Análise e Estimativa de Consumo de Custos de Energia Elétrica Residencial

Guilherme Oreste Lopes da Silva, Késsia Rita da Costa Marchi

[1]Técnico em Informática – Integrado
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR)
Av. José Felipe Tequinha, 1400 - Jardim das Nações, Paranavaí - PR

guiorestelopes@gmail.com, kessia.marchi@ifpr.edu.br

Abstract. *Residential energy consumption monitoring is essential for promoting energy efficiency and managing billable costs. However, many consumers face difficulties in understanding the individual impact of their household appliances on the monthly bill. This paper presents an analysis and development of a software prototype designed to estimate residential electricity consumption and costs, including a complementary module for solar generation simulation. The solution utilizes equipment power ratings, usage time, and tariff parameters to calculate the estimated consumption in kWh and in Brazilian Reais (R$). Based on a data survey with 26 consumers, the investigation pointed out the lack of time for monitoring, tariff complexity, and the absence of accessible tools as the main obstacles to energy management.The practical demonstration of the prototype evidenced that it offers a viable computational alternative to assist in conscious decision-making, mitigating the dependence on physical meters.*

Resumo. *O acompanhamento do consumo de energia residencial é fundamental para a promoção da eficiência energética e gestão de custos faturáveis. Contudo, muitos consumidores enfrentam dificuldades para compreender o impacto individual de seus eletrodomésticos na fatura mensal. Este trabalho apresenta uma análise e o desenvolvimento de um protótipo de software destinado à estimativa de consumo e custos de energia elétrica residencial, incluindo um módulo complementar para simulação de geração solar. A solução utiliza a potência dos equipamentos, tempo de utilização e parâmetros tarifários para calcular o consumo estimado em kWh e em Reais (R$). Fundamentada em uma pesquisa de dados com 26 consumidores, a investigação apontou a falta de tempo para acompanhamento, a complexidade tarifária e a ausência de ferramentas acessíveis como os principais obstáculos à gestão energética. A demonstração prática de uso do protótipo evidenciou que a ferramenta oferece uma alternativa computacional viável para auxiliar a tomada de decisão consciente, mitigando a dependência de medidores físicos.*

1. Introdução

O aumento contínuo das tarifas de energia elétrica e a crescente preocupação com a sustentabilidade têm impulsionado a busca por soluções de eficiência energética no ambiente residencial [Zhao and Magoulès 2012]. Apesar do avanço de tecnologias associadas a *Smart Homes* e medidores inteligentes [Zanella et al. 2014], grande parte da população

ainda carece de ferramentas acessíveis para estimar e gerenciar seu gasto de energia de forma simplificada.

Estudos sobre o comportamento do consumidor indicam que um dos desafios enfrentados pelas famílias reside na baixa visibilidade sobre o consumo fracionado por aparelho. O usuário comum reconhece o valor total faturado, mas frequentemente desconhece qual equipamento originou a maior parcela daquele montante. Traduzir o consumo de energia em Reais pode ser complicado para o consumidor comum, o que dificulta o planejamento financeiro. Soluções de medição direta via hardware (instaladas no quadro de distribuição) costumam apresentar custos iniciais elevados [Avancini et al. 2021].

Nesse contexto, este projeto investigou o desenvolvimento de uma aplicação de software para realizar a estimativa de consumo e custos. A base de cálculo do sistema apoia-se na equação fundamental da energia elétrica, expressa pela Equação 1:

$$E = \frac{P \times t}{1000} \tag{1}$$

Onde E representa a energia consumida estimada em quilowatt-hora (kWh), P é a potência nominal em Watts (W), e t é o tempo de uso em horas. Multiplicando-se esse resultado pela tarifa local (parametrizada com impostos e bandeiras), o sistema gera a estimativa financeira. Adicionalmente, definiu-se como escopo um módulo complementar para simular o abatimento gerado por painéis solares residenciais.

