



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Graduação em Engenharia da Computação

**Sistema para Monitoramento e Controle
Remoto do Consumo de Energia no
Centro de Informática**

Carolina Maria de Almeida Barbosa

Trabalho de Graduação

Recife
Julho de 2017

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Carolina Maria de Almeida Barbosa

**Sistema para Monitoramento e Controle Remoto do
Consumo de Energia no Centro de Informática**

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

Orientador: *Abel Guilhermino da Silva Filho*

Recife
Julho de 2017

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais e minha família, por sempre investirem na minha educação. Durante toda minha vida recebi deles todo o apoio necessário para alcançar meus objetivos pessoais e profissionais.

Agradeço a todos os professores que tive durante minha vida acadêmica. De vocês recebi uma quantidade de conhecimento que considero de valor imensurável. Agradeço em especial ao professor Abel Guilhermino, pela orientação e acompanhamento desde o meu segundo período da faculdade.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos, que me ajudaram a segurar essa barra que é escrever o TG (Trabalho de Graduação), além de me incentivarem e me apoiarem durante todo este processo.

É determinismo, sim.
Mas seguindo o próprio determinismo é que se é livre.
Prisão seria seguir um destino que não fosse o próprio.
Há uma grande liberdade em se ter um destino.
Este é o nosso livre-arbítrio.
—CLARICE LISPECTOR (Seguir a Força Maior)

Resumo

Considerando o modelo atual para gerenciamento do consumo de energia no país, não existem informações suficientes que possibilitam ao consumidor entender como está sendo a utilização do consumo elétrico dentro de sua residência. As únicas informações vêm por meio de faturas que informam apenas o valor do consumo mensal e o histórico do consumo dos últimos doze meses [Coe15]. Informações que possibilitam o indivíduo compreender como está sendo utilizada a energia dentro de um ambiente, como por exemplo qual aparelho está consumindo mais, são de grande importância para que medidas de economia de energia sejam tomadas.

Tomando este cenário como principal motivação, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto (via browser) do consumo de energia. O acesso remoto visa facilitar para o usuário o gerenciamento da energia consumida. O sistema tomará como base a infraestrutura do Centro de Informática (CIn), por ser um ambiente onde o consumo de energia é bastante elevado, considerando os vários setores que estão a disposição para as pessoas num período de 24h por dia.

O sistema contará com funcionalidades que possibilitarão ao usuário entender melhor o consumo de energia em um determinado local, sendo possível a adoção de medidas para economia de energia. Uma análise do estado da arte foi feita e, a partir de uma comparação com soluções propostas por terceiros, foi observado que o sistema proposto neste trabalho é bastante completo, além de apresentar um bom custo-benefício.

Palavras-chave: Consumo de Energia, Monitoramento Remoto do Consumo, Energia Elétrica, Aplicação *Web*, Informações de Consumo.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Considerações Gerais	1
1.2	Motivação	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	Fundamentação Teórica	4
2.1	Medidor de Energia Elétrica	4
2.2	Energia Elétrica	4
2.3	Potência	6
2.3.1	Potência Ativa, Reativa e Aparente	6
2.3.2	Fator de Potência	7
2.3.3	Valor Eficaz	7
3	Trabalhos Relacionados	8
3.1	Introdução	8
3.2	AM Braga et. al. [dSPKFC]	9
3.3	GJ de Paula [dP13]	10
3.4	Horvat et. al. [Ža13]	11
3.5	Nguyen et. al. [dG08]	11
3.6	Sanchez et. al. [Nav14]	12
3.7	Shajahan et. al. [Ana13]	13
3.8	Han et. al. [sCIL11]	13
3.9	Inoue et. al. [Kub03]	14
3.10	FJS Coelho [Coe15]	15
3.11	Análise dos Trabalhos	16
3.12	Síntese dos Trabalhos	17
4	Desenvolvimento do Sistema	18
4.1	Visão Geral do Sistema	18
4.1.1	Arquitetura de Hardware	21
4.1.2	Servidor e Aplicação <i>Web</i>	23
4.2	Banco de Dados	24
4.2.1	Modelagem do Banco	24
4.2.2	Salvando Informações no Banco	28
4.3	Funcionamento do Sistema	31

4.4	Funcionalidades do Sistema de Monitoramento	35
4.4.1	Informações de Corrente e Tensão	35
4.4.2	Informações de Potência	35
4.4.3	Informações de Consumo	35
4.4.4	Medição em Tempo Real	36
4.4.5	Histórico de Medições	36
4.4.6	Ligar/desligar Carga	37
4.4.7	Proteção Contra Sobrecarga	38
4.4.8	Comparar Consumo Mensal	38
4.4.9	Gráfico de Meta	38
5	Resultados	39
5.1	Ligar/Desligar Carga	40
5.2	Proteção Contra Sobrecarga	41
5.3	Gráfico de Medições em Tempo Real	42
5.4	Histórico de Medições	44
5.5	Informações de Medições	45
5.6	Consumo por Laboratório e por Equipamento	46
5.7	Tabela de Comparação	47
6	Conclusão e Trabalhos Futuros	49
A	Visão Geral do Banco de Dados	50

Lista de Figuras

2.1	Configuração estrela.	5
2.2	Configuração triângulo.	6
3.1	Sistemas para gerenciamento de energia em residências por Han et. al. [sCIL11].	9
3.2	Arquitetura da ferramenta de gerência por AM Braga et. al. [dSPKFC].	9
3.3	(a) Tela principal do aplicativo e (b) Dados da leitura do medidor por AM Braga et. al. [dSPKFC].	10
3.4	Interface para gerar gráficos por AM Braga et. al. [dSPKFC].	10
3.5	Exibição das informações através de display ou via <i>web</i> por GJ de Paula [dP13].	11
3.6	Arquitetura de rede proposta por Sanchez et. al. [Nav14].	12
3.7	Interface do usuário por Sanchez et. al. [Nav14].	13
3.8	Interface do usuário por Han et. al. [sCIL11]: (a) Consumo total da residência. (b) Consumo de cada equipamento.	14
3.9	Informações de consumo exibidas para o usuário por Inoue et. al. [Kub03].	15
3.10	Proteção contra sobrecargas - Exemplo de funcionalidade do sistema desenvolvido por FJS Coelho [Coe15].	15
4.1	Estrutura geral do sistema.	18
4.2	Visão do hardware do sistema.	21
4.3	Estrutura de hardware para coleta de informações na subestação.	22
4.4	Rede para coleta de informações nos laboratórios.	22
4.5	Estrutura de hardware para coleta e exibição das informações dos laboratórios.	23
4.6	Parte do sistema responsável pelo monitoramento de forma remota.	23
4.7	Modelagem do banco para as subestações.	25
4.8	Modelagem do banco para os laboratórios e seus equipamentos.	26
4.9	Modelagem do banco para os equipamentos e suas medições.	27
4.10	Tabelas para salvar informações das redes e dos nós.	27
4.11	Diagrama de sequência para salvar informações vindas do <i>gateway</i> no banco de dados.	29
4.12	Exemplo de um dado <i>JSON</i> simplificado enviado pelo <i>gateway</i> para servidor.	30
4.13	Exemplo de dado <i>JSON</i> enviado do servidor para o <i>gateway</i> .	30
4.14	Exemplo de dado <i>JSON</i> enviado do <i>gateway</i> para o servidor para inserir novas medições.	31
4.15	Cenário retratando criação de novo laboratório pelo usuário.	32
4.16	Cenário retratando acesso pelo usuário as informações das subestações.	33
4.17	Cenário retratando acesso pelo usuário as informações dos laboratórios.	34

4.18	Pesquisa por data.	37
4.19	Pesquisa considerando os últimos anos, meses ou registros.	37
5.1	Lista de subestações.	39
5.2	Lista de laboratórios.	39
5.3	Lista de equipamentos.	40
5.4	Gráfico da carga ligada.	40
5.5	Gráfico de carga desligada de forma remota.	41
5.6	Gráfico de carga ligada de forma remota.	41
5.7	Teste da funcionalidade de proteção contra sobrecargas.	42
5.8	Carga desligada para proteção contra sobrecarga.	42
5.9	Gráfico de medições em tempo real de um equipamento.	43
5.10	Gráfico de medições em tempo real de uma subestação.	43
5.11	Histórico de medições a partir de pesquisa por data.	44
5.12	Histórico de medições a partir de pesquisa por número de registros recentes.	45
5.13	Histórico de medições considerando os últimos 2 anos e uma taxa de amostragem de meses.	45
5.14	Informações de medições de um equipamento.	46
5.15	Informações de medições de uma subestação.	46
5.16	Informações de consumo geral.	46
5.17	Comparação de consumo entre equipamentos.	47
5.18	Comparação de consumo entre laboratórios.	47
A.1	Modelagem geral do banco de dados utilizado no sistema .	50

Lista de Tabelas

3.1	Comparação das soluções.	17
4.1	Requisitos do sistema.	20
5.1	Comparação do sistema proposto com outras soluções.	48

CAPÍTULO 1

Introdução

Neste capítulo será abordado o modelo atual para gerenciamento do consumo de energia nas residências do país, levando em consideração o sistema elétrico brasileiro e suas limitações. Também será discutido os fatores que levam a utilização das chamadas redes inteligentes (*Smart Grids*) e suas vantagens. Considerado o que foi dito, é explicado o contexto em que o trabalho foi desenvolvido, assim como sua motivação e os objetivos a serem alcançados. Por fim, a estrutura deste documento é apresentada.

1.1 Considerações Gerais

Atualmente, o consumo racional de energia é um dos temas mais debatidos dentro do contexto de sustentabilidade, visto que a maior parte da energia consumida vem de fontes não renováveis [dP13]. Considerando o modelo atual para gerenciamento do consumo de energia no país, não existem informações suficientes que possibilitam ao consumidor entender como está sendo a utilização do consumo elétrico dentro de sua residência. As únicas informações disponíveis vêm por meio de faturas que informam apenas o valor do consumo mensal e o histórico do consumo dos últimos doze meses [Coe15].

Para resolver os problemas encontrados neste modelo atual, surge o que se conhece por *Smart Grid* (SG). *Smart Grid* é uma rede elétrica inteligente, resultante da inclusão de dispositivos embarcados na rede elétrica. Estes dispositivos são responsáveis pelo gerenciamento da energia consumida, coletando informações da rede. Estas informações podem servir para geração de relatórios ou gráficos, possibilitando ao consumidor uma visão mais clara de como está sendo o consumo energético em sua residência. Um exemplo disto é a possibilidade de mostrar quais dos equipamentos eletrônicos consomem mais energia. Com isto, medidas de conscientização para economia do consumo de energia podem ser tomadas.

Para este trabalho, será utilizada como base a infraestrutura do Centro de Informática (CIn). O CIn possui diversos setores como, por exemplo, laboratórios (contendo *desktops* e outros equipamentos eletrônicos), salas de aula, salas para professores e banheiros. Estes diferentes setores são constantemente frequentados por um número considerável de pessoas, incluindo alunos, professores, funcionários e visitantes. Dentre os diversos setores que fazem parte do CIn, praticamente todos os espaços são completamente refrigerados, tendo em vista a grande quantidade de máquinas disponíveis nos laboratórios, associado ao diferencial que o CIn oferece de funcionar 24hs por dia nos 7 dias da semana. Tais aspectos contribuem para que o CIn tenha um consumo de energia bastante elevado.

O sistema proposto possibilitará ao usuário uma visão mais clara do consumo de energia dentro do centro de informática. Será possível o gerenciamento do consumo elétrico de forma remota, via browser. O acesso remoto visa facilitar para o usuário o monitoramento da energia consumida. O sistema contará com informações como o histórico de consumo por equipamento, porcentagem de consumo por equipamento, entre outras, sendo possível a adoção de medidas para economia de energia.

1.2 Motivação

Como já mencionado, no Brasil, o modelo para gerenciamento do consumo elétrico de uma residência possui suas limitações. Existe uma deficiência de informações e como consequência o usuário não compreende a utilização de energia dentro de sua casa. No modelo atual, o consumidor brasileiro tem conhecimento apenas do valor do consumo mensal e do histórico dos últimos doze meses. Estas informações não são suficientes para a adoção de medidas eficazes para controlar o consumo de energia.

Uma das medidas que está ao alcance do consumidor, para a diminuição do valor da conta de energia, é a redução na utilização dos aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos. Esta medida causa um impacto significativo no conforto do usuário. Além de afetar diretamente o consumidor, esta medida pode não obter os resultados esperados, visto que o usuário não tem conhecimento de quais aparelhos contribuem mais para o aumento no valor da conta.

Uma solução é, portanto, a utilização de tecnologias baseadas em *smart grids*, possibilitando o monitoramento do consumo energético no local. Isto seria possível através das informações coletadas da rede elétrica do ambiente. A partir destas informações, medidas mais concretas e eficazes podem ser tomadas para redução do consumo energético. Além disto, esta solução não afeta de forma negativa a comodidade do usuário.

Segundo Han et. al [sCIL11], conforme novos produtos são desenvolvidos, o consumo residencial tende a crescer exigindo uma gestão de consumo mais eficiente. Dessa forma, a crescente demanda por energia deve ser conciliada com as preocupações ambientais que envolvam todo o ciclo de energia, desde a geração até o consumo [Sma11]. De acordo com Wheeler et. al. [Bru12], o acesso as informações coletadas da rede elétrica auxilia com uma redução do consumo energético, pelo próprio consumidor, entre 10% e 20%. Em [K05], estudos descobriram que 10% de economia de energia foi alcançada através de um sistema de monitoramento que fornece informação de consumo em tempo real.

Considerando o alto consumo energético do CIn, devido a grande quantidade de máquinas disponíveis, associado ao diferencial que o CIn oferece de funcionar 24hs por dia nos 7 dias da semana, é necessário um sistema que permita o monitoramento do consumo elétrico do centro. Este sistema deve ser capaz de coletar informações da rede elétrica do CIn, permitindo acesso a estas informações pelo usuário. Com isto, o consumidor terá uma visão mais clara do consumo energético e, conseqüentemente, poderá adotar medidas para melhor utilização da energia no centro.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema que permita o monitoramento, de forma remota, do consumo de energia dentro do Centro de Informática. Este sistema será constituído por um banco de dados e uma aplicação *web*, ambos rodando em um servidor. A ideia é que, através das informações coletadas da rede elétrica, o usuário consiga visualizar, de forma clara e onde quer que ele esteja, como está sendo o consumo do local (neste caso será o CIn). A partir disto, medidas para diminuição do consumo de energia podem ser tomadas.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto pelos seguintes capítulos:

- No capítulo 2 é apresentado os conceitos necessários para melhor entendimento do trabalho. Neste capítulo são explicados os principais conceitos sobre medição de energia elétrica.
- No capítulo 3 são apresentados trabalhos do estado da arte e produtos presentes no mercado que possuem relação com o objetivo proposto por este projeto. Uma análise destes trabalhos é feita, através da comparação de suas funcionalidades.
- No capítulo 4 é apresentado a visão geral do sistema proposto, assim como sua infraestrutura e suas funcionalidades. É explicado, de forma detalhada, todas as etapas necessárias durante o desenvolvimento até chegar no sistema final.
- No capítulo 5, os resultados, com base nos testes das funcionalidades do sistema, são apresentados e discutidos. Ao final do capítulo, é mostrado um comparativo do sistema proposto com os trabalhos expostos no capítulo 3.
- Por fim, o capítulo 6 traz as considerações finais assim como possíveis trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

Este capítulo tem como objetivo o embasamento teórico necessário para a resolução do problema apresentado no capítulo anterior. Nele serão explicados os principais conceitos sobre medição de energia elétrica.

2.1 Medidor de Energia Elétrica

O medidor de energia foi criado em 1888 por Oliver Blackburn Shallenberger baseado num medidor de *ampère-hora* para corrente alternada. É um equipamento eletrônico utilizado por uma entidade fornecedora de energia elétrica para medir o quanto de energia elétrica foi consumida. Desde sua invenção, o medidor de *quilowatt-hora* (*kWh*) passou a ser utilizado pelas concessionárias para medir os gastos de energia elétrica mensalmente, em *kWh*, nas residências, comércios e empresas [dP13]. Existem dois tipos de medidores: eletromecânico e eletrônico.

O medidor de energia eletromecânico remota a mais de cem anos e sua tecnologia é robusta, sendo ainda o mais utilizado no mercado brasileiro [Mí07]. Mesmo com os aperfeiçoamentos ocorridos ao longo do tempo, a indução continuou sendo seu mais importante princípio de funcionamento [dP13].

Os medidores de energia elétrica eletromecânicos se dividem em dois tipos: os monofásicos (um elemento); os polifásicos (dois ou três elementos). Nas residências é mais comum a utilização da ligação monofásica, já que o consumo residencial, normalmente, não ultrapassa a quantidade de *quilowatts* suportada por esse tipo de rede.

A tecnologia de medição eletrônica garante melhor exatidão que os medidores eletromecânicos, a partir de informações mais detalhadas sobre o consumo. Ao contrário dos medidores eletromecânicos que medem apenas o consumo de potência ativa, os medidores eletrônicos podem medir potência reativa, potência aparente, demanda máxima, fator de potência, tensão e corrente, e ainda o uso de memória de massa para registro do consumo com informação de data e hora [dP13]. O medidor pode ser monitorado via *internet*.

2.2 Energia Elétrica

Energia elétrica é uma forma de gerar energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico entre dois pontos, que permitem estabelecer uma corrente elétrica entre ambos.

A energia elétrica necessária para o funcionamento de equipamentos é formada por duas componentes: a componente ativa (energia ativa) e a componente reativa (energia reativa).

1. A energia ativa é medida em kWh . Esta é a energia que executa trabalho. Por exemplo, esta é a energia responsável pelo movimento rotacional para o funcionamento dos motores.
2. A energia reativa, medida em $kVarh$, não realiza trabalho. Esta energia é consumida pelos equipamentos para a geração de campos eletromagnéticos necessários para o funcionamento dos equipamentos.

