



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

CENTRO DE INFORMÁTICA

2017.1

Automação do Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial e Comercial

Autor: Diego Marcolino Silva (dms5@cin.ufpe.br)

Orientador: Kiev Gama (kiev@cin.ufpe.br)

Recife, 01 de Junho de 2017

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Graduação em Sistemas de Informação

Automação do Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial e Comercial

Trabalho apresentado ao Programa de Graduação em Sistemas de Informação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aluno: Diego Marcolino Silva (dms5@cin.ufpe.br)

Orientador: Kiev Gama (kiev@cin.ufpe.br)

Recife, 01 de Junho de 2017

*Dedico este trabalho à minha família,
pelo seu amor incondicional e por acreditar em meus planos.*

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, por terem batalhado diariamente para fornecer as condições necessárias para que eu pudesse estudar enquanto criança e por me ensinar através de seu exemplo o valor do trabalho.

Agradeço a minha esposa Cristina, por estar ao meu lado ao longo de nossa jornada e a minha filha Sophia, por alegrar meus intervalos de trabalho com o seus abraços angelicais.

Não poderia deixar de agradecer ao meu orientador Kiev Gama, pelos conselhos e disponibilidade para ajudar neste trabalho, ao Centro de Informática (CIn-UFPE), seus professores e funcionários, por oferecer um ambiente de aprendizado estimulante e por sua dedicação na execução de suas atividades.

Por fim, gostaria de agradecer imensamente a todos aqueles que colaboraram para que eu pudesse cumprir esta missão!

Resumo

O preço da energia elétrica está cada vez mais caro e isto tem um impacto negativo no orçamento das famílias e de pequenos negócios. Em muitos casos, os gastos com energia elétrica não são reduzidos porque os usuários de um local não sabem mensurar o valor de sua conta durante o mês. Este trabalho se propôs a pesquisar as principais características dos sistemas de monitoramento do consumo elétrico residencial e comercial, assim como implementar uma solução com base nos requisitos levantados. Após a execução de uma revisão sistemática de literatura que abordou 1173 estudos relacionados ao monitoramento do consumo elétrico, 30 soluções foram analisadas em detalhes e foi identificado que aplicações de gerenciamento do consumo elétrico são divididas em três camadas lógicas: extração e processamento dos dados, análise dos dados de consumo e extração do conhecimento e visualização das informações. Também foi observado que tecnologias open source são boas opções para construir o dispositivo de coleta dos dados de consumo. Para complementar e validar os resultados obtidos na análise das soluções de monitoramento propostas pelos trabalhos acadêmicos, 12 soluções industriais foram estudadas. A análise das soluções industriais mostrou que a metodologia de monitoramento de cargas elétricas mais utilizada é a NILM, Non Intrusive Load Monitoring e que a forma mais utilizada para identificar o consumo individual dos equipamentos eletrônicos conectados ao local monitorado, é através da desagregação das cargas elétricas, implementada com a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina. A forma de visualização dos dados mais comum entre as soluções industriais, são aplicativos móveis e entre as soluções acadêmicas, aplicações web. Com base nos requisitos levantados na etapa de pesquisa, um dispositivo de monitoramento do consumo elétrico monofásico, voltado para residências e pequenas empresas foi desenvolvido, utilizando a placa Wemos D1 Mini, baseada no SoC System on a Chip ESP8266, o sensor SCT013 100A e um módulo para o armazenamento local dos dados de consumo. O dispositivo de monitoramento que oferece um servidor local para facilitar sua configuração, foi conectado a um servidor NodeJs hospedado na plataforma Heroku. A camada de persistência do servidor é composta por um BD NoSQL e pelo BD Postgres. Após a execução da solução, foi observado que a estrutura de análise dos dados deveria ser melhorada e uma nova arquitetura foi proposta. Uma aplicação Android com funcionalidades de engajamento dos usuários através de atividades sociais foi idealizada, assim como um protocolo de testes para a aplicação. O custo do dispositivo de monitoramento desenvolvido neste trabalho foi R\$ 83,35 e a hospedagem da solução na nuvem foi feita gratuitamente.

Palavras-chave: Monitoramento do consumo elétrico, NILM, ESP8266, Wemos D1 Mini, Android, app, aplicação, colaboratividade, IoT, Internet das coisas.

Abstract

The price of the electric energy is getting higher and higher and it impacts negatively on the budget of families and small businesses. In many cases, the expenses with electric energy are not reduced because the residents of a location don't have an idea of how much they have paid until the present moment of the current month. The proposal of this study is to research the main characteristics of residential and commercial electrical load monitoring systems and to implement a solution based on the gathered requirements. After the execution of a systematic literature review that considered 1173 studies related to residential and commercial electrical load monitoring solutions, 30 solutions were analyzed in details. It was identified that electrical load monitoring applications are composed by three logic layers: data gathering and processing, analyzes of the consumption data and knowledge extraction, and the visualization of the generated information. It was also observed that open source technologies are a good option to build the device for gathering the consumption data. In order to complement and validate the results obtained in the analyzes of the solutions proposed by the academic papers, 12 industrial solutions were studied. The analyses of the industrial solutions showed that the most accepted methodology for load monitoring is the NILM, Non Intrusive Load Monitoring and that the most used technique for identifying the individual consumption of electric appliances is the Desegregation of the Electrical Load of the monitored location, through the application of Artificial Intelligence and Machine Learning techniques. The most used technique for visualizing the energy consumption information among the industrial solutions are mobile application and the most common technique among the academic solutions are web applications. Based on the gathered requirements, a monophasic electric load monitoring device, focused on houses and small business was developed, using the Wemos D1 Mini, based on the SoC System on a Chip ESP8266, the sensor SCT013 100A and a SD Card module to store the collected data locally. The monitoring device was connected to a NodeJs web server hosted at the Heroku platform, the persistency layer of the web server was build with a NoSQL DB and a PostgreSQL DB. After the execution of the system a new architecture was proposed, in order to handle issues related to the system's performance. The monitoring device offers a local server to facilitate its configuration. An Android application with user engagement and social features was idealized, as well as a testing protocol for the proposed application. The cost of the developed monitoring device was R\$ 83,35 and the hosting of the web server was done for free.

Keywords: Energy consumption monitoring, NILM, Low cost, Android, app, application, teamwork, ESP8266, Wemos D1 Mini, IoT, Internet of Things.

Lista de Figuras

Figura 1. Resumo do processo de pesquisa, extração e síntese dos dados da Revisão Sistemática de Literatura sobre Sistemas de Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial e Comercial	15
Figura 2. Distribuição das soluções acadêmicas quanto a utilização de atuadores. 16	
Figura 3. Distribuição das soluções comerciais quanto a metodologia de identificação do consumo elétrico	17
Figura 4. Sistemas de gerenciamento de banco de dados utilizados na construção da camada de processamento dos dados das soluções acadêmicas	19
Figura 5. Distribuição das soluções comerciais de monitoramento do consumo elétrico, quanto a plataforma de visualização das informações	20
Figura 6. Tela inicial da aplicação Ebot e a tela principal, sem um dispositivo de monitoramento instalado e sem um local de monitoramento configurado	24
Figura 7. Tela de gestão de locais da aplicação Ebot, sem locais associados ao usuário e com locais associados ao usuário	25
Figura 8. Tela de inserção da chave de acesso compartilhada para a associação a um novo local, ou para a inserção da chave do dispositivo para criar um novo local na aplicação Ebot	26
Figura 9. Telas de atualização de um local e de visualização dos detalhes de um local, da esquerda para a direita	27
Figura 10. Telas de gestão e criação de meta de consumo para um local monitorado pela aplicação Ebot	28
Figura 11. Telas de gestão e edição de recompensas da aplicação Ebot	29
Figura 12. Tela de visualização de recompensa da aplicação Ebot	30
Figura 13. Tela principal após a configuração do dispositivo de monitoramento e da criação de uma meta de consumo com uma recompensa associada	31
Figura 14. Tela com dica para a otimização do consumo elétrico	32

Figura 15. Diagrama da estrutura da solução e suas camadas de coleta e processamento dos dados, análise e extração do conhecimento e visualização . .	33
Figura 16. Diagrama da arquitetura da solução de monitoramento do consumo elétrico residencial e comercial como um SaaS, considerando a distribuição das requisições feitas pelos tenants usuários entre e o repositório de dados Firebase e a API de análise, assim como a nova API industrial e a disponibilização dos dados do consumidor para os tenants industriais	34
Figura 17. Esquema do circuito eletrônico do hardware desenvolvido	37
Figura 18. Dispositivo de monitoramento do consumo elétrico e envio dos dados .	38
Figura 19. Fluxograma do algoritmo executado pelo dispositivo de monitoramento	39
Figura 20. Dispositivo de monitoramento instalado no local	42

Lista de Quadros

Quadro 1. Tecnologias utilizadas na construção da camada de processamento dos dados das soluções acadêmicas	18
Quadro 2. Requisitos do sistema de coleta de dados da carga elétrica do local monitorado	21
Quadro 3. Requisitos dos sistema de análise dos dados e extração do conhecimento sobre hábitos de consumo do usuário	21
Quadro 4. Requisitos do sistema de visualização dos dados de consumo e engajamento do usuário	22

Lista de Tabelas

Tabela 1. Preço dos componentes utilizados na construção do hardware de coleta, processamento e envio dos dados para o servidor, considerando a compra de componentes eletrônicos em lojas online e loja física situada em Recife-PE, Brasil em 2017.	43
---	----

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 A situação do consumo elétrico no Brasil e no mundo	13
1.2 Soluções disponíveis para o monitoramento do consumo elétrico	14
1.3 Uma solução de monitoramento de baixo custo e colaborativa	14
2 CONTEXTO	15
2.1 Revisão Sistemática de Literatura sobre Soluções de Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial	15
2.2 Arquitetura das soluções de monitoramento do consumo elétrico	16
2.3 Camada de coleta de dados	16
2.4 Camada de análise dos dados e extração do conhecimento	18
2.5 Camada de visualização dos dados	19
2.6 Requisitos do sistema de coleta de dados	20
2.7 Requisitos do sistema de análise dos dados e extração do conhecimento	21
2.8 Requisitos do sistema de visualização	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 Ideação	22
3.1.1 O público alvo da solução	22
3.1.2 Criação de funcionalidades	23
3.1.3 Protótipo de baixa fidelidade e descrição de funcionalidades	24
3.2 A arquitetura do sistema	32
3.3 Desenvolvimento do dispositivo de monitoramento	35
3.3.1 Sobre o dispositivo	36
3.3.2 Esquema do circuito eletrônico	36
3.3.3 Algoritmo de leitura e envio dos dados	38
3.4 Desenvolvimento da Aplicação Android	39
3.4.1 Sobre a aplicação Android	39
3.4.2 Conectividade da aplicação Android	39
3.5 Desenvolvimento da Camada de Análise e Processamento dos Dados	39
3.5.1 Sobre o servidor de dados	40
3.5.2 Camada de persistência	40
3.6. Testes da solução	40
4 PROVA DE CONCEITO	41
4.1 Demonstração de Uso doméstico	41
4.2 Uso da API	42

4.3 Impacto na redução do consumo	43
4.4 Custos da solução	43
5 CONCLUSÕES	44
5.1 Conclusões	44
5.2 Trabalhos Futuros	46
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A humanidade começou a progredir de forma inédita a partir dos avanços na pesquisa sobre a eletricidade apresentados por Benjamin Franklin, no século XVIII e em seguida com a elaboração de uma infraestrutura de distribuição deste recurso tão valioso, realizada por Nikola Tesla no século XIX [1]. Entretanto, hoje nos encontramos em um contexto onde devemos ser cautelosos quanto ao uso excessivo da eletricidade.

1.1 A situação do consumo elétrico no Brasil e no mundo

Nos últimos anos o Brasil e o mundo tem enfrentado graves problemas quanto ao gerenciamento e consumo da energia elétrica. Com isso, o preço da conta de luz aumentou consideravelmente [2][3] e tende a continuar aumentado, além de existirem os riscos na interrupção da transmissão de energia, os temidos "apagões" [4][5]. Outro grave problema é a grande quantidade de CO₂ emitido na atmosfera em função da geração de energia [6].

As projeções para o setor energético brasileiro feitas pelo estudo [6], indicam que novas estratégias de gerenciamento do consumo elétrico devem ser desenvolvidas, pois apesar de atualmente termos uma matriz energética limpa em comparação com países como Estados Unidos e China, a tendência é que este quadro mude, devido a progressão da urbanização e consequentemente, do aumento do consumo elétrico.

Por isso, para que o impacto ambiental associado às residências em função do consumo elétrico seja minimizado, é importante que sejam desenvolvidas tecnologias que promovam o uso consciente dos recursos energéticos.

O problema a ser resolvido é a criação de uma solução tecnológica que informe os usuários sobre o seu consumo elétrico e os influencie a utilizarem este recurso da forma mais eficiente possível, reduzindo a utilização de energia elétrica de suas residências e consequentemente, reduzindo a demanda feita para as concessionárias de energia.

Alguns dos desafios técnicos enfrentados na construção de uma solução para o monitoramento do consumo elétrico são: o desenvolvimento de um mecanismo de extração de dados que trabalhe de forma similar, em locais com características físicas e projetos elétricos diferentes, o processamento de um alto volume de dados e o oferecimento destes dados de forma clara e na maioria das vezes em tempo real para o usuário.