Para embasar a necessidade desta ferramenta, realizou-se uma pesquisa inicial com 26 consumidores. Os dados revelaram que as principais barreiras enfrentadas são a falta de tempo, a complexidade da fatura e a falta de equipamentos de medição adequados, justificando a criação de um sistema de estimativa puramente estruturado em software.

2. Justificativa

A construção deste trabalho justifica-se pela necessidade de auxiliar a população na estimativa de seus gastos energéticos sem depender de conhecimentos técnicos avançados ou investimentos em equipamentos físicos. A pesquisa de campo aplicada evidenciou que a grande maioria dos entrevistados já foi surpreendida com faturas elevadas sem identificar o aparelho responsável, gerando insegurança no orçamento familiar.

Os indicadores preliminares sugerem que a dificuldade de compreensão das taxas e impostos (*feedback* indireto) inibe ações de economia por parte dos moradores. A literatura aponta que o fornecimento de *feedback* claro e direto constitui um relevante estímulo para mudanças de hábito [Darby 2006, Fischer 2008]. Assim, o desenvolvimento de um aplicativo capaz de converter especificações técnicas em estimativas financeiras em Reais (R$), incluindo recursos atuais como a simulação de energia solar, apresenta elevada relevância prática e social.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de software para estimar o consumo e os custos de energia elétrica residencial, utilizando dados informados de potência dos equipamentos, tempo de utilização, parâmetros tarifários e geração solar.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre eficiência energética, tarifação de energia elétrica e técnicas de estimativa via software.
- Mapear os requisitos funcionais do sistema com base na percepção empírica de consumidores.
- Projetar a arquitetura estrutural e lógica do software utilizando diagramas UML.
- Implementar o algoritmo de estimativa parametrizando potência nominal, tempo de uso, tributos e o sistema de bandeiras tarifárias.
- Implementar um módulo complementar para a simulação de abatimento de custos via geração solar.

4. Fundamentação Teórica

4.1. Eficiência Energética e Comportamento do Consumidor

A busca por eficiência energética exige o engajamento direto dos moradores. Estudos demonstram que o *feedback* detalhado e compreensível é uma das ferramentas mais eficazes para evitar desperdícios [Darby 2006]. Ao visualizar a estimativa de custo individual de cada eletrodoméstico, o usuário conta com ferramentas concretas para revisar seus padrões de consumo.

4.2. Tecnologias de Estimativa e *Smart Homes*

As residências inteligentes utilizam a Internet das Coisas (IoT) e medidores em tempo real para gerir a energia [Zanella et al. 2014, Avancini et al. 2021]. Contudo, a adoção em massa desse hardware enfrenta barreiras financeiras. A abordagem baseada em software atua como uma alternativa acessível: sistemas que calculam estimativas a partir das especificações nominais contornam a necessidade de hardware especializado, viabilizando o planejamento doméstico de forma democrática [Zhao and Magoulès 2012].

4.3. Composição Tarifária de Energia Elétrica

Para que a estimativa apresente utilidade prática, o sistema deve modelar adequadamente as regras de faturamento das concessionárias. No modelo brasileiro, o algoritmo estimativo deve incorporar a incidência de tributos (como ICMS, PIS/COFINS), a Contribuição para Custeio da Iluminação Pública (COSIP) e o Sistema de Bandeiras Tarifárias [ANEEL 2023, COPEL 2024]. A correta parametrização dessas variáveis no código é fundamental para aproximar a estimativa teórica do valor efetivamente cobrado.

5. Metodologia

A metodologia adotada classifica-se como aplicada, com abordagem quali-quantitativa, estruturada nas seguintes etapas para fins de investigação e levantamento de requisitos.

