

**UNIJUÍ**  
**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO**  
**GRANDE DO SUL**

**DCEEng**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**IMPLANTAÇÃO DE UM MEDIDOR PRÉ-PAGO DE**  
**ENERGIA ELÉTRICA COM COMUNICAÇÃO VIA**  
**REDE MÓVEL**

**DARLAN RÉGIS FISCHER**

**IJUÍ (RS)**  
**2015**

**DARLAN RÉGIS FISCHER**

**IMPLANTAÇÃO DE UM MEDIDOR  
PRÉ-PAGO DE ENERGIA  
ELÉTRICA COM CONEXÃO VIA  
REDE MÓVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

**Orientador: Mauro Fonseca Rodrigues**

**IJUÍ (RS)**

**2015**

**DARLAN RÉGIS FISCHER**

**IMPLANTAÇÃO DE UM MEDIDOR PRÉ-PAGO DE ENERGIA ELÉTRICA  
COM COMUNICAÇÃO VIA REDE MÓVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Eletricista.**

---

Prof. Mauro Fonseca Rodrigues

UNIJUÍ

---

Prof. Eliseu Kotlinski

UNIJUÍ

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço em especial a Deus, que é meu Senhor e minha fonte de vida, por ter me transmitido saúde e perseverança durante a realização deste trabalho.*

*Agradeço aos meus familiares, que de alguma forma ou outra sempre estiveram me proporcionando apoio, amizade, carinho e compreensão durante meus estudos enquanto acadêmico.*

*Agradeço ao Prof. Mauro Fonseca Rodrigues, por toda a sua disponibilidade e ajuda na realização desse trabalho.*

*Por fim, agradeço a todos os professores e colegas do curso de Engenharia Elétrica pelos ensinamentos, ajuda e companheirismo ao decorrer do curso.*

## RESUMO

O sistema de medição de energia elétrica encontrado em nossas residências e empresas tem sua contabilização na forma pós-paga. Devido às necessidades de integração das redes elétricas inteligentes e medição inteligente bidirecional, uma evolução natural dos sistemas elétricos, novos sistemas de medição estão surgindo no mercado. Dentro desse contexto, o sistema com redes elétricas inteligentes traz grandes alternativas em relação ao sistema convencional, como a realização de cobrança pré-paga para os consumidores, melhorando assim a gestão e a eficiência da medição, devendo estar conectado continuamente com a concessionária. Uma das diversas características previstas no sistema de medição inteligente é a adoção de fatura de tarifação pré-paga, possibilitando que o consumidor gerencie de uma forma mais eficaz os seus gastos com energia elétrica. Nesse modo, a partir de um estudo detalhado das tecnologias disponíveis e uso desse sistema, sobretudo em outros países, pretende-se criar um modelo de medidor de energia pré-pago com comunicação GSM. O modelo proposto, possui o intuito de facilitar o dia-a-dia das pessoas e das concessionárias, através da plataforma GSM, que estará conectada diretamente com a concessionária de energia, estabelecendo comunicação através da rede móvel de telefonia. Assim, quando o usuário realizar a recarga do celular, o valor recarregado irá ser transformado em saldo para gastar com energia elétrica pelo consumidor em sua residência, apresentando no display as informações de consumo e o saldo remanescente a ser consumido. Além disso, a concessionária pode acessar o equipamento à distância e informar novos valores de tarifa para que ele seja atualizado tão logo mudem as regras de tarifação do sistema de energia elétrica.

**Palavras-chaves:** medidor de energia pré-pago, plataforma GSM, medição inteligente, *Smart Grid*.

## ABSTRACT

The electricity metering system found in our homes and businesses have their accounting in the post-paid basis. Due to the integration needs of smart grids and smart metering bidirectional, a natural evolution of the electrical systems, new measurement systems are emerging in the market. In this context, the system with smart grid brings great alternative to the conventional system, as the realization of prepaid charges for consumers, thereby improving the management and measurement of efficiency and should be continuously connected with the dealership. One of the many features provided in the smart metering system is the adoption of prepaid billing invoice, enabling consumers to manage more effectively their energy expenses. In this way, from a detailed study of available technologies and use of this system, especially in other countries, aims to create a prepaid power meter model with GSM communication. The proposed model, has the purpose of facilitating the day-to-day lives and the concessionaires through the GSM platform, which will be connected directly to the power utility, establishing communication via the mobile telephone network. So when you hold the phone recharge, the recharged value will be transformed into balance to spend on electricity by the consumer at his home, with the display of consumer information and the remaining balance to be consumed. In addition, the utility can access the device remotely and inform new tariff values for it to be updated as soon change the rules for charging the electric power system.