Quando o transformador é monofásico, a ligação entre ele e o local abastecido pela energia elétrica é feita apenas com dois fios: uma fase e um neutro. Só se utiliza esta rede quando os equipamentos possuem potência máxima de 8000 *Watts* [FeM].

Esta rede é utilizada quando a soma de todos os valores em *Watts* dos equipamentos, dentro de uma residência, ultrapassa 8000 *Watts*. A rede de entrada, neste caso, será de quatro fios, sendo três as fases e um o neutro [Dmb].

Os sistemas trifásicos de energia elétrica são compostos de três tensões alternadas. Logo, o conjunto composto por estes três sinais de tensão, que estão defasados de 120 graus, são responsáveis pela transmissão de energia elétrica. Existem duas configurações que permitem a conexão das cargas trifásicas ao sistema. Estas configurações são as seguintes:

- Estrela (Y): Nesta configuração, uma das três fases é conectada a um dos terminais das cargas. O outro terminal é interligado a um ponto comum (neutro). Isto faz com que as tensões de fase sejam aplicadas na carga. Figura 2.1.
- Triângulo (delta): Nesta configuração, um terminal de uma carga é conectado a um dos terminais de outra carga. As fases são conectadas no ponto de junção destas cargas. Figura 2.2.

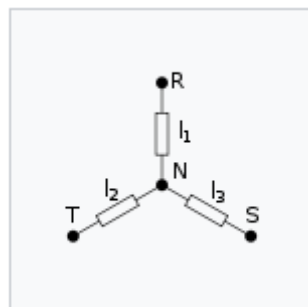


Figura 2.1 Configuração estrela.

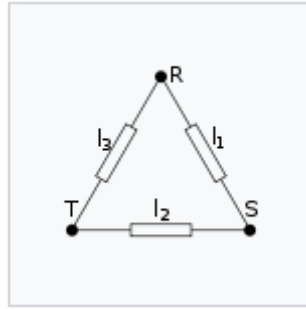


Figura 2.2 Configuração triângulo.

2.3 Potência

A potência é uma grandeza física que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. Esta grandeza tem como definição uma relação diretamente proporcional entre tensão e corrente elétrica.

$$P = VI \quad (2.1)$$

apresenta o cálculo para a potência instantânea, onde P é a potência instantânea, dada em *Watts*, V é a tensão, dada em *Volts* e I é a corrente elétrica, dada em *Amperes*.

Um *watt* corresponde a potência de um equipamento que fornece a energia de um *joule* em cada segundo. Pode-se utilizar, no lugar da unidade (W), os seus múltiplos, como por exemplo, *quilowatt* (kW), *megawatt* (MW) e *gigawatt* (GW).

Para uma corrente alternada trifásica, estando a corrente alternada em equilíbrio, a potência fornecida é dado por $P_3 = VI\sqrt{3}$, onde V é a tensão entre as fases e I é a corrente presente em uma das fases.

2.3.1 Potência Ativa, Reativa e Aparente

A potência ativa é uma grandeza elétrica que mede o valor médio da potência instantânea em um determinado período de tempo. A potência ativa é a potência que realiza trabalho.

$$P = UI.\cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.2)$$

apresenta o cálculo para a potência ativa, onde P é a potência ativa, dada em *Watts*, U é a tensão, dada em *Volts*, I é a corrente elétrica, dada em *Amperes*, θ_v é o ângulo de fase da tensão e θ_i é o ângulo de fase da corrente elétrica.

A potência reativa, por sua vez, não realiza o trabalho em si. A potência reativa pode ser armazenada no campo magnético de um indutor ou no campo elétrico de um capacitor.

$$Q = UI.\sen(\theta_v - \theta_i) \quad (2.3)$$

apresenta o cálculo para a potência reativa, onde Q é a potência reativa, dada em *Var*, U é a tensão, dada em *Volts*, I é a corrente elétrica, dada em *Ampères*, θ_v é o ângulo de fase da tensão e θ_i é o ângulo de fase da corrente elétrica.

A potência aparente é o módulo da soma quadrática de potencia ativa e reativa, dada em Volt-Ampère (*VA*). Por isso, as relações entre potência ativa, reativa e aparente, podem ser representadas por um triângulo de potências.

$$|s| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.4)$$

apresenta o cálculo para a potência aparente, onde s é a potência aparente, dada em *VA*, P é a potência ativa, dada em *W*, e Q é a potência reativa, dada em *Var*.

2.3.2 Fator de Potência

O fator de potência serve para indicar a eficiência do uso da energia e é definido matematicamente como a razão entre duas quantidades representadas pela mesma unidade de potência, a potência ativa e a potência aparente,

$$FP = \frac{P}{S} \quad (2.5)$$

A partir disto pode-se deduzir que, um fator de potência elevado indica uma alta eficiência no consumo de energia. Já um fator de potência baixo indica pouca eficiência energética.

$$FP = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.6)$$

Outra forma de se representar o fator de potência é através da Equação 2.6. Esta equação indica se a corrente está adiantada ou atrasada em relação a tensão, ou seja, se $\theta_v - \theta_i$ é negativo ou positivo (carga capacitiva ou indutiva) [Fil02].

2.3.3 Valor Eficaz

O valor eficaz ou raiz do valor quadrático médio ou *RMS* é calculado da seguinte forma:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_N^2}{N}} \quad (2.7)$$

São utilizados os valores eficazes de corrente e tensão nas fórmulas anteriores para cálculo de potência.

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão bibliográfica a partir de trabalhos que mais se assemelham ao propósito deste trabalho de graduação. Ao final do capítulo, os trabalhos apresentados são comparados a partir de uma tabela. Esta tabela contém as funcionalidades que são consideradas as mais relevantes para o sistema desenvolvido neste projeto.

3.1 Introdução

No trabalho de Alahmad et. al. [Bru12] é mostrado que o feedback em tempo real apresenta a oportunidade de reduzir o consumo residencial. Porém, esta redução depende de quais informações são exibidas para o consumidor, além do que, é necessário levar em conta como essas informações são exibidas. Dessa forma tornou-se uma necessidade dar às pessoas o acesso a dados sobre o seu uso de energia [Ana13]

Já existem produtos no mercado que auxiliam o consumidor no gerenciamento do consumo elétrico. Estes produtos são constituídos basicamente por um display, onde é exibida a quantidade de energia consumida por um determinado eletrodoméstico. O medidor funciona como ponte entre a tomada e o eletrodoméstico. Porém, estes medidores possuem a limitação de medir apenas cargas individuais, tornando as informações geradas insuficientes para o consumidor.

Outro fator importante para o consumidor que deseja monitorar o consumo energético de sua residência, é o custo do sistema utilizado para este propósito. A Figura 3.1 (a) mostra as informações de consumo energético dentro de uma residência, a partir de uma aplicação *web*, em [Kub03]. A figura ilustra o consumo semanal e diário de cada dispositivo presente no local e o consumo geral de todos os dispositivos. A Figura 3.1 (b) mostra outros exemplos de sistemas via *web* para gerenciamento do consumo energético dentro de uma residência. O usuário pode acessar o sistema através de um celular, por exemplo, e com isto é feito o controle de cada equipamento com a finalidade de reduzir o consumo energético. Esta redução só é possível porque o usuário tem acesso as informações, tanto de consumo total da residência como consumo individual de cada equipamento.

A seguir serão relatados alguns trabalhos relevantes que propõem alternativas para o usuário gerenciar o seu consumo energético.

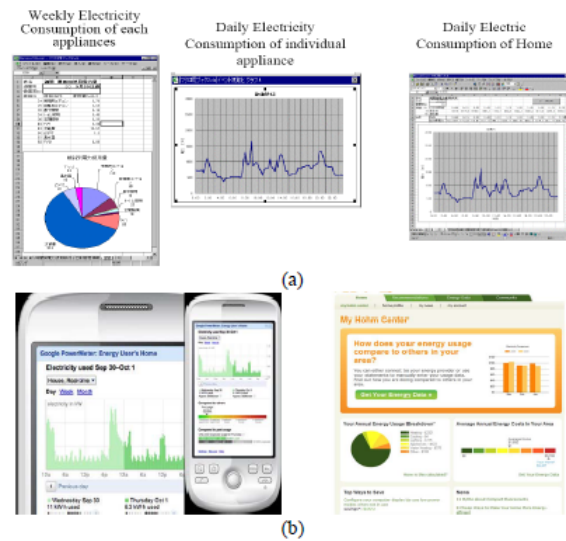


Figura 3.1 Sistemas para gerenciamento de energia em residências por Han et. al. [sCIL11].

3.2 AM Braga et. al. [dSPKFC]

A ferramenta deste trabalho é composta por: um aplicativo Android e um servidor remoto. A funcionalidade básica para gerenciamento do consumo, neste trabalho, consiste em se utilizar dispositivos móveis para estabelecer conexão com medidores digitais. As informações de consumo do medidor são coletadas e os dados coletados são transmitidos para um servidor remoto. O servidor armazena estes dados em um banco de dados e com base nesses dados gera gráficos de consumo de energia.

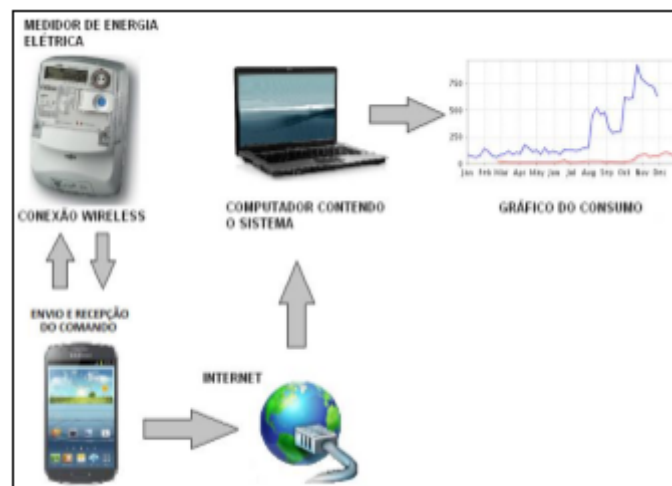


Figura 3.2 Arquitetura da ferramenta de gerência por AM Braga et. al. [dSPKFC].

O aplicativo android desenvolvido permite ao usuário funções como:

- Conectar a algum medidor de energia existente, utilizando tecnologia bluetooth.
- Receber informações do medidor após ter sido efetuada a conexão (consumo em Watt-hora, potência reativa indutiva e potência reativa capacitiva)
- Enviar os dados de um medidor específico para um servidor remoto. A partir destes dados, é possível visualizar o histórico de consumo mensal ou anual do equipamento diretamente relacionado ao medidor, através de gráficos.
- O usuário também pode especificar uma meta para a energia que ele deseja consumir e o gráfico mostrará se ele está se mantendo abaixo do valor desejado.

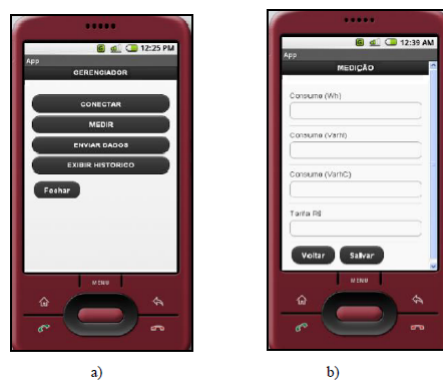


Figura 3.3 (a) Tela principal do aplicativo e (b) Dados da leitura do medidor por AM Braga et. al. [dSPKFC].



Figura 3.4 Interface para gerar gráficos por AM Braga et. al. [dSPKFC].

3.3 GJ de Paula [dP13]

Neste trabalho é proposto um medidor de consumo de energia elétrica com acesso remoto para melhor visualização dos dados, possibilitando assim ao usuário gerenciar o consumo de

energia. Levando em consideração que, os sistemas atuais para medição de energia elétrica baseiam-se em medidas puras de corrente, tensão e energia consumida em kwh, este trabalho foca no diferencial de disponibilizar, além das medições convencionais, informações como potência aparente, potência ativa, potência reativa e fator de potência, através de um display ou via *web*.



Figura 3.5 Exibição das informações através de display ou via *web* por GJ de Paula [dP13].

3.4 Horvat et. al. [Ža13]

Horvat et. al. [Ža13] apresenta em seu trabalho uma tomada inteligente e de baixo custo, denominada POOPM (Power Outlet Overload Protection and Monitoring). Esta tomada é capaz de estimar o consumo de energia de uma carga e protegê-la contra sobrecargas. As informações referentes ao consumo são exibidas para o usuário através de uma interface amigável.

Em comparação com as soluções existentes, o sistema proposto é mais rentável e fornece mais funcionalidades do que produtos comerciais similares. O valor do consumo de energia é estimado através do valor da corrente elétrica e, com isto, o sistema de medição montado apresentou erros de medição máximos de 10% do valor real da carga.

3.5 Nguyen et. al. [dG08]

Neste trabalho é proposto um sistema capaz de prover a medição do consumo dentro da residência, utilizando tecnologias de baixo custo. Este sistema também provê o controle de forma remota através do telefone celular ou computador.

Para a medição de potência Nguyen et. al. [dG08] empregou o circuito integrado ADE7757, cuja principal característica é a medição de alta precisão. Além disto, o sistema proposto é

capaz de executar funções como ligar e desligar carga e proteção contra sobrecarga e surtos de sobretensão.

3.6 Sanchez et. al. [Nav14]

Sanchez et. al. desenvolveu um sistema constituído por um conjunto de smart plugs. Estes smart plugs conseguem se comunicar com um servidor utilizando wi-fi. O trabalho apresentado neste artigo possibilita ao usuário monitorar o consumo energético de uma carga, através de uma página *web*. Algumas das funcionalidades apresentadas são: desligamento automático de um equipamento em caso de sobrecarga, sendo o valor de sobrecarga definido pelo usuário; desligamento de um equipamento, de forma imediata e manual.



Figura 3.6 Arquitetura de rede proposta por Sanchez et. al. [Nav14].

Sanchez et. al. [Nav14] buscou desenvolver um sistema capaz de consumir a menor quantidade de energia possível. Neste sistema o usuário pode definir quanto cada aparelho poderá gastar antes de ser desligado pelo sistema com referência no valor cobrado pela concessionária de energia.

A partir da página da *web*, o usuário pode monitorar o consumo em tempo real, além do seu histórico. Além disso, informando o valor da tarifa, o usuário pode ver o custo econômico em qualquer momento instantâneo.

O sistema também é capaz de lidar com todos os tipos de alarmes definidos pelo usuário. Estes alarmes notificam em caso de acidente. O usuário é capaz de configurar para receber as notificações através de e-mail. Para a geração dos gráficos e estatísticas de consumo, a aplicação acessa um banco de dados, neste caso o MySQL, que guarda todas as informações supridas por cada um dos smart plugs presentes no sistema.

Além disto, a implantação de sensores nas proximidades, para temperatura e iluminação, por exemplo, permite ao usuário detectar a temperatura do ambiente do local e, de forma remota, controlar o ar condicionado. O sistema também pode detectar a iluminação e esta informação pode servir de precaução em caso de roubo (ligar as luzes durante a noite em caso de ausência).

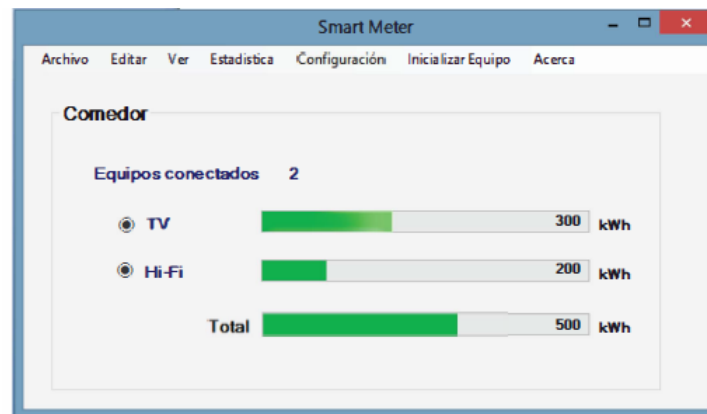


Figura 3.7 Interface do usuário por Sanchez et. al. [Nav14].

3.7 Shajahan et. al. [Ana13]

Shajahan et. al. [Ana13] apresenta um smart plug utilizando plataformas abertas como arduino e o sistema operacional android, permitindo o gerenciamento do consumo de energia de forma remota.

Para a medição de corrente, Shajahan et. al. [Ana13] opta pela técnica não-invasiva, utilizando um sensor de corrente do tipo TC (Transformador de corrente). Para o cálculo da potência, o sinal proveniente do TC é enviado para o módulo ADC do arduino e então multiplicado por 230 V.

Na validação do sistema, foi utilizado o smart plug para identificar e desconectar cargas desnecessárias. Analisando dados ao final do terceiro dia de experimentos, foi possível obter uma economia de energia de 15%.

3.8 Han et. al. [sCIL11]

Em [Par09], é mostrado que a média de consumo de energia de um aparelho em modo stand by é de 10% do consumo geral da residência. Logo, em Han et. al. [sCIL11] é proposto um sistema capaz de medir o consumo de cargas remotamente e reduzir os gastos de energia de equipamentos em stand by.

A rede é composta de Hub's ZigBee. Cada cômodo da casa possui um Hub único, capaz de monitorar o consumo de lâmpadas e das cargas ligadas a uma tomada. As informações de consumo são enviadas periodicamente para um servidor. Estas informações são analisadas, sendo possível ao usuário verificar o consumo instantâneo de cada aparelho ou o total de energia consumida em sua casa.