1.2 Soluções disponíveis para o monitoramento do consumo elétrico

Após um processo de revisão sistemática feito como parte deste trabalho [7], foram encontradas diversas soluções para o monitoramento do consumo elétrico residencial. Estas soluções são provenientes de estudos acadêmicos [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] e de produtos atualmente em comercialização [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44] [45] [46] [47] [48] [49] [50].

Entretanto, as melhores soluções comercializadas não estão disponíveis para os consumidores brasileiros residenciais a um preço acessível e a grande maioria das soluções apresentadas pelos estudos acadêmicos que possuem um baixo custo de aquisição, apresentam problemas quanto ao engajamento dos usuários na redução do consumo elétrico.

1.3 Uma solução de monitoramento de baixo custo e colaborativa

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução de monitoramento do consumo elétrico residencial, que possua um baixo custo de aquisição, que consiga engajar os seus usuários de maneira colaborativa e que esteja acessível para o consumidor brasileiro.

A seção de Contexto, discute os resultados de uma revisão sistemática de literatura sobre sistemas de monitoramento do consumo elétrico residencial, feita para elucidar as principais características deste tipo de solução e apontar os requisitos desejáveis para este projeto. A seção de Metodologia, trata do processo de ideação, da criação das funcionalidades, do desenho da arquitetura dos sistemas, do desenvolvimento do dispositivo de monitoramento, do desenvolvimento do servidor de processamento dos dados e da aplicação de visualização das informações de consumo. Na seção de Resultados, os componentes da solução proposta são discutidos e uma avaliação geral do sistema é realizada.

2 CONTEXTO

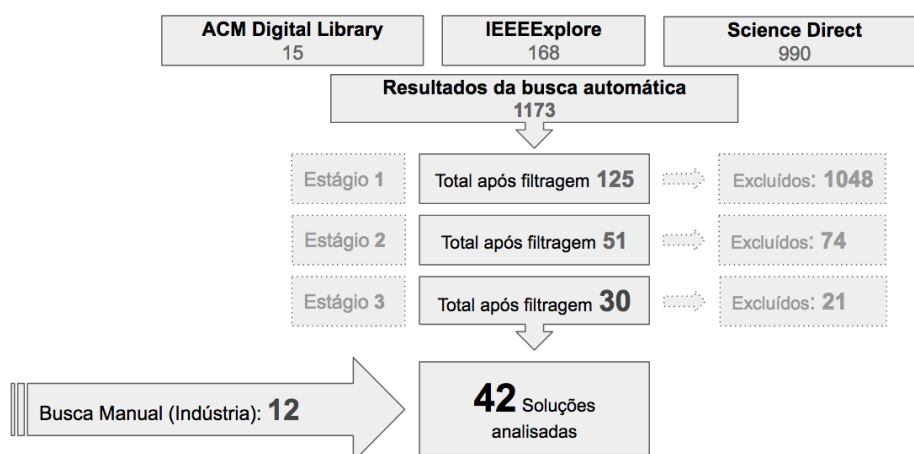
Criar uma solução para o monitoramento do consumo elétrico não é uma tarefa trivial, portanto, para compreender o problema, um estudo aprofundado foi realizado para que fosse possível identificar os principais requisitos da solução proposta por este trabalho.

2.1 Revisão Sistemática de Literatura sobre Soluções de Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial

Uma revisão sistemática de literatura foi realizada [8], com o objetivo de identificar as principais características dos sistemas de monitoramento do consumo elétrico residencial e para levantar os requisitos para os componentes da solução proposta por este trabalho.

Mil cento e setenta e três estudos foram considerados de acordo com a abordagem definida por Kitchenham [51]. Após três etapas de filtragem e duas etapas de extração e síntese dos dados, trinta estudos foram selecionados para análise final [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37]. Soluções comerciais também foram pesquisadas para complementar o conhecimento adquirido na análise dos estudos acadêmicos [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44] [45] [46] [47] [48] [49] [50]. A Figura 1 representa o processo de pesquisa, extração e síntese dos dados realizados na revisão sistemática.

Figura 1. Resumo do processo de pesquisa, extração e síntese dos dados da Revisão Sistemática de Literatura sobre Sistemas de Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial e Comercial.



Através da leitura dos estudos citados, foi verificado que o maior desafio para a redução do consumo de energia não é a execução das atividades técnicas [14], mas a identificação e alteração dos hábitos de consumo dos usuários [26] [27] [35]. Os estudos [10] e [27], mostraram que a utilização de funcionalidades que exploram a socialização, pode ser excelente para engajar os habitantes do local monitorado.

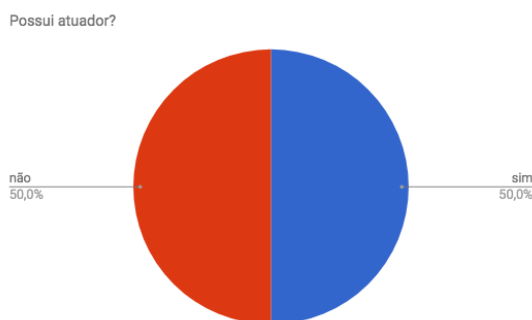
2.2 Arquitetura das soluções de monitoramento do consumo elétrico

A arquitetura de soluções de monitoramento do consumo elétrico residencial possuem três camadas de funcionamento bem definidas. A primeira camada é a de extração dos dados, onde as informações de consumo são coletadas no local monitorado. A segunda camada é a de análise dos dados de consumo e de geração de conhecimento sobre a forma como o usuário está utilizando sua eletricidade. A terceira camada é a de visualização dos dados, onde as informações resultantes do processo de análise são retornadas para o usuário. Idealmente medidas educativas também são enviadas na etapa de visualização, para auxiliar os habitantes do local a otimizar o uso dos recursos elétricos. Os estudos [37] e [10] são bons exemplos desta divisão da solução de monitoramento em três camadas.

2.3 Camada de coleta de dados

Os sistemas de gerenciamento do consumo elétrico podem ser classificados quanto a capacidade de controlar os dispositivos monitorados remotamente, havendo sistemas com atuadores e sem atuadores. Sistemas sem atuadores monitoram o consumo elétrico de um local, sendo possível identificar o consumo por dispositivo, enquanto que sistemas com atuadores podem alterar o estado do dispositivo monitorado, podendo ligá-lo, desligá-lo ou configurá-lo de acordo com a sua pré-programação. Um bom exemplo de sistema com atuadores é apresentado pelo trabalho [12] enquanto que sistemas sem atuadores podem ser encontrados nos trabalhos [18] e [19].

Figura 2. Distribuição das soluções acadêmicas quanto a utilização de atuadores.

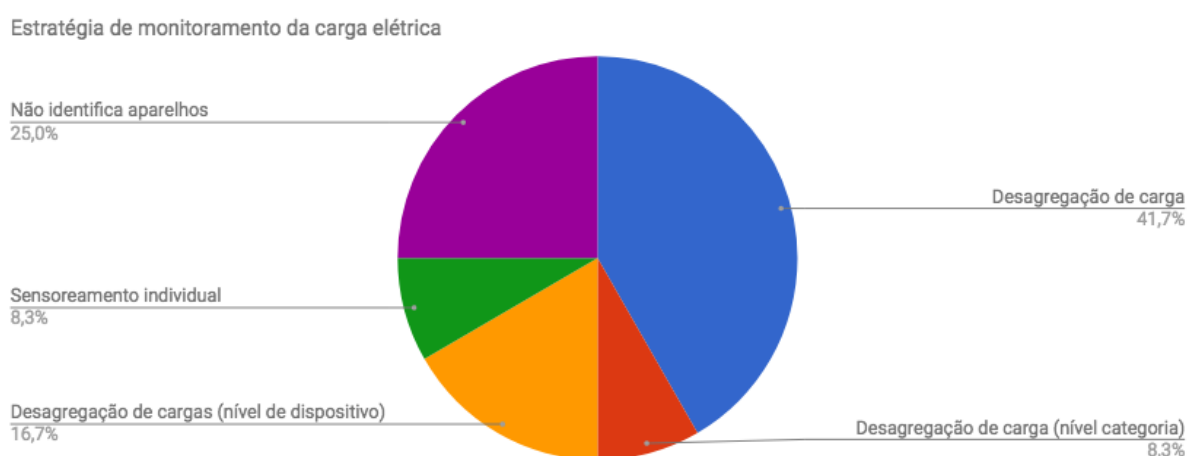


Os sistemas de gerenciamento também podem ser categorizados quanto a forma de coleta das informações das cargas elétricas, que pode ser através de uma metodologia NILM Non Intrusive Load Monitoring, ou seja, não exige a modificação do circuito elétrico do local [27], ou de maneira invasiva, onde é necessário intervir na rede elétrica para instalar o sensor de medição da carga elétrica.

Outra forma de categorização deste tipo de sistema é quanto a granularidade das informações coletadas do local monitorado. O nível de detalhes das informações de consumo podem ser por dispositivo, por conjunto de dispositivos, por ambientes ou geral, onde a única informação extraída é sobre o consumo total do local monitorado.

Entretanto, o fato de a coleta dos dados ser realizada somente por um sensor, que obtém as informações da carga elétrica geral de um local, não significa que a metodologia de monitoramento seja de granularidade geral. Através de técnicas de IA Inteligência Artificial e AM Aprendizado de Máquina, é possível identificar a assinatura energética de cada dispositivo a partir dos dados da carga elétrica geral. Este método é chamado de Desagregação de Cargas e ele permite a extração das informações de consumo elétrico a nível de dispositivo, na etapa de análise dos dados. Sessenta e sete por cento das soluções comerciais analisadas fazem uso desta metodologia como mostra a Figura 3. Dentre elas, se destacaram as soluções [42] [43].

Figura 3. Distribuição das soluções comerciais quanto a metodologia de identificação do consumo elétrico.



O hardware de monitoramento é essencialmente constituído por um sensor que mede a carga elétrica do local, por um microprocessador que interpreta os dados dos sensores e por componentes que permitem a comunicação do dispositivo com a internet ou com outros dispositivos. Desta forma, os dados processados podem

então ser armazenados em um cartão de memória, simplesmente exibidos em um display, enviados para outro dispositivo via SMS, ou enviados para a nuvem através de uma comunicação com a internet.

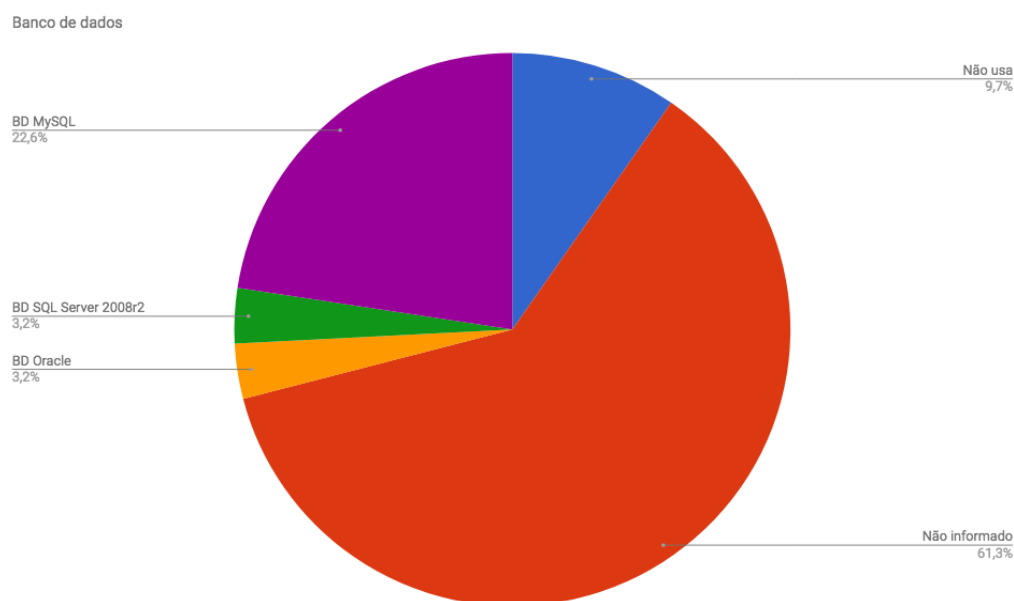
2.4 Camada de análise dos dados e extração do conhecimento

Os estudos acadêmicos não revelaram um padrão para a construção do servidor de processamento dos dados e do sistema de gerenciamento do banco de dados, como mostra o Quadro 1 e a Figura 4. Também não foi possível extrair este conhecimento das aplicações comerciais, que em sua maioria tem como o seu diferencial competitivo, a capacidade de extração dos hábitos de consumo dos usuários através das técnicas de IA e AM utilizadas nos servidores.

Quadro 1. Tecnologias utilizadas na construção da camada de processamento dos dados das soluções acadêmicas.

Framework de desenvolvimento web / Linguagens de programação	Qtd.
Não usa	3
Não informado	17
Framework de desenvolvimento web JAX-RS (Java) - JAX-WS	1
Framework de desenvolvimento web Spring (Java) - Spring	1
Framework de desenvolvimento web Java (Servlets)	1
Framework de desenvolvimento .NET	1
Framework de desenvolvimento web Laravel - Laravel	1
PHP	5
Perl	1
Python	1

Figura 4. Sistemas de gerenciamento de banco de dados utilizados na construção da camada de processamento dos dados das soluções acadêmicas.

