



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2026) v. 13, n. 1, p. 49–60  
<https://doi.org/10.21712/lajer.2026.v13.n1.p49-60>

**Aplicativo móvel multiplataforma para monitoramento da produção de biogás e mitigação de emissões em biodigestores educacionais**  
*Multiplatform mobile application for monitoring biogas production and mitigating emissions in educational biodigesters*

Luis Enrique Santacruz Alvarez<sup>1</sup>, Joylan Nunes Maciel<sup>2,\*</sup>, Ricardo Morel Hartmann<sup>3</sup> e Diego Moraes Flores<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Física, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), PR, Brasil

<sup>2</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade e Física Aplicada, Laboratório de computação Aplicada (LACA), Universidade Federal da Integração Latino Americana (Unila), PR, Brasil

<sup>3</sup> Professor do Curso de Graduação de Engenharia de Energia, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), PR, Brasil

<sup>4</sup> Professor do Curso de Graduação em Geografia, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), PR, Brasil

\*Autor para correspondência, E-mail: joylan.maciel@unila.edu.br

Received: 23 January 2026 | Accepted: 21 March 2026 | Published online: 29 April 2026

**Resumo:** A valorização energética de resíduos orgânicos por meio da digestão anaeróbia constitui estratégia relevante para redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e promoção da economia circular em ambientes institucionais. Entretanto, a ausência de ferramentas digitais padronizadas dificulta o registro sistemático e o monitoramento operacional de biodigestores didáticos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação de um aplicativo móvel multiplataforma, de código aberto, destinado ao gerenciamento da produção de biogás, estimativas energéticas e quantificação de emissões evitadas em escolas públicas. O sistema foi implementado em Python/Kivy, com arquitetura modular e banco de dados SQLite para operação offline, contemplando registro de resíduos, cálculo automático de produção de biogás, acompanhamento de medições gasosas e exportação de relatórios. A solução foi utilizada em três instituições de ensino, sendo apresentado um recorte de estudo de caso no qual 219,10 kg de resíduos orgânicos resultaram em produção estimada de 15,12 m<sup>3</sup> de biogás e mitigação de 182,10 kg CO<sub>2</sub>eq. Os resultados evidenciam maior confiabilidade, agilidade e rastreabilidade dos dados operacionais, além de suporte à gestão ambiental e ao ensino experimental. A plataforma proposta é de baixo custo, escalável e replicável, configurando-se como ferramenta tecnológica eficaz para integração entre geração de energia renovável, monitoramento ambiental e educação científica.

Palavras-chave: biogás; gestão energética; monitoramento ambiental; aplicativo móvel; sustentabilidade.

**Abstract:** The energy recovery of organic waste through anaerobic digestion is an important strategy for reducing greenhouse gas emissions and promoting the circular economy in institutional environments. However, the lack of standardized digital tools makes it difficult to systematically record and monitor the operation of educational biodigesters. This paper presents the development and validation of a multiplatform, open-source mobile application for managing biogas production, energy estimates and quantifying avoided emissions in public schools. The system was implemented in Python/Kivy, with a modular architecture and SQLite database for offline operation, including waste registration, automatic calculation of biogas production, monitoring of gas measurements and export of reports. The solution was used in three educational institutions, and a case study was presented in which 219.10 kg of organic waste resulted in an estimated production of 15.12 m<sup>3</sup> of biogas and mitigation of 182.10 kg CO<sub>2</sub>eq. The results show greater reliability, agility and traceability of operational data, as well as support for environmental management and experimental teaching. The proposed platform is low-cost, scalable and replicable, making it an effective technological tool for integrating renewable energy generation, environmental monitoring and scientific education.

Keywords: biogas; energy management; environmental monitoring; mobile app; sustainability.

## 1 Introdução

Nas últimas décadas, a busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis tem se intensificado devido aos impactos ambientais e à escassez progressiva de combustíveis fósseis (Irena, 2015). Nesse contexto, a produção de biogás e biometano a partir de resíduos orgânicos emergiu como uma alternativa estratégica, capaz de gerar energia limpa, reduzir emissões de gases de efeito (GEE) e promover a economia circular (Couto et al., 2025). Cerca de 52% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (Franceschi et al., 2017) são orgânicos e sua disposição inadequada contribui para a emissão de metano, um gás de efeito estufa com potencial 28 vezes maior que o CO<sub>2</sub> (Adopted, IPCC, 2014). Iniciativas de produção de biogás têm crescido, especialmente em regiões urbanas e de fronteira, que concentram grande volume de resíduos sólidos urbanos e agroindustriais (Cibiogás, 2025).

Desde 2021, o Grupo de Pesquisa em Mobilidade e Matriz Energética (GPMME) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) desenvolve projetos de pesquisa e extensão voltados à criação de metodologias de montagem, operação e ensino experimental de ciências exatas e matemáticas no ensino médio, utilizando biodigestores e biogás. Entre 2021 e 2022, foi conduzido um projeto piloto no Colégio Estadual Gustavo Dobrandino da Silva (CEGDS), em Foz do Iguaçu/Paraná/Brasil, financiado pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná (SETI/PR). O projeto promoveu ações de extensão voltadas à produção de biogás a partir de resíduos orgânicos do refeitório escolar, convertendo-os em um vetor energético renovável. Além de seu caráter tecnológico, a iniciativa teve enfoque educacional e experimental, permitindo que estudantes e pesquisadores acompanhassem os processos de geração de energia limpa e tratamento de resíduos (Unila, 2024).

Os resultados foram positivos (Teixeira et al., 2023) e bem recebidos pela comunidade escolar e pela Secretaria de Educação do Paraná (SEED), que produziu e divulgou vídeo institucional sobre o projeto (UNILA, 2022). Em 2025, duas publicações registraram os resultados do projeto piloto, sendo um artigo científico (Flores et al., 2024) e um e-book (UNILA, 2025). No âmbito do mesmo projeto, foi desenvolvido um protótipo de aplicativo para apoio didático e ensino de computação, informática e programação, cuja operação contínua não pôde ser testada devido ao término do semestre letivo em dezembro de 2022.

