dados (2007) e bacharel em Ciência da Computação (2005) pelo Centro Universitário do Sul de Minas. Atualmente é Analista de Tecnologia da Informação da Universidade Federal de Alfenas.
Luiz Felipe Ramos Turci[2)]
Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2002), mestre em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2005) e doutor em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2009). Atualmente é professor associado IV da Universidade Federal de Alfenas. Professor extensionista coordenador dos projetos Recicla Unifal e Vida sem Lixo.
Rafael de Oliveira Tiezzi[(3)]
Pesquisador e Professor do Centro de Ciência da Natureza da UFSCar, graduado em Engenharia Ambiental pela UNESP (2006), Mestre em Planejamento Energético pela UNICAMP e doutor em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais na pela UNICAMP. Foi pesquisador visitante do Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madrid (IES/UPM). Foi Coordenador de Meio Ambiente da empresa Semp-Toshiba e consultor de implantação de SGA-ISO 14.001 na Sabesp.

Endereço[(1)]**:** Rodovia José Aurélio Vilela, 11999 - Cidade Universitária, Poços de Caldas - MG, 37715-400 - Brasil - Tel: +55 (35) 98832-5062 - e-mail: cleber.tavares@sou.unifal-mg.edu.br.

RESUMO

Este trabalho tenta jogar luz sobre um dos pilares do saneamento básico que é o manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU), principalmente no que tange à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos. Para isso relata o projeto, o desenvolvimento e a implantação de uma plataforma de software criada para conectar pessoas, os quais sejam cidadãos comuns, profissionais, cooperativas, associações, empresas, organizações ou quaisquer outros atores envolvidos no ciclo do RSU, desde a geração até a destinação final correta, depois de esgotadas as tentativas de reaproveitamento e reciclagem. Trata-se de um sistema de informação especialista em fornecer dados confiáveis sobre onde, dentro de um certo perímetro, determinados tipos de resíduos podem ser encontrados ou descartados, e por essa razão, tanto quem gera quanto quem recupera se beneficia desse sistema, que é gratuito e pode ser acessado a partir de qualquer dispositivo conectado à internet no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos, tecnologia da informação, disposição final adequada

INTRODUÇÃO

A gestão inadequada de RSU representa uma das maiores preocupações da sociedade contemporânea, tanto na esfera ambiental quanto nas esferas social e econômica. Estudos do Banco Mundial mostram que o setor de resíduos sólidos contribui com cerca de 5% das emissões globais ligadas aos gases de efeito estufa, isso devido a práticas como lixões a céu aberto ou disposição final de resíduos sólidos em aterros que não tem captura de gás carbônico (Jucon et al. 2023).

O descarte incorreto também é um problema grave sob a ótica da saúde pública, que exige atenção tanto por parte do poder público quanto da iniciativa privada, e depende da participação da população para que possa ser controlado efetivamente. O resíduo plástico, por exemplo, que ao não ser coletado e recebido no destino final correto, acaba jogado em vias públicas, é carregado pela água da chuva e termina entrando no esgoto, poluindo os cursos d'água, rios e oceanos. Todo esse movimento contribui para o entupimento das drenagens urbanas. Além disso, quando acontece uma grande tempestade, essa poluição plástica acaba criando um fator multiplicador dos impactos das enchentes e das enxurradas (Jucon et al. 2023).

Nesse contexto, onde a população passa a lidar com condições de saneamento seriamente comprometidas, a reciclagem surge como uma das estratégias mais eficientes na contenção de danos ao meio ambiente, pois além de minimizar a quantidade de resíduos que vão parar em aterros e lixões, a reutilização de materiais ajuda na preservação de recursos naturais, já que os materiais retornam ao ciclo de produção (Liu et al. 2022).

Segundo Diaz et al. (2020), a reciclagem ajuda na economia circular, além de gerar trabalho e incentivar práticas sustentáveis na sociedade. Mas para que as ações de reciclagem sejam efetivas, faz-se necessário a implementação de um sistema organizado de coleta seletiva e a participação ativa da sociedade que deve estar informada sobre como separar os materiais certos para reciclagem.

Mesmo a reciclagem tendo um papel de protagonismo na gestão dos RSU, os municípios brasileiros ainda enfrentam desafios, que vão desde a variedade e o volume de resíduos gerados até a ausência de infraestrutura apropriada para a coleta, transporte e disposição final de forma ambientalmente segura. Neste aspecto, observa-se que a falta de conscientização da população e o baixo engajamento na separação correta dos resíduos e na redução do desperdício dificultam a implementação de práticas ambientalmente sustentáveis (Freitas et al. 2024).

Dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), demonstram que em 2022 o Brasil coletou aproximadamente 63,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que equivale a uma geração de 0,98 kg por habitante/dia. No entanto, desse total, apenas 1,12 milhão de toneladas foram efetivamente recuperadas, o que indica um baixo índice de reciclagem e reaproveitamento de materiais. Esses dados evidenciam a necessidade de ampliar políticas públicas voltadas à economia circular e à melhoria dos processos de triagem e reciclagem para reduzir custos e impactos ambientais (SNIS, 2022).

Ao mesmo tempo que se enfrenta números baixos em recuperação de resíduos, a sociedade contemporânea convive com um outro número que cresce dia após dia: a quantidade de recursos de tecnologia da informação inseridos no cotidiano da população. É notável que a tecnologia da informação está cada vez mais presente na vida das pessoas, o acesso a internet se popularizou por meio do uso massivo de *smartphones*, e aplicativos para as mais diversas finalidades são lançados todos os dias com a promessa de facilitar o dia a dia do cidadão.

Um estudo conduzido por Meirelles (2021) da Escola de Administração de Empresas de São Paulo, pertencente à Fundação Getúlio Vargas (FGV), mostrou que existe no Brasil mais *smartphones* que pessoas: até junho de 2021 a quantidade de celulares inteligentes em uso no país já somava 242 milhões de aparelhos, o que representa mais de um dispositivo por habitante. Se forem incluídos nessa conta os *notebooks* e os *tablets* o número sobe para 346 milhões de aparelhos portáteis em funcionamento. A pesquisa da FGV ainda destacou que, considerando números corporativos e domésticos, o *smartphone* é o dispositivo mais utilizado para acesso a bancos, compras e mídias sociais (Meirelles, 2021).