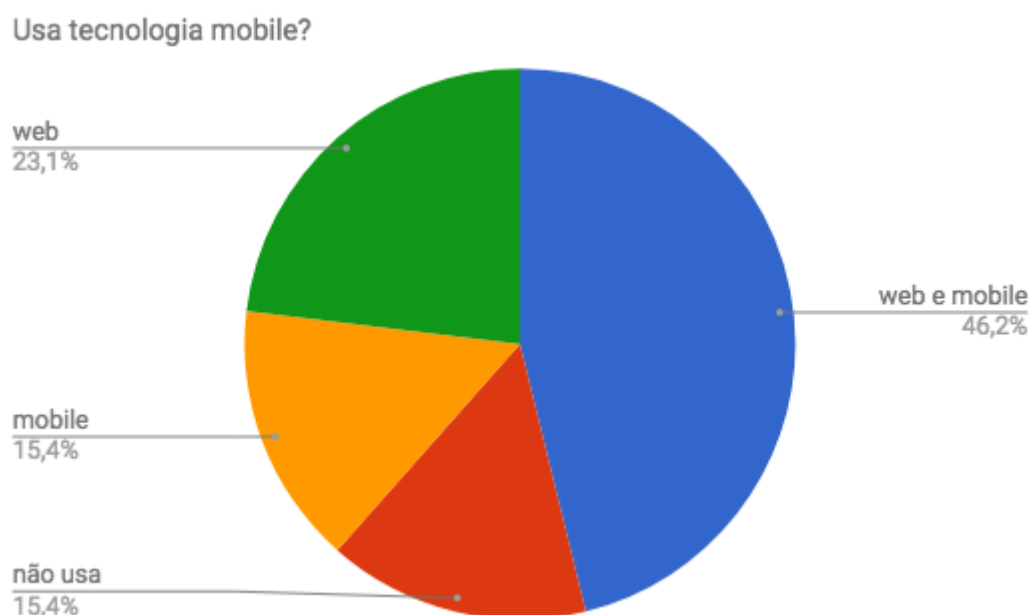


Porém, através da avaliação dos requisitos dos sistemas analisados, ficou claro que o servidor de análise das informações de consumo elétrico deve tolerar com tranquilidade um grande número de requisições, deve ser programado em uma linguagem que disponha de boas bibliotecas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina, deve receber os dados de consumo em um formato padronizado e simples como o JSON JavaScript Object Notation e sua arquitetura deve respeitar algum padrão de acesso aos endpoints, como por exemplo a convenção REST Representational State Transfer. A persistência dos dados deve estar alinhada com técnicas de Big Data e ao mesmo tempo, garantir a segurança das informações dos usuários.

2.5 Camada de visualização dos dados

A camada de visualização é importantíssima para a transmissão das informações de consumo em tempo real e também para ativar os fatores de engajamento responsáveis pelo sucesso da solução. A Figura 5 mostra a popularidade de plataformas mobile como meio de visualização dos dados processados pelas soluções industriais. A escolha desta plataforma se deve a quantidade de recursos disponíveis e à portabilidade das informações.

Figura 5. Distribuição das soluções comerciais de monitoramento do consumo elétrico, quanto a plataforma de visualização das informações.



A simples visualização do consumo elétrico em tempo real é eficaz na redução dos gastos com energia elétrica, mas não é a forma mais eficiente. Maneiras interessantes de auxiliar o usuário foram apresentadas pelos estudos [26] [27] [35].

O usuário precisa saber o quanto ele está gastando, mas ele também precisa saber como reduzir o seu consumo. Por isso medidas educativas, que orientem através de ações corretivas, são fundamentais para a modificação dos hábitos de consumo.

Durante a leitura dos estudos acadêmicos, foi observada a eficácia da implementação de programas de recompensa no engajamento dos usuários para a redução do consumo elétrico. O estudo [26] fez uso de uma moeda virtual, EkoTroks, que poderia ser acumulada ou perdida, de acordo com o cumprimento de metas de consumo pré-estabelecidas. Os EkoTroks poderiam ser trocados em estabelecimentos parceiros do projeto por produtos diversos.

2.6 Requisitos do sistema de coleta de dados

Após a análise de todos os estudos acadêmicos e das soluções comerciais, o conjunto de funcionalidades apresentado pelo Quadro 2, foi identificado como sendo indispensáveis para o sistema de coleta de dados.

Quadro 2. Requisitos do sistema de coleta de dados da carga elétrica do local monitorado.

Requisitos do dispositivo de monitoramento
Deve possuir baixo custo de aquisição e manutenção
Deve considerar a tensão do serviço elétrico do usuário
Deve ser fácil de se instalar
Deve ser fácil de se configurar
Deve ser escalável
Deve fazer a medição do consumo elétrico retornando os dados de consumo geral em tempo real ou quase tempo real, ou seja, até 3 minutos
Deve se comunicar com um servidor web para persistir os dados remotamente
Deve enviar o tempo de utilização e monitoramento para o servidor web
Deve enviar a corrente utilizada no período de monitoramento para o servidor web

2.7 Requisitos do sistema de análise dos dados e extração do conhecimento

Quadro 3. Requisitos dos sistema de análise dos dados e extração do conhecimento sobre hábitos de consumo do usuário.

Requisitos do backend
Deve ser escalável
Deve utilizar um framework que trabalhe bem com um alto número de requisições
Deve persistir os dados com segurança
Deve processar os dados de consumo com baixo custo computacional
Utilizar a localização do usuário para extrair meta informações, como qual é sua companhia elétrica, qual é a condição climática do local monitorado e etc.
Identificar se o imóvel está em uma zona rural ou urbana
Identificar se o imóvel é uma residência ou empresa
Identificar a fornecedora do serviço elétrico (Os valores cobrados variam de empresa para empresa)
Considerar o tipo de tarifa cobrada pela provedora de energia do usuário (se residencial, baixa renda ou comum) no cálculo do valor da conta elétrica
Identificar a tensão do serviço elétrico do usuário
Utilizar o tempo de monitoramento no cálculo do valor da conta elétrica
Utilizar a corrente consumida no período de monitoramento no cálculo do valor da conta elétrica

2.8 Requisitos do sistema de visualização

Quadro 4. Requisitos do sistema de visualização dos dados de consumo e engajamento do usuário.

Requisitos do sistema de visualização das informações de consumo
Considerar o comportamento do usuário sobre o consumo
Identificar as atividades do usuário
Permitir a definição de metas de consumo
Utilizar uma metodologia criativa para engajar o usuário na redução do consumo elétrico
Criar uma metodologia de engajamento do usuário que faça uso de redes sociais e colaboratividade
Educar o usuário para a otimização de seus hábitos de consumo
Associar hábitos de consumo sustentáveis com um valor específico que poderia ser economizado
Recompensar o usuário por metas atingidas
UI com comunicação simples dos dados essenciais, como: consumo geral, distribuição do consumo, valor da conta elétrica, dicas para reduzir o valor da conta
UI clara para a comunicação dos dados históricos e de consumo diário
UI que apresente os dados de consumo em tempo real
Enviar alertas de consumo
Enviar push notifications para orientar o usuário

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve todo o processo de desenvolvimento da solução, utilizando os requisitos identificados na revisão bibliográfica para cada componente da solução de monitoramento do consumo elétrico residencial.

3.1 Ideação

Os requisitos levantados durante a revisão bibliográfica foram válidos para a identificação de padrões na construção dos projetos de monitoramento e dos problemas enfrentados por eles. Porém, estes estudos foram realizados em diversos países e as soluções não foram criadas especificamente para o consumidor brasileiro, com exceção da solução apresentada pelo estudo [22] e das soluções comerciais [50] [51].

3.1.1 O público alvo da solução

Quanto ao poder aquisitivo, o público alvo da solução são famílias situadas nas classes D, C e B de acordo com o estudo feito pela Fundação Getúlio Vargas em 2014 [54].

Quanto a constituição familiar, o público alvo são famílias constituídas de duas ou mais pessoas, assim como pessoas que vivem sozinhas, que estejam interessadas em monitorar o seu consumo elétrico ou que tenham problemas com cobranças indevidas em suas faturas elétricas. Esta fatia da sociedade foi escolhida por representar a grande maioria da população 99.3%, como mostram os dados do estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE [55].

Quanto a forma de acesso aos dados, o público alvo da solução são usuários de aplicativos móveis [55], que possuam conexão com a internet e um roteador wifi em suas residências. Outras metodologias para implementar a conexão dos dados de consumo com o servidor de análise e extração do conhecimento foram consideradas, levando em conta que boa parte do público alvo escolhido, principalmente na faixa de poder aquisitivo D, ainda não dispõe de conexão com a internet com o roteador wifi. Entretanto, tais metodologias, como a GSM, não atenderiam a demanda de dados da solução e tornariam o custo de produção do hardware e manutenção do serviço inviáveis.

3.1.2 Criação de funcionalidades

Tendo em vista os requisitos desejáveis identificados para a solução de monitoramento, a ideia principal do projeto é um aplicativo que ofereça informações sobre o consumo elétrico residencial em tempo real e que permita a definição de metas de consumo para o local monitorado. Estas metas terão um papel norteador para o usuário, pois definirão o quanto ele poderá gastar durante o mês e durante o dia.

Outra funcionalidade é o compartilhamento dos dados de consumo de um local monitorado com outros moradores. A ideia desta funcionalidade é promover a consciência sobre o estado do consumo energético do local monitorado. O aplicativo também permitirá que os usuários associados ao local façam sugestões de recompensas que poderão ser utilizadas para uma meta de consumo pré-estabelecida, caso ela seja atingida.

As metas de consumo atingidas gerarão uma quantidade de moeda virtual, E-coin, que será adicionada à conta do usuário, esta moeda poderá ser perdida, caso o usuário não atinja novas meta de consumo. O objetivo da moeda virtual é reforçar a ideia de recompensa e mostrar de forma rápida, através da quantidade de E-coins, o quanto ele progrediu ou regrediu desde de instalação do sistema.

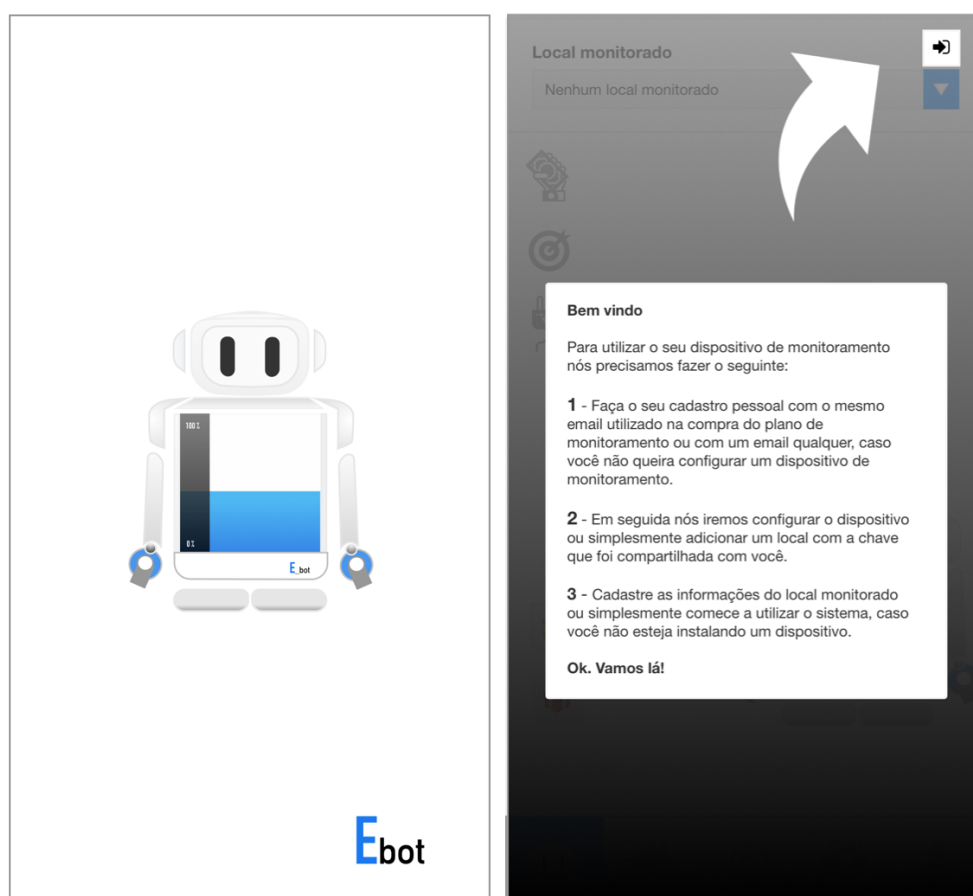
O aplicativo também fornecerá as telas de configuração do dispositivo de monitoramento e de gestão das informações dos locais monitorados.

Considerando a importância dos requisitos relacionados à instrução do usuário para a melhoria dos seus hábitos de consumo, um interlocutor, Ebot (Um robô), será utilizado para transmissão das mensagens, alertas de uso indevido e instruções gerais sobre o aplicativo.

3.1.3 Protótipo de baixa fidelidade e descrição de funcionalidades

As descrições das funcionalidades criadas para a solução serão exibidas em sua ordem lógica, para que seja possível compreender os pré-requisitos de uso de cada tela. A Figura 6, mostra o início da aplicação.

Figura 6. Tela inicial da aplicação Ebot e a tela principal, sem um dispositivo de monitoramento instalado e sem um local de monitoramento configurado.