5.1. Pesquisa Bibliográfica e de Campo

O levantamento bibliográfico abrangeu bases acadêmicas (IEEE, ScienceDirect) e manuais regulatórios oficiais [ANEEL 2023]. Paralelamente, conduziu-se uma pesquisa de campo de caráter exploratório e quanti-qualitativa com consumidores de energia elétrica residencial ($n = 26$). A coleta de dados ocorreu entre os meses de fevereiro e março de 2026. Adotou-se uma amostragem não probabilística por conveniência, recrutando-se

participantes por meio do compartilhamento do link de acesso ao questionário estruturado na plataforma Google Forms. O perfil dos respondentes constituiu-se de moradores responsáveis ou corresponsáveis pelo orçamento financeiro doméstico e acompanhamento das faturas residenciais.O instrumento de coleta foi composto por 22 perguntas, englobando questões fechadas (múltipla escolha e escala Likert) e abertas, estruturadas estrategicamente em quatro blocos funcionais de investigação:

- **Caracterização do Perfil e Contexto Residencial (Perguntas 1 a 5):** Coleta de dados demográficos, tipo de moradia, quantidade de moradores e histórico de recebimento de faturas atípicas;
- **Percepção e Compreensão Tarifária (Perguntas 6 a 10):** Mapeamento do nível de clareza do usuário quanto à composição de impostos (ICMS, PIS/COFINS), taxas de iluminação e aplicação de bandeiras tarifárias;
- **Hábitos de Acompanhamento e Obstáculos (Perguntas 11 a 16):** Identificação da frequência de monitoramento do consumo, disponibilidade de tempo, uso de medidores/aplicativos e principais barreiras encontradas para a gestão energética;
- **Mapeamento de Eletrodomésticos e Aceitação de Soluções (Perguntas 17 a 22):** Identificação dos equipamentos de maior impacto percepção/incerteza financeira, interesse em simulação fotovoltaica e validação da demanda por um software de estimativa parametrizada.

Os dados foram coletados automaticamente pela plataforma e submetidos a uma dupla análise:

- **Análise Quantitativa Descritiva:** Aplicada às questões fechadas, calculando-se as frequências relativas (percentuais) das respostas para mapear as maiores dificuldades e o nível de aceitação de uma solução tecnológica.
- **Análise Qualitativa:** Aplicada às questões abertas, categorizando e agrupando as menções recorrentes (como a citação de aparelhos que gastam mais energia, a exemplo de chuveiros e ares-condicionados).

Essa avaliação detalhada das respostas permitiu transformar as dificuldades dos usuários em requisitos funcionais diretos, orientando o desenvolvimento da lógica e da interface do protótipo.

5.2. Modelagem e Levantamento de Requisitos

Os requisitos foram extraídos a partir das necessidades e incertezas relatadas no questionário. A arquitetura computacional foi documentada via Linguagem de Modelagem Unificada (UML), utilizando diagramas de Casos de Uso para mapear o fluxo funcional da estimativa, e diagramas de Classes para delinear as estruturas de dados no padrão Orientado a Objetos [Sommerville 2019]. A partir do diagnóstico obtido na pesquisa de campo com os usuários, as necessidades e limitações relatadas foram formalmente traduzidas na seguinte especificação de requisitos do sistema:

Requisitos Funcionais (RF):

- **RF01 – Cadastrar e Selecionar Equipamentos:** Permitir o cadastro manual (potência em Watts) ou a seleção de modelos padrão de eletrodomésticos com potências nominais pré-configuradas.

- **RF02 – Configurar Parâmetros Tarifários:** Permitir a seleção da concessionária local, alíquotas de impostos incidentes e vigência de bandeiras tarifárias para cálculo e parametrização do kWh.
- **RF03 – Estimar Consumo e Custos em Reais (R$):** Calcular o consumo em kWh e converter automaticamente em valor monetário estimado, fracionado por aparelho e consolidado para a residência.
- **RF04 – Simulação de Geração Solar Fotovoltaica:** Permitir a inserção do volume mensal estimado de geração solar (kWh) para calcular a economia direta e a fatura residual.
- **RF05 – Exibir Ranking e Distribuição de Consumo:** Apresentar uma listagem hierárquica detalhada dos equipamentos que geram maior impacto financeiro no orçamento doméstico.