Segundo o relatório mais recente da associação que representa os interesses das operadoras de redes móveis globalmente, a Groupe Speciale Mobile Association (GSMA), no mundo todo até o ano de 2024, havia 5,8 bilhões de usuários únicos de dispositivos móveis e a perspectiva é que esse número chegue a 6,5 bilhões até o ano de 2030, o que representa respectivamente 71% e 76% da população atual da Terra. O número de pessoas que utilizam esses dispositivos móveis para acesso à internet, segundo o relatório, deve passar de 4,7 bilhões em 2024 para 5,5 bilhões de pessoas até 2030, o que representa respectivamente 58% e 64% da população mundial. Ainda segundo esse relatório, até o momento, no ano de 2025, há mais de 13 bilhões de conexões à internet sendo feitas por meio de dispositivos móveis como smartphones (GSMA, 2025).

De acordo com outro relatório, GSMA (2024), apenas na América Latina, no ano de 2023, 65% dos habitantes se conectaram à internet por meio de dispositivos móveis e a expectativa é que essa porcentagem alcance 72% até o ano de 2030. Quanto ao Brasil, a expectativa para 2030 é que 78% da população esteja conectada à internet por meio de smartphones, que estarão nas mãos, segundo esse relatório, de 95 a cada 100 brasileiros.

Diante desse cenário, partiu-se do pressuposto de que uma ferramenta de tecnologia da informação desenhada especificamente para fazer a ponte entre geradores e destinadores de resíduos, e que estivesse o tempo todo disponível gratuitamente para qualquer cidadão com acesso à internet no celular ou no computador poderia, de alguma forma, facilitar o caminho do RSU até os profissionais que conseguem fazer o tratamento, a recuperação ou a reciclagem desse resíduo, contribuindo assim para mitigar o problema da disposição final inadequada e, consequentemente, reduzindo o volume de resíduos que vai parar em aterros e lixões.

Assim nasceu o projeto Seja Eco, um sistema de informação, estruturado em uma plataforma de *software* projetada para informar e conectar cidadãos e organizações que geram resíduos a entidades que "consomem" esses resíduos, seja para a reciclagem, para o reaproveitamento, para a reinserção do material em cadeias de produção de outros produtos ou simplesmente para a disposição final mais adequada possível do ponto de vista ambiental.

OBJETIVOS

O objetivo principal da plataforma é servir de fonte de informação precisa sobre RSU em suas diversas formas e atuar como conexão confiável entre geradores de resíduos e iniciativas responsáveis por garantir a disposição correta desses resíduos do ponto de vista ambiental. Para isso a plataforma deve ser capaz de responder perguntas como onde fazer o descarte, o horário de atendimento do local, a forma de coleta ou entrega, se há cobrança pelo serviço, dentre outras informações.

Como objetivo secundário espera-se que a plataforma também atue como ferramenta de educação ambiental já que, sendo capaz de informar, ela também é capaz de instruir e orientar o cidadão em diversos temas, como por exemplo, o modo correto de descartar determinado resíduo, o motivo pelo qual o resíduo deve ser reciclado, o dano causado ao meio ambiente quando descartado incorretamente, o tempo de degradação quando descartado na natureza, etc.

METODOLOGIA

O primeiro passo no desenvolvimento do Seja Eco foi a definição dos requisitos do sistema, seguindo um processo de *software* bem definido. Esses requisitos identificam quem precisa de qual informação, quando, onde e como. O levantamento e a análise de requisitos definem cuidadosamente os objetivos do sistema e resultam numa descrição detalhada das funções que o sistema deve desempenhar (Laudon, 2014).

Há dois tipos de requisitos que precisam ser identificados em um processo de desenvolvimento de sistemas: os funcionais e os não funcionais. Os requisitos funcionais representam as funcionalidades e características específicas que o *software* deve oferecer, de forma que ele cumpra plenamente o propósito para o qual foi projetado. Os requisitos funcionais garantem que a plataforma atenda às necessidades dos usuários. A Tabela 1 mostra quais foram os principais requisitos funcionais identificados.

Tabela 1 - Requisitos Funcionais

Requisito	Descrição
RF#01	Viabilizar o cadastro e a manutenção de uma relação de tipos de resíduos que normalmente são aceitos pelos profissionais da reciclagem. Ex.: eletrônico.
RF#02	Viabilizar o cadastro e a manutenção de uma relação de exemplos de resíduos que normalmente são aceitos pelos profissionais da reciclagem. Ex.: impressora.
RF#03	Viabilizar o cadastro e a manutenção de informações básicas acerca dos profissionais, organizações, empresas e pontos de coleta que lidam com resíduos, seja daqueles que necessitam ou seja daqueles que dispõem de resíduos. Dentre as informações básicas estão a região da atuação, o horário de funcionamento, o modo de operação (é gratuito, tem coleta, etc.), as formas mais efetivas de contato, os tipos de resíduos com os quais trabalham, as instruções para o descarte e o endereço de entrega, se for o caso.
RF#04	Permitir que o usuário faça buscas tanto por tipo de resíduo (papel, metal, vidro) quanto por exemplos de resíduos (caixa de leite, lata de refrigerante, garrafa).
RF#05	Oferecer opções para que o usuário direcione a sua busca no sentido de encontrar tanto quem necessita de resíduos quanto quem disponibiliza resíduos.
RF#06	Utilizar a localização do usuário no momento da consulta, se autorizado por ele, para otimizar os resultados da busca.
RF#07	Informar ao usuário, depois de executada a consulta, quais profissionais, organizações,

	empresas ou pontos de coleta próximos precisam daquele resíduo que ele tem. Para cada resultado encontrado, o sistema deve exibir detalhes como a região da atuação, o horário de funcionamento, o modo de operação (é gratuito, tem coleta, etc.), as formas mais efetivas de contato, as instruções para o descarte e o endereço de entrega, se for o caso.
RF#08	Informar ao usuário, depois de executada a consulta, quais profissionais, organizações, empresas ou pontos de coleta próximos tem aquele resíduo do qual ele precisa. Para cada resultado encontrado, o sistema deve exibir detalhes como a região da atuação, o horário de funcionamento, o modo de operação (é gratuito, tem coleta, etc.), as formas mais efetivas de contato, as instruções para o descarte e o endereço de entrega, se for o caso.
RF#09	Informar o usuário, em caso de ausência de respostas sobre o resíduo consultado, a importância de fazer o descarte correto.
RF#10	Alertar o usuário, no caso de consultas por resíduos considerados perigosos que não retornem resultados, sobre a existência de instituições e locais apropriados para o descarte.
RF#11	Facilitar o contato do usuário com os profissionais, organizações, empresas e pontos de coleta encontrados na busca por meio de botões que abrem automaticamente aplicativos de mensagem, ligação, e-mail e mapas.
RF#12	Registrar em log as operações realizadas pelo usuário para fins estatísticos e de pesquisa.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Ao analisar os requisitos funcionais RF#03, RF#07, RF#08 e RF#11 verificou-se que o desenvolvimento e o uso da plataforma seriam facilitados se fosse empregado um único nome que agrupasse termos como “profissional”, “organização”, “empresa”, “ponto de coleta”, “cooperativa”, “associação”, “órgão público”, “instituição”, dentre outros que poderiam surgir ao longo do caminho. A opção por um único termo reduziria a quantidade de dados exibidos em tela e simplificaria os cadastros e as buscas. Para o usuário não haveria prejuízo na compreensão da informação, haja vista que a medida não alteraria o resultado das consultas.