O projeto biogás baseou-se em objetivos energéticos e pedagógicos específicos: (1) construir um biodigestor em parceria com os alunos do ensino médio; (2) realizar a coleta, classificação e pesagem dos resíduos utilizados; (3) preparar e corrigir a acidez dos alimentos antes da alimentação do biodigestor; e (4) acompanhar a operação, coletando o biofertilizante para uso na horta escolar e o biogás para atividades experimentais de química, física, biologia e matemática. Embora o uso de um aplicativo não seja imprescindível à execução dessas etapas, sua adoção potencializa o aprendizado em computação e programação, as quais são competências essenciais na sociedade contemporânea e facilitam o registro, análise e predição dos dados operacionais.

Além disso, a integração do aplicativo ao processo pedagógico permite controlar a quantidade de resíduos inseridos, comparar anotações laboratoriais e estimar a produção de biogás e biofertilizante por meio de equações bioquímicas. Isso aprimora o processo de ensino-aprendizagem ao promover o uso interdisciplinar dos biodigestores em áreas como computação, física, química, biologia e geografia, incluindo o uso de mapas e noções de georreferenciamento. Dessa forma, o uso de ferramentas digitais representa um desdobramento natural para o aprimoramento do projeto, ampliando sua eficiência e impacto educativo, além de fomentar competências empreendedoras em tecnologia e energias renováveis entre os estudantes.

Diante desse cenário, o objetivo deste estudo é apresentar todo o processo de desenvolvimento de um sistema contemplando um aplicativo computacional móvel, multiplataforma, intuitivo e didático, visando automatizar a gestão de produção e dados do projeto de biogás da UNILA, centralizando informações operacionais e otimizando o controle da planta piloto, permitindo facilitar a análise de dados para ensino, pesquisa e extensão. Portanto, a criação dessa solução é relevante tanto do ponto de vista tecnológico, ao integrar ferramentas digitais à gestão de processos sustentáveis, quanto do ponto de vista social e ambiental, ao potencializar a eficiência da produção de energia limpa, beneficiando a comunidade acadêmica e o entorno da universidade e região.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o referencial teórico deste estudo. A Seção 3 descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento do aplicativo, incluindo definição de requisitos, arquitetura do aplicativo e estratégias de coleta de dados. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos, demonstrando funcionalidades do aplicativo e integração com a planta piloto. Por fim, a Seção 5 discute os resultados, impactos, limitações e perspectivas futuras do projeto, enquanto a Seção 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 Fundamentação teórica

A gestão ambiental institucional busca integrar práticas sustentáveis que reduzam impactos, promovam eficiência no uso de recursos e incentivem economia circular (Barbieri, 2016). A PNRS (Lei nº 12.305/2010) orienta a priorização de tecnologias limpas, compostagem, digestão anaeróbia e recuperação energética. Escolas e universidades são ambientes estratégicos para implementação de soluções que unam sustentabilidade, educação e eficiência ambiental.

A digestão anaeróbia é amplamente reconhecida como uma das rotas mais eficientes para valorização energética de resíduos orgânicos (Appels et al., 2011). Durante o processo, microrganismos convertem biomassa em biogás, composto majoritariamente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), onde fatores como composição do resíduo, temperatura e carga orgânica influenciam a eficiência (Khalid *et al.*, 2011). Por fim, o digestato resultante é um fertilizante de alto valor agrônômico (Holm-Nielsen et al., 2009).

A produção de biogás a partir de resíduos orgânicos insere-se no conceito de economia circular e de tecnologias *Waste to Energy* (WtE), nas quais o resíduo torna-se recurso energético. Segundo Kaza et al. (2018), o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos exige soluções inovadoras para mitigação de impactos ambientais. Em ambientes escolares, biodigestores de pequeno porte permitem o ensino de conceitos de termodinâmica, conservação de massa e energia, contribuindo para o entendimento prático das ciências naturais. A integração entre tecnologia digital e educação ambiental é defendida por (Junior Bottentuit, 2012), que destaca o papel de dispositivos móveis como ferramentas pedagógicas que favorecem o aprendizado ativo. O contexto regional de Foz do Iguaçu, com instituições como a UNILA, o Itaipu Parquetec e o CIBiogás, proporciona ambiente favorável para projetos de educação tecnológica e sustentabilidade. Essas instituições, além de promoverem pesquisa aplicada, fortalecem a integração entre universidade e comunidade escolar, ampliando o alcance social e científico das ações.

Nesse contexto, este estudo busca atender à necessidade de uso de um aplicativo móvel específico para complementar a metodologia experimental do projeto Biogás nas Escolas, realizado em três escolas públicas de Foz do Iguaçu-PR: Colégio Agrícola, Colégio Flávio Warken e Colégio Gustavo Dobrandino da Silva. A função do aplicativo consiste em automatizar o registro sistemático de dados e possibilitar acompanhamento sobre a operação de biodigestores, efetuando cálculos automatizados de produção de biogás e estimativas de redução de GEE.

A partir da literatura observou-se que as soluções tecnológicas existentes para gestão de biogás revelam um foco predominante em ferramentas de planejamento, dimensionamento e análise de viabilidade econômica. Softwares como o Aplicativo computacional para projetos de biodigestores rurais (Portes, 2011), o Biogas Simulator (Chamocho, 2015) e a Ferramenta de auxílio à tomada de decisão (Soares, 2012) são exemplos de programas computacionais focados em auxiliar produtores rurais e engenheiros a calcular parâmetros de projeto e a viabilidade antes da instalação de uma planta. Essas ferramentas são essencialmente calculadoras de planejamento estratégico, voltadas para otimizar o investimento inicial e o dimensionamento da estrutura. Em suma, constata-se não haver ferramentas gratuitas aplicáveis ao monitoramento de biodigestores institucionais (Holm-Nielsen et al., 2009), pois, não foram observados na literatura atual soluções contemplando as funcionalidades necessárias para o projeto Biogás nas Escolas.

Nesse contexto, o aplicativo proposto possui um escopo distinto, focado no monitoramento educacional e na gestão de dados de biodigestores didáticos já em operação. Concebido como uma ferramenta de automação *open-source*, seu objetivo não é a análise de viabilidade, mas sim o possibilitar o engajamento pedagógico e o acompanhamento prático de forma automatizada e otimizada, permitindo ainda sua extensão a outros domínios e funcionalidades.