Requisitos Não Funcionais (RNF):

- **RNF01 – Usabilidade e Facilidade de Uso:** Apresentar interface web simplificada e intuitiva para mitigar a barreira de falta de tempo dos usuários no acompanhamento dos gastos.
- **RNF02 – Abstração Tecnológica (Hardware-Free):** Operar de forma puramente computacional (software), sem exigência ou dependência de sensores, amperímetros ou medidores físicos dedicados.
- **RNF03 – Desempenho e Reatividade:** Atualizar e recalcular as estimativas financeiras em tempo real (via requisições assíncronas) à medida que os parâmetros de entrada são alterados.

5.3. Desenvolvimento Computacional

O software foi codificado no padrão cliente-servidor. A lógica de negócios, cálculos tarifários e rotas foram construídos na camada *back-end* utilizando a linguagem Python e o framework Flask [Grinberg 2018]. A camada visual (*front-end*) foi estruturada em HTML5 e Tailwind CSS [Tailwind Labs 2024], com requisições assíncronas via JavaScript para garantir fluidez nas simulações.

6. Desenvolvimento da Solução

Para materializar os requisitos levantados, o projeto do software exigiu um desenho lógico focado nas regras de negócio financeiras e físicas.

6.1. Arquitetura e Modelagem UML

O Diagrama de Casos de Uso (Figura 1) delineia o fluxo principal da aplicação. A geração da estimativa de custos possui um relacionamento de inclusão («*include*») obrigatório com a configuração das taxas tarifárias e do tempo de uso. Para a entrada das grandezas físicas, o sistema oferece rotas alternativas de extensão, permitindo ao usuário "Cadastrar Equipamento Manualmente" ou "Selecionar Modelo Padrão" na base de dados.

O modelo de domínio foi estabelecido por meio do Diagrama de Classes (Figura 2). A classe *Aparelho* concentra os atributos de potência, enquanto a classe *Tarifa* encapsula os fatores multiplicadores (impostos e bandeiras). A classe *EstimativaFatura* atua como controladora para a geração da estimativa final. Cabe ressaltar que este diagrama foca na representação das regras de negócio e abstrações do domínio, omitindo

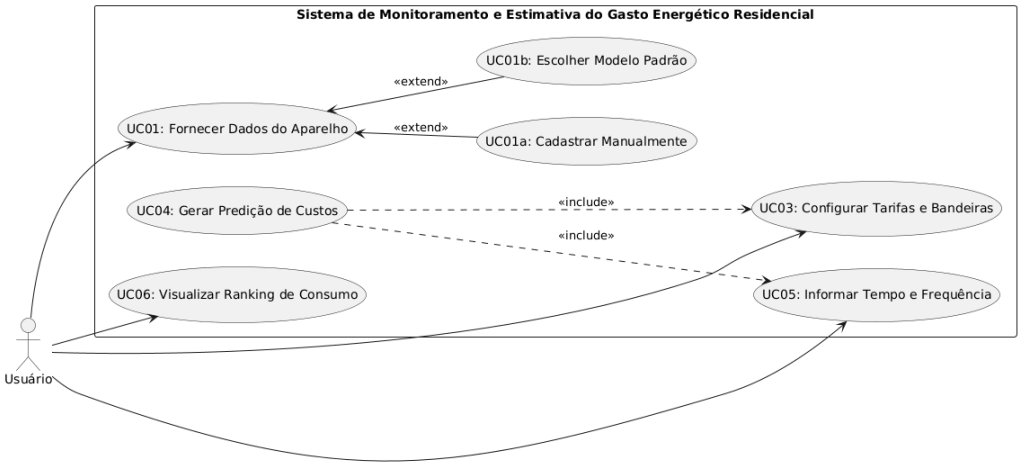


Figura 1. Diagrama de Casos de Uso detalhando fluxos de estimativa, inclusões e rotas de entrada.

entidades puramente relacionais (como chaves primárias de banco de dados) para preservar a semântica da orientação a objetos.