Foi então que o termo “Atitude Ecológica” surgiu como alternativa para nomear qualquer iniciativa - pessoal ou profissional - que atue no sentido de dar aos resíduos um destino ecologicamente correto.

Os requisitos não funcionais representam o modo como o sistema deve se comportar, identificam as restrições de desempenho, acessibilidade, segurança, usabilidade e confiabilidade que o sistema possui. A Tabela 2 mostra quais foram os principais requisitos funcionais identificados.

Tabela 2 - Requisitos Não Funcionais

Requisito	Descrição
RNF#01	Qualquer cidadão brasileiro alfabetizado e com acesso à internet deve conseguir operar o sistema.
RNF#02	Não deve ser necessário que o cidadão se cadastre ou se identifique para conseguir utilizar a plataforma.
RNF#03	Não deve ser necessário o download e a instalação de qualquer aplicativo específico para o cidadão conseguir utilizar a plataforma.
RNF#04	Não deve ser cobrado nenhum tipo de pagamento pelo uso do sistema nem deve haver qualquer limite para a quantidade de vezes que se pode utilizar a plataforma.
RNF#05	O sistema deve pedir permissão para obter a localização do cidadão no momento em que ele estiver utilizando algum serviço da plataforma. Em caso de negativa o usuário poderá prosseguir normalmente, mas deverá estar ciente de que os resultados podem não ser os mais próximos de onde ele se encontra.
RNF#06	O cidadão deve conseguir acessar o sistema a partir de qualquer dispositivo conectado que disponha de um navegador de internet.
RNF#07	A interface da plataforma deve ser leve, livre de distrações, intuitiva e flexível o bastante para se adaptar a diferentes tamanhos de tela.

RNF#08	A utilização da plataforma não deve exigir grande disponibilidade de recurso tecnológico do usuário, podendo funcionar adequadamente em dispositivos com pouca memória e baixa capacidade de processamento e armazenamento.
RNF#09	Os recursos tecnológicos empregados no desenvolvimento, como linguagem de programação, editores de código-fonte e gerenciador de banco de dados devem ser gratuitos.
RNF#10	O sistema deve ter código-fonte aberto, podendo ser distribuído como Software Livre, possibilitando que seja evoluído por terceiros e adaptado para outras realidades e necessidades brasileiras.
RNF#11	A plataforma deve receber um nome simples, curto, fácil de ser compreendido e memorizado e que tenha conexão com o seu propósito.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O fato de o Requisito Não Funcional RNF#10 garantir que o sistema possa ser distribuído como Software Livre, não impede que ele seja registrado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e o pedido de registro já foi providenciado.

Quanto ao Requisito Não Funcional RNF#11 o nome escolhido foi “Seja Eco”, um acrônimo para “Sistema Especialista em Juntar Atitudes Ecológicas”. Corroborou para esta escolha o fato de o domínio “seja.eco.br” estar disponível para registro no Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR, o NIC.br. A categoria “eco” do domínio “br” é relativamente recente e foi criada para abarcar atividades com foco eco-ambiental, segundo a instituição brasileira responsável pelos registros de nomes na internet.

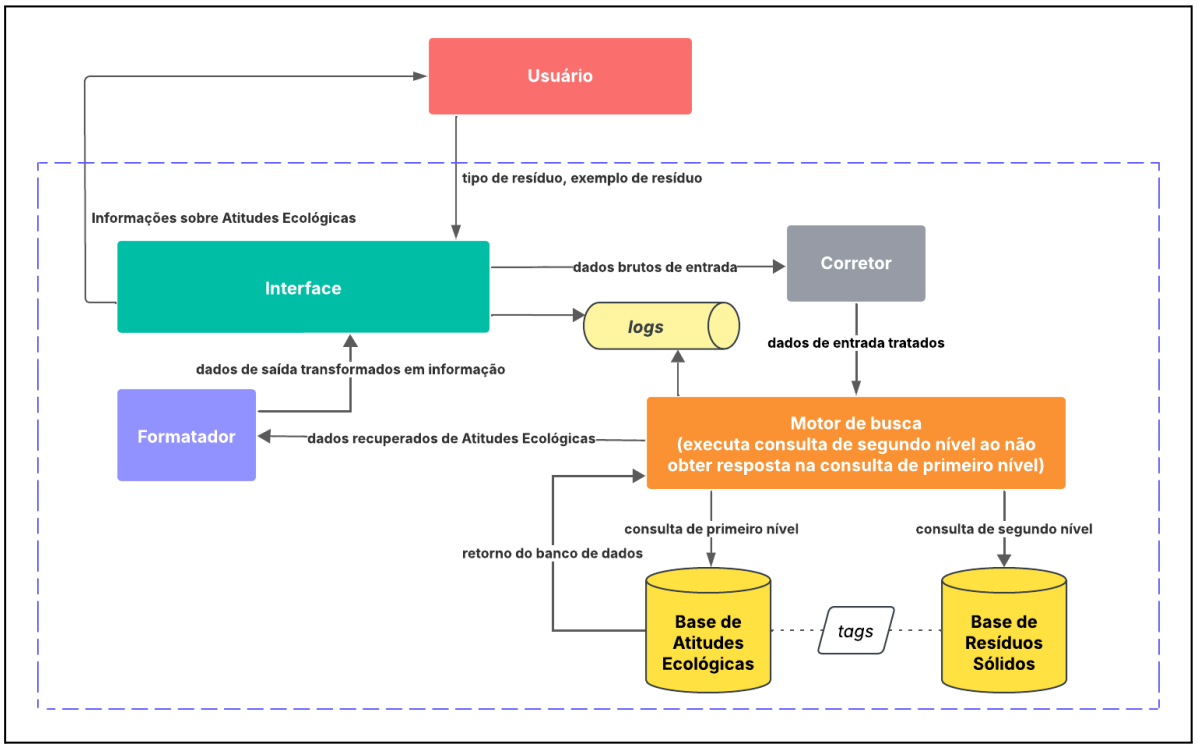
A segunda etapa do processo de *software* é chamada de modelagem. As duas principais metodologias para modelagem de sistemas de informação são as metodologias estruturadas e o desenvolvimento orientado a objetos. As metodologias estruturadas abordam separadamente os dados e processos de modelagem, e o diagrama de fluxo de dados (DFD, do inglês Data Flow Diagram) é a principal ferramenta para a análise estruturada (Laudon, 2014).