## 3 Materiais e métodos

Inicialmente destaca-se que uma importante diretriz desse projeto e relevante à sociedade, academia e ao meio ambiente é permitir a reutilização da solução proposta, utilizando como base um projeto com documentação adequados para facilitando a inclusão de novas funcionalidades e aplicação em novos domínios. A partir dessa diretriz, a solução computacional a ser desenvolvida deve permitir o registro dos seguintes dados operacionais de gestão do biodigestor:

- a) Massa (kg) e o tipo de resíduo (vegetais, carne, grão, laticínios e outros);
- b) Data e hora de alimentação;
- c) Estimativa de produção de biogás;
- d) Geração acumulada;
- e) Estimativa de CO<sub>2</sub> evitado.

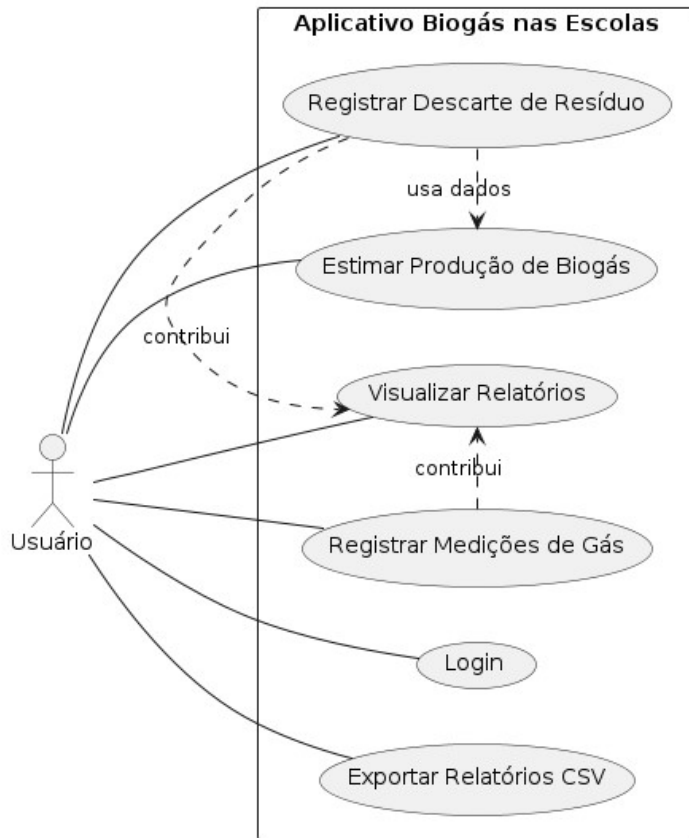
A estimativa de produção de biogás foi calculada com base em fatores médios de conversão para resíduos orgânicos domiciliares (Appels et al., 2011), sendo de 0,06 a 0,08 m<sup>3</sup> de biogás por kg de resíduo. Para as estimativas de emissões evitadas de CH<sub>4</sub>, utilizou-se o potencial de aquecimento global (GWP) do (Adopted, IPCC, 2014).

O processo de desenvolvimento do aplicativo seguiu metodologia ágil, com ciclos curtos de desenvolvimento, testes e refinamentos sucessivos (Pressman e Maxim, 2021). A arquitetura do sistema foi implementada em Python 3.10+, utilizando o framework Kivy (Kivy Team, 2025) para interface gráfica e interação multiplataforma, especificamente Google Android e Apple iOS. O banco de dados local SQLite assegura a operação *offline*, permitindo o registro e a consulta de dados sem necessidade de conexão à internet. Para modelagem e documentação do sistema, foram empregados diagramas *Unified Modeling Language* (UML) elaborados no PlantUML, incluindo diagramas de casos de uso e o modelo entidade–relacionamento (MER) do banco de dados (Pressman e Maxim, 2021).

As funcionalidades do aplicativo foram definidas pela equipe interdisciplinar (engenharia, química, física, geografia e computação) do projeto Biogás nas Escolas, culminando nos seguintes requisitos funcionais (RF) identificados e implementados:

- RF01 - Cadastro e Autenticação de Usuário: O aplicativo deve permitir o login de usuários registrados, validando credenciais armazenadas localmente no banco SQLite;
- RF02 - Registro de Descarte de Resíduos: O aplicativo deve permitir o registro de descartes, informando data, categoria e peso do resíduo, para posterior consulta e análise;
- RF03 - Estimativa de Produção de Biogás: O aplicativo deve calcular a estimativa de biogás produzido com base nos resíduos registrados, aplicando parâmetros e fatores predefinidos;
- RF04 - Registro de Medições de Gás: O aplicativo deve possibilitar o registro de medições de gás, incluindo metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e sólidos voláteis. As medições devem ser registradas com data e valores quantitativos de cada componente;
- RF05 - Consulta de Dados e Relatórios: O aplicativo deve exibir os registros armazenados de resíduos e medições em formato tabular, permitindo ao usuário visualizar o histórico e exportar os registros de resíduos e medições em formato intercambiável *comma separated values* (CSV), permitindo a análise externa dos dados;
- RF06 - Persistência Local de Dados: O aplicativo deve utilizar banco de dados SQLite para armazenamento local e persistente das informações;
- RF07 - Feedback ao Usuário: O aplicativo deve exibir mensagens informativas (pop-ups) em operações de sucesso, erro ou campos incompletos;
- RF08 - Controle de Profundidade de Navegação: O aplicativo deve permitir a navegação controlada e intuitiva entre telas, assegurando a integridade dos dados e o retorno seguro ao menu principal;
- RF09 - Compatibilidade Multiplataforma: O aplicativo deve ser executável em ambiente desktop e possuir estrutura compatível para empacotamento em aplicativos móveis (Google Android e Apple iOS).

A partir deste conjunto de requisitos funcionais definiu-se os seguintes casos de uso (UC) a serem implementados no sistema (Figura 1).



- UC01 – Login: autenticação segura e login e senha;
- UC02 – Registrar Descarte de Resíduo: registro de resíduos orgânicos utilizados no biodigestor;
- UC03 – Estimar Produção de Biogás: estimativa de volume de biogás gerado a partir dos resíduos registrados;
- UC04 – Registrar Medições de Gás: inserção de dados experimentais referentes à composição do biogás produzido, como concentrações de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e sólidos voláteis;
- UC05 – Visualizar Relatórios: exibição dos registros de descarte e medições históricas nos formatos tabular e gráfico.
- UC06 – Exportar Relatórios CSV: relatórios em formato editável.