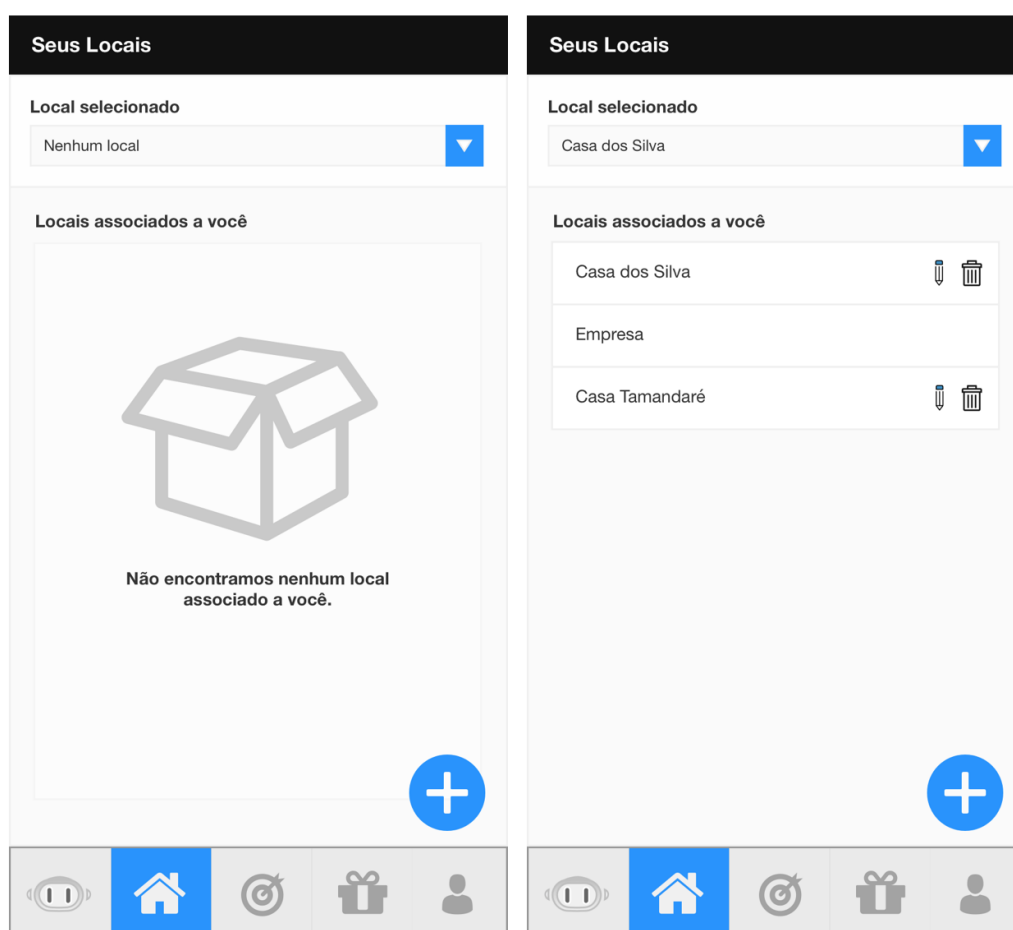


A tela inicial da aplicação apresenta o interlocutor das mensagens do aplicativo já no primeiro contato do usuário. Enquanto a configuração das definições básicas do sistema são executadas, uma animação indica o progresso do processo de inicialização. Assim que o processo de inicialização é finalizado, o usuário é redirecionado para a tela principal, onde ele será instruído sobre a necessidade de criar uma conta e de configurar um dispositivo de monitoramento.

Um usuário pode ser associado a um local de duas formas: como administrador ou como usuário comum. O usuário administrador é aquele que adquiriu o plano de monitoramento do sistema Ebot, o usuário comum é aquele para quem o usuário administrador forneceu a chave de compartilhamento de um local já configurado, onde um dispositivo de monitoramento esteja em execução.

A Figura 7 mostra a funcionalidade de Gestão de Locais, nesta tela o usuário pode ver de todos os locais aos quais ele está associado e também pode iniciar o processo de associação a um novo local.

Figura 7. Tela de gestão de locais da aplicação Ebot, sem locais associados ao usuário e com locais associados ao usuário.



A Figura 8 apresenta o diálogo de novo local, onde o usuário administrador deve inserir a chave de ativação do produto. O usuário comum deve inserir uma chave de compartilhamento do local que lhe tenha sido fornecida por um usuário administrador.

Figura 8. Tela de inserção da chave de acesso compartilhada para a associação a um novo local, ou para a inserção da chave do dispositivo para criar um novo local na aplicação Ebot.

Novo Local

✕

Insira o Id do dispositivo ou uma chave compartilhada com você.

ID do dispositivo

Chave compartilhada

Confirmar

Configuração do Dispositivo

✕

1 - Conecte-se a rede wifi indicada na embalagem do produto.

2 - Digite o id e a senha do seu roteador wifi

Id do seu wifi

Senha do seu wifi

3 - Aguarde enquanto o hardware é iniciado, uma mensagem indicará o fim do processo de configuração.

Confirmar

Uma vez que o dispositivo de monitoramento tenha sido instalado no local e esteja ligado, o usuário deverá se conectar a rede wifi indicada na embalagem do produto.

Através desta rede, ele poderá se comunicar diretamente com o equipamento e enviar as informações de sua rede wifi local, para que o dispositivo de monitoramento acesse a internet. Após confirmar as informações de rede, o dispositivo será reiniciado automaticamente e tentará aplicar as configurações fornecidas pelo usuário. Após a reinicialização, se somente o LED azul estiver ligado, significa que o monitor está conectado a internet e o aplicativo deverá prosseguir com o processo de configuração.

Caso o LED vermelho esteja ligado, significa que não foi possível acessar a internet com as credenciais de rede informadas, caso o LED amarelo esteja ligado, significa que não foi possível salvar os dados do sensor de corrente no armazenamento local do hardware. Em caso de erro, o usuário deverá reiniciar o dispositivo, verificar as informações de acesso fornecidas e confirmar o envio dos dados novamente.

As Figura 9, mostra as telas utilizadas para a execução das operações básicas que podem ser aplicadas a um local.

Figura 9. Telas de atualização de um local e de visualização dos detalhes de um local, da esquerda para a direita.

← Atualizar local

Dispositivo configurado

Nome do local?
Casa dos Silva

Onde o imóvel está localizado?
☐ Zona urbana ☒ Zona rural

Tipo do imóvel?
☒ Residencial ☐ Empresarial

Companhia elétrica
Celpe

Qual é a tensão nominal da rede elétrica?
☐ 110v ☒ 220v

Pessoas associadas a este local

Joao X

Maria X

Pedro X

Salvar

← Casa dos Silva

Local criado em
01/07/2017

Companhia elétrica
Celpe

Pessoas associadas a este local

Joao

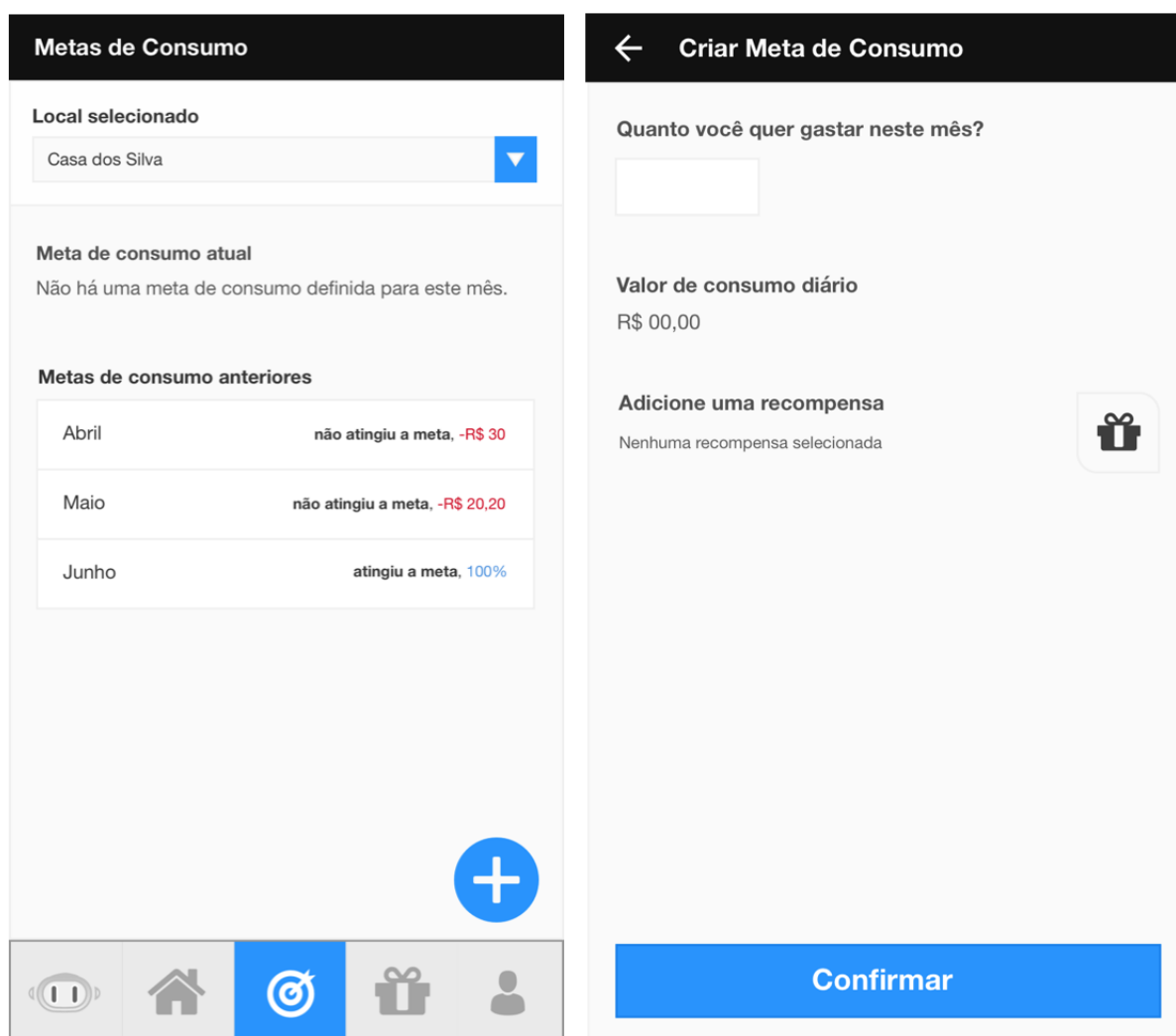
Maria

Pedro

Assim que o usuário configura o seu dispositivo, os dados de monitoramento começam a ser transmitidos para o servidor e podem ser observados na tela principal. Entretanto, para otimizar o engajamento do usuário e a mecânica da aplicação, a criação de uma meta de consumo é essencial, pois com a definição de um valor desejável de consumo mensal, é possível criar um parâmetro de consumo para cada dia do período de monitoramento.

A Figura 10 mostra a tela de gestão de metas de consumo, que exibe as metas criadas anteriormente para o local selecionado e permite iniciar o processo de criação de uma nova meta.

Figura 10. Telas de gestão e criação de meta de consumo para um local monitorado pela aplicação Ebot.



A Figura 10 também mostra a simplicidade na criação de uma meta de consumo. Ao clicar no botão de recompensas, o usuário será redirecionado para a tela de gestão de recompensas.

A Figura 11 mostra as telas de gestão e criação de recompensas. O usuário pode criar recompensas que servirão como um fator de engajamento para que todos os usuários do local trabalhem de forma colaborativa. Em um contexto residencial, uma recompensa poderia ser um passeio em família, ou outra atividade de interesse de todos os moradores. Em um contexto empresarial, uma recompensa poderia ser

um *happy hour* em um local conhecido pelos funcionários, ou um presente sorteado para algum funcionário no fim do período de monitoramento. A Figura 12 mostra a tela de visualização de recompensas.

Figura 11. Telas de gestão e edição de recompensas da aplicação Ebot.