O DFD é considerado uma ferramenta adequada para representar os processos componentes de um sistema e o fluxo de dados entre eles. O diagrama de fluxo de dados oferece um modelo gráfico lógico do fluxo de informações, dividindo um sistema em módulos que mostram os níveis de detalhe administráveis. Ele especifica rigorosamente os processos e transformações que ocorrem dentro de cada módulo e as interfaces existentes entre eles (Laudon, 2014).

A Figura 1 contém o DFD do (sistema) Seja Eco. Os retângulos coloridos representam processos que executam captura, processamento e transformação de dados. O primeiro retângulo na parte superior representa o cidadão, uma entidade externa (fora da linha tracejada que representa o domínio do sistema) que origina e recebe informações. Os cilindros em tons de amarelo representam os armazéns de dados. As setas ilustram a direção dos fluxos de dados e mostram a movimentação que ocorre entre os processos, a entidade externa e os armazéns. Ao lado de cada seta está o nome ou o conteúdo do fluxo que ela representa. O trapézio localizado entre dois armazéns de dados representa a relação entre eles.

A base de dados do Seja Eco possui duas tabelas principais, uma que armazena dados das Atitudes Ecológicas e outra que guarda registros de resíduos sólidos. Tanto os dados de Atitudes Ecológicas quanto os dados de resíduos sólidos possuem um atributo em comum chamado *tag*. Uma tag representa um tipo de resíduo, como por exemplo plástico, vidro, papel ou metal. Dessa forma é possível dizer que Atitudes Ecológicas e Resíduos Sólidos estão relacionados entre si. Por exemplo: o resíduo sólido “caixa de sapato” tem como atributo a tag “papelão”. Do outro lado, a Atitude Ecológica “Ação Reciclar” também possui como um dos seus atributos a tag “papelão”. Isso faz com que a Atitude Ecológica “Ação Reciclar” seja ativada sempre que alguém buscar por “caixa de sapato”.

Figura 1 - Diagrama de Fluxo de Dados (DFD)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O processo (módulo do sistema) que acessa as duas tabelas principais é o Motor de Busca. Esse processo contém o algoritmo responsável por extrair os dados que são transformados em informação, informação esta que é mostrada ao usuário. O algoritmo construído para o Motor de Busca do Seja Eco obedece algumas regras preestabelecidas como por exemplo a divisão da consulta em níveis de profundidade, de forma que consultas superficiais (que são mais rápidas) sejam executadas primeiro e, se trouxerem resultados, evitam que consultas profundas (e computacionalmente custosas) sejam executadas.

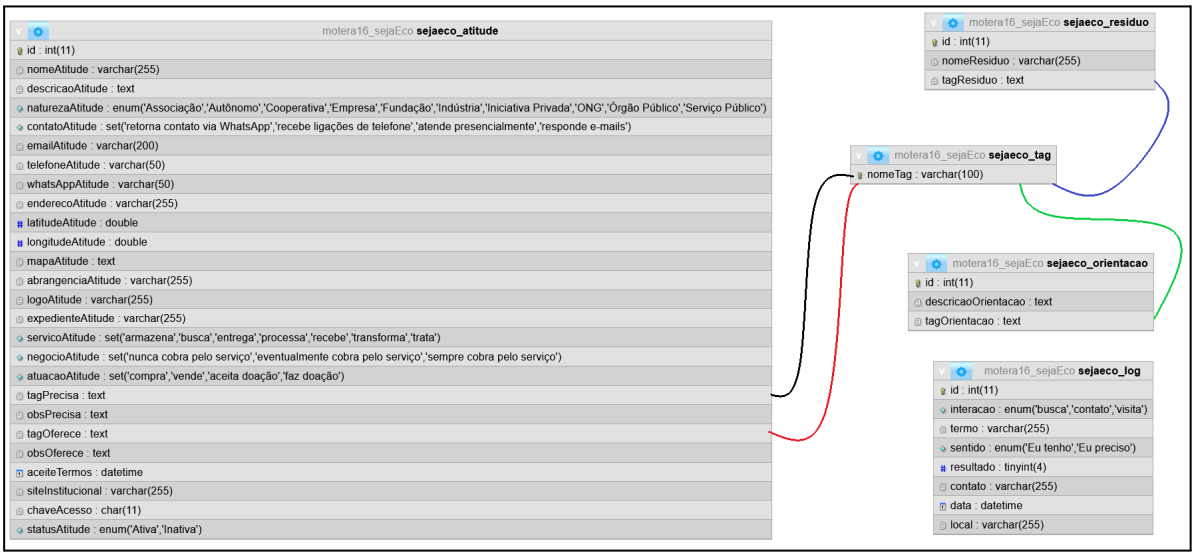
O Motor de Busca executa as consultas a partir de dados manipulados por outro processo, o Corretor. Esse processo funciona como um filtro entre o que é digitado pelo usuário na tela e o que de fato é utilizado pelo motor de busca como parâmetro nas consultas. Isso é necessário porque os dados digitados pelos usuários podem conter sujeiras como excesso de espaços em branco, números, textos com apenas uma letra, etc.

O Corretor recebe dados brutos vindos do processo Interface, o processo interno mais exposto de todo o sistema, responsável por desenhar a tela do usuário, coletar dados digitados por ele e exibir informações devolvidas pelo Motor de Busca. É importante destacar que, no esquema proposto, a Interface não possui acesso direto aos dados, o que torna o sistema mais seguro.

Conforme esse esquema, a Interface depende de outro processo, o Formatador, para exibir informações ao usuário. O Formatador é responsável por receber os resultados das consultas e organizá-los da forma mais legível possível para o usuário.

Por fim, no DFD, localizado entre a Interface e o Motor de Busca, há o armazém de logs, responsável por registrar os termos que são digitados pelo usuário na Interface e os resultados das consultas realizadas pelo Motor de Busca. É a partir dos registros guardados nesse módulo que é possível obter informações estatísticas de acesso, consultas e outras operações executadas pelo usuário.

Figura 2 - Diagrama Entidade-Relacionamento (DER)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A terceira etapa no processo de *software* diz respeito à construção da base de dados, feita a partir do que foi levantado como requisito (funcional e não funcional) na primeira etapa e considerando o fluxo das informações definido no DFD da segunda etapa. A base de dados de um sistema é formada por uma ou mais entidades (tabelas) e quando há várias entidades, pode ou não haver relacionamento entre elas.