A Figura 3.8 mostra as informações exibidas pelo sistema desenvolvido neste trabalho. A Figura 3.8 (a) ilustra a tendência do consumo de energia total de acordo com o tempo. Também

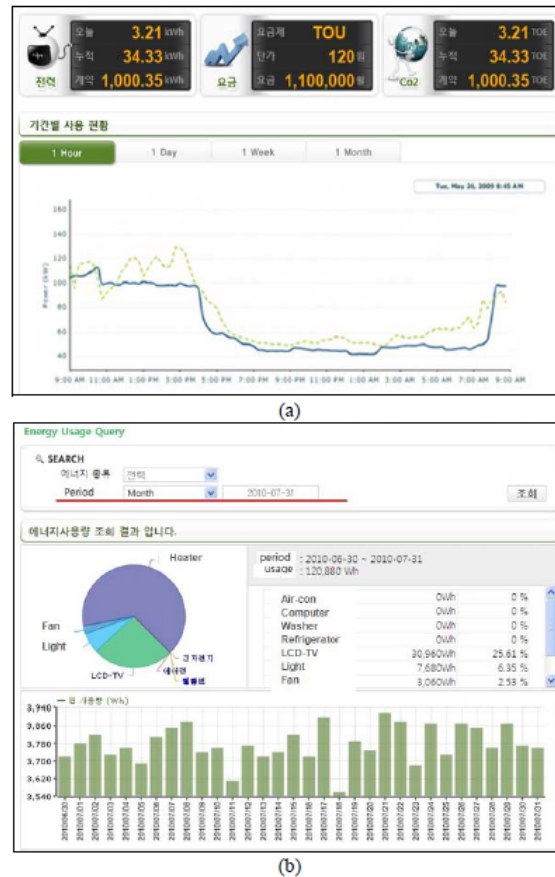


Figura 3.8 Interface do usuário por Han et. al. [sCIL11]: (a) Consumo total da residência. (b) Consumo de cada equipamento.

é exibido o preço e a quantidade de dióxido de carbono. A Figura 3.8 (b) exibe os resultados da utilização de energia durante um período específico. O gráfico de pizza ilustra a taxa de consumo de energia por cada dispositivo. A tabela apresenta o consumo de cada equipamento. Com estas informações, o usuário pode descobrir detalhadamente as informações de utilização de energia e assim tomar decisões para reduzir o consumo dentro de sua residência.

3.9 Inoue et. al. [Kub03]

Este paper propõe uma arquitetura de rede para um sistema de gerenciamento de energia em uma residência. As informações providas por este sistema para economizar energia são o consumo diário e mensal de energia, além do consumo do gás. Pode-se encontrar também informações de taxa de consumo por equipamento, através de um gráfico de pizza, sendo possível a identificação de qual equipamento consome mais. Consumos de eletricidade em intervalos de 15 minutos são exibidos para auxiliar o usuário a economizar energia. A Figura 3.9 ilustra as funcionalidades deste sistema.

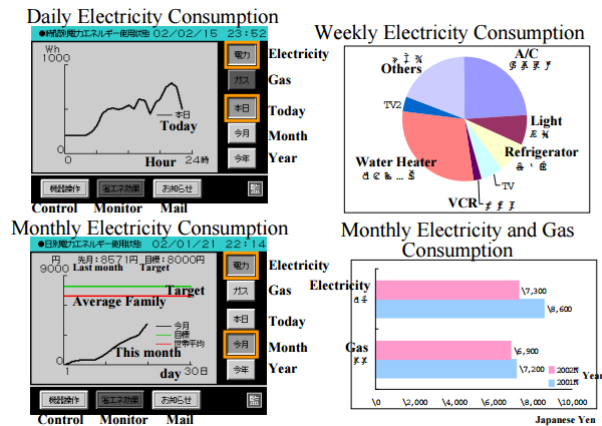


Figura 3.9 Informações de consumo exibidas para o usuário por Inoue et. al. [Kub03].

3.10 FJS Coelho [Coe15]

Este trabalho apresenta uma infraestrutura capaz de prover ao usuário residencial dados em tempo real sobre os seus hábitos de consumo. A infraestrutura desenvolvida foi submetida a um conjunto de cenários para a análise de suas funcionalidades. Esse conjunto de cenários foi especificado como: Acionamento de carga, Medição de Tensão, Proteção contra Sobrecarga, Controle do Consumo de Energia, Histórico de Medidas, entre outros.

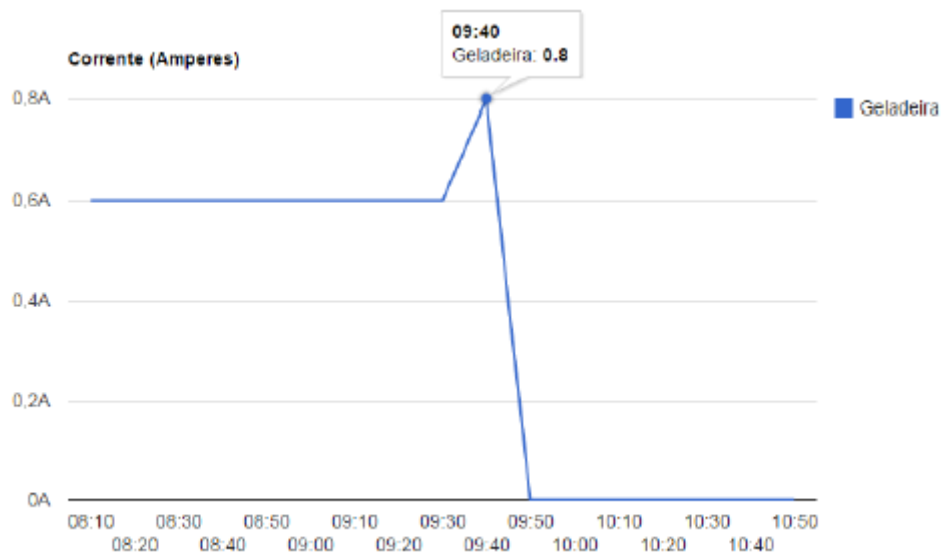


Figura 3.10 Proteção contra sobrecargas - Exemplo de funcionalidade do sistema desenvolvido por FJS Coelho [Coe15].

3.11 Análise dos Trabalhos

Para a análise dos trabalhos anteriores, é apresentado uma tabela composta com todas as funcionalidades que mostram-se necessárias para um sistema de gerenciamento de consumo de energia em um ambiente. A partir desta tabela é possível fazer um comparativo de todas as soluções expostas.

A numeração da coluna nas tabelas tem a seguinte relação com as soluções:

1. AM Braga et. al. [dSPKFC]
2. GJ de Paula [dP13]
3. Horvat et. al. [Ža13]
4. Nguyen et. al. [dG08]
5. Sanchez et. al. [Nav14]
6. Shajahan et. al. [Ana13]
7. Han et. al. [sCIL11]
8. Inoue et. al. [Kub03]
9. FJS Coelho [Coe15]

Funcionalidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ligar/Desligar Carga	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Proteção Contra Sobre-carga	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
Histórico de Medições	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Medições em Tempo Real	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Consumo por Equipamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Informação de qual Equipamento está Consumindo mais	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Informações de Potência	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
Potência Ativa, Reativa, Aparente e Fator de Potência	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Informações de Corrente	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim

Informações de Tensão	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim
Informações de Consumo (kWh)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Meta de Consumo	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Informações de Temperatura	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Informações de Presença	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Porcentagem	43%	50%	50%	50%	64%	50%	36%	36%	64%

Tabela 3.1: Comparação das soluções.

3.12 Síntese dos Trabalhos

Neste capítulo, foram analisadas nove propostas com um objetivo em comum: auxiliar o consumidor no gerenciamento do consumo energético dentro de sua residência, a partir de informações coletadas da rede elétrica. Estas informações permitem ao usuário entender e tomar medidas necessárias para redução do uso de energia.

É comum soluções que se limitam a dar informações apenas de corrente e tensão, e com isto potência, de uma carga presente na rede. O diferencial que pode ser identificado nos trabalhos propostos é a possibilidade do usuário visualizar informações adicionais de medições, como potência reativa, potência ativa e fator de potência. Além disto, é interessante a visualização dos dados em forma de gráficos, permitindo ao usuário, a partir de uma busca, observar e analisar o histórico de consumo.

Outro diferencial nas propostas é a exibição de informações que não se limitam ao consumo individual dos equipamentos. Por exemplo, uma boa opção é a geração de gráficos de pizza que permita ao consumidor identificar qual equipamento consome mais comparado com os outros. O consumo total dentro da residência também é uma informação útil. Por fim, nota-se a preocupação em desenvolver soluções onde exista proteção contra sobrecarga.

CAPÍTULO 4

Desenvolvimento do Sistema

A partir das soluções expostas no capítulo anterior, é desenvolvido um sistema para monitoramento do consumo de energia, levando como base a infraestrutura do Centro de Informática. O sistema é implementado considerando as funcionalidades mais relevantes para ser possível gerenciar o consumo energético de forma eficiente.

Neste capítulo é apresentado a visão geral do sistema proposto, assim como sua infraestrutura e suas funcionalidades. É explicado, de forma detalhada, todas as etapas necessárias durante o desenvolvimento até chegar ao sistema final.

4.1 Visão Geral do Sistema

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema que possibilite ao consumidor monitorar o consumo de energia dentro do CIn.

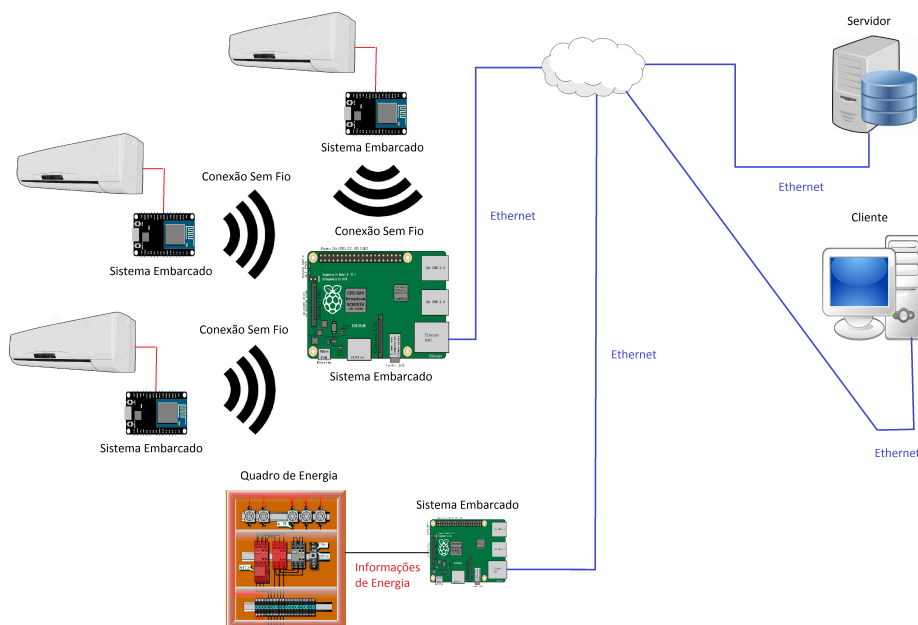


Figura 4.1 Estrutura geral do sistema.

A Figura 4.1 mostra a estrutura geral do sistema, considerando os componentes utilizados para medição e as interfaces de comunicação. Este projeto tem foco apenas no lado servidor e cliente. Ou seja, o desenvolvimento deste projeto se resume em um servidor remoto (Figura 4.1 Servidor), contendo um banco de dados e uma aplicação *web*. Esta aplicação será exibida para o usuário (Figura 4.1 Cliente) visando o monitoramento do consumo da rede de forma remota.

O sistema toma como base a infraestrutura do Centro de Informática, por isso algumas considerações devem ser feitas para a sua implementação. O sistema divide o CIn em dois grupos: **subestação** e **laboratórios**. Para o primeiro grupo, subestação, o sistema irá coletar informações do quadro de energia do centro, e com isto será possível calcular parâmetros como potência reativa, potência ativa, entre outros. O segundo grupo é composto pelos laboratórios do centro. Os laboratórios do CIn são constituídos por equipamentos como ar-condicionados e computadores. Neste segundo grupo, além do sistema coletar informações de medições destes dispositivos, haverá também a coleta de informações como presença (se existe algum indivíduo no laboratório) e temperatura do ambiente. Na Tabela 4.1 é detalhado alguns requisitos do sistema para melhor entendimento do que foi discutido.

Requisito	Descrição
Requisitar a Desativação/Ativação de Cargas (Cliente)	O sistema deverá permitir que o usuário envie o comando ao servidor para desligar/ligar uma ou mais cargas, de forma remota.
Exibir Informações das Cargas (Cliente)	O sistema deverá exibir ao usuário informações diversas das cargas (como ligada ou desligada, informações dos sensores presentes na carga, entre outras), especificando hora e lugar. Estas informações serão passadas ao usuário pelo servidor.
Exibir Informações da Subestação (Cliente)	O sistema deverá exibir ao usuário informações diversas da subestação (como corrente, tensão, potência ativa, potência reativa, fator de potência, entre outras), especificando hora e lugar. Estas informações serão passadas ao usuário pelo servidor.
Armazenar dados das cargas (Gateway)	O sistema deverá armazenar, através do <i>Gateway</i> , as informações recebidas das cargas, a partir de uma comunicação sem fio.
Armazenar dados da subestação (Gateway)	O sistema deverá armazenar, através do <i>gateway</i> , as informações recebidas da subestação a partir de uma comunicação com fio, via ethernet.
Enviar dados das cargas e subestação (Gateway)	O sistema deverá permitir o envio, para o servidor, das informações armazenadas pelo <i>gateway</i> , através de uma comunicação com fio.
Comando Desativar/Ativar Cargas (Gateway)	O <i>gateway</i> deverá enviar um comando ao hardware presente na carga, para desligar/ligar a carga, de acordo com a requisição do usuário. A comunicação será sem fio.

Desligar/Ligar Carga (Embarcado)	O hardware presente na carga deverá desligá-la/ligá-la de acordo com o comando, recebido pelo <i>gateway</i> .
Identificar Presença (Embarcado)	O sistema deverá identificar a presença de pessoas no local onde se encontra a carga. Esta informação será exibida ao usuário como uma informação da carga, o que possibilita a tomada de decisão para desligar ou não a carga.
Informar Temperatura (Embarcado)	O sistema deverá informar a temperatura do ambiente onde se encontra a carga. Esta informação será exibida ao usuário como uma informação da carga, o que possibilita a tomada de decisão para desligar ou não a carga.
Medir Corrente	O sistema deverá medir a corrente das fases TC no quadro de energia, o que servirá como uma informação da subestação a ser exibida ao usuário. Além disto, o sistema deverá medir a corrente dos equipamentos presentes nos laboratórios para exibição ao usuário.
Medir Tensão	O sistema deverá medir a tensão das fases TP no quadro de energia, o que servirá como uma informação da subestação a ser exibida ao usuário.
Calcular Parâmetros (Subestação)	O sistema deverá, a partir das medições no quadro de energia, calcular parâmetros como potência ativa, potência reativa, fator de potência, entre outros. Estes parâmetros servirão como informações da subestação a serem exibidas ao usuário.
Exibir Informações Coletadas (Cliente)	O sistema deverá ser capaz de exibir os valores medidos e calculados do quadro de energia, na subestação, e dos equipamentos, nos laboratórios. Isto pode ser feito tanto em modo display quanto em modo gráfico.
Gerar Gráficos (Cliente)	O sistema deverá ser capaz de gerar gráficos a partir das informações coletadas das medições, para exibição ao usuário. Um exemplo de gráfico seria um gráfico de histórico de consumo, onde o período de tempo seria determinado pelo usuário.
Transmissão segura dos dados	O sistema deverá garantir a máxima segurança na troca de dados entre a subestação ou embarcado presente na carga e o usuário final.
Sincronização de Relógios	O sistema deverá garantir que o horário, no momento da coleta das informações das cargas e da subestação, esteja sincronizado e de acordo com o relógio do usuário final.
Alimentação	Os sistemas embarcados desenvolvidos no projeto serão alimentados a partir de ponto da rede elétrica.

Tabela 4.1: Requisitos do sistema.

A partir do que foi discutido nesta seção é possível ter uma noção básica da estrutura do sistema, sem muitos detalhes. A seguir será explicado detalhes da implementação, tendo como foco principal a aplicação para monitoramento.

4.1.1 Arquitetura de Hardware

Este projeto não tem como foco o desenvolvimento do hardware para coletar as informações da rede. Porém, para uma boa compreensão do que será exposto mais adiante, é necessário uma explicação sobre a arquitetura de hardware. Esta arquitetura é necessária para dar suporte ao sistema de monitoramento do consumo. A Figura 4.2 apresenta os elementos necessários para compor toda a arquitetura de hardware do sistema. Estes elementos foram escolhidos considerando principalmente o custo. Nesta figura é visível a divisão do sistema em dois grupos, a subestação, contendo o quadro de energia, e os laboratórios, contendo equipamentos como ar-condicionados, entre outros.

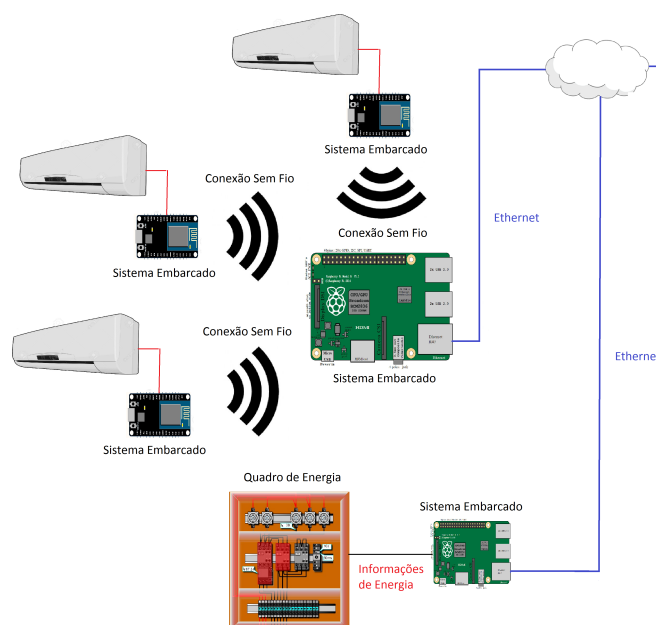


Figura 4.2 Visão do hardware do sistema.