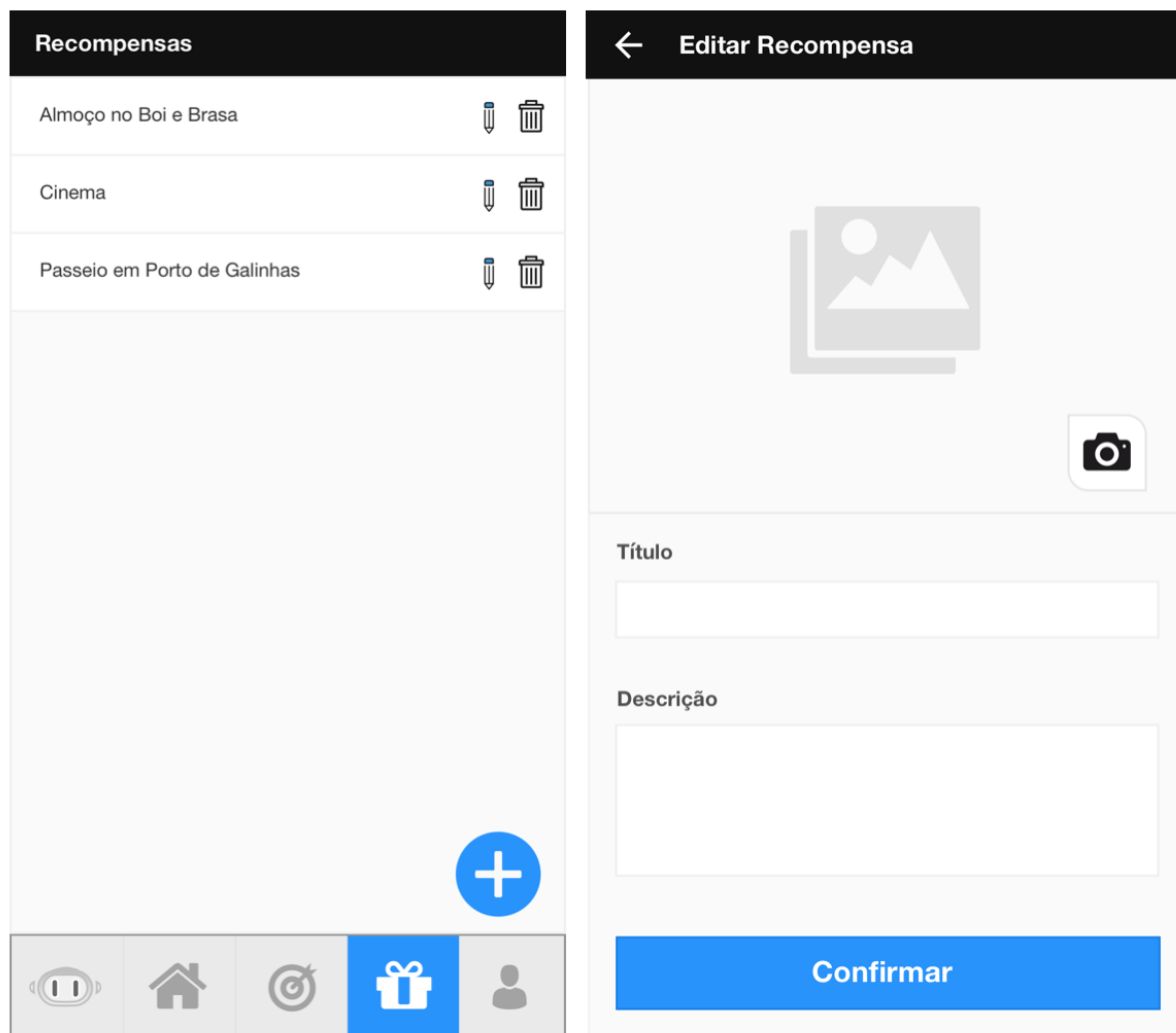
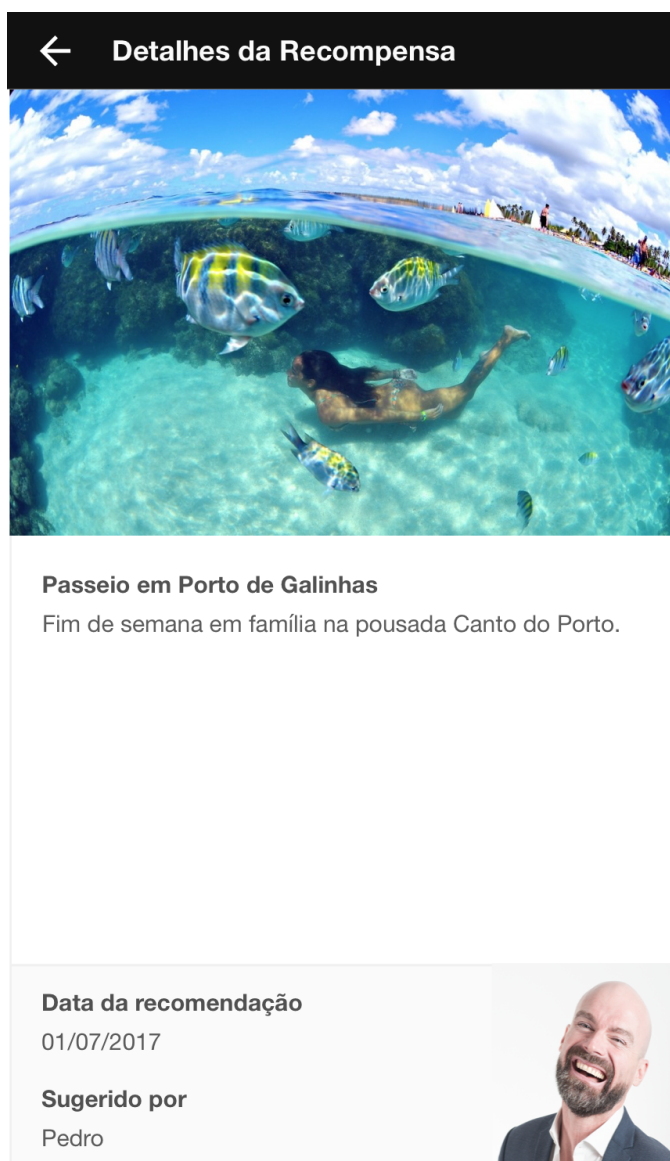


Figura 12. Tela de visualização de recompensa da aplicação Ebot.



Ao fim do processo de configuração do dispositivo, de criação de um local, de criação de metas e recompensas, a tela principal da aplicação deve ser similar à apresentada pela Figura 13.

Ao topo, um seletor indica o local cujos dados de consumo estão sendo apresentados na tela. Os itens a esquerda representam o consumo elétrico do usuário sob diferentes perspectivas, sendo o primeiro item ao topo, o valor total gasto pelo usuário desde o início do período de monitoramento. O segundo item,

indica o valor total definido para a conta elétrica no fim do mês. O terceiro item representa o consumo em termos de Kilowatts/hora. Abaixo do texto que indica o percentual da meta de consumo já utilizada, estão a quantidade de Ecoins, moeda conquistada na solução após o cumprimento de uma meta de consumo e o botão de recompensa, que indica que há uma recompensa associada a meta de consumo atual. O retângulo azul na "barriga" do Ebot também indica o percentual utilizado da meta de consumo. No rodapé da tela, um gráfico com as informações do sensor de corrente em tempo real com a granularidade dia é exibido, para que o usuário possa associar atividades que consumam muita energia com a mudança no gráfico.

Figura 13. Tela principal após a configuração do dispositivo de monitoramento e da criação de uma meta de consumo com uma recompensa associada.



A Figura 14 mostra uma dica para a redução da conta elétrica, este tipo de dica é exibido sempre que o valor energético utilizado ultrapasse o limite diário definido pela meta de consumo.

Figura 14. Tela com dica para a otimização do consumo elétrico.



3.2 A arquitetura do sistema

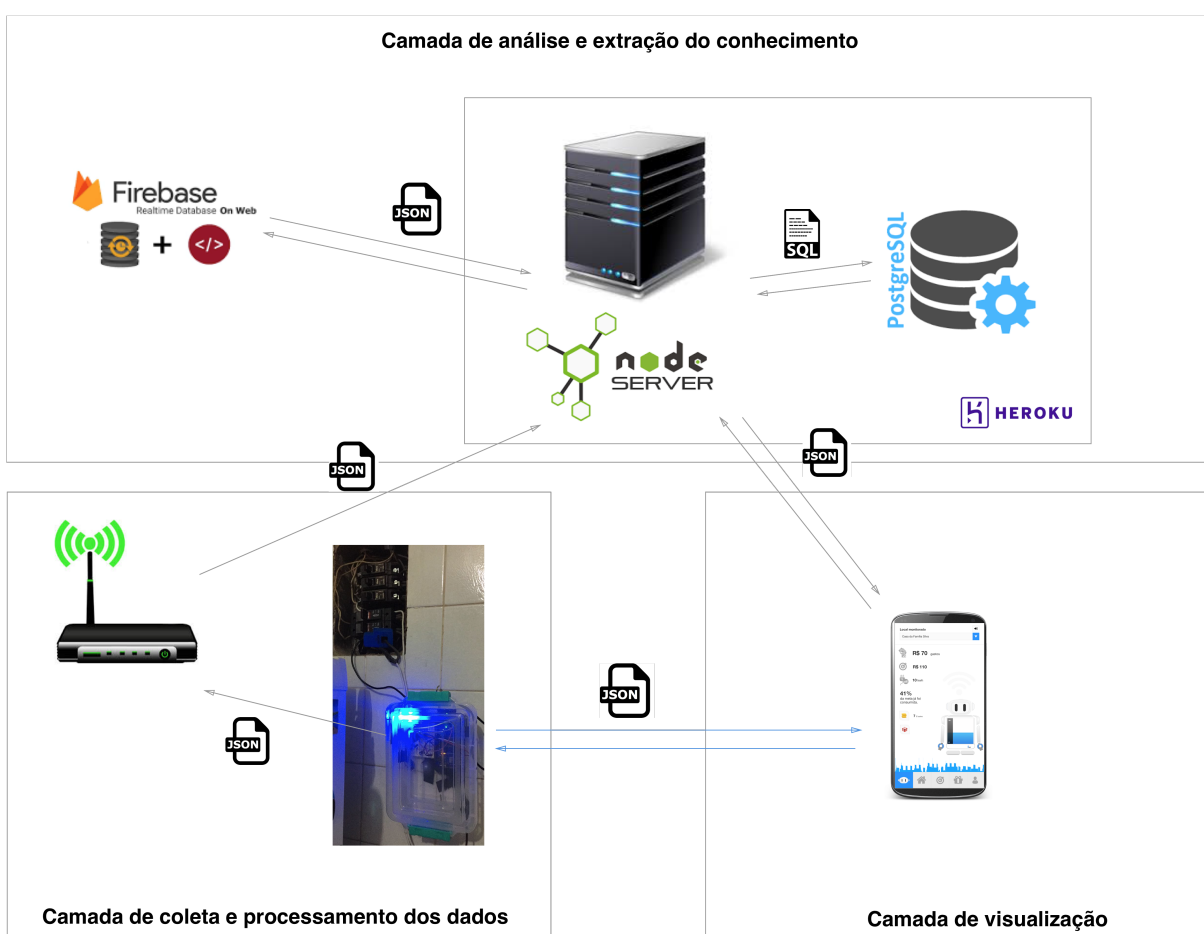
Inicialmente, a solução proposta seguiu a arquitetura padrão identificada na etapa de levantamento de requisitos, sendo composta por três camadas: coleta e processamento dos dados, análise dos dados e extração do conhecimento e visualização das informações de consumo.

No fluxo de coleta e consumo das informações da carga elétrica do local monitorado, o dispositivo de monitoramento se comunicava com um roteador WiFi, que por sua vez fazia requisições para a API do servidor de análise, para enviar as informações coletadas pelo sensor NILM. O servidor de análise recebia os dados coletados, os processava e os armazenava em um banco de dados não relacional Firebase. O usuário da aplicação Android, ao requisitar as informações de consumo da API, fazia com que o servidor de análise avaliasse suas credenciais de acesso no

banco de dados relacional e retornasse informações compostas por dados contidos nos bancos de dados relacional e não relacional.

No fluxo de configuração do acesso à internet do dispositivo de monitoramento, a aplicação Android se comunicava diretamente com um servidor web instalado no dispositivo e uma vez que a configuração era realizada, o dispositivo era reiniciado e entrava no fluxo de coleta e consumo das informações. A representação gráfica desta arquitetura do sistema pode ser visualizada na Figura 15.

Figura 15. Diagrama da estrutura da solução e suas camadas de coleta e processamento dos dados, análise e extração do conhecimento e visualização.

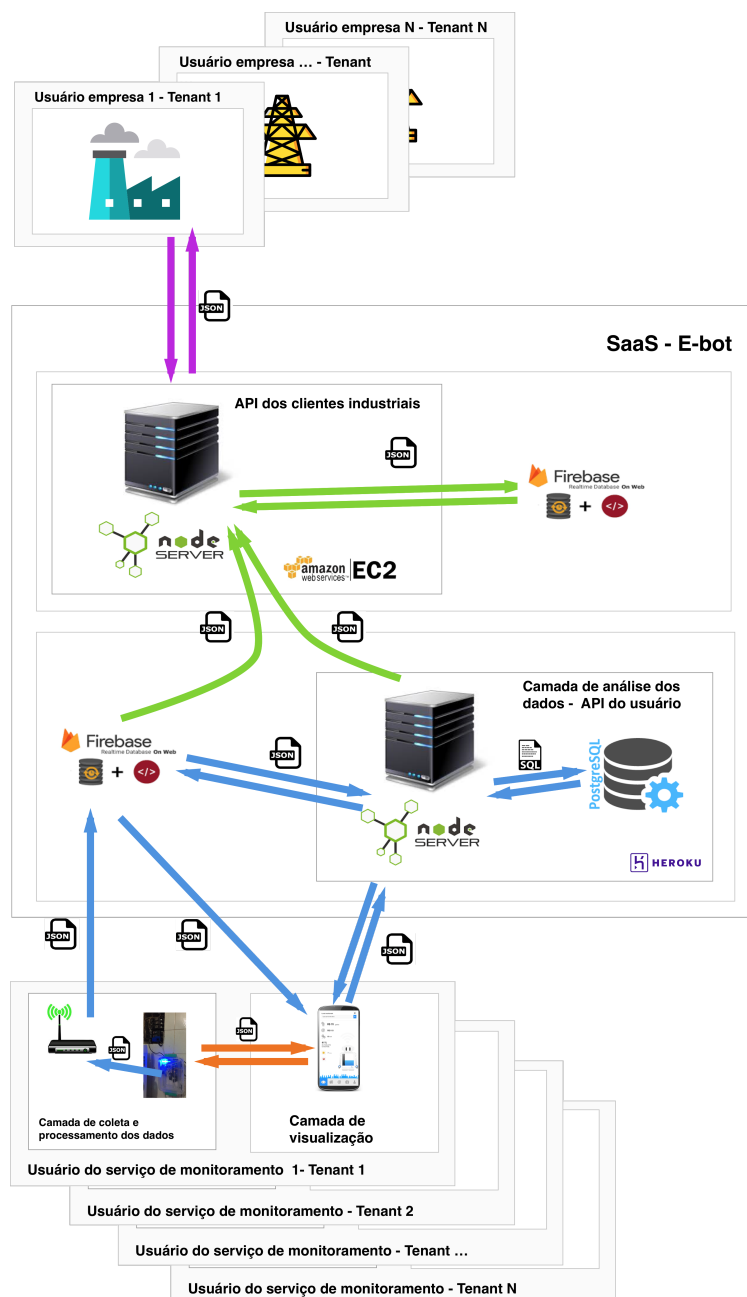


Entretanto, ao executar a aplicação com a arquitetura proposta, foi observado que a infraestrutura oferecida não seria poderosa o suficiente para suportar a carga de requisições e abranger todas as possibilidades do sistema.