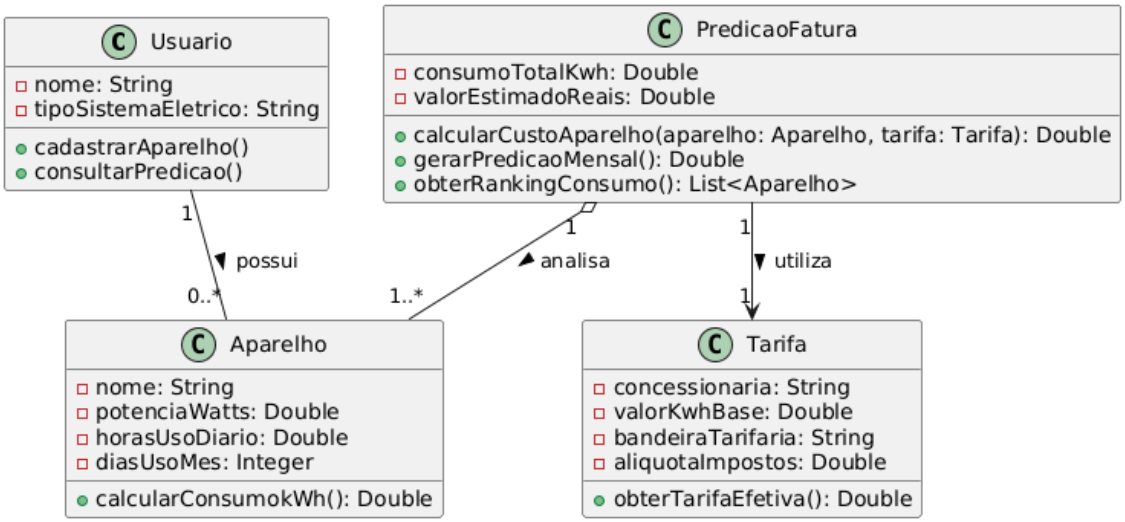


Figura 2. Diagrama de Classes focado nas entidades de domínio e lógica de cálculo.

7. Resultados e Discussão

7.1. Resultados da Pesquisa com Usuários

A pesquisa de campo ($n = 26$) sustentou as premissas iniciais do projeto. Para compreender o cenário atual, os usuários foram questionados se já se depararam com um valor mais alto que o normal na fatura sem identificar o equipamento responsável. Conforme ilustrado na Figura 3, 65,4% dos participantes relataram já ter enfrentado essa situação, evidenciando o impacto financeiro inesperado decorrente da falta de acompanhamento preditivo.



Figura 3. Percentual de consumidores que já se depararam com faturas acima do normal.

Ao investigar quais são as maiores dificuldades encontradas ao tentar realizar uma estimativa do gasto energético, a Figura 4 demonstra que o obstáculo mais citado foi a falta de tempo (46,2%), seguido pela dificuldade de entendimento da fatura (38,5%) e pela ausência de equipamentos de medição adequados (38,5%). O desconhecimento sobre quais aparelhos residenciais consomem mais também foi apontado por 26,9% da amostra.



Figura 4. Principais dificuldades apontadas ao tentar estimar o consumo energético.

De forma qualitativa, ao relatar quais eletrodomésticos geram mais incertezas quanto ao impacto financeiro final, houve predominância de respostas citando equipamentos de alta potência, destacando-se o ar-condicionado e o chuveiro elétrico. Constatou-se também uma clara lacuna no conhecimento tarifário, conforme demonstrado na Figura 5: apenas 19,2% dos entrevistados conseguem entender com facilidade os detalhes da sua fatura (como bandeiras tarifárias, impostos e taxas). A grande maioria compreende essas cobranças apenas parcialmente (53,8%) ou não as compreende (26,9%).



Figura 5. Nível de facilidade no entendimento dos detalhes da fatura de energia.