Para a coleta de informações do quadro de energia na subestação, a arquitetura de hardware modelada pode ser vista na Figura 4.3. Na subestação existe um sistema trifásico e portanto é necessário três sensores de corrente e três sensores de tensão. Cada sensor irá medir a corrente e tensão para cada uma das três fases. Para identificar as fases do sistema trifásico, neste projeto, são utilizadas as letras R, S e T. O *raspberry* serve como um *gateway* repassando as informações coletadas para o servidor.

Para a coleta de informações dos equipamentos nos laboratórios neste trabalho, foi modelada uma rede *ad hoc* constituída por dispositivos *nRF24L01+*. Cada dispositivo é denominado de

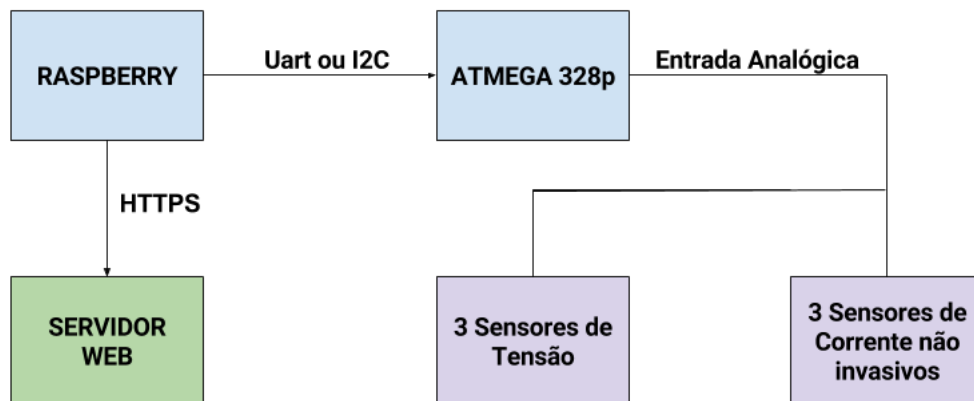


Figura 4.3 Estrutura de hardware para coleta de informações na subestação.

nó e possui um identificador único. Este identificador será de grande utilidade no funcionamento do sistema, principalmente na modelagem do banco. O sistema pode ter uma ou mais redes com números limitados de nós.

Além disso, cada nó possui sensores de presença, com o objetivo de identificar presença no laboratório. Junto com o sensor de presença pode haver um aparelho para medir a temperatura do ambiente, atendendo a um dos requisitos do sistema. O relé, também incluso no nó da rede, tem como finalidade controlar o acionamento das cargas. Tudo isto pode ser visto na Figura 4.4.

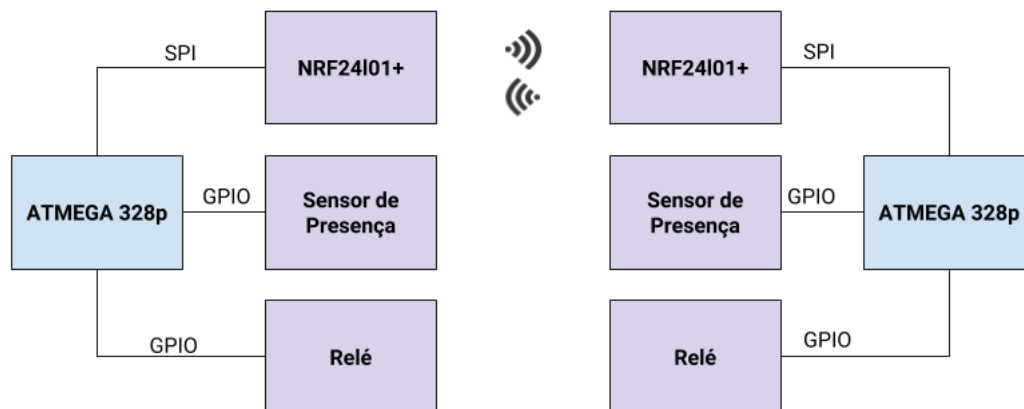


Figura 4.4 Rede para coleta de informações nos laboratórios.

Por fim, para a exibição das informações coletadas nos laboratórios, a estrutura de hardware necessária é exibida na Figura 4.5. Esta figura contém o mesmo conjunto de dispositivos que

formam um nó da rede (Figura 4.4). Cada nó, como já dito, coleta as informações dos equipamentos (corrente) e do laboratório (ex.: temperatura) e envia para um embarcado, o *gateway*, que enviará os dados coletados para o servidor *web* com o propósito de salvar as informações no banco e, conseqüentemente, exibir na aplicação *web*.

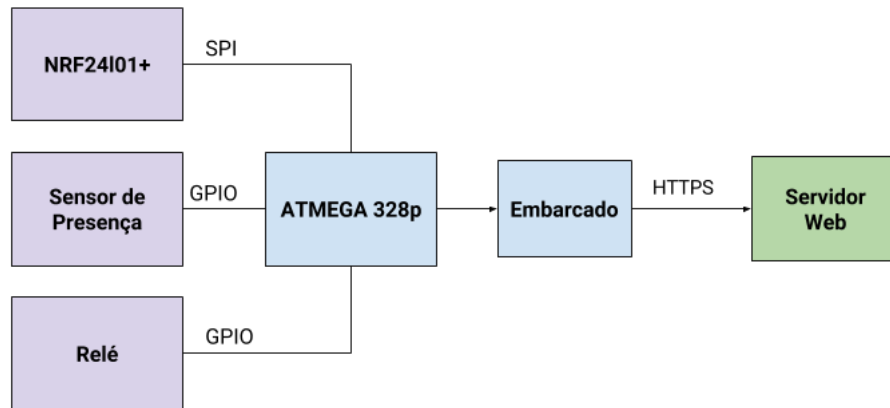


Figura 4.5 Estrutura de hardware para coleta e exibição das informações dos laboratórios.

4.1.2 Servidor e Aplicação Web

Esta seção trata do principal foco deste trabalho, o sistema para monitoramento remoto de energia. Para o monitoramento remoto, o projeto requer um servidor remoto contendo um banco de dados e a aplicação *web*. A Figura 4.6 mostra uma visão geral para isto.

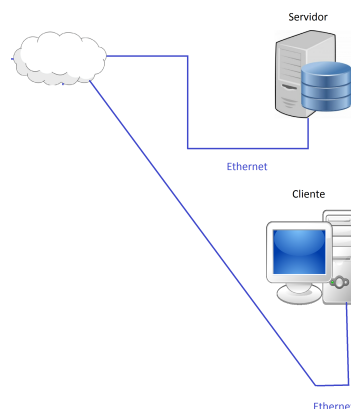


Figura 4.6 Parte do sistema responsável pelo monitoramento de forma remota.

O sistema operacional utilizado neste trabalho para o servidor é o *Windows Server 2012*. Para a implementação do banco de dados é utilizado o *Oracle Database 11g*, com o auxílio do *Sql*

Developer. O *framework* utilizado para desenvolver a aplicação *web* foi o *ASP.NET MVC 4* usando o *Visual Studio 2015*. A aplicação é implementada na linguagem *c#*.

A comunicação do banco com a aplicação é possível através do *Oracle Data Access Components (ODAC)* incluindo o *Oracle Developer Tools for Visual Studio*. O *ODAC* permite uma fácil comunicação da aplicação desenvolvida em *c#* com o banco de dados *Oracle*. Para o usuário conseguir acessar a aplicação *web*, utiliza-se o *IIS (Internet Information Service)*. A função do *IIS* no *Windows server* é oferecer uma plataforma para a hospedagem de sites, serviços e aplicativos.

4.2 Banco de Dados

Como discutido em seções anteriores, o sistema para monitorar o consumo do Centro de Informática requer um banco de dados que irá salvar as informações coletadas da rede. Este capítulo tem como objetivo descrever as tabelas e relacionamentos do banco, além de explicar como é feita a comunicação da aplicação *web* como o banco.

4.2.1 Modelagem do Banco

Para explicar de melhor forma a modelagem do banco de dados, será utilizado a divisão dada para a estrutura do centro entre subestação e laboratórios.

Para a parte da subestação, deve-se levar em consideração que o Centro de Informática possui mais de uma subestação. É importante, portanto, que o banco dê suporte para identificar qual a subestação referente aos valores de medição coletados.

Portanto, a tabela *HR.SUBESTACAO* é usada para identificar cada subestação. Esta tabela é composta pelas colunas *id_subestacao*, sendo *id_subestacao* um identificador e consequentemente a chave primária da tabela, e uma coluna opcional, *description*, para a descrição, quando necessário, da subestação. Para guardar as medições coletadas de cada subestação é utilizada a tabela *HR.SUBESTACAO_MEDICOES*.

A tabela *HR.SUBESTACAO_MEDICOES* possui duas chaves primárias, o identificador da subestação (*ID_SUBESTACAO*) e o horário da medição (*TIME*). A coluna *ID_SUBESTACAO* é também uma chave estrangeira, ou seja, esta coluna é a mesma coluna da primeira tabela. Portanto, existe um relacionamento entre as duas tabelas de 1:N (uma subestação, presente na tabela *HR.SUBESTACAO*, pode ter várias medições na tabela *HR.SUBESTACAO_MEDICOES*, mas uma medição é exclusiva de uma subestação específica). Este relacionamento, assim como a estrutura de cada tabela, pode ser visto na Figura 4.7.

Na Figura 4.7, percebe-se que a tabela destinada a salvar as informações de medição para cada subestação possui as colunas de corrente e tensão de cada uma das três fases (R, S ou T).

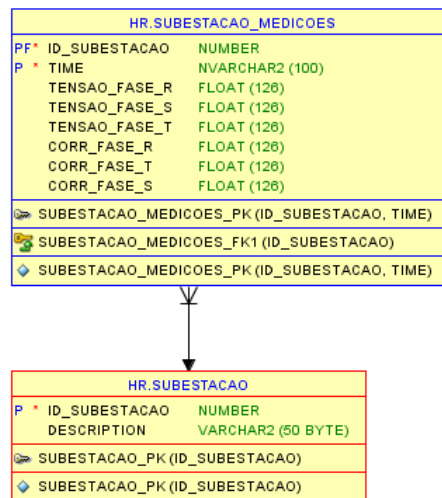


Figura 4.7 Modelagem do banco para as subestações.

Para cada laboratório do centro, é utilizada a tabela HR.LABORATORIO. Esta tabela é composta pelas colunas `id_lab`, sendo `id_lab` um identificador e consequentemente a chave primária da tabela, uma coluna opcional, descrição, para a descrição, quando necessário, do laboratório, e as colunas `PRESENCA` e `TEMPERATURA`. A coluna `PRESENCA` consiste de uma variável booleana, que indica se no laboratório especificado existe algum indivíduo. A tabela `TEMPERATURA` guarda informação de temperatura do ambiente.

O sistema requer também uma tabela para cada equipamento presente no centro. Esta tabela é denominada de (HR.EQUIPAMENTO). Cada laboratório pode conter um ou mais equipamento e um equipamento só pode estar em um único laboratório. Logo, existe um relacionamento 1:N das tabelas laboratório e equipamento. A tabela para guardar informações de cada equipamento possui as seguintes colunas constituindo a chave primária: o `id_equipamento`, servindo de identificador do equipamento, e `id_lab`, sendo esta última uma chave estrangeira vinda da tabela HR.LABORATORIO para identificar de qual laboratório é o equipamento.

Além das colunas citadas acima, a tabela de equipamentos possui as colunas:

- **ID_NETWORK:** Identificador da rede (Ver capítulo Arquitetura de Hardware). Esta rede é a rede *ad hoc* composta por vários dispositivos *nRF24L01+* para coleta de informações.
- **ID_NO:** Identificador do nó (dispositivo *nRF24L01+*) na rede.
- **HORARIO_LIGAR:** Horário que pode ser, determinado pelo usuário na aplicação *web*, para acionamento da carga.
- **HORARIO_DESLIGAR:** Horário que pode ser, determinado pelo usuário na aplicação *web*, para desligamento da carga.pelo usuário na aplicação *web*
- **STATUS:** Determina se a carga está ligada ou desligada.

- **SOBRECARGA:** Valor limite de corrente da carga, determinado pelo usuário na aplicação *web*, para proteção contra sobrecarga.

A relação entre as tabelas de equipamentos e laboratórios, assim como suas estruturas, pode ser visto na Figura 4.2.1.

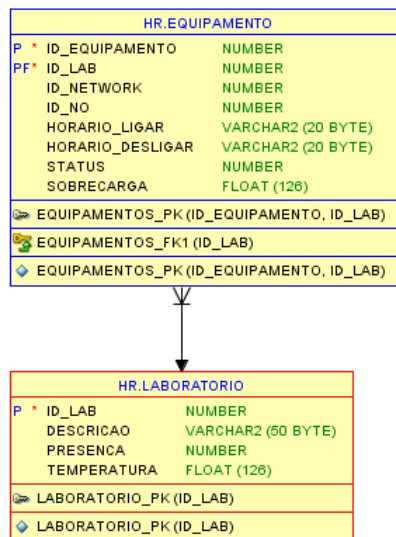


Figura 4.8 Modelagem do banco para os laboratórios e seus equipamentos.

Para salvar as informações das medições de cada equipamento é utilizada a tabela denominada HR.EQUIPAMENTO_MEDICOES. A chave primária desta tabela é formada pelo identificador do equipamento (*id_equipamento*, chave estrangeira vinda da tabela de equipamentos) e pelo horário da coleta da medição (*data*).

A tabela de medições é formada também pelas colunas *CORRENTE* e *TENSAO*, que salvam o valor da corrente e da tensão do equipamento, respectivamente. A coluna *id_lab* é uma chave estrangeira, vinda da tabela de laboratórios, servindo para identificar em qual laboratório se encontra o equipamento referente a determinada medição.

A tabela de medições possui um relacionamento com a tabela de equipamentos (Figura 4.9). Cada equipamento possui várias medições e uma medição é referente a apenas um equipamento. Logo, existe um relacionamento 1:N das tabelas equipamento e medições.

Por fim, o banco é constituído por mais duas tabelas: *NETWORK* e *NOS*. A tabela *NOS* serve para identificar os dispositivos *nRF24L01+* presentes na rede (Figura 4.4), chamados de nós. Cada nó pode estar, ou não, diretamente relacionado a um equipamento. Um nó não está relacionado a um equipamento quando serve apenas para auxiliar na comunicação entre dois ou mais outros nós.

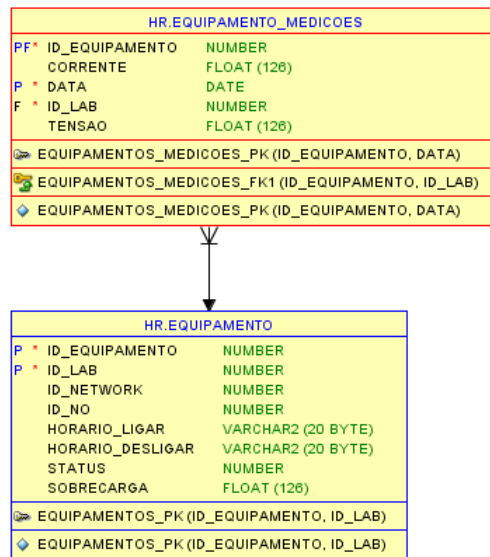


Figura 4.9 Modelagem do banco para os equipamentos e suas medições.

A tabela NETWORK tem como finalidade salvar todas as redes que podem ser encontradas no ambiente. Cada rede tem um ou mais nós e um nó pertence apenas a uma rede, logo, existe um relacionamento da tabela NETWORK e NOS de 1:N. O número de nós dentro de uma rede é limitado.

A Figura 4.10 mostra as tabelas NETWORK e NOS, suas colunas e a relação existente entre as tabelas.

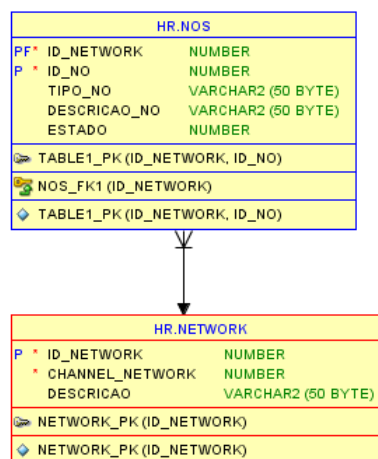


Figura 4.10 Tabelas para salvar informações das redes e dos nós.

Cada tabela NETWORK guarda um identificador da rede (ID_NETWORK), sendo esta a chave primária. Na tabela NOS, a chave primária é composta pelo identificador da rede e do nó,

ID_NETWORK e ID_NO, respectivamente. Neste caso, ID_NETWORK é uma chave estrangeira vinda da tabela NETWORK.

A tabela de nós possui uma relação com a tabela dos equipamentos. O id de um equipamento deve ser, obrigatoriamente, um id de um dos nós na rede. Porém, nem todo nó é um equipamento. Logo, o identificador de um equipamento na tabela HR.EQUIPAMENTOS (Figura) é uma chave estrangeira da tabela NOS.

4.2.2 Salvando Informações no Banco

Nesta subseção será explicado como os dados são salvos no banco de dados. Existem dois cenários possíveis para salvar informações no banco. O primeiro cenário é quando o usuário utiliza a aplicação *web* e a aplicação se comunica com o banco. O segundo caso é quando o *gateway* envia informações para o servidor. A comunicação neste último caso é realizada via *https*, com o auxílio da aplicação *web* para se comunicar com o banco e salvar os dados.

O sistema permite as seguintes situações para o primeiro cenário (usuário e aplicação):

- É permitido ao usuário criar um novo laboratório.
- É permitido ao usuário deletar um laboratório.
- É permitido ao usuário criar uma nova subestação.
- É permitido ao usuário deletar uma subestação.
- É permitido ao usuário criar um novo equipamento.
- É permitido ao usuário deletar um equipamento.
- É permitido ao usuário atualizar as seguintes informações de um equipamento: horário de desligar, horário de ligar e valor para sobrecarga.