Uma representação esquemática de banco de dados denominada diagrama entidade-relacionamento (DER) é usada para esclarecer as relações entre as tabelas de um banco de dados relacional. A maior utilidade desse diagrama é dizer de que maneira duas tabelas se relacionam. Em um banco de dados relacional, as tabelas podem ter relacionamentos um para um, onde um registro de uma tabela se relaciona com apenas um registro de outra tabela, um para muitos, onde um registro de uma tabela se relaciona com um ou vários registros de outra tabela e muitos para muitos onde vários registros de uma tabela se relacionam com vários registros de outra tabela (Laudon, 2014). O relacionamento do tipo muitos para muitos, geralmente requer uma terceira entidade fazendo a intermediação entre as duas primeiras tabelas.

A Figura 2 mostra parte do DER do (sistema) Seja Eco. Como é possível observar no DER, existe uma entidade chamada sejaeco_tag composta de um único atributo nomeTag. Essa entidade armazena uma relação primária de tipos de resíduos como papel, plástico, vidro, metal, madeira, borracha, isopor, pet, orgânico, eletrônico e vários outros. São aproximadamente 70 tipos de resíduos cadastrados. Esses tipos, que no escopo do Seja Eco recebem o nome de tags servem de referência para outras tabelas do banco de dados, como sejaeco_atitude, sejaeco_residuo e sejaeco_orientacao. Na verdade, esses tipos funcionam como etiquetas que ajudam a identificar outros registros.

A entidade sejaeco_residuo contém uma relação secundária de resíduos possíveis de serem digitados na interface do sistema como por exemplo impressora, caixa de leite, garrafa pet, armário, bagaço de laranja, etc. Esse dado fica armazenado na coluna nomeResiduo. No entanto, cada registro desta entidade está vinculado a uma ou mais tags, que são armazenadas na coluna tagResiduo. Por exemplo:

- o nomeResiduo “impressora” possui a tagResiduo “eletrônico”;
- o nomeResiduo “caixa de leite” possui a tagResiduo “papelão”;
- o nomeResiduo “garrafa pet” possui as tagResiduo “plástico” e “pet”;
- o nomeResiduo “armário” possui a tagResiduo “madeira”;
- o nomeResiduo “bagaço de laranja” possui a tagResiduo “orgânico”;

A quantidade de tags que um resíduo possui pode variar de acordo com a precisão que se deseja dar ao algoritmo de busca. Por exemplo, sabe-se que uma impressora, apesar de ser considerada um resíduo eletrônico, é composta também de partes plásticas e metálicas, portanto se for desejável caracterizar impressoras também como resíduos plásticos e metálicos, basta adicionar as tags "plástico" e "metal" ao registro.

- impressora → {eletrônico, plástico, metal}

A entidade sejaeco_atitude armazena o cadastro das Atitudes Ecológicas. É possível observar que são muitos os atributos utilizados para caracterizar uma Atitude Ecológica, mas a compreensão do algoritmo de consulta requer foco em apenas dois deles: tagPrecisa e tagOferece. O primeiro contém tags que caracterizam os tipos de resíduos que a Atitude Ecológica consome, o segundo contém tags que caracterizam os tipos de resíduos que a Atitude Ecológica fornece. Por exemplo:

- Cata-Treco: tagPrecisa → {madeira, móvel}, tagOferece → {}
- Conexão S.A.: tagPrecisa → {papel, plástico}, tagOferece → {papel, plástico}
- E-Recycles: tagPrecisa → {eletrônico}, tagOferece → {plástico, metal}

Conforme o exemplo acima é possível inferir que:

- a Atitude Ecológica Cata-Treco consome resíduos do tipo madeira e do tipo móvel e não fornece resíduos;
- a Atitude Ecológica Conexão S.A. consome e fornece resíduos do tipo papel e do tipo plástico;
- a Atitude Ecológica E-Recycles consome resíduos do tipo eletrônico e fornece resíduos do tipo plástico e do tipo metal.

Retomando a questão do relacionamento muitos para muitos, é possível agora analisar, com exemplos reais, como ele ocorre na base de dados do Seja Eco: muitos resíduos podem se relacionar com muitas Atitudes Ecológicas e vice-versa. Resíduos como computadores, impressoras, celulares, aparelhos de som e de TV, todos eles possuem no atributo tagResiduo o valor "eletrônico", isso significa que todos eles se relacionam com Atitudes Ecológicas que possuem o valor de tag "eletrônico" tanto no atributo tagPrecisa quanto no atributo tagOferece. Por outro lado, Atitudes Ecológicas como E-Recycles, Ação Reciclar, Coopersul e Reuso Recicla+, todas elas possuem no atributo tagPrecisa o valor "eletrônico", o que significa que todas elas se relacionam com resíduos como computadores, impressoras, celulares, aparelhos de som e de TV. A relação muitos para muitos entre Atitudes Ecológicas e resíduos pode ser representada da seguinte forma:

- sejaeco_atitude (n) ← sejaeco_tag → (n) sejaeco_residuo

A notação (n) indica que muitos registros de sejaeco_atitude podem se relacionar com muitos registros de sejaeco_residuo e essa relação é intermediada pela entidade sejaeco_tag.

Na quarta etapa do processo de *software* se concentram as atividades de codificação, tanto da interface do sistema (telas, botões, formulários) quanto dos algoritmos que regem o funcionamento interno da plataforma, como por exemplo as consultas realizadas no banco de dados e a formatação das informações que são lidas pelos usuários. A codificação é um processo fundamental do desenvolvimento e deve se basear estritamente em tudo que foi definido nas etapas anteriores. Como o Seja Eco é um sistema de código aberto projetado para funcionar na internet, as linguagens e tecnologias utilizadas na codificação foram JavaScript, PHP, HTML e CSS, todas gratuitas, reconhecidamente robustas e com amplo suporte de desenvolvedores ao redor do mundo.

RESULTADOS

A plataforma encontra-se atualmente operante no endereço https://seja.eco.br e a sua versão mais recente é a 2.6.4.2, uma versão estável e capaz de produzir resultados, apesar de o processo de desenvolvimento ainda estar em curso. A tela principal da plataforma é dividida em seis segmentos. A Figura 3 apresenta os dois primeiros.

Figura 3 - Tela principal, primeiro e segundo segmentos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O primeiro é o segmento identidade. Ele traz a marca Seja Eco, identifica o sistema e mostra links que direcionam o usuário para a página de informações do projeto, a página de dúvidas frequentes, a página de ouvidoria (onde é possível enviar perguntas, sugestões, críticas), a página de compartilhamento (onde é possível enviar o link da plataforma em aplicativos de conversa), o contato de correio eletrônico e o perfil oficial da plataforma na rede social Instagram.