Essa dificuldade geral reflete-se diretamente na percepção de custo dos moradores. A Figura 6 ilustra como o nível de complexidade das faturas dificulta o entendimento sobre onde se gasta mais energia (avaliado em uma escala de 1 a 5). A concentração de respostas nos níveis 3 (30,8%) e 5 (23,1%) reforça que a apresentação atual dos dados pelas concessionárias é um fator limitante para a gestão doméstica.

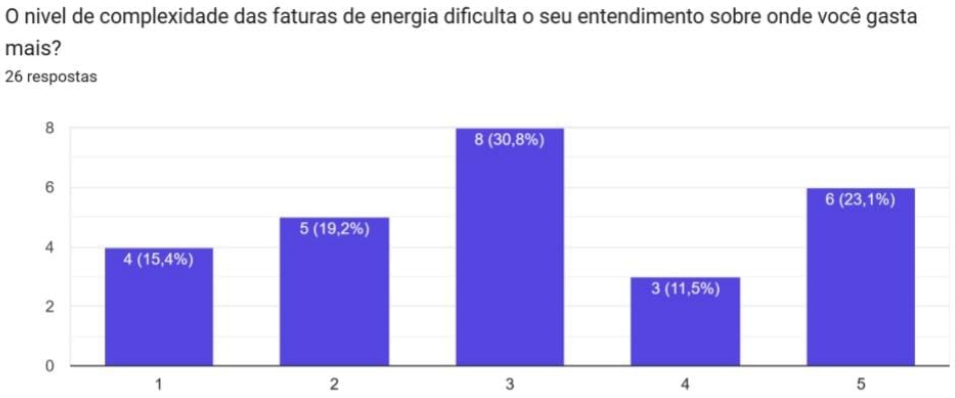


Figura 6. Impacto da complexidade da fatura no entendimento dos gastos (escala de 1 a 5).

Em contrapartida a essas dificuldades, quando questionados se um sistema detalhando o custo estimado de cada aparelho os ajudaria a gerenciar melhor os gastos, a maioria dos entrevistados respondeu positivamente: 73,1% afirmaram que sim. Esse cenário evidencia a necessidade prática e a demanda por ferramentas de abstração computacional no setor de energia residencial, corroborando a hipótese inicial e justificando a abordagem adotada neste trabalho.

7.2. Avaliação das Funcionalidades do Protótipo

O protótipo web resultante demonstrou estabilidade ao calcular estimativas dinâmicas. A Figura 7 exibe o cadastro unitário: ao informar a potência e o uso diário, o sistema calcula o consumo e aplica a tarifa efetiva (que já embute a alíquota de impostos e bandeiras tarifárias) para compor o "Custo Bruto Total". Observa-se que a "Fatura Líquida" apresenta valor idêntico ao custo bruto (R$ 49,83) porque, neste cenário, o módulo de simulação solar está inativo (Economia Gerada de R$ 0,00). Assim, sem abatimento fotovoltaico a deduzir, o valor líquido final reflete integralmente o custo bruto apurado.