Figura 1. Diagrama de casos de uso desenvolvidos no aplicativo Biogás nas Escolas.

As informações do aplicativo são armazenadas localmente no banco de dados, cuja representação está descrita no Modelo Entidade-Relacionamento (MER) (Silberschatz; Korth; Sudarshan, 2019) da Figura 2. O MER do aplicativo foi elaborado com base na estrutura do banco de dados local utilizado pela aplicação. O armazenamento das informações é realizado por meio de um banco SQLite, escolhido por sua leveza, portabilidade e integração nativa com a linguagem Python.

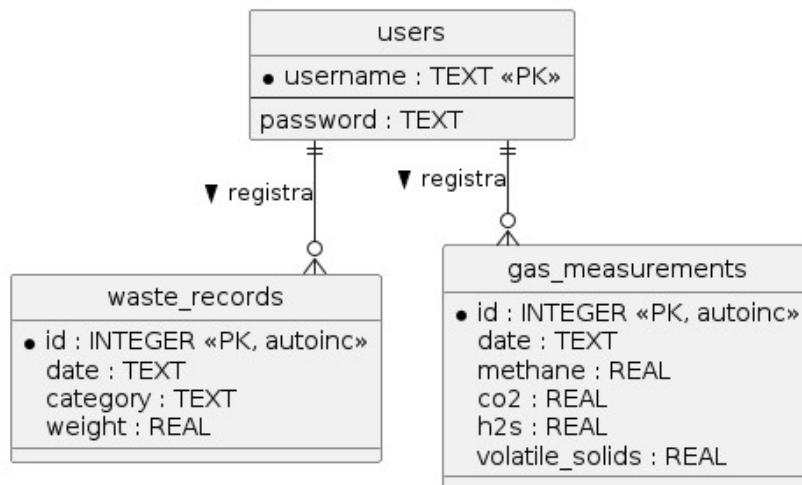


Figura 2. Modelo Entidade-Relacionamento (MER) do aplicativo Biogás nas Escolas.

O modelo é composto por três entidades principais: *users*, *waste\_records* e *gas\_measurements*. A entidade Usuário armazena as credenciais necessárias para autenticação, contemplando os atributos de nome e senha. A entidade Registro de Resíduos representa as informações coletadas sobre o descarte de materiais orgânicos, contendo campos para data, categoria e peso. A entidade *gas\_measurements* agrega os dados experimentais relativos à composição do biogás, como metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e sólidos voláteis.

O MER foi estruturado de forma a garantir a persistência e a rastreabilidade dos dados produzidos pela aplicação, mantendo a integridade lógica entre os registros de resíduos e as medições realizadas. Cada entidade é independente, permitindo a inserção e consulta dos dados de maneira modular, sem dependência de conexões externas ou servidores remotos. Essa abordagem simplificada é adequada para aplicações embarcadas e protótipos experimentais, como o aplicativo de monitoramento e estimativa de produção de biogás desenvolvido neste estudo.

O diagrama de classes (Figura 3) foi elaborado a partir da arquitetura de software implementada no aplicativo, estruturada sob o paradigma da programação orientada a objetos (POO). O aplicativo é composto por um conjunto de classes que representam tanto a interface gráfica quanto os módulos de lógica e persistência de dados. A classe principal, denominada *BiogasApp*, gerencia o ciclo de execução da aplicação e a inicialização das telas por meio do gerenciador de estados (*ScreenManager*).

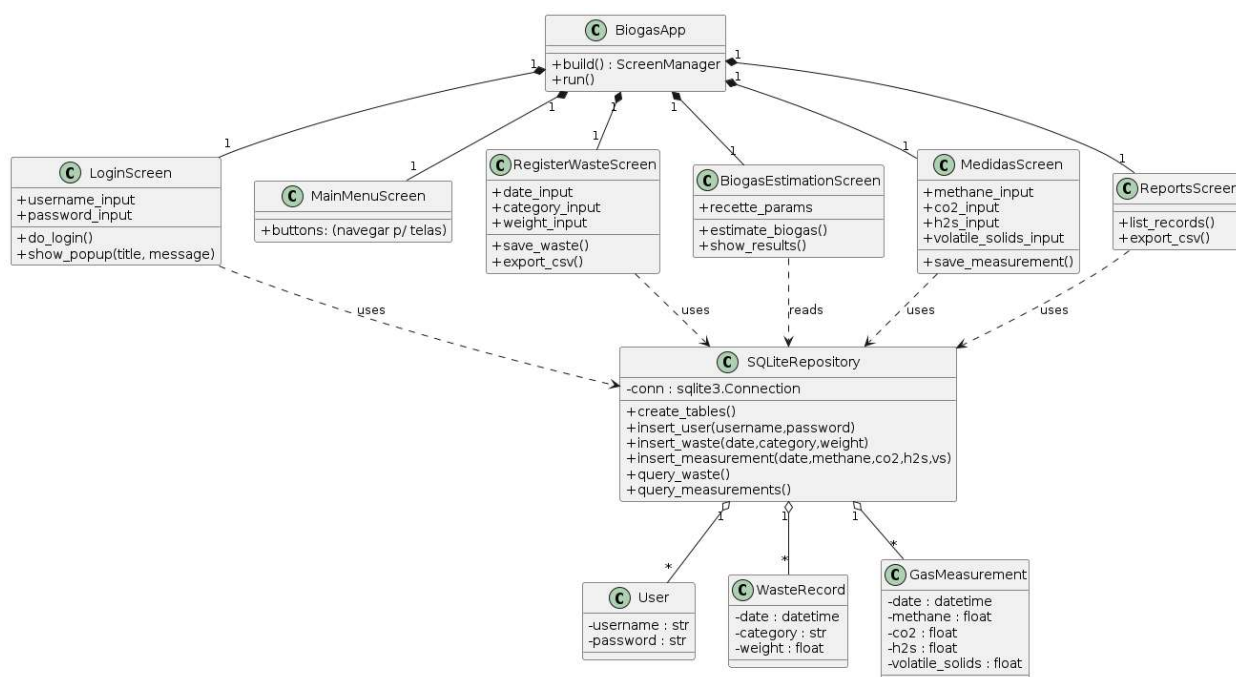


Figura 3. Diagrama de Classes do aplicativo Biogás nas Escolas.