O segundo segmento é o operacional. Ele permite que o usuário interaja com o sistema. Nessa parte da tela o cidadão pode informar um tipo ou um nome de resíduo e escolher se deseja encontrar quem necessita ou quem dispõe do material. Se preferir não digitar, o usuário tem a opção de clicar em sugestões previamente selecionadas com base nas buscas mais frequentes dos usuários.

O terceiro segmento (Figura 4) é a vitrine. Ele apresenta ao usuário *cards* de Atitudes Ecológicas ativas e próximas do seu local, caso ele tenha permitido o compartilhamento de localização com a plataforma. Cada *card* funciona como um link que direciona o usuário para uma tela com informações detalhadas da Atitude Ecológica como modo de operação, horário de expediente, região de abrangência, endereço, telefone de contato, mapa, etc.

O quarto segmento é o de avisos legais. Ele tem a finalidade de esclarecer aos usuários quais são os termos de uso da plataforma, principalmente no que tange à isenção de responsabilidade em relação aos serviços prestados por terceiros.

O quinto segmento é a porta de entrada para as Atitudes Ecológicas que querem fazer parte na plataforma, já que é nele que se encontra o botão que dá acesso ao formulário de cadastro. A Figura 4 apresenta o terceiro, quarto e quinto segmentos.

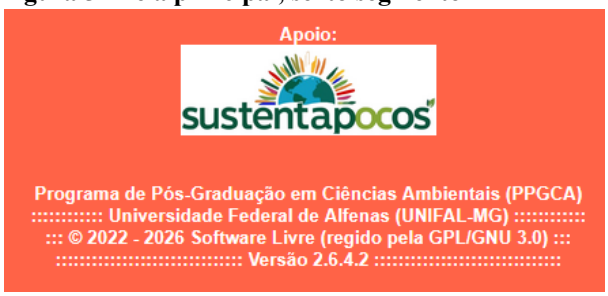
Figura 4 - Tela principal, terceiro, quarto e quinto segmentos



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O sexto e último segmento é o rodapé. Ele traz links para sites de projetos que apoiam a iniciativa Seja Eco e para o site que tem as informações sobre a licença sob a qual a plataforma pode ser utilizada, além de informar a versão do sistema que está vigente no momento. A Figura 5 apresenta o sexto segmento.

Figura 5 - Tela principal, sexto segmento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A versão atual da plataforma já possibilita que qualquer cidadão conectado à internet interaja com o sistema. A Figura 6 apresenta um exemplo de interação. Para iniciar basta que o cidadão digite no campo de busca o nome de um determinado resíduo ou toque em uma das sugestões apresentadas na interface. Em seguida, basta escolher entre as opções "Eu Tenho" e "Eu Preciso" para iniciar o processo de consulta. Quando o usuário opta por "Eu Tenho" a busca é direcionada a Atitudes Ecológicas que reciclam o resíduo pesquisado. Quando o usuário opta por "Eu Preciso" o sentido da busca se inverte, e a plataforma passa a pesquisar Atitudes Ecológicas que informaram dispor daquele resíduo.

Figura 6 - Exemplo de interação com a plataforma



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Quando o algoritmo encontra alguma Atitude Ecológica que atende ao pedido de busca, ele carrega uma nova tela contendo seus principais dados. Informações como nome, abrangência e horário de expediente da Atitude são exibidos em primeiro plano. O usuário tem a opção de ver outros dados clicando no link "Saber +". Caso queira entrar em contato, basta o cidadão clicar no botão "Contato" e todas as informações de contato cadastradas pela Atitude serão exibidas, inclusive com link direto para aplicativos de mensagem como o WhatsApp, por exemplo.

Logo abaixo do resultado da busca existe uma área na interface preparada para receber o *feedback* do usuário. O cidadão pode dizer se a informação que recebeu foi ou não útil. Não é obrigatório responder, e se houver alguma resposta ela fica armazenada como estatística na base de dados do sistema. Esse tipo de retorno do usuário alimenta os relatórios de gestão que podem ser obtidos mediante login em uma área administrativa interna da própria plataforma.

Por fim, ainda na tela do resultado, o algoritmo pode exibir informações relevantes sobre o resíduo pesquisado. São informações previamente cadastradas que servem para orientar o usuário sobre, por exemplo, como proceder a entrega do resíduo, quais são os cuidados com o manuseio do resíduo antes da entrega, o que não pode ser feito com o resíduo, etc. Essas informações são de responsabilidade de quem cadastra o resíduo e aparecem mesmo quando o algoritmo não encontra Atitudes Ecológicas compatíveis com os critérios de busca.

Quando são encontrados vários resultados para uma mesma busca, o algoritmo ordena as Atitudes Ecológicas por ordem de proximidade com o usuário, caso o cidadão e a Atitude Ecológica tenham compartilhado suas localizações. Caso contrário a ordenação é alfabética. A Figura 7 mostra como a plataforma exibe um resultado de busca.

Figura 7 - resultado de uma busca feita na plataforma



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Apesar de ainda não estar em sua versão final, a plataforma já está disponível para a sociedade, e vem sendo implantada no município de Poços de Caldas, localizado na região sul do estado de Minas Gerais, cidade onde o projeto foi concebido. A escolha desse município também se deu pelo fato de a cidade apresentar algumas características que permitem explorar com mais profundidade o alcance, o desempenho, a eficiência e o impacto da plataforma.

A primeira característica é o tamanho da população. Poços de Caldas é a cidade que possui maior número de habitantes na região sul de Minas Gerais, são 171.533 segundo estimativa do IBGE para 2024, fato que certamente reflete na quantidade de resíduos totais gerados.

A segunda característica é o turismo. Poços de Caldas é um município com vocação para atrair visitantes e faz isso durante praticamente o ano todo. Dados do Circuito Integrado de Turismo de Poços de Caldas (CITUR) revelam que no ano de 2023, só o Parque do Cristo, um dos pontos turísticos mais procurados da cidade, recebeu aproximadamente 442 mil visitantes. Esse cenário acentua ainda mais o desafio da gestão dos RSU no município.

A terceira característica tem a ver com a realidade de baixíssima taxa de recuperação de resíduos informada pelo município aos órgãos de controle. Segundo o SNIS, no ano de 2021 a cidade conseguiu recuperar efetivamente apenas 5% do total de resíduos recicláveis coletados. (SNIS, 2021).