Para solucionar este problema, a arquitetura apresentada pela Figura 16 foi idealizada, os principais objetivos desta nova arquitetura, são distribuir as requisições realizadas para a API de análise dos dados e explorar outras possibilidades de utilização para as informações geradas pelo sistema de

monitoramento. Desta forma, é possível que empresas interessadas em beneficiar os usuários com base em seus perfis de consumo, tenham as ferramentas necessárias para melhorar a qualidade de seus produtos ou serviços.

Figura 16. Diagrama da arquitetura da solução de monitoramento do consumo elétrico residencial e comercial como um SaaS, considerando a distribuição das requisições feitas pelos tenants usuários entre o repositório de dados Firebase e a API de análise, assim como a nova API industrial e a disponibilização dos dados do consumidor para os tenants industriais.



A nova arquitetura possui quatro fluxos de comunicação, sendo o fluxo representado pelas setas laranja, o de configuração do dispositivo. Este processo é o primeiro a ser executado e ocorre assim que o dispositivo de monitoramento é instalado. Durante o processo de configuração, o telefone do usuário se comunica diretamente com o dispositivo de monitoramento, através de uma conexão WiFi, enviando as informações de necessárias no formato JSON.

O fluxo de comunicação representado pelas setas azuis, é o de coleta, análise e visualização dos padrões de consumo do usuário. Neste fluxo o sensor NILM coleta os dados de consumo gerais do local monitorado e após uma etapa de processamento, os envia diretamente para o repositório do Firebase. Estes dados podem então ser utilizados pela API de análise das informações elétricas do local monitorado, que extrai conhecimento e cria o perfil de consumo daquele local. Quando uma requisição de um usuário do local monitorado é feita para a API de análise, o servidor NodeJS se comunica tanto com o repositório de dados Firebase quanto com o SGBD Postgres, para retornar em completude as informações requisitadas.

Após a reavaliação da arquitetura original e do seu enquadramento como um SaaS Software as a Service, foi observado que seria possível gerar mais oportunidades de negócio para a solução, através da disponibilização de informações consistentes sobre o padrão de consumo dos usuários, para as empresas interessadas em fornecer serviços de maior qualidade. Logo, dois novos fluxos de comunicação foram idealizados.

O fluxo de comunicação representado pelas setas verdes, é o fluxo de atualização da API industrial. Neste contexto, o servidor NodeJS requisita os dados disponíveis sobre os clientes para a API de análise e geração do conhecimento, realiza algumas etapas de processamento e armazena os dados processados em um repositório NoSQL otimizado para a consulta e visualização dos padrões de consumo do usuário, ou seja, um Data Mart para tomada de decisões.

O último fluxo de comunicação da solução proposta, é o de consumo das informações armazenadas no Data Mart, representado pelas setas lilás. Neste fluxo, os clientes industriais fazem requisições para o servidor da API industrial, que por sua vez consulta os dados armazenados no Data Mart implementado no Firebase e retorna as informações pesquisadas, de forma otimizada para a tomada de decisões.

3.3 Desenvolvimento do dispositivo de monitoramento

O dispositivo de monitoramento é o responsável por coletar as informações de consumo elétrico e enviá-las para o servidor de análise.

3.3.1 Sobre o dispositivo

Durante o processo de revisão de literatura ficou claro que as plataformas de prototipação Arduino e Raspberry Pi seriam boas opções para o desenvolvimento do dispositivo de processamento das informações do sensor NILM e para a criação do gateway dos dados processados. Pois estas soluções open source podem ser adquiridas em larga escala e oferecem o poder de processamento necessário para as tarefas exigidas pela solução.

A plataforma de prototipação Arduino Mega 2560, um sensor NILM SCT013 100a, um módulo wifi ESP8266 e um módulo SD Card Catalex, foram inicialmente adquiridos para a criação do dispositivo de monitoramento e envio dos dados. Foi observada a falta de documentação sobre o módulo wireless ESP8266. Após diversas horas de pesquisa somente tutoriais feitos por outros usuários foram encontrados e as informações oferecidas por eles não eram consistentes, assim como as versões dos chips apresentadas nos tutoriais.

Entretanto, durante a pesquisa realizada sobre o módulo ESP8266, foi descoberto que este módulo não é somente utilizado para a comunicação wifi. Ele na realidade é um SoC System on a Chip, ou seja, ele possui um altíssimo poder de processamento e possui portas de comunicação disponíveis para a leitura de sensores, além de já possuir a infraestrutura necessária para conectar-se a internet.

Após a descoberta feita sobre o SoC ESP8266, uma pesquisa por soluções que facilitam o seu uso foi realizada e a plataforma Wemos D1 Mini R2, que integra um SoC ESP8266 e facilita o processo de inicialização e upload do firmware para o ESP8266, foi selecionada como a plataforma base da solução de monitoramento, processamento e envio dos dados de consumo elétrico.

Desta forma o sensor de corrente para a coleta dos dados, os LEDs indicativos do status de funcionamento do dispositivo e o módulo SD Card foram conectados ao Wemos D1 Mini. A escolha do Wemos D1 Mini em substituição ao Arduino Mega 2560, reduziu o custo de produção do hardware e aumentou o seu poder de processamento. Entretanto, o sistema ficou limitado a somente um sensor de corrente por dispositivo, pois o Wemos D1 Mini possui somente uma porta analógica para a interpretação do sinal do sensor NILM.

3.3.2 Esquema do circuito eletrônico

A conexão do módulo SD Card e dos LEDs de comunicação é trivial e pode ser visualizada no esquema do circuito elétrico apresentado na Figura 16. Porém a

conexão do sensor SCT013 100a exige a criação de uma interface que assegura a entrada de 2.5v no sensor, os dados para a construção desta interface e da calibragem do sensor NILM foram extraídos do projeto OpenEnergyMonitor [48].

A Figura 17 mostra o sistema de monitoramento do consumo elétrico em funcionamento com todos os componentes mencionados. Os dados da carga elétrica são extraídos do sensor a cada 2 segundos e são enviados para o servidor remoto, hospedado na nuvem, a cada 1 minuto.

Um algoritmo para a redução do ruído apresentado pelo sensor foi desenvolvido e então utilizado em conjunto com a biblioteca Emonlib, também fornecida pelo projeto OpenEnergyMonitor [48].

Figura 17. Esquema do circuito eletrônico do hardware desenvolvido.

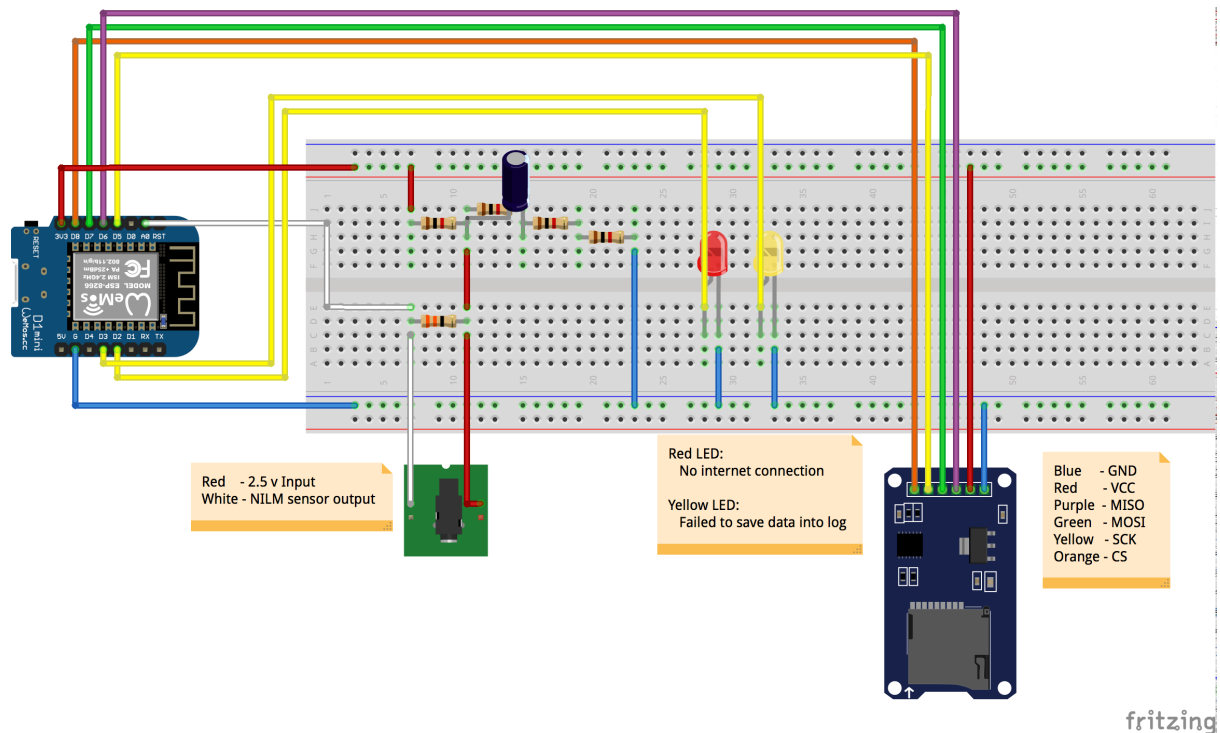
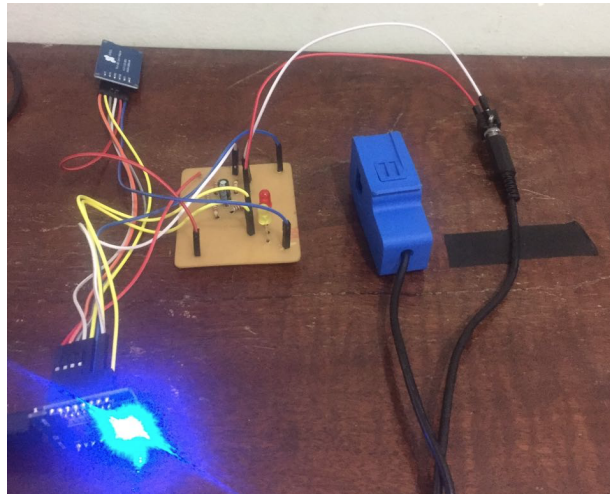


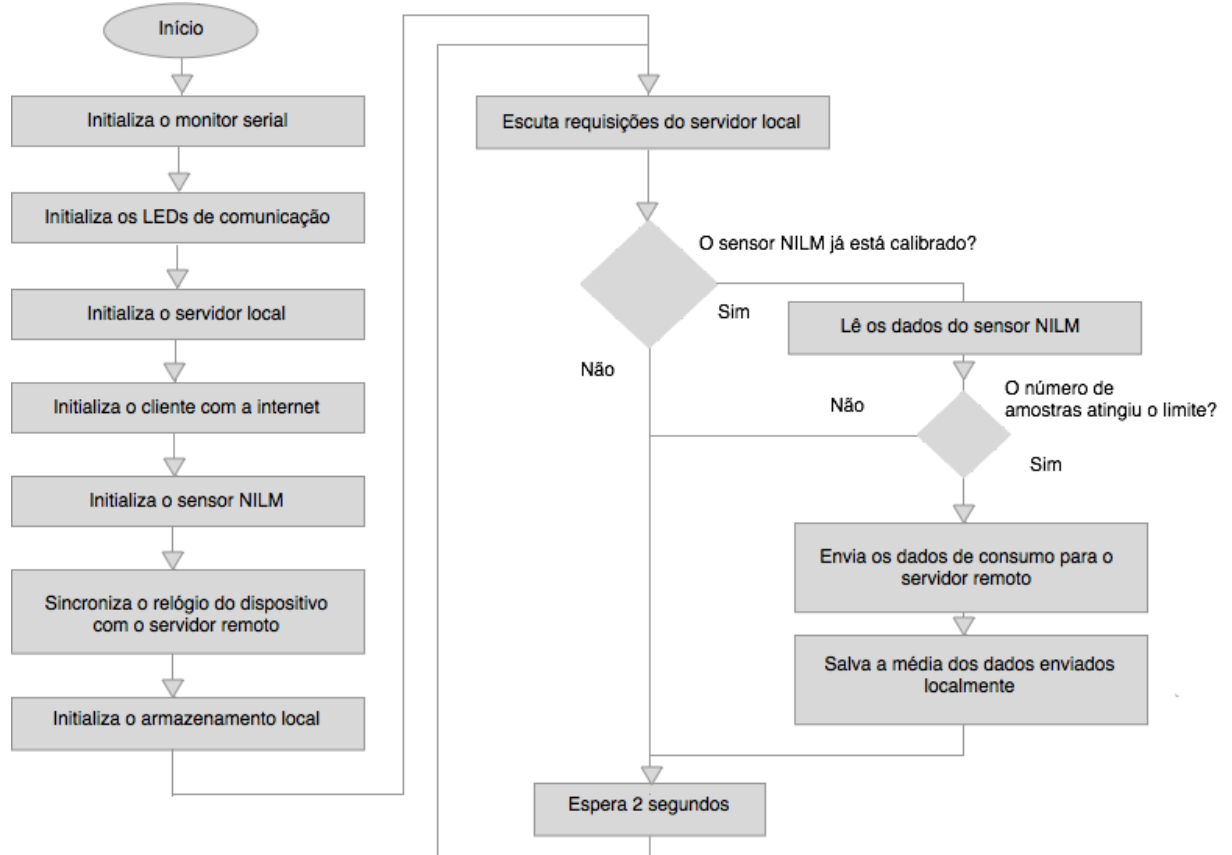
Figura 18. Dispositivo de monitoramento do consumo elétrico e envio dos dados.