Para o segundo caso, o *gateway* coleta as informações, tanto das subestações quanto dos laboratórios, e envia para o servidor o dado. Esta dado é encapsulado em um formato *JSON* (*JavaScript Object Notation*) e enviado via *HTTPS* para o servidor. *HTTPS* (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*) é a versão segura do *HTTP* (*Hyper Text Transfer Protocol*). *HTTPS* é um protocolo necessário para efetuar transações online seguras.

No lado do servidor, a aplicação é responsável por tratar o dado *JSON* e se comunicar com o banco para guardar as informações. O banco retorna para a aplicação se foi possível ou não salvar o dado e em seguida a aplicação envia para o *gateway* esta informação. A Figura 4.11 retrata o cenário descrito.

Um exemplo da comunicação do *gateway* com o servidor acontece quando se deseja inserir uma nova medição de uma subestação específica. O *gateway* envia, para uma url específica, um dado *JSON*, similar ao mostrado Figura 4.12. Para este exemplo é considerado este modelo mais simples do *JSON*, entretanto, quando se deseja inserir uma nova medição, o *JSON* é mais complexo e será mostrado mais adiante.

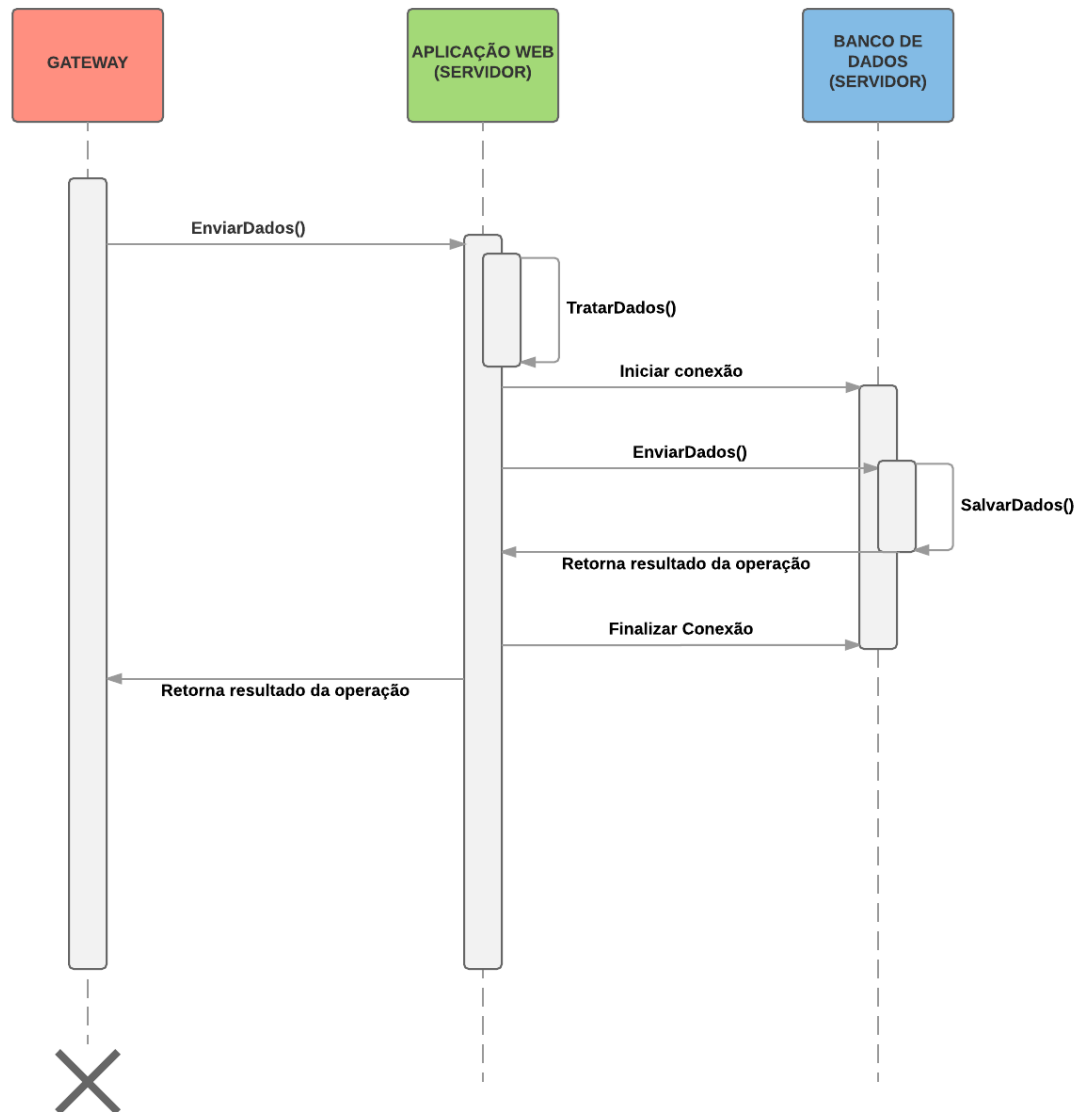


Figura 4.11 Diagrama de sequência para salvar informações vindas do *gateway* no banco de dados.

Neste exemplo, por ser uma nova medição referente a uma subestação, a url é composta pelo domínio com o final `\SubestacaoMedicoes\CriarNovo`. Em seguida, a aplicação no lado do servidor recebe o dado *JSON* e se comunica com o banco para tentar salvar os dados. A aplicação retorna para o *gateway* um novo dado *JSON* (Figura 4.13) contendo o status (valor 1 para sucesso ou valor 0 para erro) e código do erro (se aconteceu algum erro) retornado pelo banco.

Na comunicação entre o *gateway* e o servidor podem acontecer os seguintes casos:



```
{
  "ID_SUBESTACAO": 1,
  "TIME": "2016-10-25T09:55:42.103050",
  "CORR_FASE_R": 100,
  "CORR_FASE_S": 100,
  "CORR_FASE_T": 100,
  "TENSÃO_FASE_R": 100,
  "TENSÃO_FASE_S": 100,
  "TENSÃO_FASE_T": 100
}
```

Figura 4.12 Exemplo de um dado *JSON* simplificado enviado pelo *gateway* para servidor.



```
{
  "STATUS": 0,
  "CODIGO": 121
}
```

Figura 4.13 Exemplo de dado *JSON* enviado do servidor para o *gateway*.

- Inserção de uma nova medição a partir de uma subestação.
- Inserção de uma nova medição de algum equipamento dos laboratórios.
- Inserção ou remoção de um nó da rede (este nó pode ou não estar relacionado a um equipamento).
- Atualização das informações de um laboratório, como temperatura e presença.

Como dito anteriormente, o dado *JSON* recebido pela aplicação, quando se deseja inserir uma nova medição, é um pouco mais complexo. Na realidade, o dado é um array, onde cada elemento do array é um *JSON* similar ao da Figura 4.12. Isto ocorre com a finalidade de enviar mais de uma medição simultaneamente, evitando que o *gateway* se comunique com o servidor com uma alta frequência. Consequentemente, é possível obter uma alta taxa de amostragem para as coletas das medições, sem prejudicar o desempenho do sistema. Neste trabalho, o *gateway* envia para o servidor a cada cinco amostras coletadas.

O *gateway* também informa para o servidor, a partir de um dado no formato *JSON*, a temperatura ou se existe presença no ambiente. Esta comunicação é realizada quando existe mudança em alguma destas variáveis.

Por fim, é necessário explicar a situação quando um novo nó é inserido (ou removido) na rede. A partir da rede *ad hoc*, o *gateway* recebe a informação de um novo nó e envia um *JSON* contendo as informações necessárias para preencher a tabela NOS (Figura 4.10). O mesmo acontece quando um nó é removido da rede. O *gateway* recebe esta informação e se comunica com o servidor para que a linha na tabela seja deletada.

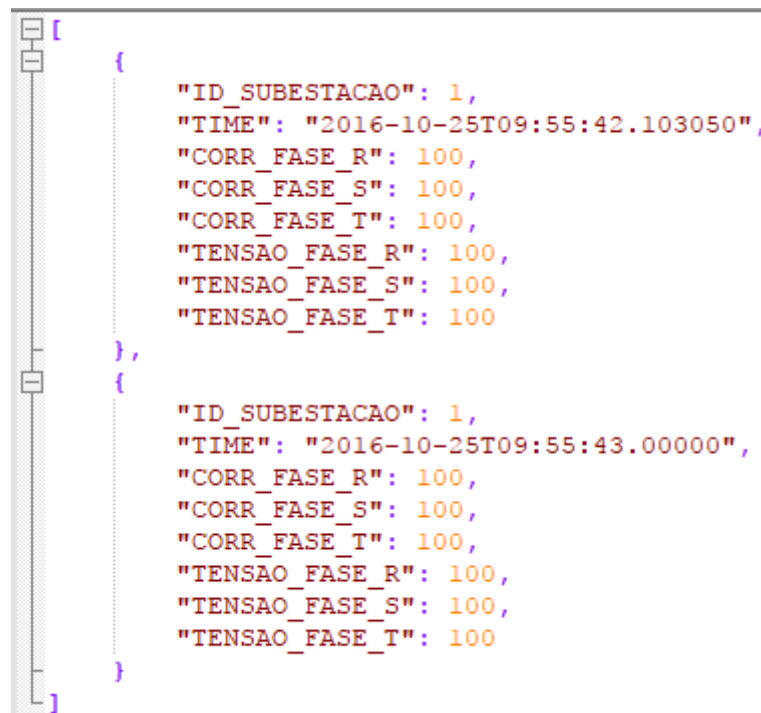


Figura 4.14 Exemplo de dado *JSON* enviado do *gateway* para o servidor para inserir novas medições.

4.3 Funcionamento do Sistema

Esta seção tem como objetivo mostrar o funcionamento do sistema de monitoramento, a partir da interação entre o usuário e a aplicação *web* de monitoramento. Para isto, serão usados alguns diagramas de sequência que irão retratar cenários diversos.

A Figura 4.15 retrata a situação onde o usuário cadastra um novo laboratório no banco de dados. Esta imagem também pode ser usada para retratar a criação de um novo equipamento ou de uma nova subestação. Neste cenário, o usuário deve selecionar, na aplicação, a opção para criar um novo laboratório. A aplicação exibe uma tela contendo os campos necessários para esta criação. Estes campos são relacionados às colunas da tabela que salva as informações de cada laboratório no banco. Quando preenchido os campos, o cliente deve salvar a operação e com isto os dados são enviados para o banco de dados que retorna o resultado da operação.

A Figura 4.16 mostra como é feito o acesso a informações das subestações listadas pela aplicação. Nesta situação, o usuário consegue visualizar as medições para cada subestação listada. Já na Figura 4.17, o usuário acessa informações de cada laboratório listado pela aplicação. Logo, o usuário consegue visualizar dados referentes a cada equipamento de cada laboratório.

Foram apresentados, nesta seção, três diagramas de sequência para explicar o funcionamento do sistema a partir da interação do usuário com a aplicação *web*. O objetivo é que, a partir deles, o entendimento do funcionamento de outras situações, como o caso em que o usuário deleta uma subestação ou atualiza informações de um laboratório, fique mais claro.

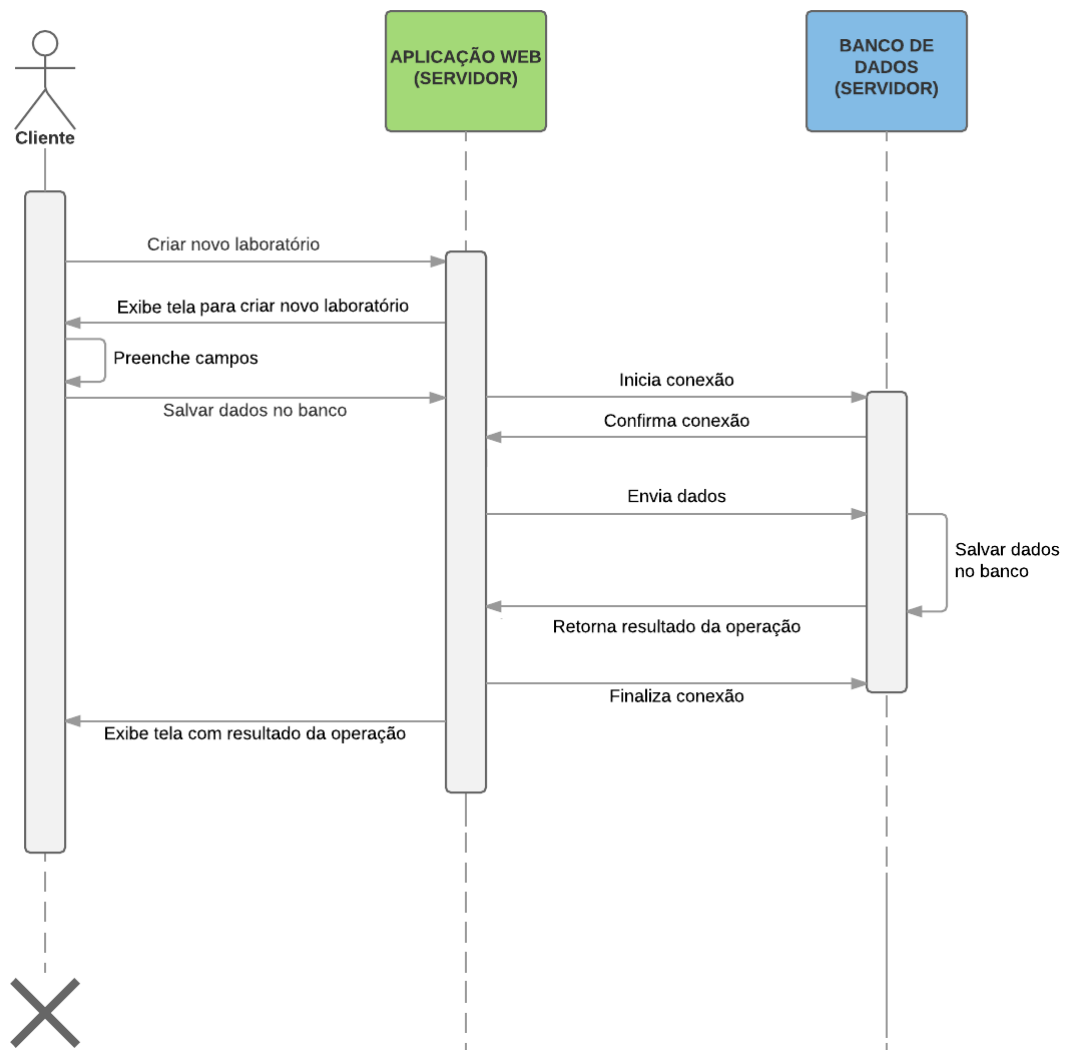


Figura 4.15 Cenário retratando criação de novo laboratório pelo usuário.

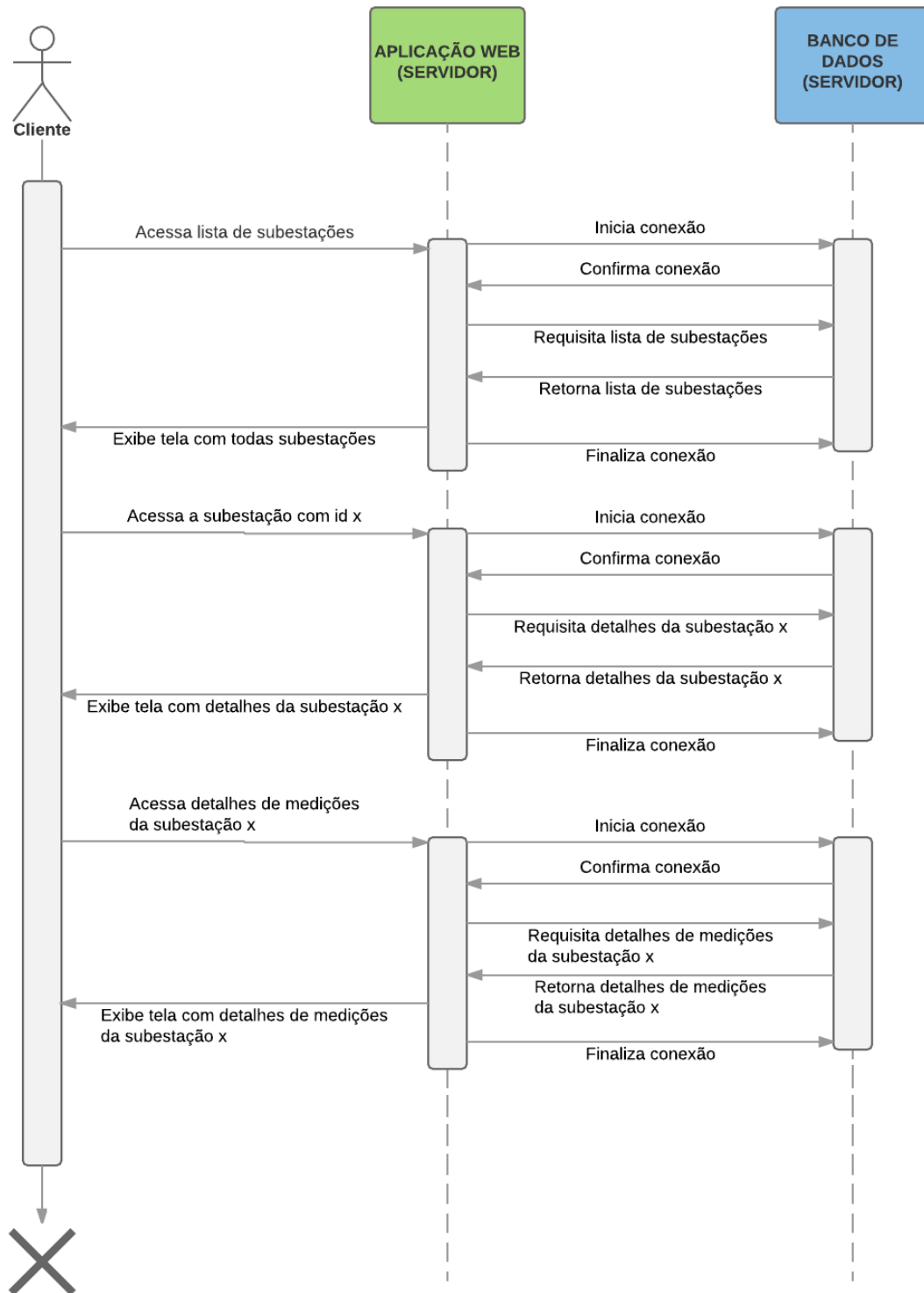


Figura 4.16 Cenário retratando acesso pelo usuário as informações das subestações.