Ainda não há resultados do impacto do Seja Eco na disposição final de RSU dentro do município mas as estatísticas geradas pela plataforma a partir do acesso dos usuários tem se mostrado promissores: desde a sua publicação na *web* foram registradas 8485 visitas, 897 buscas e 141 pedidos de contato com Atitudes

Ecológicas. Dentre os usuários que deram *feedback* 85% avaliaram a informação dada pela plataforma como útil e 15% avaliaram como não útil.

Analisando a natureza das buscas a partir dos dados coletados é possível identificar que a grande maioria, 88% delas é de usuários que dizem ter resíduos e apenas 12% vem de usuários que dizem precisar de um determinado resíduo. O resíduo mais buscado até agora, em ambas as situações, foi o "eletrônico".

ANÁLISE E DISCUSSÃO

Segundo dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Poços de Caldas (2020), a população poçoscaldense enfrenta dificuldades em relação a separação do lixo, o que impacta negativamente a produtividade das cooperativas de reciclagem e põe em cheque a destinação correta dos resíduos recicláveis. De acordo com a Assosul, de aproximadamente 32 toneladas de resíduos coletados em um determinado período, a instituição conseguiu separar e vender apenas 22, sendo o restante destinado ao aterro. Fatalmente esses resíduos não reciclados passarão por um processo de decomposição que levará anos, contaminando solo, água e ar.

A sociedade parece carecer de informações sobre quais resíduos são recicláveis e ignoram a existência de outras iniciativas, além da coleta seletiva, que podem destinar corretamente seus resíduos. Segundo Marcatto (2002), a mitigação dos impactos ambientais não deve ser responsabilidade exclusiva do Estado com a implementação de leis, normas e fiscalizações punitivas, ela deve envolver a participação da sociedade no processo, de forma que esta colabore com os órgãos governamentais. E as ferramentas de disseminação do conhecimento têm um papel fundamental em fazer acontecer essa colaboração da sociedade com o poder público.

Atualmente há diversas ferramentas tecnológicas que proporcionam a disseminação de informação de forma rápida (Al-Emran e Griffy-Brown, 2023), além de ferramentas que auxiliam em várias questões do cotidiano como aplicativos que informam a previsão de chegada do próximo ônibus, sites que ensinam a cozinhar, sistemas que agendam consultas e viabilizam telemedicina. Entretanto, pouco se observa a utilização e a aplicabilidade de tecnologias como essas na resolução de problemas ambientais, especialmente aqueles relacionados à questão dos resíduos.

Silva (2019), destaca que dispositivos móveis, além de viabilizarem a disseminação do conhecimento, também tornam possível a participação de cidadãos em iniciativas ligadas a várias temáticas, inclusive às relacionadas à sustentabilidade. Considerando essa capacidade, por que não utilizar ferramentas que aproximem a população das cooperativas de reciclagem e de outras iniciativas, públicas e privadas, ligadas à gestão dos RSU?

Sousa et al (2022) propuseram um aplicativo que possibilita encontrar dados sobre postos de descarte de resíduos e dados sobre a coleta seletiva em regiões onde a solução foi implantada. Apesar de os autores ainda não terem fornecido dados dos resultados obtidos, eles destacam que o próprio processo de divulgação da solução, que está disponível exclusivamente para smartphones, já funcionou como uma ação de conscientização ambiental.

Araldi et al. (2021) desenvolveram um aplicativo para a cidade de São José do Herval que fica no estado do Rio Grande do Sul. A ferramenta permite a coleta e a análise de dados sobre os tipos de resíduos encontrados na cidade, em situação de descarte irregular. Após a análise das informações geradas pelo aplicativo, foram computadas 23 denúncias, dentre as quais se destacaram como mais relevantes aquelas referentes aos resíduos do tipo domiciliares secos (28,85%), volumosos (25%) e industriais (19,23%). Os autores afirmam que a partir dos resultados obtidos foi possível propor melhorias de práticas ambientais, algo que colaborou com o fortalecimento das políticas públicas ambientais do município.

Outra ferramenta que vem sendo utilizada na perspectiva de destinação correta de resíduos é a Cataki+, esse aplicativo conecta catadores individuais a cooperativas, este tipo de ferramenta facilita a logística da coleta, permitindo que os catadores atuem de forma mais organizada e coordenada (Cataki+ s/d).

O Seja Eco se diferencia dessas soluções em alguns aspectos. Em primeiro lugar, considerando um aspecto puramente técnico, o Seja Eco não é um aplicativo. Isso, por si só, o diferencia das outras soluções a partir do momento que ele não precisa ser instalado como as outras, não ocupa espaço de uso em memória como as outras, funciona em qualquer dispositivo computacional e não apenas em smartphones como é caso dos aplicativos.

Em segundo lugar, o Seja Eco não tem o propósito de registrar denúncias dos cidadãos, como uma das ferramentas citadas se propõe a fazer. Em terceiro, o objetivo maior do Seja Eco é conectar não apenas catadores individuais a cooperativas, mas qualquer pessoa ou organização que atue em uma das, ou ambas as, pontas do processo do resíduo, isto é, tanto quem gera quanto quem se beneficia dele.
Enfim, o Seja Eco não distingue o catador que trabalha de forma independente, geralmente sozinho, de uma grande cooperativa ou empresa de reciclagem: para o sistema todos eles são igualmente tratados como Atitudes Ecológicas e possuem a mesma relevância.

Entretanto, apesar de o Seja Eco possuir diferenciais importantes e atributos que fazem dele uma ferramenta potencialmente capaz de modificar a realidade das pessoas, a implantação de um sistema de informação não é um trabalho trivial, muito pelo contrário, é um trabalho geralmente complexo e muitas vezes moroso. O processo de implantação de qualquer sistema de informação requer um bom planejamento e ações que visem tornar o sistema conhecido por seus usuários e reconhecido como ferramenta útil, capaz de resolver um determinado problema e tornar a execução de uma tarefa mais simples do que ela já é. Fazer com que cidadãos "comprem" essa ideia e se tornem usuários é um caminho repleto de desafios.

O plano de implantação do Seja Eco prevê uma série de ações de divulgação e inserção da ferramenta no dia a dia da sociedade, atacando diversas frentes, que vão da iniciativa privada ao poder público, incluindo o meio acadêmico e as mídias sociais. Fazem parte da estratégia visitas à Secretaria do Meio Ambiente e ao Conselho Municipal de Defesa e Conservação do Meio Ambiente, encontros com membros de associações de catadores, cooperativas e empresas de reciclagem, apresentações em escolas e participação em eventos como o Congresso Nacional de Meio Ambiente e a Conferência Municipal de Meio Ambiente, além do impulsionamento do perfil oficial da plataforma no Instagram, onde os seguidores podem acompanhar postagens de incentivo à reciclagem, conhecer iniciativas parceiras e aprender sobre como a disposição final de resíduos beneficia a população.