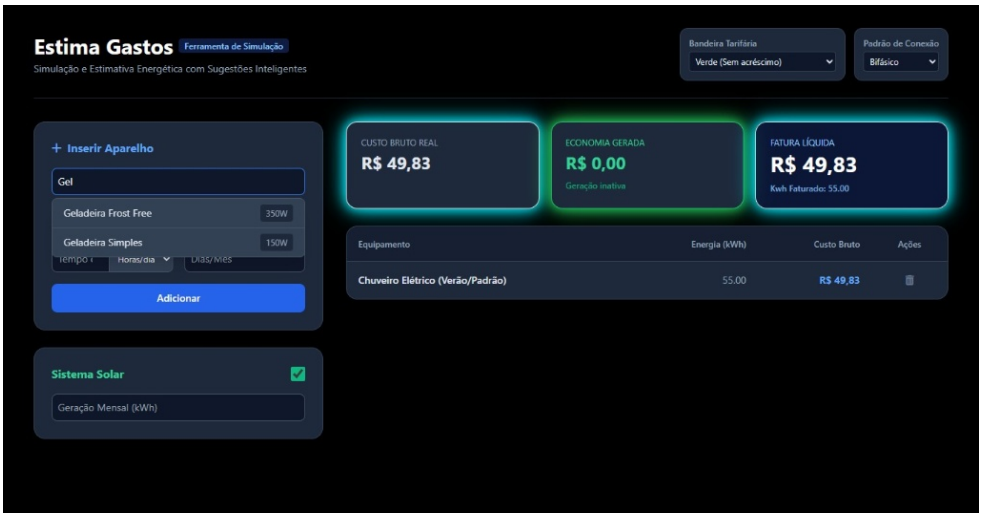


Figura 7. Interface gerando a estimativa a partir da potência e do tempo de uso.

Para demonstrar a capacidade de consolidação de dados, o sistema permite o agrupamento de múltiplos dispositivos simulando um ambiente residencial completo. A Figura 8 exibe essa listagem, permitindo ao usuário ranquear os aparelhos que mais pesam no bolso e visualizar a estimativa financeira agregada.

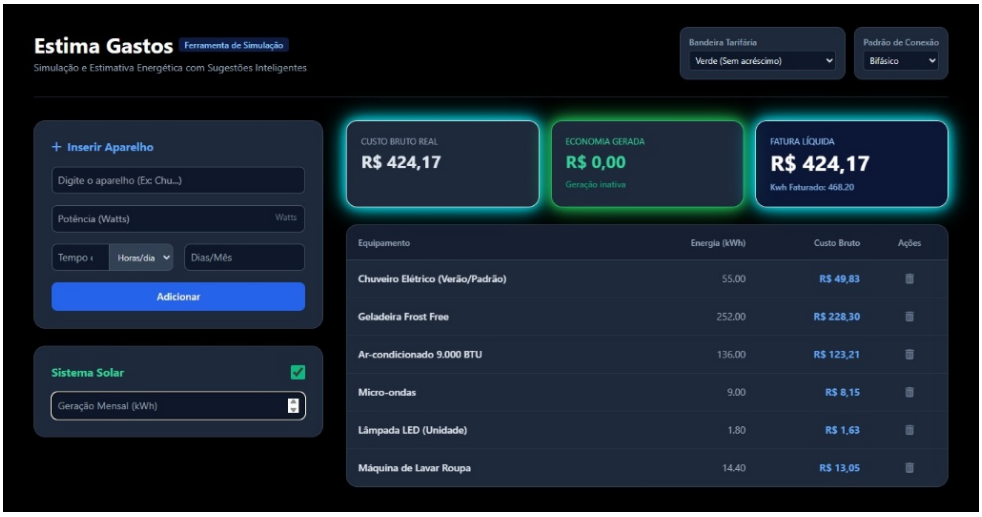


Figura 8. Consolidação de dados no cenário com múltiplos aparelhos e custo estimado acumulado.

Por fim, a funcionalidade complementar de energia fotovoltaica foi incorporada. Ao habilitar o módulo "Sistema Solar" e inserir a produção mensal (kWh), a regra de negócio realiza o desconto no consumo total, exibindo a economia direta e assegurando que o custo residual respeite a taxa mínima de conexão da concessionária (Figura 9).