**Keywords:** prepaid energy meter, GSM platform, smart metering, smart grid.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento de uma Usina Hidrelétrica .....	16
Figura 2 - Energia elétrica desde a geração até o consumo .....	17
Figura 3 - Medidor eletrônico de energia elétrica .....	21
Figura 4 - Diagrama de blocos do medidor eletrônico .....	22
Figura 5 - Conectividade da medição inteligente ( <i>Smart Grid</i> ) .....	23
Figura 6 - Conexão entre medidores e unidade local .....	27
Figura 7 - Estrutura da rede GSM .....	30
Figura 8 - Arquitetura GSM .....	31
Figura 9 - Sistema pós-pago de energia .....	33
Figura 10 - Sistema pós-pago de energia - Sistema de religação .....	34
Figura 11 - Sistema pré-pago de energia .....	35
Figura 12- Terminal Key Meter .....	38
Figura 13 - Terminal <i>Card Meter</i> .....	38
Figura 14 - Terminal Keypad Meter .....	39
Figura 15 - Comparativo da Tarifa Branca e da Tarifa Convencional .....	40
Figura 16 - Diagrama de blocos do medidor de energia .....	49
Figura 17 - Sensor SCT013-30 .....	51
Figura 18 - Associação de resistores utilizado no protótipo .....	51
Figura 19 - Shield GSM .....	52
Figura 20 – Plataforma Arduino .....	53
Figura 21 - Tela inicial do sistema de medição .....	53
Figura 22 - Protótipo antes de realizar a recarga .....	54
Figura 23 - Interface do medidor após o consumidor realizar a recarga .....	55
Figura 24 - Medidor em funcionamento .....	55
Figura 25 - Sistema de alerta ao consumidor em funcionamento .....	56
Figura 26 - Nova recarga realizada .....	56
Figura 27 -Interface final do medidor .....	57

## **LISTA DE TABELAS**

Quadro 1 - Comparativo do sistema pré-pago de energia com o de telefonia . 42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AMI** - Infraestrutura de Medição Avançada
- AMM** - Gerenciamento Avançado do Medidor
- AMR** - Leitura Automática do Medidor
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BSS** - *Base Station Subsystem* - Subsistema Estação Rádio Base
- BT** – Baixa Tensão
- DCEEng** - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias
- DEC** – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
- DIC** – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
- DMIC** – Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora
- FDMA** - *Frequency Division Multiple Access*
- FEC** – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
- FIC** – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
- FP** – Fator de Potência
- FTP** - *File Transfer Protocol*
- GPRS** - *General Packet Radio Service* - Serviço de Rádio Geral por Pacotes
- GSM** - *Global System for Mobile Communications*
- ICMS** - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
- IMEI** - *International Mobile Equipment Identity*
- IMSI** - *International Mobile Subscriber Identity*
- Inmetro** – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- ISDN** – *Integrated Services Digital Network*
- kbps** – Quilobit por segundo
- kV** - Quilovolt
- kW.h** – Quilowatt-hora
- MDM** - Gerenciamento de Dados do Medidor

**Mhz** – *Mega Hertz*

**NAN** - Neighborhood Area Network

**NSS** - *Network and Switching Subsystem* - Subsistema de Rede e Comutação

**OSS** - *Operation Support Subsystem* - Subsistema de Suporte de Operação

**PIN** – *Personal Identification Number*

**PRODIST** - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

**REIs** - Redes Elétricas Inteligentes

**SIM** - *Subscriber Identity Module*

**SMS** - *Short Message System*

**TCC** – Trabalho de Conclusão de Curso

**TDMA** - *Time Division Multiple Access*

**UNIJUI** - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

**V** – Volts

**WAN** - *Wide Area Network*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>14</b>
<b>2. EMBASAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>3. MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Medidor eletromecânico .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Medidores eletrônicos .....</b>	<b>20</b>
<b>4. MEDIÇÃO INTELIGENTE .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Tecnologias AMR, AMI, AMM E MDM .....</b>	<b>25</b>
4.1.1 Tecnologia AMR .....	26
4.1.2 Tecnologia AMI.....	27
4.1.3 Tecnologia AMM.....	28
4.1.4 Tecnologia MDM.....	28
<b>4.2 Plataforma GSM.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Plataforma GPRS.....</b>	<b>31</b>
<b>5. SISTEMAS DE TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Sistema pós-pago de energia elétrica.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Sistema pré-pago de energia elétrica.....</b>	<b>34</b>
5.2.1 Vantagens para o consumidor .....	35
5.2.2 Vantagens para a concessionária.....	36
5.2.3 Desvantagens para o consumidor .....	36
5.2.4 Desvantagens para a concessionária.....	37
<b>5.3 Terminais pré-pagos mais utilizados .....</b>	<b>37</b>
5.3.1 <i>Key meter</i> .....	37
5.3.2 <i>Card meter</i> .....	38
5.3.3 <i>Keypad meter</i> .....	38
<b>5.4 Tarifa branca.....</b>	<b>39</b>
<b>5.5 Sistema pré-pago de telefonia móvel.....</b>	<b>41</b>