Por fim, mas não menos importante, depois do trabalho de divulgação e após um período razoável de utilização da plataforma pela sociedade, pretende-se identificar se houve ou não impacto nos índices de recuperação de RSU da cidade e quão grande ele foi. Para realizar essa medição, espera-se que as Atitudes Ecológicas participantes respondam a questões, disponíveis dentro da própria plataforma, sobre as eventuais diferenças percebidas no volume de resíduos recebidos e tratados, em épocas distintas, antes e depois da implantação do sistema.

CONCLUSÕES

A plataforma Seja Eco surge como uma resposta tecnológica à situação precária da gestão de resíduos sólidos urbanos, identificada não apenas em Poços de Caldas mas também na grande maioria dos municípios brasileiros. Ao se basear na onipresença dos dispositivos conectados na vida das pessoas atualmente e na expectativa de que o acesso à informação de qualidade pode mudar o comportamento da sociedade, o sistema tenta facilitar o caminho do resíduo até a destinação correta, buscando promover o aumento das taxas de reciclagem e, consequentemente, a diminuição do volume de resíduos que vai parar nos aterros e lixões.

Os objetivos de desenvolvimento da plataforma foram alcançados com sucesso, resultando em uma ferramenta funcional e acessível via web, que dispensa a instalação de aplicativos e opera de forma intuitiva. A implantação piloto no município de Poços de Caldas já apresenta resultados iniciais promissores, com mais de 8 mil visitas e cerca de 900 buscas registradas, demonstrando o potencial de engajamento da população. Além disso, há indicativos de que o sistema cumpre o propósito de informar e instruir o usuário, já que 85% dos *feedbacks* indicaram que as informações fornecidas são úteis.

Apesar dos avanços, desafios importantes ainda precisam ser superados, principalmente no que tange à conscientização da população e à consolidação da plataforma como uma ferramenta de uso cotidiano. A

implantação completa é um processo complexo que requer estratégias contínuas de divulgação e de parcerias com o setor público e privado. A avaliação precisa do impacto real da plataforma nos índices de recuperação de resíduos da cidade permanece como um desafio a ser vencido, dependendo de uma maior adesão dos usuários e da coleta de dados de longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-EMRAN, M., GRIFFY-BROWN, C. *The role of technology adoption in sustainable development: overview, opportunities, challenges, and future research agendas*. *Technology In Society*, [S.L.], v. 73, p. 102240, maio 2023.

2. ARALDI, R., LAGUE, G. M., COSTA, C. M., SCHWANTZ, P. I., LARA, D. M.. Inovação e desenvolvimento sustentável: um estudo de caso sobre os efeitos do uso do aplicativo para gestão de resíduos sólidos em São José do Herval - RS. Desenvolve Revista de Gestão do Unilasalle, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 1, 29 nov. 2021.

3. BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR). Relatório Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos: Poços de Caldas – MG, 2020. Dados atualizados em 10 ago. 2021. Disponível em: https://relatorios.sinir.gov.br/relatorios/estadual/index.php?ibge=31&ano=2020. Acesso em: 12/06/2026.

4. CATAKI+. Como funciona. [internet] (s/d). Disponível em: https://www.cataki.org/#como_funciona. Acesso em: 12/06/2026.

5. DIAZ, L. F. et al. *Composting and recycling municipal solid waste*. *CRC Press*, 2020.

6. FREITAS, M. F., PIRES, M. M., BENINCÁ, D. Fragilidades e potencialidades na gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, [S.L.], v. 16, p. 1-15, 2024.

7. GSMA. A Economia Móvel na América Latina 2024. Disponível em: https://www.gsma.com/about-us/regions/latin-america/gsma_resources/la-economia-movil-en-america-latina-2024/. Acesso em: 12/06/2026.

8. GSMA. The Mobile Economy 2025. Disponível em: https://www.gsmaintelligence.com/research/the-mobile-economy-2025. Acesso em: 12/06/2026.

9. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. MUNIC 2023: 31,9% dos municípios brasileiros ainda despejam resíduos sólidos em lixões. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41994-munic-2023-31-9-dos-municipios-brasileiros-ainda-despejam-residuos-solidos-em-lixoes. Acesso em: 12/06/2026.

10. JUCON, S.; MURAE, L.; FERREIRA, J. Raio-X dos Resíduos Sólidos no Brasil. Revista Saneas, n. 84, p. 10-24, abr./jun. 2023.

11. LAUDON, K. C. Sistemas de Informação Gerenciais. Revisão técnica: Belmiro do Nascimento João. Tradução de Célia Taniwaki. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

12. LIU, X., LU, X., FENG, Y., ZHANG, L., YUAN, Z. *Recycled WEEE plastics in China: generation trend and environmental impacts. Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 177, p. 105978, fev. 2022.

13. MARCATTO, C. Educação Ambiental: conceitos e princípios. 1. ed. Belo Horizonte: FEAM, 2002.

14. MEIRELLES, F. S. Panorama do Uso de TI no Brasil. GV Executivo, v. 20, p. ', 2021. Disponível em: https://eaesp.fgv.br/pessoa/fernando-souza-meirelles. Acesso em: 12/06/2026.

15. PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS. Associações e cooperativas de recicláveis fazem um apelo à população para não misturar lixo orgânico ao material reciclável. Poços de Caldas, 07 jan.

2020. Disponível em: https://pocosdecaldas.mg.gov.br/noticias/associacoes-e-cooperativas-de-reciclaveis-fazem-um-apelo-a-populacao-para-nao-misturar-lixo-organico-ao-material-reciclavel/. Acesso em: 12/06/2026.

16. SILVA, M. M. Aplicativo sobre água e saúde: uma proposta educativa para o ensino das ciências ambientais. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/36094. Acesso em: 12/06/2026.

17. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO.SNIS. Mapa de Indicadores de Resíduos Sólidos - Cobertura total (IN015). Poços de Caldas. 2022. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/residuos_solidos/mapa-indicadores?codigo=3151800. Acesso em: 12/06/2026.

18. SOUSA, M. A., PEREIRA, A. C. C., BANDEIRA, C. F., ARAÚJO, J. A., MONTORO, S. R. Proposta de criação de aplicativo para contribuir com a melhoria na gestão de resíduos sólidos urbanos. Cadernos Unifoa, [S.L.], v. 17, n. 48, p. 33-43, 1 abr. 2022.