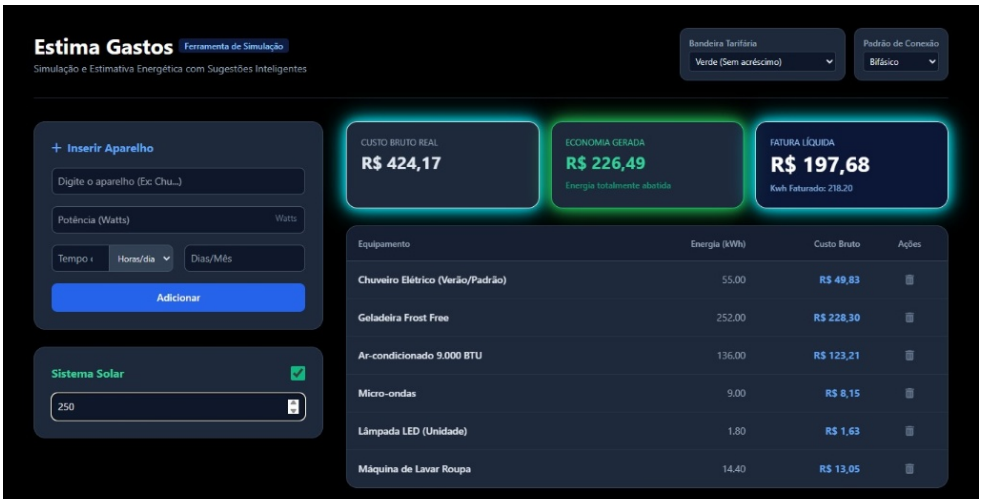


Figura 9. Simulação de geração solar indicando o abatimento estimado.

7.3. Limitações

Apesar dos resultados funcionais satisfatórios, o estudo apresenta limitações metodológicas. A amostragem da pesquisa de requisitos ($n = 26$) tem caráter de coleta e investigação preliminar, não permitindo generalizações estatísticas para toda a população. Além disso, as projeções financeiras demonstradas são estimativas teóricas, baseadas na potência nominal de fábrica dos aparelhos. Não foram realizadas, até o momento, medições em hardware com amperímetros físicos para atestar a margem exata de desvio entre o algoritmo estimativo e o gasto elétrico real dinâmico.

8. Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento lógico e técnico de um protótipo web para estimativa de custos residenciais. A investigação preliminar apontou indícios de que a dificuldade da compreensão das faturas inibe ações de consumo consciente, destacando a complexidade informacional e a falta de tempo como barreiras centrais.

A construção do software demonstrou a viabilidade técnica de implementar uma solução de estimativa baseada em software. A parametrização matemática baseada nas normativas do setor, aliada ao framework Flask, permitiu gerar projeções financeiras baseadas na estrutura das cobranças oficiais (incluindo a simulação do abatimento de sistemas solares), dispensando a aquisição imediata de hardwares de medição de alto custo. O sistema alcança seu objetivo ao atuar como um tradutor das variáveis de potência e tempo para uma linguagem financeira compreensível ao cidadão comum.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a expansão da pesquisa qualitativa com os usuários e a realização de testes práticos cruzando as estimativas geradas pelo aplicativo web com dados extraídos simultaneamente por medidores inteligentes (IoT), permitindo calibrar o nível de precisão do algoritmo frente a variações de corrente em ambientes físicos.

Referências

ANEEL (2023). *Resolução Normativa nº 1.000: Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF.

Avancini, D. B., Rodrigues, J. J., Rabêlo, R. A., Das, A. K., Kozlov, S., and Solic, P. (2021). Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 317:128430.

COPEL (2024). Composição da tarifa de energia elétrica e bandeiras tarifárias. Acessado em: 28 set. 2026.

Darby, S. (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption: A review for defra of the literature on metering, billing and direct displays. Technical report, Environmental Change Institute, University of Oxford.

Fischer, C. (2008). Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy efficiency*, 1(1):79–104.

Grinberg, M. (2018). *Flask web development: developing web applications with python*. O'Reilly Media, Inc.

Sommerville, I. (2019). *Engenharia de Software*. Pearson Education do Brasil, São Paulo, 10 edition.

Tailwind Labs (2024). Tailwind css: Rapidly build modern websites without ever leaving your html. Acessado em: 28 set. 2026.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1):22–32.

Zhao, Z. and Magoulès, F. (2012). Energy efficiency and user behavior in smart homes. *Energies*, 5(12):5348–5363.