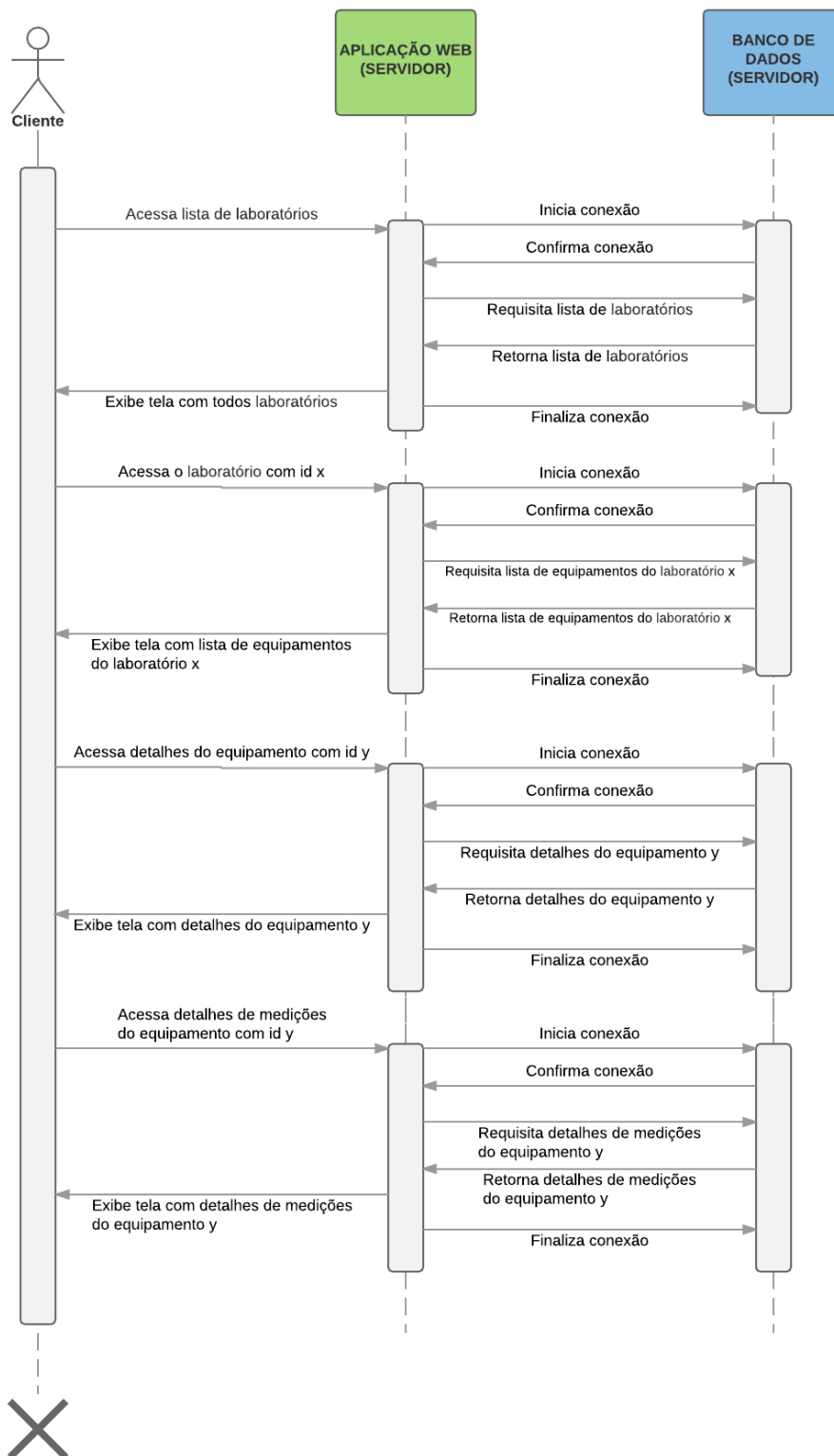


Figura 4.17 Cenário retratando acesso pelo usuário as informações dos laboratórios.

4.4 Funcionalidades do Sistema de Monitoramento

Esta seção tem como objetivo detalhar as principais funcionalidades do sistema para monitoramento remoto do consumo de energia dentro do Centro de Informática. Estas funcionalidades foram escolhidas a partir do estudo das soluções apresentadas no Capítulo 3 e a partir do que é considerado mais relevante para a finalidade deste trabalho. Ao longo da seção, também é explicado a importância de se ter estas funcionalidades no sistema.

4.4.1 Informações de Corrente e Tensão

Como funcionalidade principal, a aplicação é capaz de exibir informações de corrente e tensão tanto das subestações quanto dos equipamentos. Estas informações são exibidas tanto na forma de display quanto na forma gráfica.

Para a subestação, pelo fato da rede ser trifásica, a aplicação exibe as informações de corrente e de tensão para cada fase R, S e T. Para os equipamentos, a aplicação mostra informações de corrente e tensão, porém a única variável medida é a corrente. Optou-se por deixar o valor da tensão informado pelo próprio usuário por questões de custo, já que o valor da tensão ser fixa não afeta tanto a acurácia do sistema.

4.4.2 Informações de Potência

A aplicação é capaz de exibir informações de potência tanto das subestações quanto dos equipamentos. Estas informações são exibidas tanto na forma de display quanto na forma gráfica. Quando o dado é apresentado na forma de display, são exibidos os valores de potência média e potência máxima obtidos a partir de um determinado intervalo de tempo.

No caso das subestações, também são exibidas as seguintes informações de potência: potência reativa, potência aparente e fator de potência.

4.4.3 Informações de Consumo

A aplicação é capaz de exibir informações de consumo (*kWh*) tanto da subestação quanto dos equipamentos. Abaixo são listadas funcionalidades que podem ser obtidas a partir desta informação.

É exibido informações do consumo considerando todos os laboratórios listados pela aplicação do Centro de Informática. Isto permite que o usuário tenha conhecimento de como está sendo o consumo de energia do CIn.

Também são exibidas informações de consumo de cada laboratório listado pela aplicação do Centro de Informática. Esta funcionalidade é de grande utilidade para o usuário ter conhecimento de como está sendo o consumo individual de cada laboratório e com isto poder tomar decisões.

A partir da funcionalidade acima, é possível comparar o consumo dos laboratórios no Centro de Informática. Isto é feito a partir de um gráfico de pizza, mostrando a porcentagem do consumo de cada laboratório em relação ao consumo geral do centro. Esta funcionalidade permite ao usuário identificar de forma rápida e simples qual o laboratório que influencia mais no consumo de energia do centro e qual o laboratório que consome menos energia.

É exibido informações do consumo de cada equipamento listado pela aplicação do Centro de Informática. Esta funcionalidade é de grande utilidade para o usuário ter conhecimento de como está sendo o consumo individual de um equipamento e com isto poder tomar decisões.

A partir da funcionalidade acima, é possível comparar o consumo dos equipamentos no Centro de Informática. Isto é feito a partir de um gráfico de pizza, mostrando a porcentagem do consumo de cada equipamento em relação ao consumo geral do centro. Esta funcionalidade permite ao usuário identificar de forma rápida e simples qual o equipamento que influencia mais no consumo de energia do centro e qual equipamento consome menos energia.

4.4.4 Medição em Tempo Real

Esta funcionalidade está presente tanto para as subestações quanto para os laboratórios. É entregue ao usuário a oportunidade de visualizar as medições em tempo real de corrente, tensão e potência, tanto do quadro de energia, de cada subestação, quanto de cada equipamento. Esta funcionalidade é útil para controle de carga e proteção contra sobrecarga, por exemplo.

Esta função é apresentada por meio de um gráfico. Neste caso, o usuário tem a opção de escolher quantas amostras, considerando as mais recentes, serão exibidas no gráfico. Além disto, o valor da última amostra também é exibido, assim como a média das amostras e o valor máximo.

4.4.5 Histórico de Medições

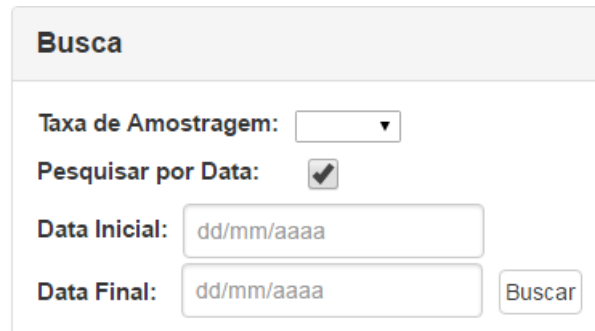
Esta função tem como objetivo exibir dados de uma medição de acordo com uma busca realizada pelo usuário. Novamente, estes dados podem ser de um equipamento específico ou de uma subestação.

O usuário pode optar em realizar a busca a partir de uma data inicial e uma data final (Figura 4.18) ou informando um valor para os últimos anos, meses ou registros (Figura 4.19). Ou seja, se o usuário pesquisar considerando os últimos dez meses, a aplicação exibirá o histórico de medições dos últimos dez meses.

Caso o usuário pesquise por data e não informe data inicial, são consideradas todas as amostras desde o início das coletas. Caso o usuário não especifique a data final, são exibidos todos os dados desde a data inicial até a última data em que foi realizada uma coleta.

O indivíduo tem a possibilidade de mudar a taxa de amostragem para dias, meses ou anos. Com isto é feita uma média dos valores considerando a escolha feita pelo usuário.

A aplicação exibe os resultados na forma de um gráfico. Além disto, é apresentado o valor médio, valor máximo e o valor do consumo em kWh de acordo com a pesquisa. Esta funcionalidade permite ao usuário entender melhor o comportamento do consumo do centro ao longo do tempo, para que medidas de economia de energia sejam tomadas.



Busca

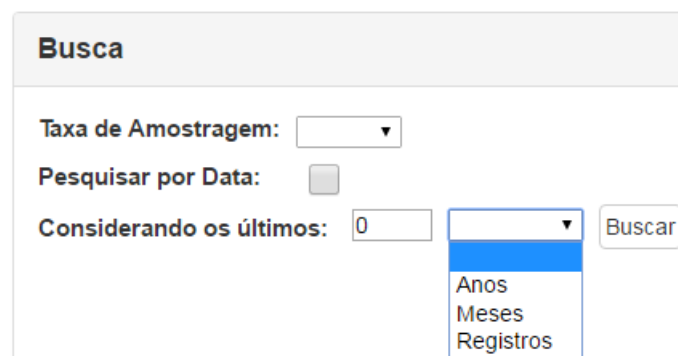
Taxa de Amostragem:

Pesquisar por Data: ☒

Data Inicial:

Data Final:

Figura 4.18 Pesquisa por data.



Busca

Taxa de Amostragem:

Pesquisar por Data: ☐

Considerando os últimos:

Figura 4.19 Pesquisa considerando os últimos anos, meses ou registros.

4.4.6 Ligar/desligar Carga

É possível, a partir desta funcionalidade, desligar ou ligar uma carga, ou seja, um equipamento, remotamente. Essa funcionalidade é necessária para fins de controle de consumo de energia e proteção de cargas.

Breve caso de uso para descrever esta funcionalidade:

1. Usuário recebe a informação que determinado laboratório está vazio, a partir dos dados retornados pelo sensor de presença.
2. Usuário verifica que um dos equipamentos presentes no laboratório vazio está ligado.
3. Usuário desliga a carga remotamente.

4.4.7 Proteção Contra Sobrecarga

Uma das maiores preocupações hoje em dia é com a probabilidade de que aconteça alguma sobrecarga. Para que seja possível o sistema proteger um equipamento de uma sobrecarga, o usuário deve especificar, para cada equipamento, um limiar máximo de corrente. Neste caso, a aplicação detectará se o valor retornado pela medição de um equipamento se aproxima ou ultrapassa o valor de sobrecarga informado pelo usuário.

Quando o sistema detectar uma situação de risco, a partir do valor informado pelo usuário, a carga é desligada automaticamente, a partir da funcionalidade descrita anteriormente (Ligar/desligar carga). Esta permanecerá desligada até que o usuário interfira e acione a carga de forma manual, podendo ser, ou não, através da aplicação.

4.4.8 Comparar Consumo Mensal

Esta funcionalidade tem como objetivo comparar o consumo do mês atual com o mês anterior. Com esta função o usuário tem a chance de analisar melhor se as suas decisões tomadas, visando a economia de energia, estão dando os resultados esperados.

É exibido um gráfico contendo as informações do consumo de cada dia do mês. Este único gráfico contém os dados de consumo do mês atual e do mês anterior, possibilitando a comparação e análise do comportamento do centro em relação ao consumo de energia nos últimos dois meses.

4.4.9 Gráfico de Meta

1. O usuário informa um valor para meta de consumo diária ou mensal, além do mês e ano para busca no banco.
2. A aplicação calcula o consumo para cada dia do mês .
3. É gerado um gráfico contendo as informações de consumo diário em conjunto com um gráfico representando a meta (o limiar). O gráfico exibirá se o cliente está conseguindo manter-se abaixo do gráfico da meta.

CAPÍTULO 5

Resultados

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos a partir de testes para a validação do sistema de monitoramento. Por fim, a solução implementada neste trabalho é incluída na Tabela 3.1 para fins de comparação com as soluções exibidas no Capítulo 3.

Serão usados seis cenários para análise das funcionalidades do sistema. Este conjunto de cenários é composto por: Ligar/Desligar carga, Proteção contra sobrecarga, Histórico de medidas, Gráfico de medições em tempo real, Informações de medições (corrente, tensão, potência e consumo) e Consumo por laboratório e equipamento.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 exibem a lista de subestações, lista de laboratórios, lista de equipamentos para o laboratório 1, respectivamente. Esta foi a configuração utilizada para os testes.

Lista de Subestações		
Criar Nova		
ID SubEstacao	Descrição	Opções
1	Subestação 1	Potência Tensão e Corrente Histórico Deletar
2	Subestação 2	Potência Tensão e Corrente Histórico Deletar

© 2017

Figura 5.1 Lista de subestações.

Lista de Laboratórios				
Criar Novo				
ID Laboratório	Descrição	Ocupado	Temperatura	Opções
1	Grad 1	Não informado	Não informado	Detalhes Deletar
2	Grad 2	Não informado	Não informado	Detalhes Deletar
3	Grad 3	Não informado	Não informado	Detalhes Deletar

© 2017

Figura 5.2 Lista de laboratórios.

Lista de Equipamentos

Laboratório 1

[Criar Novo](#)

ID Equipamento	Estado	ID da Rede	Tensão (V)	Horário para ligar	Horário para desligar	Valor para Sobrecarga (mA)	Opções
1	ON	1	110 🔗	18:30 🔗	Não informado 🔗	100	Tempo Real Histórico Deletar
2	OFF	1	110 🔗	Não informado 🔗	Não informado 🔗	0	Tempo Real Histórico Deletar

Figura 5.3 Lista de equipamentos.

5.1 Ligar/Desligar Carga

A funcionalidade de acionamento de carga consiste na possibilidade do sistema em ligar ou desligar uma carga presente na rede. Esta opção é exibida para o usuário no link *Tempo Real* (Figura 5.3).

Para os testes deste comando, a aplicação gera, a cada 5 segundos, dados aleatórios para salvar na tabela EQUIPAMENTO_MEDICOES (Figura 4.9) do banco de dados. Estes dados são referentes ao equipamento com id igual a 1 (Figura 5.3).

Inicialmente, o equipamento está ligado (status igual a ON), como pode ser visto na Figura 5.4. Quando o checkbox **Acionar Carga** é desmarcado, a carga é desligada e os valores de corrente do aparelho vão para zero (Figura 5.5). Alguns segundos depois, a carga é acionada novamente e os valores de corrente voltam para valores maiores que zero (Figura 5.6).

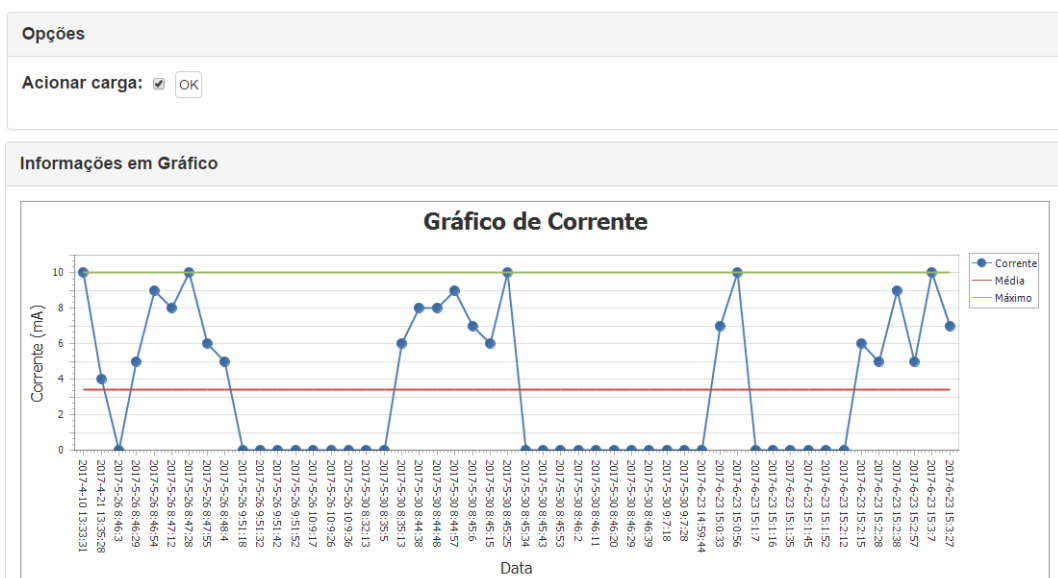


Figura 5.4 Gráfico da carga ligada.