As interfaces (telas) do aplicativo são representadas por classes específicas derivadas de componentes da biblioteca Kivy, como *LoginScreen*, *RegisterWasteScreen*, *BiogasEstimationScreen*, *MedidasScreen* e *ReportsScreen*. Cada uma dessas classes encapsula a lógica e os elementos gráficos associados a suas respectivas funcionalidades: autenticação, registro de resíduos, estimativa de biogás, medições e geração de relatórios. A camada de persistência é representada pela classe *SQLiteRepository*, responsável pela criação das tabelas, inserção e consulta de dados no banco local. Essa separação de responsabilidades favorece a modularidade, facilitando futuras manutenções e extensões do aplicativo. As classes *User*, *WasteRecord* e *GasMeasurement* representam as estruturas de dados correspondentes às entidades do banco, funcionando como modelos lógicos para o armazenamento e manipulação das informações em memória.

O diagrama de classes expressa, portanto, a organização hierárquica e funcional do aplicativo, evidenciando a integração entre interface, controle e persistência. Essa estrutura modular e orientada a objetos contribui para a clareza do código, a reusabilidade de componentes e a adequação da aplicação às boas práticas de engenharia de software. Portanto, a partir da arquitetura de software utilizada, o aplicativo foi estruturado em módulos que atendem aos requisitos funcionais, sendo: (i) cadastro de usuários, (ii) registro de descartes (resíduos orgânicos), (iii) estimativa de produção de biogás, (iv) relatório e gráfico com cálculo da redução de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente e (v) registro de medidas de gás.

## 4 Resultados e discussão

O desenvolvimento do aplicativo *Biogás nas Escolas* alcançou os objetivos propostos, transcendendo seu caráter instrumental, assumindo uma dimensão pedagógica e social. Com desempenho técnico satisfatório, estabilidade operacional e aceitação positiva por parte dos usuários, os testes em campo realizados nas três

escolas participantes comprovaram a viabilidade da solução como ferramenta educacional e de monitoramento ambiental.

Com propósito didático, considerando um recorte do Colégio Flávio Warken nos meses de março a julho de 2025, em que resíduos alimentares foram utilizados para alimentar o biodigestor, o aplicativo *Biogás nas Escolas* permitiu aos participantes do projeto registrar, processar e sumarizar informações relevantes didáticas relevantes ao projeto, de modo automatizado, permitindo por exemplo, conhecer os meses de maior geração de biogás para posterior análise e discussão pedagógica, conforme apresentado na Tabela 1 e Figura 4. No exemplo, um total de 219,10 kg de resíduos orgânicos provenientes do refeitório escolar, resultando na geração estimada de 15,12 m<sup>3</sup> de biogás e evitando a emissão de aproximadamente 182,10 kg de CO<sub>2</sub> equivalente. O mês de maio apresentou os maiores valores tanto em resíduos acumulados (61,85 kg) quanto em CO<sub>2</sub> evitado (50,28 kg CO<sub>2</sub>eq), evidenciando a relação direta entre o volume de resíduos orgânicos processados e os benefícios ambientais obtidos. Esta correlação é fundamental para discussões pedagógicas sobre sustentabilidade, economia circular e mitigação de gases de efeito estufa.

Tabela 1. Dados coletados com o uso do aplicativo Biogás nas Escolas.

Mês	Peso Resíduos (kg)	Geração de Biogás (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> Evitado (kg CO <sub>2</sub> eq)
Março	49,45	3,37	40,533
Abril	39,05	2,72	32,710
Maio	61,85	4,17	50,284
Junho	32,8	2,34	28,199
Julho	35,95	2,52	30,367
<i>Total</i>	<i>219,10</i>	<i>15,12</i>	<i>182,10</i>

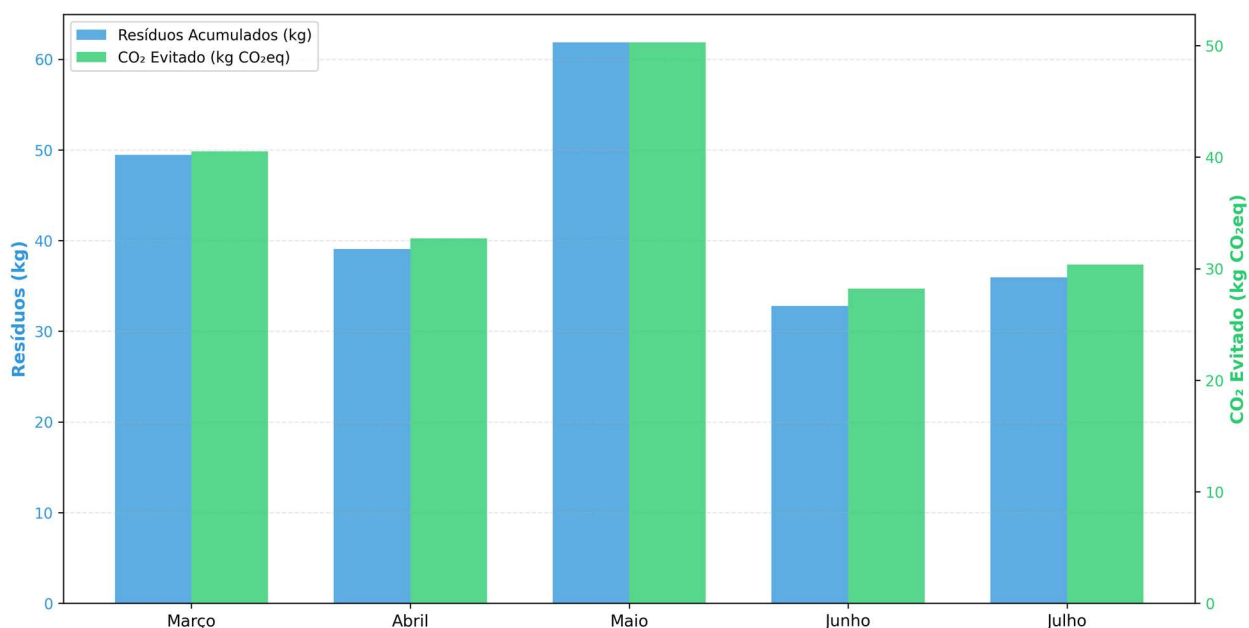


Figura 4. Exemplo didático da relação entre resíduos orgânicos e estimativa de CO<sub>2</sub> evitado.