3.3.3 Algoritmo de leitura e envio dos dados

Após inicializar os componentes físicos e lógicos do dispositivo, o algoritmo entra em seu loop principal e ouve requisições que possam ser feitas para o servidor local através da rede Wi Fi criada com o ESP8266. A segunda operação do loop principal é a leitura dos dados do sensor NILM, após algumas iterações a calibragem do sensor é concluída e os dados processados começam a ser armazenados em uma variável local, quando o limite da variável local é atingido, os dados são enviados para o servidor remoto e a média das amostras coletadas é armazenada no cartão SD, para que haja duas fontes de persistência sobre os dados de consumo.

Figura 19. Fluxograma do algoritmo executado pelo dispositivo de monitoramento.



3.4 Desenvolvimento da Aplicação Android

3.4.1 Sobre a aplicação Android

Tendo em vista as tendências do mercado de monitoramento do consumo elétrico e o perfil do público alvo da aplicação, a plataforma Android foi escolhida para o desenvolvimento da camada de visualização dos dados. O código da aplicação foi desenvolvido na IDE Android Studio, a arquitetura das classes do aplicativo foi desenvolvida de acordo com o padrão MVP Model View Presenter, a biblioteca para detecção de memory leaks, LeakCanary, foi utilizada durante o desenvolvimento do projeto para melhorar o processo de debugging.

3.4.2 Conectividade da aplicação Android

O aplicativo está conectado ao servidor de dados para execução de suas operações relacionadas a regra de negócios. Ele também se conecta diretamente ao servidor local criado pelo dispositivo de monitoramento, para realizar a sua configuração. A interface gráfica da aplicação seguiu o design implementado pelo protótipo de baixa fidelidade.

3.5 Desenvolvimento da Camada de Análise e Processamento dos Dados

A API de Análise é o elo de comunicação entre o dispositivo de coleta dos dados de consumo do local monitorado e o aplicativo Android. Ela tem o papel de receber os dados pré-processados, analisá-los e armazená-los em sua camada de persistência.

3.5.1 Sobre o servidor de dados

Tendo em vista a alta taxa de requisições exigida pelo hardware, o framework de desenvolvimento web NodeJs foi escolhido para a criação da API, considerando sua natureza de trabalho multithread que reduz a limitação no número de requisições simultâneas. O servidor foi hospedado na plataforma de aplicações na nuvem Heroku. Este serviço foi escolhido por ser gratuito e por oferecer uma forma rápida, segura e fácil de se fazer o deployment para o servidor remoto, através do Heroku CLI, que é um conjunto de ferramentas de linha de comando que envia a aplicação através de um repositório Git.

Os testes dos endpoints do servidor web e do servidor do dispositivo de monitoramento foram feitos com o software Postman e uma vez que os endpoints haviam sido aprovados nos testes, eles foram integrados na aplicação de coleta e envio dos dados e na aplicação de visualização das informações de consumo.

3.5.2 Camada de persistência

Não foi possível identificar uma tendência na construção dos servidores para sistemas de monitoramento do consumo elétrico residencial e comercial na revisão bibliográfica. Entretanto, considerando o alto volume dos dados coletados e os relacionamentos apresentados pelos elementos da aplicação Android, optou-se por adotar um sistema híbrido. Este sistema é composto por um banco não relacional, Firebase, para o armazenamento dos dados dos dispositivos de monitoramento e por um banco de dados relacional, Postgresql, para o armazenamento das informações dos usuários e de suas entidades relacionadas.

3.6. Testes da solução

Para validar os efeitos do uso da solução na redução do consumo elétrico de um local, um protocolo de testes foi idealizado. Este protocolo é composto por um primeiro período de testes, que prevê o uso da solução sem o fator de engajamento, ou seja, sem as recompensas associadas a um objetivo de consumo e sem usar a moeda virtual, Ecoins, para recompensar o sucesso no cumprimento das metas de consumo pré-definidas.

Durante o segundo período de testes, os usuários receberiam uma versão da aplicação com a funcionalidade de criação de recompensas e o uso da moeda virtual, Ecoins, para recompensá-los por metas atingidas. Entretanto, a fase de construção do hardware consumiu uma grande porção do tempo de execução do projeto e com isso não foi possível implementar as funcionalidades de recompensas e de gerenciamento da moeda virtual, impossibilitando a execução dos testes previstos.

4 PROVA DE CONCEITO

Este capítulo discute a usabilidade dos diferentes componentes desenvolvidos para a solução proposta e apresenta informações importantes encontradas durante o seu uso.

4.1 Demonstração de Uso doméstico

Após experimentar diferentes plataformas de prototipação de hardware para a construção do dispositivo de coleta dos dados, foi observado que a melhor solução seria a utilização da placa de desenvolvimento Wemos D1 Mini, que oferece as condições mínimas para o processamento dos sinais do sensor NILM de leitura das cargas elétricas e já está integrada com o SoC ESP8266 que oferece as funcionalidades de conexão com a internet como cliente e servidor.

O hardware criado foi capaz de realizar as leituras dos valores de carga elétrica do local monitorado, de enviá-los para o servidor remoto e de armazená-los no cartão SD instalado no dispositivo.

O sensor não invasivo de coleta dos dados é muito sensível e pequenas oscilações na voltagem de entrada, 0,03v foram o suficiente para gerar um ruído nos dados de leitura. Para mitigar os efeitos deste problema, um algoritmo para a redução do ruído foi implementado.

O processo de instalação do hardware na caixa de disjuntores do local monitorado não é complexo, basicamente o sensor deve envolver o fio da fase e então o dispositivo já pode ser ligado. Porém, este procedimento de instalação para um usuário não habituado a trabalhar com instalações elétricas e definitivamente não recomendável.

Figura 20. Dispositivo de monitoramento instalado no local.



4.2 Uso da API

A abordagem híbrida para a camada de persistência, se mostrou eficaz, pois foi possível armazenar tanto os dados relacionais quanto os não relacionais sem nenhum tipo de conflito entre os dois SGBDs. Isto foi possível através da utilização do Firebase como banco de dados NoSQL, pois o uso desta plataforma não utilizou nenhuma dependência do servidor NodeJs, como ocorreria com outro BD não relacional, como o MongoDB.

Entretanto, quando a aplicação Android começou a fazer uma requisição a cada trinta segundos, para a leitura dos dados de consumo da última hora, o servidor NodeJs começou a apresentar falhas de execução, devido a uma sobrecarga na utilização de seus recursos. Este foi um dos motivos para a proposta de modificação da arquitetura da solução, como descrito na seção 3.2.

O segundo fator que motivou a melhoria da arquitetura do sistema, foi a identificação da oportunidade de disponibilizar os dados sobre os perfis de consumo

dos locais monitorados para empresas interessadas em oferecer produtos ou serviços de maior qualidade. Para que esta mudança seja implementada, um novo servidor com uma API e base dados dedicada, deve ser criado e disponibilizado para os clientes industriais.

A versão gratuita do serviço Heroku foi utilizada neste projeto, logo, após trinta minutos de inatividade, o servidor de análise entra em hibernação e a primeira requisição após a entrada neste estado vai demorar a ser respondida. No dispositivo, para que não ocorresse um timeout na conexão, um valor de 30 segundos foi definido como o limite máximo para receber uma resposta do servidor.

4.3 Impacto na redução do consumo

Não foi possível testar os impactos da camada de visualização na mudança de comportamento do usuário, pois a camada de visualização ainda não foi completamente implementada. Portanto, até o presente momento não foi possível analisar o impacto da solução desenvolvida na redução do consumo elétrico

4.4 Custos da solução

As limitações do serviço oferecido pelo Heroku estão na capacidade de processamento, utilização da memória e no gerenciamento de conexões simultâneas. Logo, as mudanças na arquitetura do sistema propostas na seção 3.2 devem ser implementadas e os resultados devem ser analisados para que seja possível obter a infraestrutura mínima para a operação da solução e consequentemente para a construção do seu preço.

Outro fator que dificulta a definição do preço da solução, é que ainda não foi possível observar a quantidade total de recursos requeridos pelo sistema, que só será conhecida após a utilização da aplicação Android.

Quanto ao hardware. O preço para a compra dos seus componentes, apresentado na Tabela 1, torna a sua produção em larga escala viável, principalmente se não utilizarmos o Módulo SD Card, que é uma funcionalidade acessória do dispositivo. Com esta configuração o preço do produto cairia de R\$ 83,35 para R\$ 58.29.

Tabela 1. Preço dos componentes utilizados na construção do hardware de coleta, processamento e envio dos dados para o servidor, considerando a compra de componentes eletrônicos em lojas online e loja física situada em Recife-PE, Brasil em 2017.

Nome do componente	Fonte	Valor em reais
Wemos D1 Mini R2	AliExpress	16,18
Módulo SD Card	AliExpress	7,90
Sensor SCT0130 100 a	AliExpress	24,90
Fonte de alimentação 5v	AliExpress	4,91
Cartão Micro SD 4g	AliExpress	17,16
Placa Perfurada Fenolite	Arduinolandia	2,90
Resistores	Arduinolandia	3,00
Capacitor	Bartô eletrônica	0,50
Jumpers	Arduinolandia	4,90
LEDs	Bartô eletrônica	1,00
Total		83,35

Fonte: AliExpress, 2017, <https://pt.aliexpress.com/>.

Fonte: Arduinolandia, 2017, <https://www.arduinolandia.com.br/>

Fonte: Bartô Eletrônica, R. da Concórdia, 314 - São José, Recife - PE, 2017

Entretanto, apesar de o preço do hardware ser conhecido, outros elementos devem ser adicionados ao preço final, como os custos operacionais da empresa responsável pela comercialização dos dispositivos, a depreciação do estoque, as despesas com marketing, impostos estaduais, federais e outros.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões

Realizar o monitoramento do consumo elétrico residencial é uma tarefa complexa, portanto para identificar as principais características deste tipo de sistema, foi realizada uma revisão sistemática de literatura que considerou 1173 estudos acadêmicos, sendo que os 30 estudos mais relevantes foram analisados, de acordo com um protocolo de pesquisa baseado na metodologia de Kitchenham [51].

Os resultados da revisão sistemática apontaram que sistemas de monitoramento do consumo elétrico residencial e comercial são divididos em três camadas de abstração lógica: a camada de coleta e processamento dos dados, a camada de análise dos dados e geração do conhecimento e a camada de visualização das informações de consumo.

As tecnologias utilizadas por cada uma das soluções acadêmicas foram identificadas e categorizadas. Nesta etapa da pesquisa observou-se que as

plataformas de prototipação de hardware Arduino e Raspberry Pi são recomendáveis para a criação do dispositivo de processamento e envio dos dados para o servidor remoto.

Para complementar o conhecimento adquirido, doze soluções industriais com o foco no monitoramento do consumo elétrico residencial e comercial foram analisadas. Esta análise mostrou que a metodologia de monitoramento de carga elétrica mais utilizada na indústria é a NILM, Non Intrusive Load Monitoring. O método de identificação do consumo elétrico por dispositivos ou por grupo de dispositivos mais utilizado, é a Desagregação da Carga Elétrica, que ocorre através da aplicação de técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial, associados a identificação das assinaturas energéticas de cada dispositivo a partir da carga elétrica geral do local monitorado. A forma de visualização dos dados mais comum nos estudos acadêmicos foram aplicações web e na indústria, aplicações móveis.

Uma vez que os requisitos necessários para a construção de cada uma das três camadas do sistema foram obtidos, uma solução para o monitoramento do consumo elétrico residencial e de pequenas empresas foi proposta.

A camada de coleta de dados desta solução é composta por um hardware de baixo custo e alto poder de processamento, baseado na placa de desenvolvimento Wemos D1 Mini e no SoC ESP8266, fazendo uso da metodologia de monitoramento NILM, o sensor SCT013 100A foi utilizado para a coleta dos dados da carga elétrica de forma não invasiva. Foram criadas rotinas para a configuração do dispositivo através da criação de uma rede wifi gerenciada pelo dispositivo de monitoramento, facilitando o processo de instalação e conexão da solução à internet.

A camada de análise dos dados da solução proposta é constituída por um servidor NodeJS, escolhido em função do seu modo de tratamento multithread das requisições dos clientes. A abordagem híbrida para a camada de persistência, se mostrou eficaz, pois foi possível armazenar tanto os dados relacionais quanto os não relacionais sem nenhum tipo de conflito entre os dois SGBDs. Isto foi possível através da utilização do Firebase como banco de dados NoSQL, pois o uso desta plataforma não utilizou nenhuma dependência do servidor NodeJs, como ocorreria com outro BD não relacional, como o MongoDB.