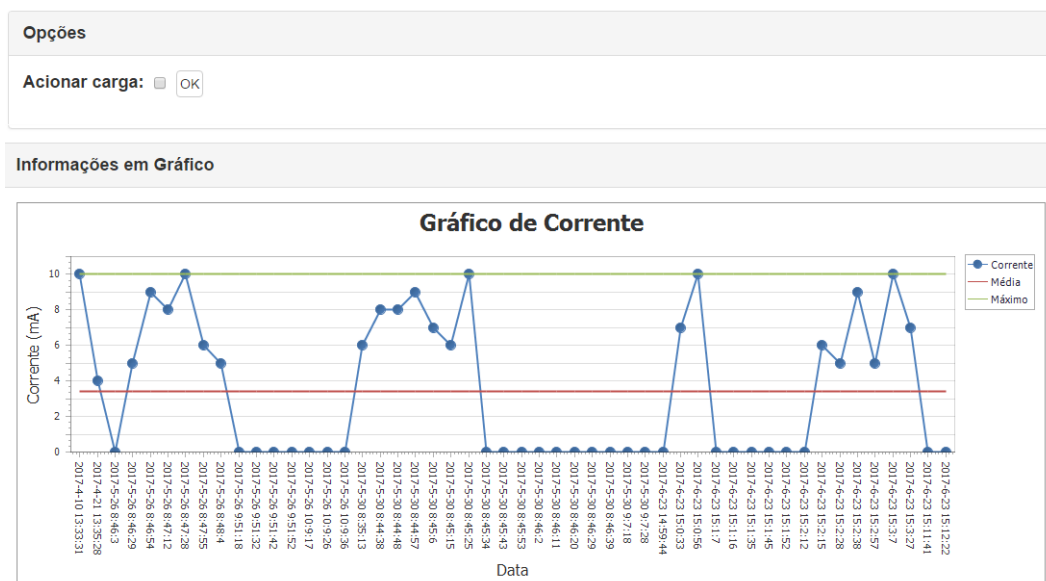


Figura 5.5 Gráfico de carga desligada de forma remota.

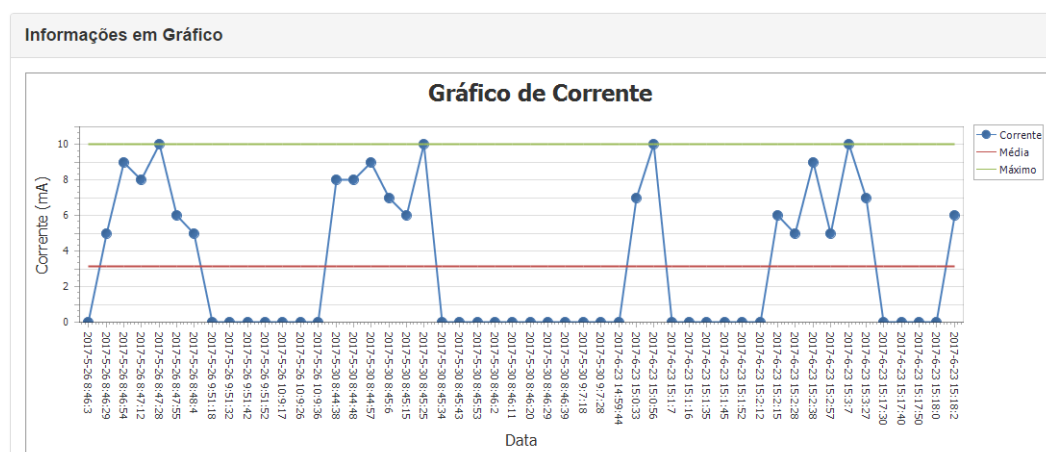


Figura 5.6 Gráfico de carga ligada de forma remota.

5.2 Proteção Contra Sobrecarga

Para testes desta funcionalidade, utilizou-se o mesmo equipamento do cenário anterior, ou seja, equipamento com id igual a 1 (Figura 5.3). Percebe-se que o status deste equipamento equivale a ON (ligado).

O valor para sobrecarga deve ser informado pelo usuário no no link *Tempo Real* (Figura 5.3). Os dados de medição deste equipamento, como já dito, são fictícios e gerados aleatoriamente pela aplicação a cada 5 segundos. O valor máximo que é possível ser gerado é 10 mA. Logo, para este teste, é informado o valor 10 para sobrecarga.

Na Figura 5.7 é possível ver o valor de corrente do equipamento caindo para zero após atingir o valor máximo de corrente informado pelo usuário. Na Figura 5.8 é mostrado o novo status da carga.

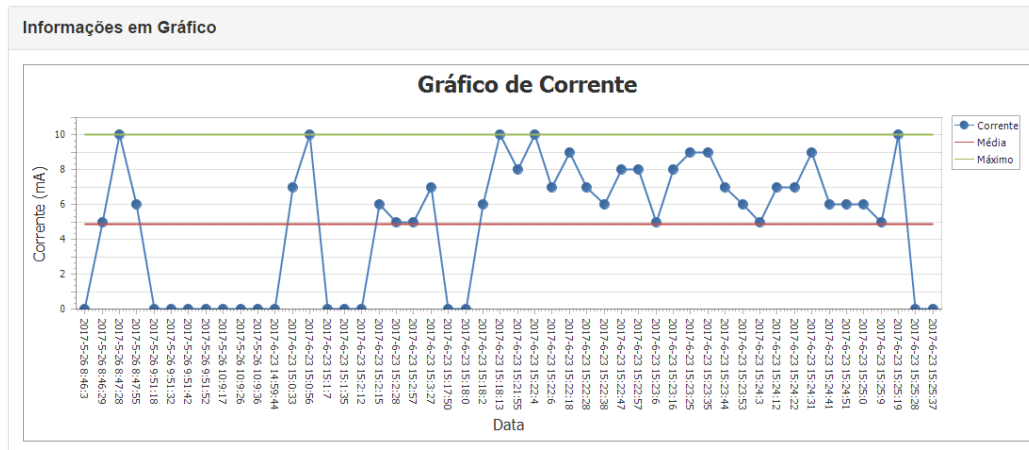


Figura 5.7 Teste da funcionalidade de proteção contra sobrecargas.

Lista de Equipamentos

Laboratório 1

[Criar Novo](#)

ID Equipamento	Estado	ID da Rede	Tensão (V)	Horário para ligar	Horário para desligar	Valor para Sobrecarga (mA)	Opções
1	OFF	1	110 ⓘ	18:30 ⓘ	Não informado ⓘ	10	Tempo Real Histórico Deletar
2	OFF	1	110 ⓘ	Não informado ⓘ	Não informado ⓘ	0	Tempo Real Histórico Deletar

Figura 5.8 Carga desligada para proteção contra sobrecarga.

5.3 Gráfico de Medições em Tempo Real

Esta funcionalidade resume o que foi mostrada pelas duas seções acima. Um gráfico é gerado em tempo real a partir de dados gerados aleatoriamente pela aplicação, a cada 5 segundos. Por padrão, são exibidos os 50 valores mais recentes de uma medição.

Na Figura 5.9 é mostrado o gráfico de corrente gerado em tempo real a partir de um dos equipamentos. Já a Figura 5.9 exibe os gráficos de potência de uma subestação considerando as três fases (R, S e T). O usuário pode escolher qual das três fases deseja visualizar no gráfico.

5.3 GRÁFICO DE MEDIÇÕES EM TEMPO REAL

43

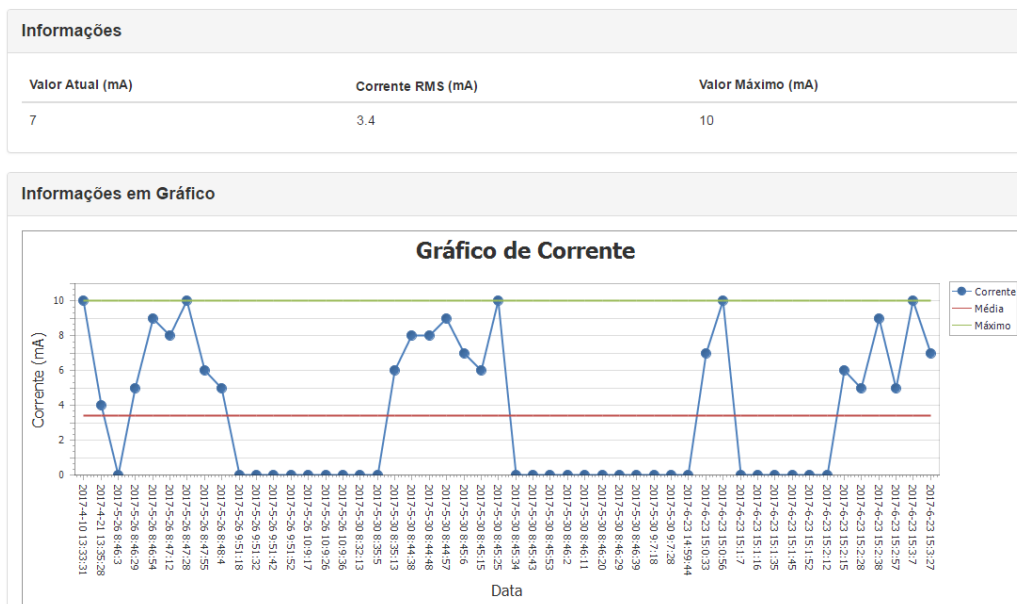


Figura 5.9 Gráfico de medições em tempo real de um equipamento.

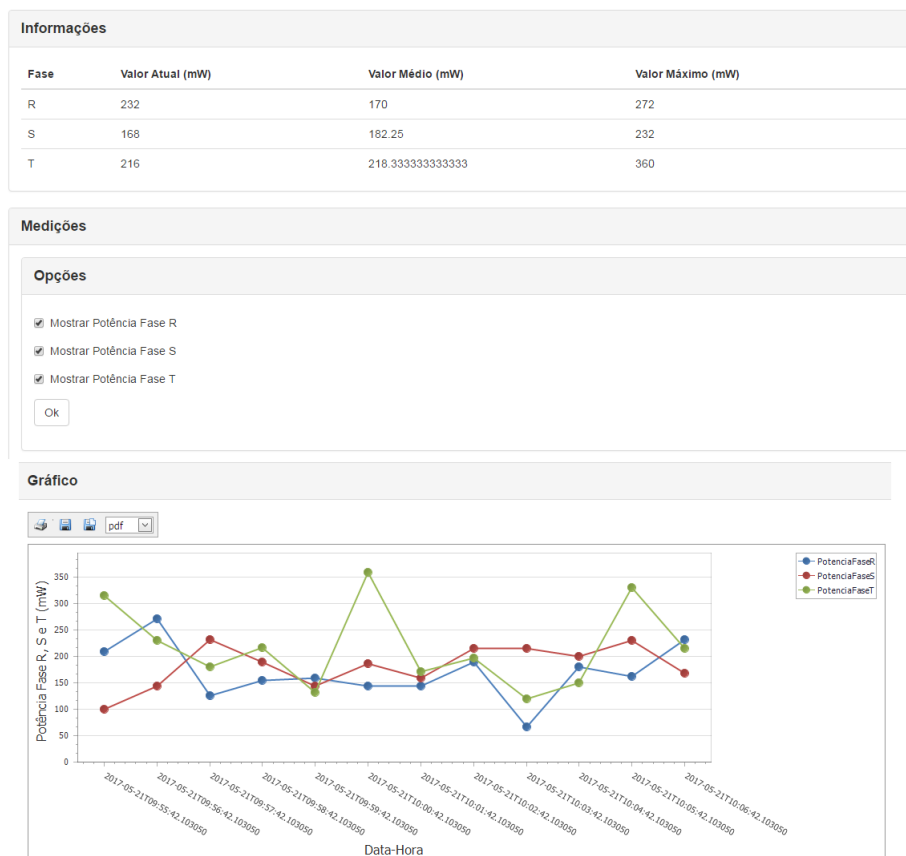


Figura 5.10 Gráfico de medições em tempo real de uma subestação.

5.4 Histórico de Medições

Para testes desta funcionalidade, é considerado o mesmo equipamento e dados gerados nos testes anteriores. Esta função também está presente para cada subestação listada pela aplicação.

Ao acessar o histórico de medidas de um equipamento (link *Histórico* da Figura 5.3), é exibido ao usuário um gráfico de corrente contendo, por padrão, os 50 dados mais recentes. É dada a possibilidade ao usuário de pesquisar por data ou considerando os últimos anos, meses ou registros.

Na Figura 5.11 é mostrado o resultado obtido ao realizar a pesquisa informando uma data inicial e uma data final. Já a Figura 5.12 exibe o resultado de uma pesquisa considerando os 10 últimos dados coletados pelo sistema. Por fim, a Figura 5.13 mostra o resultado para uma pesquisa considerando os últimos 2 anos e uma taxa de amostragem de meses.

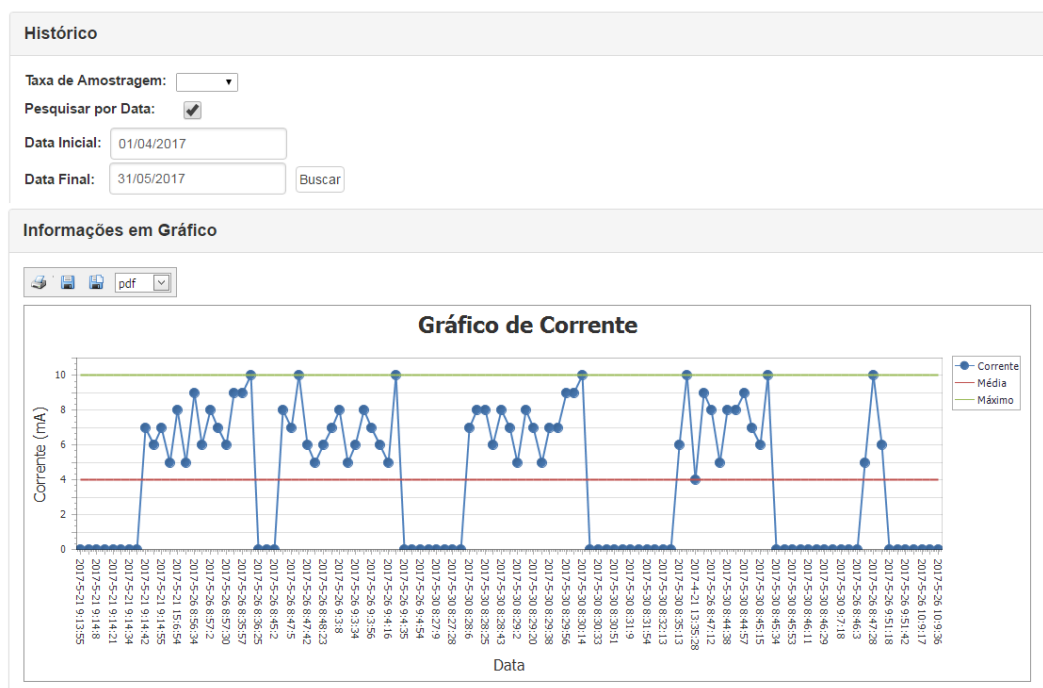


Figura 5.11 Histórico de medições a partir de pesquisa por data.

Na Figura 5.13 a linha indicando a corrente média é obtida através da média de todas as amostras. O valor máximo também é obtido a partir dos valores de todas as amostras. O valor da corrente para cada mês é obtido a partir da média das amostras num determinado mês.

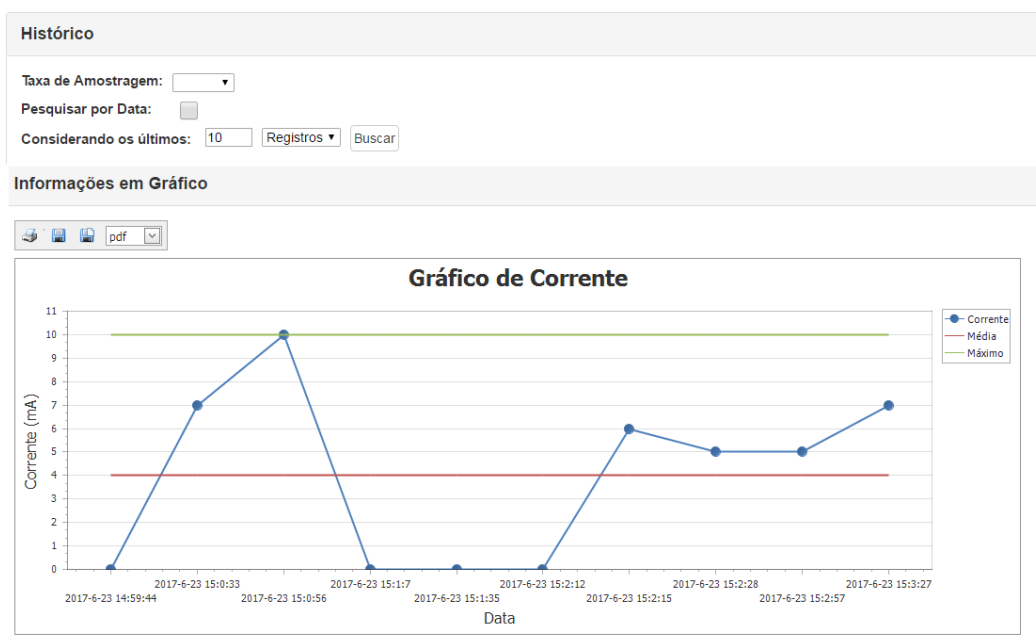


Figura 5.12 Histórico de medições a partir de pesquisa por número de registros recentes.