A possibilidade de trabalhar com exemplos reais (dados brutos) permite gerar informações didáticas de análise e discussão, promovendo maior compreensão e enriquecimento didático sobre o tema, como por exemplo fatores que podem influenciar a geração do biogás. Estes dados reais fortalecem a compreensão prática de conceitos como digestão anaeróbia, energia renovável e responsabilidade ambiental, conforme destacado nas funcionalidades do sistema descrito no artigo.

Durante as oficinas, o aplicativo permitiu aos estudantes realizarem o registro sistemático de tipos e massas de resíduos orgânicos, observando em tempo real a estimativa de produção de biogás. Os dados exportáveis permitem estimular e facilitar as discussões sobre eficiência energética, impacto ambiental e emissões evitadas de CO<sub>2</sub> equivalente, favorecendo a aprendizagem experiencial e o raciocínio científico aplicado. A Tabela 2 apresenta a análise dos principais resultados e benefícios observados com o uso da solução desenvolvida, ressaltando o valor do sistema como ferramenta de gestão ambiental institucional

Tabela 2. Resultados e contribuições do uso do aplicativo Biogás nas Escolas.

Resultado	Análise e descrição
Gestão automatizada	Permitiu consolidar o registro, armazenamento e exportação dos dados, possibilitando gerar o histórico operacional do biodigestor. O registro de massas de resíduos e a estimativa de produção de biogás permitiram construir indicadores ambientais que revelam o potencial de redução de emissões de GEE.
Padrões e <i>insights</i> da produção de biogás	Permitirá identificar os dias com maior carregamento, variação no tipo de resíduo e impacto no potencial energético. Essa rastreabilidade é essencial para auditorias ambientais e para elaboração de relatórios institucionais, como exigido por programas governamentais de sustentabilidade.
Agilidade, confiabilidade e qualidade nos registros	Quando comparado com registros manuais tradicionais, observou-se a diminuição do tempo de registro e maior agilidade de acesso às informações, aumentando a consistência dos dados e eliminando perdas de informação. Isto reforça os argumentos de (Popescu et al., 2024) sobre eficiência de tecnologias digitais na gestão ambiental, que destacam como a automação reduz a carga de trabalho manual, minimiza erros humanos e aumenta significativamente a eficiência dos processos de monitoramento.

A Figura 5 exibe as algumas telas de interface gráfica do aplicativo, o qual atendeu a todos os requisitos funcionais desenvolvidos. No exemplo são exibidas telas para registro (entrada) de dados, cálculos e relatórios contemplando os requisitos funcionais identificados. Os resultados oriundo desta solução corroboram o papel transformador das tecnologias móveis no ensino, conforme apontado por (Junior Bottentuit, 2012) ao promover a interação ativa e o engajamento dos alunos. De modo semelhante a outras experiências de integração tecnológica em projetos educacionais (Couto et al., 2025; CIBiogás, 2024), a aplicação reforçou a importância da educação ambiental mediada por tecnologia, aproximando ciência e comunidade escolar.

Vale enfatizar que aplicativo se diferencia de soluções computacionais anteriores, como Biogas Simulator (Chamocho, 2015) e o Aplicativo para Projetos de Biodigestores (Portes, 2011), que se concentram em cálculos de dimensionamento e viabilidade econômica. Em contraste, o presente estudo apresenta uma ferramenta de caráter educacional e operacional, voltada ao acompanhamento contínuo da produção e à formação científica de estudantes. A principal contribuição, deste estudo, reside na integração de computação móvel, sustentabilidade e educação pública, por meio de uma solução de código aberto de baixo custo, reproduzível em outros contextos escolares.

O aplicativo desenvolvido permite o gerenciamento descentralizado de dados e fomenta o protagonismo discente, estimulando práticas pedagógicas interdisciplinares que articulam tecnologia e meio ambiente. Do ponto de vista técnico-computacional, destacam-se as seguintes contribuições:

- a) Uso de tecnologias abertas, permitindo a reutilização e adaptação da solução proposta
- b) Compatibilidade multiplataforma com Android e iOS, os dois sistemas operacionais móveis mais utilizados na atualidade;
- c) Operação *offline* com persistência local, dispensando o uso ou necessidade de Internet;
- d) Adição facilitada de novas funcionalidades a partir da estrutura escalável e completude da documentação fornecida e explicada;
- e) Replicabilidade da solução desenvolvida e do projeto *Biogás nas Escolas* em diferentes instituições.

Entretanto, algumas limitações foram observadas, como a ausência de integração com sensores de *Internet of Things* (IoT) e a falta de sincronização em nuvem, que restringem o monitoramento automatizado e colaborativo entre escolas. Constatou-se a relevância de processos de *co-design* com professores e alunos, que resultaram em melhorias significativas na usabilidade e adequação pedagógica do sistema. Essa experiência reforça a necessidade de metodologias participativas em projetos de inovação educacional.

Para o futuro, propõe-se ampliar o aplicativo com recursos de integração IoT, georreferenciamento, coletas de novas informações como a temperatura e inteligência analítica aplicada à eficiência energética de biodigestores. Essas evoluções permitirão consolidar uma rede estadual de monitoramento, alinhada às diretrizes de sustentabilidade e transformação digital da educação pública. Em síntese, os resultados confirmam a viabilidade técnica e educacional do sistema, evidenciando ganhos práticos em monitoramento, engajamento e gestão ambiental. O aplicativo consolida-se como uma ferramenta de apoio à extensão universitária e à formação científica de jovens, unindo tecnologia, sustentabilidade e aprendizagem ativa.