Entretanto, após a utilização de forma realista do sistema, foi identificado que a arquitetura padrão, onde o usuário e o dispositivo de monitoramento estavam conectados diretamente a API de análise, não seria o suficiente para atender a todos os requisitos propostos para a solução. Por isso uma nova arquitetura foi proposta na seção 3.2. A nova arquitetura prevê a distribuição das requisições que

anteriormente eram feitas diretamente para a API de análise, entre a API análise e a plataforma de armazenamento Firebase. A nova arquitetura também considera a oportunidade identificada de oferecer as informações sobre os perfis de consumo dos usuários para empresas interessadas, através de um Data Mart implementado em uma outra instância da plataforma Firebase.

A camada de visualização dos dados foi idealizada e foi definida a mecânica de interação entre os usuários do local monitorado, com o uso de funcionalidades que promovem a socialização e a compreensão do consumo elétrico. Um protocolo de testes para a aplicação também foi idealizado, mas não foi implementado devido ao término do tempo de execução do projeto.

Por fim, os custos da solução de monitoramento foram discutidos. O custo da infraestrutura de hospedagem do servidor só será identificado com precisão após o monitoramento do uso do aplicativo. O dispositivo de monitoramento apresenta um baixo custo de produção, R\$58,29 - R\$ 83,35, possui uma arquitetura simples e poderia ser utilizado em residências brasileiras.

5.2 Trabalhos Futuros

Este trabalho está longe de ser concluído e uma análise do impacto do aplicativo de visualização dos dados de consumo precisa ser realizada. Somente desta forma será possível validar a efetividade das funcionalidades de engajamento social na modificação dos hábitos de consumo dos usuários.

A nova arquitetura proposta na seção 3.2 também precisa ser implementada. Esta implementação deve considerar as técnicas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina, para que seja feita a Desagregação de Carga para a obtenção do consumo elétrico na granularidade de dispositivo.

REFERÊNCIAS

1. Wikipedia. Eletricidade. 2017. Disponível em:.
<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletricidade>>
2. Portal G1. Notícia sobre o aumento da conta elétrica. 2017. Disponível em:.
<<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/02/para-cobrir-rombo-contas-de-luz-devem-ficar-7-mais-caras-em-2017.html>>
3. Portal IG. Notícia sobre o aumento conta elétrica. 2017. Disponível em:.
<<http://economia.ig.com.br/2017-04-04/conta-luz-bandeira-vermelha.html>>

4. Diário de Pernambuco. Notícia sobre o aumento da conta elétrica. 2017. Disponível em:
<http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/economia/2017/02/22/internas_economia,690599/conta-de-energia-eletrica-tera-aumento-medio-de-7-17-neste-ano.shtml>
5. Portal G1. Notícia sobre o risco de apagão. 2015. Disponível em:
<<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/01/entenda-os-fatores-de-risco-para-nov-os-blecautes-no-brasil.htm>>
6. Revista Veja. Notícia sobre o risco de apagão. 2015. Disponível em:
<<http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/ministro-de-minas-e-energia-ve-risco-de-apaga-o-o-que-foi-mesmo-que-dilma-disse-ha-dois-anos-e-quatro-meses-grande-planejador-a/>>
7. International Energy Agency, Transition to Sustainable Buildings - Strategies and Opportunities to 2050, OECD/IEA, Paris, France, 2013.
8. D. Silva. Requisitos para Sistemas de Monitoramento do Consumo Elétrico Residencial e Comercial: Uma Revisão Sistemática de Literatura. Disponível em:
<<https://docs.google.com/a/cin.ufpe.br/document/d/1pMPgFY2gKXd4T7oNLxKlodrUq702AuNjJOhH6rPG-E4/edit?usp=sharing>>
9. A. Alhamoud; F. Ruettiger; A. Reinhardt; F. Englert; D. Burgstahler; D. Böhnstedt; C. Gottron; R. Steinmetz, SMARTENERGY.KOM: An intelligent system for energy saving in smart home, Multimedia Communications Lab, Technische Universität Darmstadt, Germany, 2014.
10. Yukang Guo, Matt Jones, Benjamin Cowan, Russell Beale, Take it personally: personal accountability and energy consumption in domestic households.
11. Tobias Schwartz, Sebastian Deneff, Gunnar Stevens, Leonardo Ramirez, Volker Wulf, Cultivating energy literacy: results from a longitudinal living lab study of a home energy management system.
12. A. Ravishankar; A. Vignesh; V. Vel; Dhiwaakar Purusothaman S R R; V. Vijayaraghavan, Low-cost non-intrusive residential energy monitoring system, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Sri Venkateswara College of Engineering, Sriperumbudur, India.

13. R. Bhilare; S. Mali, IoT based smart home with real time E-metering using E-controller, Electronics and Telecommunication, Ramrao Adik Institute of Technology, University of Mumbai, India.
14. T. G. Stavropoulos; E. S. Rigas; E. Kontopoulos; N. Bassiliades; I. Vlahavas, A Multi-agent Coordination Framework for Smart Building Energy Management, Sch. of Sci. & Technol., Int. Hellenic Univ., Greece.
15. A. Pournima; M. Krishna Paramathma, Design and implementation of energy audit system employing embedded device, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kalasalingam University, Krishnankoil, Virudhunagar DT (T.N), 626126, India.
16. M. A. H. M. Isa; M. F. A. Latip; N. Zaini; Y. F. Alias, Android-based application for real time energy monitoring of domestic electricity, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi MARA Shah Alam, Selangor, Malaysia.
17. K. Vatanparvar; Q. Chau; M. A. A. Faruque, Home energy management as a service over networking platforms, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Irvine, Irvine, California, USA.
18. A. Sharma; A. Verma; M. Bhalla, WiFi home energy monitoring system, BlackRock, Gurgaon.
19. K. Alsafwan; F. Alshaer; L. Hakami; K. Aseeri; M. Aljishi; D. Dustegor, iTrack: A residential energy monitoring system tailored to meet local needs, Department of Computer Science, CCSIT, University of Dammam, Dammam, KSA.
20. J. Yamini; Y. R. Babu, Design And implementation of smart home energy management system, Department of ECE, Vignan's Lara Institute of Science and Technology, Vadlamudi, Guntur.
21. J. Han; C. s. Choi; W. k. Park; I. Lee; S. h. Kim, Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC, Electron. & Telecommun. Res. Inst. (ETRI), Daejeon, South Korea.
22. M. Oliveira Leme; F. Trojan; A. C. Francisco; A. A. Paula Xavier, Digital Energy Management for Houses and Small Industries Based on a Low-cost Hardware, Univ. Tecnol. Fed. do Paraná, Ponta Grossa, Brazil.

23. S. Rinaldi; P. Ferrari; A. Flammini; A. Vezzoli, Introducing the measurement virtual-eGateway for domestic energy management, Department of Information Engineering, University of Brescia, Via Branze 38, 25123, Italy.
24. R. Dubey; S. Nath; K. Harsha; D. R. S. Vinay; M. Bayya; B. V. S. S. N. P. Rao; U. M. Rao; N. M. Muthukrishnan, Smart home management with online power measurement, Department of Electrical Engineering, BITS-Pilani, Hyderabad Campus, Hyderabad.
25. M. Caruso; M. Mecella; A. Cerocchi; V. Forte; L. Querzoni; R. Baldoni, Energy Management in Smart Spaces through the OPlatform, Sapienza Univ. di Roma, Rome, Italy.
26. G. Luca; M. Benedetta; F. Nardecchia; F. Bisegna; G. Chiara, Home smart grid device for energy saves and failure monitoring, DIAEE; Sapienza; University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, Italy.
27. Boris Sučić, Aleksandar S. Anđelković, Željko Tomšić, The concept of an integrated performance monitoring system for promotion of energy awareness in buildings, a Jozef Stefan Institute, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenia b University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia c University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia.
28. Gilles Guerassimoff, Johann Thomas, Enhancing energy efficiency and technical and marketing tools to change people's habits in the long-term, a Centre for Applied Mathematics, Mines ParisTech, 1 rue Claude Daunesse CS10207, 06904 Sophia Antipolis Cedex, France b GridPocket SAS, 300 Route des Crêtes, 06560 Sophia-Antipolis, France.
29. Leonard Putra, Michael, Yudishtira, Bayu Kanigoro, Design and Implementation of Web Based Home Electrical Appliance Monitoring, Diagnosing, and Controlling System, Computer Science Program, School of Computer Science, Bina Nusantara University, Jakarta 11480, Indonesia.
30. Chiara Tonelli, Stefano Converso, Digital mirror: A method to shape smart citizenship, Department of Architecture, University of Roma TRE, Largo G.B. Marzi, 10 00153 Rome, Italy.
31. Ming-Tsun Ke, Chia-Hung Yeh, Cheng-Jie Su, Cloud computing platform for real-time measurement and verification of energy performance, Department of

Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering, National Taipei University of Technology, Taipei, Taiwan.

32. H. Ufuk Gökçe, K. Umut Gökçe, Multi dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations, EOS Sustainable Energy Solutions GmbH, Vahrewalder Str. 7, 30165 Hannover, Germany.

33. Victor L. Chen, Magali A. Delmas, William J. Kaiser, Real-time, appliance-level electricity use feedback system: How to engage users?, a Electrical Engineering Department, University of California, Los Angeles, CA, United States b Institute of the Environment and Sustainability and Anderson School of Management, University of California, Los Angeles, CA, United States

34. A. Al-Mulla, A. ElSherbini, Demand management through centralized control system using power line communication for existing buildings, a Energy Efficiency Technologies Program, Kuwait Institute for Scientific Research, P.O. Box 24885, Safat 13109, Kuwait b United Technologies Research Center, 411 Silver Lane, East Hartford, CT 06108, USA.

35. Z. Szabo, P. Marcoň, Z. Roubal, F. Zezulka, I. Veselý, O. Saidl, L. Lahodny, Remotely Controlled Smart Metering for the Smart Home, * Dept. of Theoretical and Experimental Electrical Engineering, Brno University of Technology ** Centre for Research and Utilization of Renewable Energy, Brno University of Technology.

36. Kanae Matsui, Hideya Ochiai, Yoshiki Yamagata, Feedback on electricity usage for home energy management: A social experiment in a local village of cold region, a Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan b VLSI Design & Education Center, University of Tokyo, Japan c National Institute of Information and Communications Technology, Japan d Graduate School of Media Design, Keio University, Japan.

37. Anthony Emeakaroha, Chee Siang Ang, Yong Yan, A persuasive feedback support system for energy conservation and carbon emission reduction in campus residential buildings, a School of Engineering and Digital Arts, University of Kent, Canterbury, Kent CT2 7NT, UK b School of Psychology, University of Kent, Canterbury, Kent CT2 7NT, UK.

38. R. Gulbinas, R.K. Jain, J.E. Taylor, BizWatts: A modular socio-technical energy management system for empowering commercial building occupants to conserve energy, a Via Dept. of Civil & Env. Eng. and Myers-Lawson School of Construction, Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, United States b Center for Urban Science & Progress, New York University, Brooklyn, NY 11201, United States.

39. Gridpocket. Solução de monitoramento do consumo elétrico criada pela empresa Gridpocket. 2017. Disponível em: <<http://www.gridpocket.com/>>
40. Bidgely. Solução de monitoramento do consumo elétrico Bidgely. 2017. Disponível em: <<https://www.bidgely.com/>>
41. EEme. Solução de monitoramento do consumo elétrico EEme. 2017. Disponível em: <<http://www.energyefficiency.me>>
42. Plotwatt. Solução de monitoramento do consumo elétrico Plotwatt. 2017. Disponível em: <<https://www.plotwatt.com/>>
43. Watty. Solução de monitoramento do consumo elétrico Watty. 2017. Disponível em: <<https://watty.io/>>
44. Sense. Solução de monitoramento do consumo elétrico Sense. 2017. Disponível em: <<https://sense.com/>>
45. Cloogy. Solução de monitoramento do consumo elétrico Cloogy. 2017. Disponível em: <<https://www.cloogy.pt/>>
46. British Gas. Solução de monitoramento do consumo elétrico SmartHome British Gas. 2017. Disponível em: <<https://www.britishgas.co.uk/>>
47. Smappee. Solução de monitoramento do consumo elétrico Smappee. 2017. Disponível em: <http://www.smappee.com/be_en/>
48. 2 Save Energy Ltd. Solução de monitoramento do consumo elétrico The Owl. 2017. Disponível em: <<http://www.theowl.com>>
49. OpenEnergyMonitor. Solução de monitoramento do consumo elétrico OpenEnergyMonitor. 2017. Disponível em: <<https://openenergymonitor.org>>
50. TeslaBit. Solução de monitoramento do consumo elétrico TeslaBit. 2017. Disponível em: <<http://www.teslabit.io/>>
51. GreenAnt. Solução de monitoramento do consumo elétrico GreenAnt. 2017. Disponível em: <<http://www.greenant.com.br/>>
52. Kitchenham, B., Charters S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Vol 2.3 EBSE Technical Report, EBSE-2007-01,

Software Engineering Group, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, Keele, UK, (2007).

53. Wikipedia. Conceito de Internet das Coisas. 2017. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things>

54. Ovidiu V., Fries P., "Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems", SINTEF, Norway. Dr. Peter Friess. EU, Belgium. Aalborg, 2013.

55. FGV. Faixas de renda das classes sociais da população brasileira em 2014. 2017. Disponível em: <<http://cps.fgv.br/qual-faixa-de-renda-familiar-das-classes>>

56. IBGE. Constituição das famílias do Brasil de acordo com o Censo Demográfico realizado em 2010. 2017. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/familias-e-domicilios.html>>