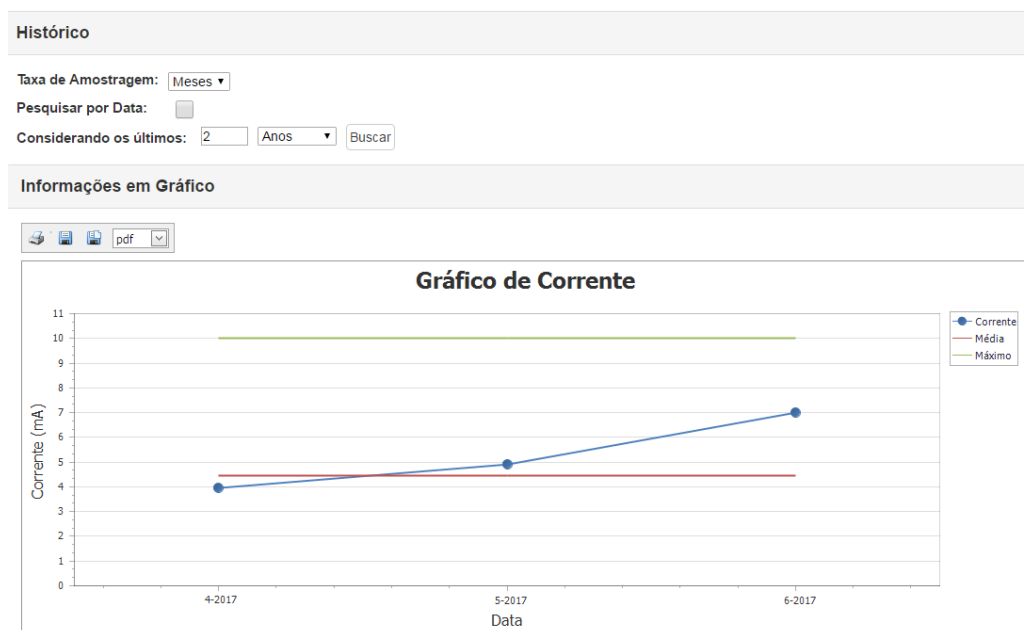


Figura 5.13 Histórico de medições considerando os últimos 2 anos e uma taxa de amostragem de meses.

5.5 Informações de Medições

A Figura 5.14 mostra todas as informações possíveis de um equipamento que o usuário pode ter acesso. Estas informações exibem a potência máxima, potência média e valor de consumo

(*kWh*). Também são exibidos os valores de corrente (Figura 5.9) e tensão (Figura 5.3).

Informações por Equipamento				
ID Equipamento	ID Lab	Potência Máxima (mW)	Potência Média (mW)	Consumo (kWh)
1	1	1100	539	0.001871529275
2	1	1100	712.105263157895	0.0003570419523
1	2	1100	800	0.000134444552

Figura 5.14 Informações de medições de um equipamento.

O usuário também pode ter acesso às informações de uma subestação. Estas informações contém valores como potência ativa, potência reativa, potência aparente, fator de potência e valores de corrente e tensão.

Informações Gerais					
Tensão RMS (V)	Corrente RMS (A)	Potência Ativa (W)	Potência Reativa (VAR)	Potência Aparente (VA)	Fator de Potência
200	0.2	20	40	45	0.5

Figura 5.15 Informações de medições de uma subestação.

Por fim, a figura a seguir é um exemplo de exibição para o usuário da previsão do consumo total no ambiente.

Informações Gerais	
Consumo Geral (kWh) (Valor Aproximado)	
0.0023630157793	

Figura 5.16 Informações de consumo geral.

5.6 Consumo por Laboratório e por Equipamento

A partir dos dados de medições coletados por cada equipamento, é possível a comparação do consumo de cada equipamento e de cada laboratório. As informações e os gráficos das Figuras 5.17 e 5.18 foram obtidos a partir dos dados gerados aleatoriamente pela aplicação.

Para a Figura 5.17 pode-se levar em conta os valores de consumo apresentados na Figura 5.14.

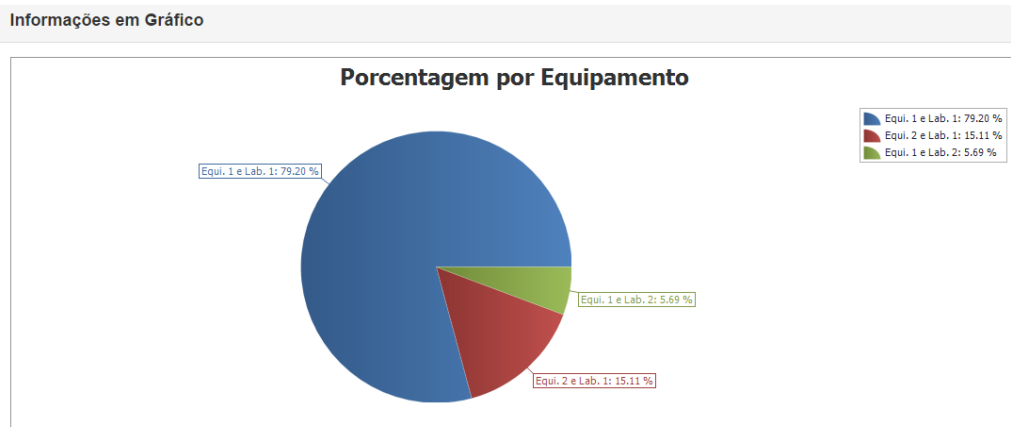


Figura 5.17 Comparação de consumo entre equipamentos.

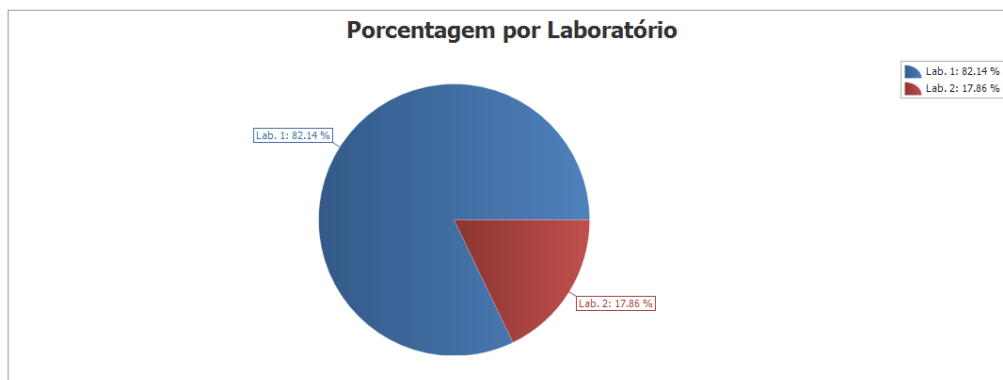


Figura 5.18 Comparação de consumo entre laboratórios.

5.7 Tabela de Comparação

Esta seção tem como objetivo comparar o sistema proposto com as soluções apresentadas no capítulo 3. O sistema de monitoramento implementado neste trabalho é incluído na Tabela 3.1 para fins de comparação. As funcionalidades presentes nesta tabela foram obtidas a partir de um estudo do possibilita ao consumir entender o consumo de energia dentro de sua residência e com isto tomar as medidas necessárias para economia de energia.

A tabela a seguir mostra o quanto o sistema deste trabalho é completo em relação as outras soluções, entregando ao cliente a melhor opção para monitoramento do consumo de energia dentro de uma residência. A numeração da coluna nas tabelas tem a seguinte relação com as soluções:

1. AM Braga et. al. [dSPKFC]
2. GJ de Paula [dP13]
3. Horvat et. al. [Ža13]

4. Nguyen et. al. [dG08]
5. Sanchez et. al. [Nav14]
6. Shajahan et. al. [Ana13]
7. Han et. al. [sCIL11]
8. Inoue et. al. [Kub03]
9. FJS Coelho [Coe15]
10. SmartCIn (Sistema proposto neste trabalho)

Funcionalidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ligar/Desligar Carga	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Proteção Contra Sobre-carga	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Histórico de Medições	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Medições em Tempo Real	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Consumo por Equipamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Informação de qual Equipamento está Consumindo mais	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Informações de Potência	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Potência Ativa, Reativa, Aparente e Fator de Potência	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Informações de Corrente	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Informações de Tensão	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Informações de Consumo (kWh)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Meta de Consumo	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Informações de Temperatura	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim
Informações de Presença	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Porcentagem	43%	50%	50%	50%	64%	50%	36%	36%	64%	100%

Tabela 5.1: Comparação do sistema proposto com outras soluções.

Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi proposto um sistema para monitoramento remoto do consumo de energia dentro do Centro de Informática. Funcionalidades como ligar/desligar carga e proteção contra sobrecarga foram implementadas neste trabalho. Além disto, também foram implementadas funções que permitam ao usuário compreender o consumo de energia de sua residência, como informações contendo histórico de medições e informações de qual equipamento está consumindo mais em relação aos outros.

Foram estudadas algumas soluções encontradas no estado da arte que visam o mesmo objetivo deste trabalho. Uma análise de suas funcionalidades foi feita. A partir desta análise, foi gerada a Tabela 3.1 para fins de comparação destas soluções. Além disto, estas funcionalidades serviram de base para a implementação do sistema inicialmente proposto neste trabalho.

Considerando o sistema final e tomando como base a comparação feita com os outros sistemas na Tabela 5.1, é possível considerar que a solução descrita neste projeto é completa, entregando ao usuário uma boa alternativa para monitoramento do consumo de energia. Além disto, a partir da escolha dos equipamentos que compõem o sistema de monitoramento, em conjunto com a aplicação *web*, que permite fácil acesso para o usuário, é possível concluir que a estratégia deste trabalho entrega ao cliente um ótimo custo-benefício e uma solução viável para monitorar o consumo dentro de uma residência.

Uma importante proposta para trabalhos futuros é a de analisar como o sistema implementado aqui pode influenciar nas medidas tomadas pelo usuário para economia de energia. Além disto, é importante estudar se estas medidas realmente tiveram resultados significativos para diminuir o valor da conta de energia. Uma pesquisa pode ser feita visando o nível de satisfação das pessoas ao se utilizar este sistema.

Outro ponto que pode ser desenvolvido para melhorar este sistema é a inclusão de uma implementação inteligente. Esta nova implementação, considerando algoritmos inteligentes, teria como principal finalidade analisar o comportamento do consumo de energia do usuário ao longo dos anos e, com isto, poderiam ser tomadas medidas para economia de energia sem a intervenção do usuário. A criação de uma base de dados, contendo informações de consumo de energia de um local, é de grande contribuição, possibilitando diversas opções para estudos futuros, como por exemplo, aprender o comportamento de consumo energético de uma pessoa.

APÊNDICE A

Visão Geral do Banco de Dados

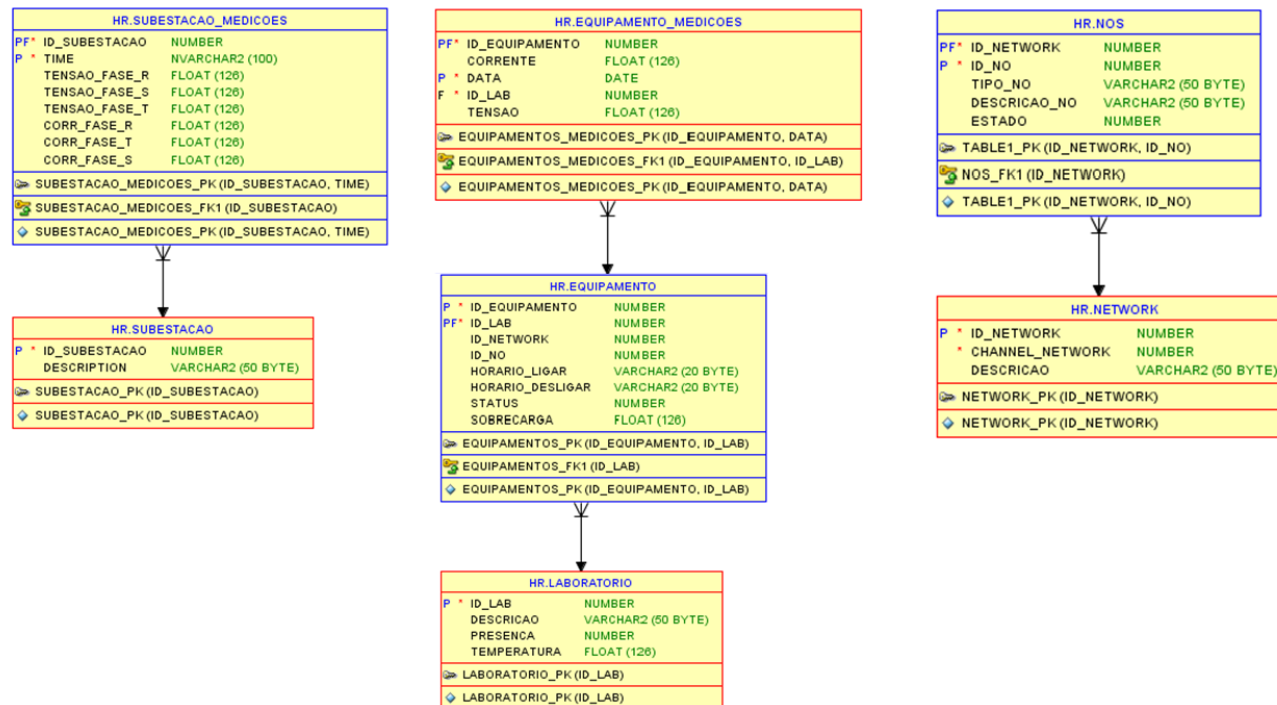


Figura A.1 Modelagem geral do banco de dados utilizado no sistema .

Referências Bibliográficas

- [Ana13] Altaf Hamed Shajahan ; A. Anand. Data acquisition and control using arduino-android platform: Smart plug. *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, pages 241–244, 2013.
- [Bra06] Eric Williams; Scott Matthews; Michael Breton; Todd Brady. Use of a computer-based system to measure and manage energy consumption in the home. *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, pages 167–172, 2006.
- [Bru12] Mahmoud A. Alahmad ; Patrick G. Wheeler ; Avery Schwer ; Joshua Eiden ; Adam Brumbaugh. A comparative study of three feedback devices for residential real-time energy monitoring. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, pages 2002–2013, 2012.
- [Coe15] F.J.S. Coelho. *Uma Infraestrutura para Monitoramento do Consumo de Energia Residencial Baseado em Power Line Communication*. Dissertação, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- [dG08] Duy Nguyen ; Michael Negnevisky ; Danchi Jiang ; Martin de Groot. A model of domestic energy management enabling low-cost technolog. *Power Engineering Conference*, pages 1–6, 2008.
- [dmb] Diferença entre monofásico, bifásico e trifásico. Disponível em: <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/diferenca-entre-monofasico-bifasico-trifasico.html>. Acessado em 18 de junho de 2017 às 16:30.
- [dP13] G.J. de Paula. *Medidor de Demanda de Energia Elétrica Residencial com Acesso Remoto*. Trabalho de graduação, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, 2013.
- [dSPKFC] AM Braga; WJD Vasconcelos; JPS de Sousa; P Klecius; F Cardoso. Gerenciamento do consumo de energia elétrica residencial através de uma ferramenta de comunicação sem fio. *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará*.
- [FeM] Fornecimento de energia, monofásica, bifásica ou trifásica? Disponível em: <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/fornecimento-energia/>. Acessado em 18 de junho de 2017 às 17:30.

- [Fer12] J.B. Ferreira. *Análise de Formas de Medição de Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial*. Trabalho de graduação, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
- [Fil02] Joao Mamede Filho. *Instalacoes eletricas industriais*. Sexta edição. Livros Tecnicos e Cientificos, 2002.
- [K05] Ueno T; Inada R; Saeki O; Tsuji K. Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses: Analysis on how the residents respond. *Proceedings of European Council for an Energy - Efficient Economy 2005 Summer Study*, pages 1289–1299, 2005.
- [Kub03] Masahiro Inoue; Toshiyasu Higuma; Yoshiaki Ito; Noriyuki Kushiro; Hitoshi Kubota. Network architecture for home energy management system. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 49(3):606–613, 2003.
- [Mí07] Agustín Mínguez. *Medidores de Energia Ativa: Funcionamento, Práticas Usuais, Principais Ensaio e Análise das Fraudes mais Comuns*. Trabalho de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- [Nav14] Sergio Zarza Sánchez; Rosa M. Fernández-Cantí; José A. Lázaro; Isidre Ortega Gómez; José A. Altabás Navarro. Monitoring and remote control of energy consumption by wifi networks. *IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices*, pages 1–5, 2014.
- [Par09] Jinsoo Han ; Haeryong Lee ; Kwang-Roh Park. Remote-controllable and energy-saving room architecture based on zigbee communication. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55:264–268, 2009.
- [sCIL11] Jinsoo Han ; Chang sic Choi ; Ilwoo Lee. More efficient home energy management system based on zigbee communication and infrared remote control. *IEEE Transactions Consumer Electronics*, pages 85–89, 2011.
- [Sma11] D. ; De Munari I. ; Aisa V. ; Ciampolini P. Smargiassi, E. ; Mancini. Wr@p a “last-meter” technology for energy-aware networked appliances. *IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, pages 193–198, 2011.
- [Tip13] Ye Yan ; Yi Qian ; Hamid Sharif ; David Tipper. A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15:5–20, 2013.
- [Ža13] Goran Horvat ; Davor Vinko ; Drago Žagar. Household power outlet overload protection and monitoring using cost effective embedded solution. *Mediterranean Conference on Embedded Computing*, pages 242–246, 2013.