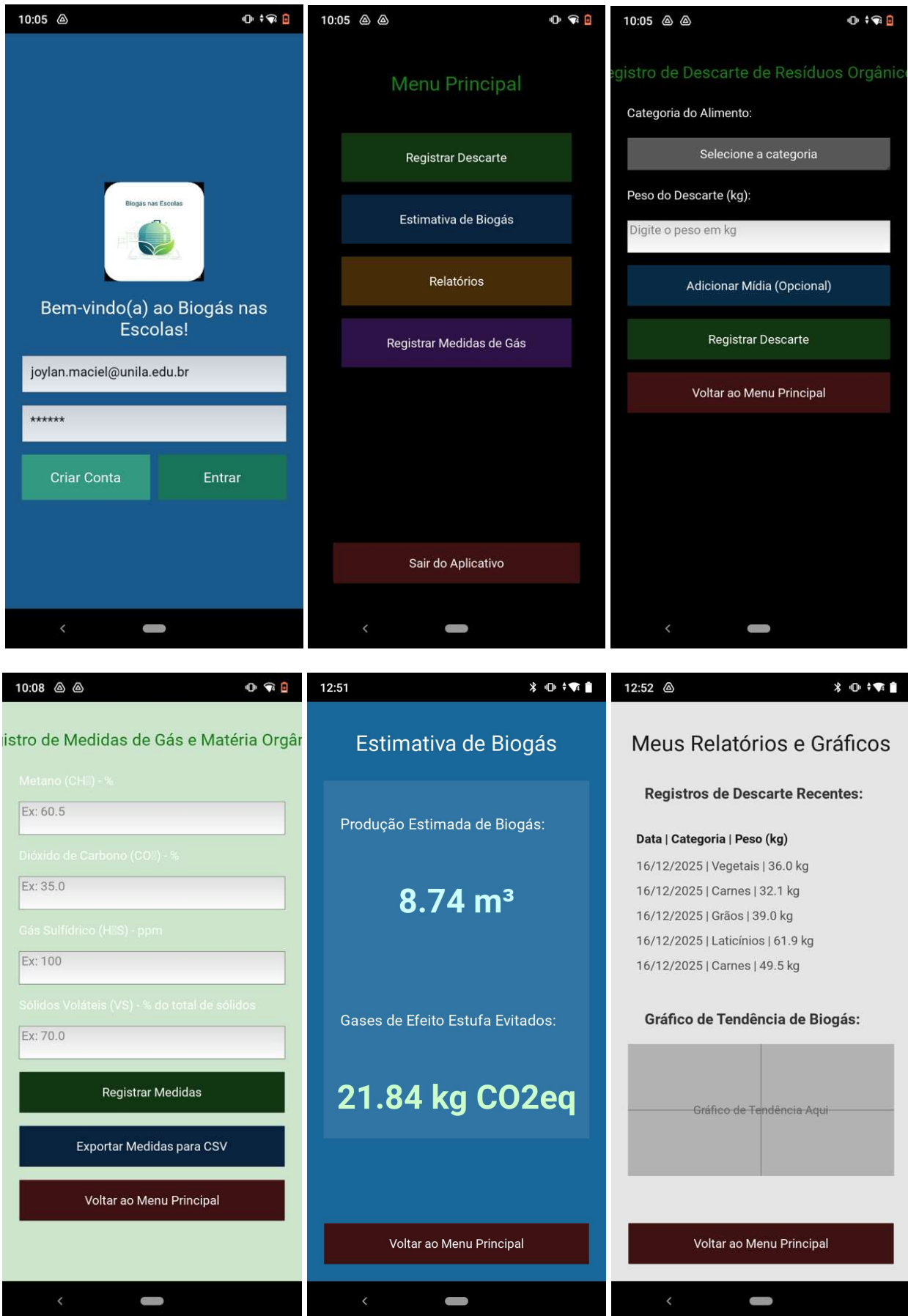


Figura 5. Exemplo de telas da interface gráfica do aplicativo Biogás nas Escolas.

## 5 Conclusão

O desenvolvimento do aplicativo móvel “Biogás nas Escolas” demonstra a viabilidade de integrar tecnologia, educação e sustentabilidade em uma abordagem de inovação social aplicada ao contexto escolar. O objetivo de conceber e implementar uma ferramenta educacional para o monitoramento da produção de biogás em biodigestores didáticos foi plenamente alcançado, evidenciando o potencial de soluções digitais no apoio ao ensino e à gestão ambiental, bem como sua disponibilização como software livre, ampliando o acesso, a transparência e as possibilidades de colaboração

Nesse contexto, destacam-se as seguintes conclusões:

- 1) A solução, disponibilizada gratuitamente e como software livre, atendeu aos requisitos funcionais e mostrou-se eficaz no registro, análise e visualização de dados ambientais, fortalecendo a integração entre ensino, pesquisa e extensão.
- 2) O aplicativo contribui de forma significativa para a educação científica e ambiental, promovendo o uso de tecnologias digitais como mediadoras do aprendizado e ampliando a compreensão de conceitos como biodigestão, energia renovável e mitigação de gases de efeito estufa (GEE).
- 3) O uso de dispositivos móveis em atividades práticas de biotecnologia favorece o protagonismo discente, permitindo que estudantes compreendam, quantifiquem e gerenciem impactos ambientais.
- 4) Do ponto de vista técnico, a solução mostrou-se robusta, multiplataforma e replicável, com arquitetura modular baseada em tecnologias de código aberto (Python, Kivy e SQLite), o que facilita sua manutenção, expansão e adaptação a diferentes contextos.
- 5) Entre as limitações, destaca-se a ausência de integração com sensores IoT e armazenamento em nuvem, o que restringe a automação e o compartilhamento de dados em tempo real. Apesar dessas limitações, o sistema constitui uma base sólida para evoluções futuras, incluindo conectividade remota, coleta de temperatura média e análises preditivas da eficiência dos biodigestores.
- 6) A relevância científica e institucional do estudo está na demonstração de que a convergência entre ciência, tecnologia e educação ambiental pode promover inovação social e sustentabilidade, ampliando o alcance do projeto e oferecendo um modelo replicável para redes públicas de ensino.
- 7) A abordagem interdisciplinar adotada, integrando biologia, física, química e computação, configura um modelo de educação ambiental baseado em evidências e passível de replicação.

Como perspectivas futuras, propõe-se a integração do sistema a painéis de visualização em tempo real e assistentes digitais educacionais, bem como sua expansão para novas escolas e regiões, consolidando uma rede colaborativa de monitoramento sustentável. Ademais, o caráter aberto, livre e replicável da ferramenta reforça sua contribuição para a disseminação do conhecimento técnico-científico, incentivando a colaboração entre instituições e promovendo inclusão digital e ambiental. Por fim, o trabalho confirma a viabilidade técnica, educacional e ambiental do uso de aplicativos móveis como instrumentos de aprendizagem e gestão ecológica, evidenciando o papel estratégico das universidades públicas no desenvolvimento de soluções inovadoras, de baixo custo e alto impacto social, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 4 e o ODS 7.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Itaipu Parquetec pela concessão de apoio financeiro ao projeto e bolsas aos integrantes, à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e Laboratório de Computação Aplicada (LACA/UNILA) pelo suporte e infraestrutura disponibilizada.

## Material suplementar

O código-fonte *open-source* do aplicativo, descrito neste estudo, está disponível em [https://github.com/LuisSantal/biogas\\_app](https://github.com/LuisSantal/biogas_app).

## Referências bibliográficas

- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. 1059, 1072.
- Appels, L, Lauwers, J, Degreève, J, Helsen, L, Lievens, B, Willems, K, Van Impe, J, and Dewil, R. (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4295–4301. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121>
- Barbieri, JC (2016). *Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos* (4th ed.). Saraiva.
- Chamochumbi, P (2015) ‘Aplicativo auxilia o desenvolvimento de projetos com biogás’, *USP Notícias*, 26 Jan, [online]. Disponível em: <https://www5.usp.br/noticias/tecnologia-2/aplicativo-auxilia-o-desenvolvimento-de-projetos-com-biogas/> (acessado em 24 de outubro de 2025).
- CIBiogás – Associação Brasileira do Biogás e do Biometano (2024) *Panorama do Biogás no Brasil 2023*. Foz do Iguaçu: CIBiogás. Disponível em: [https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/protectedfiles/cms\\_files\\_54738\\_1716811508PANORAMA\\_DO\\_BIOGS\\_2023.pdf](https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/protectedfiles/cms_files_54738_1716811508PANORAMA_DO_BIOGS_2023.pdf) (acessado em 24 de outubro de 2025).
- Couto, JS, Colares, GS, Achado, ÊL, Mörs, J, Marder, M, Cechin, M, Junqueira, LT and Konrad, O (2025) ‘Aproveitamento de resíduos para geração de energia com foco em biogás – uma revisão bibliométrica e bibliográfica’, *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 17, n. 10, e9549. <https://doi.org/10.55905/cuadv17n10-015>.
- Flores, DM, Hartmann, RM, and Furtado, AC (2024). Experiências extensivas: Resultados do projeto biogás utilizando resíduos orgânicos em colégio estadual. *Conecte-Se! Revista Interdisciplinar de Extensão*, 8(17), 394–421.
- Franceschi, FRAD, Santiago, CD, Lima, TQD, and Pugliesi, É (2017). ‘Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: Uma discussão sobre a evolução dos dados no período 2003 2014’. *Revista DAE*, 65(206), 62–68. <https://doi.org/10.4322/dae.2016.028>
- Holm-Nielsen, JB, Al Seadi, T, and Oleskowicz-Popiel, P (2009). ‘The future of anaerobic digestion and biogas utilization’. *Bioresource Technology*, 100(22), 5478–5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>
- IRENA – International Renewable Energy Agency (2015) *The World of Renewables: The Global Atlas*. Abu Dhabi: IRENA. Disponível em: [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA\\_GlobalAtlas\\_World\\_of\\_Renewables\\_2015.pdf](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_GlobalAtlas_World_of_Renewables_2015.pdf) (acessado em 24 de outubro de 2025).
- Junior Bottentuit, JB (2012). Do Computador ao Tablet: Vantagens Pedagógicas na Utilização de Dispositivos Móveis na Educação. *Revista Educaonline*, 6(1), 125–149.
- Kaza, S, Yao, LC, Bhada-Tata, P and Van Woerden, F (2018) *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank. <http://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.
- Khalid, A, Arshad, M, Anjum, M, Mahmood, T and Dawson, L (2011) ‘The anaerobic digestion of solid organic waste: A review’, *Waste Management*, v. 31, n. 8, p. 1737–1744.
- Popescu, SM, Mansoor, S, Wani, OA, Kumar, SS, Sharma, V, Sharma, A, Arya, VM, Kirkham, M., Hou, D, Bolan, N, and Chung, YS (2024). Artificial intelligence and IoT driven technologies for environmental pollution monitoring and management. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1336088. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1336088>
- Portes, ZA (2011) *Aplicativo computacional para projetos de biodigestores rurais*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/90574> (acessado em 24 de outubro de 2025).
- Pressman, RS, and Maxim, BR (2021). *Engenharia de software: Uma abordagem profissional*. AMGH.

Soares, IP (2012) *Ferramenta de auxílio à tomada de decisão para produção e aplicação energética de biogás*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/298148> (acessado em 24 de outubro de 2025).

Teixeira, E, Flores, D, Almeida, B, Hartmann, R, and Furtado, A (2023, May 23). *Estudo do potencial da utilização de resíduos orgânicos em colégios de ensino médio para geração de biogás e biofertilizantes: Impactos no ensino de biologia, física e química em atividades de laboratório*. 6º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. <https://doi.org/10.55449/conresol.6.23.III-016>

Unila (2022). *Colégio de Foz do Iguaçu produz biogás e ensina sustentabilidade a partir de projeto universitário* [vídeo online]. <https://youtu.be/3J-ISODibtU?si=0613VA4BVUWDR6tc>

Unila (2025). *Pequenos Biodigestores em Colégios do Ensino Médio: Manual de Montagem, Manual de Operação, Manual Pedagógico* (1st ed., Vol. 1). Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA.

Unila (2024) ‘Oito projetos da UNILA foram contemplados no Programa de Extensão em Sustentabilidade Territorial’, *Facebook*, [online]. Disponível em: <https://www.facebook.com/unila.oficial/photos/extensao-oito-projetos-da-unila-foram-contemplados-no-programa-de-extensao-em-su/941194808050219/> (acessado em 24 de outubro de 2025).