<b>6. EXPERIÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS COM ENERGIA PRÉ-PAGA.....</b>	<b>43</b>
<b>6.1 Experiências nacionais com energia pré-paga .....</b>	<b>43</b>
6.1.1 Vila São Tomé .....	43
6.1.2 Rio de Janeiro.....	43
<b>6.2 Experiências internacionais com energia pré-paga.....</b>	<b>45</b>
6.2.1 África do Sul .....	45
6.2.2 Inglaterra .....	46
6.2.3 Irlanda.....	46
6.2.4 Argentina .....	47
6.2.5 Bélgica.....	47
6.2.6 Peru .....	47
<b>7. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....</b>	<b>49</b>
<b>7.1 Modelo proposto .....</b>	<b>49</b>
<b>7.2 Descrição dos componentes do sistema.....</b>	<b>50</b>
7.2.1 Sensor de corrente .....	50
7.2.2 Plataforma GSM.....	51
7.2.3 Microprocessador– <i>Arduino</i> .....	52
<b>7.3 Testes realizados .....</b>	<b>53</b>
<b>7.4 Comercialização do protótipo .....</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>8.1 Proposta para futuros projetos.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Muitas inovações vêm surgindo em nosso mundo moderno, e a automação de sistemas elétricos para um plano de pagamento está em constante evolução, e nessas mudanças os sistemas de energia pré-paga estão se intensificando. Essa nova modalidade, propicia ao usuário uma melhor gestão do consumo de energia elétrica, podendo acompanhar em tempo real o quanto de energia está utilizando.

Atualmente existem diversos modelos para medidores individuais para o sistema de pré-pagamento. Pensando em facilitar a vida das pessoas e, conseqüentemente, fazer com que as pessoas saibam o quanto de energia estão gastando, o foco desse trabalho é a criação de um medidor de energia elétrica com comunicação através da rede móvel de telefonia, ou seja, um medidor onde possa ter um chip de telefonia móvel acoplado, em que as pessoas poderiam realizar uma recarga, e essa recarga seria transformada em créditos para serem utilizados em energia.

O trabalho está dividido em oito capítulos:

- O primeiro capítulo contempla a introdução do trabalho, apresentando o objetivo geral, os objetivos específicos, justificativa e hipótese.
- O segundo capítulo contempla o embasamento teórico do trabalho, relacionando a geração da energia elétrica até a distribuição para o consumidor, além disso, também é comentado de maneira introdutória o sistema de pré-pagamento de energia.
- No terceiro capítulo será abordado os tipos de medidores de energia elétrica existentes atualmente, explicando o funcionamento de cada um.
- No quarto capítulo é discutido a utilização da medição inteligente, enfatizando os tipos de tecnologias aplicadas, que se dividem em AMR, AMI, AMM e MDM. Além disso, também é explicado o funcionamento das plataformas GSM e GPRS.
- O quinto capítulo contempla os sistemas de tarifação de energia elétrica existente, que podem ser divididas em sistema pós-pago e pré-pago, explicando as vantagens e desvantagens de cada um deles relacionados ao

consumidor e a concessionária. Além disso, será abordado de forma sucinta o funcionamento da Tarifa Branca e também os tipos de medidores pré-pagos existentes no mundo, explicando o funcionamento de cada um deles.

- No sexto capítulo serão descritas as experiências já realizadas utilizando os medidores de energia pré-pagos, tanto nacionalmente como internacionalmente.

- No sétimo capítulo será descrito o desenvolvimento do protótipo proposto, explicando os componentes que foram utilizados e também o seu funcionamento.

- O oitavo capítulo contempla a conclusão do trabalho e também futuras propostas para desenvolvimento.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um novo medidor de energia pré-paga com comunicação através do sistema de telefonia móvel, com o objetivo de facilitar o dia-a-dia das pessoas e das concessionárias, através da plataforma GSM, que estará conectada continuamente com a concessionária de energia, estabelecendo comunicação através da rede móvel de telefonia.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Análise detalhada sobre a medição inteligente e suas tecnologias.
- Estudo sobre a implantação da Tarifa Branca.
- Comparativo do sistema elétrico convencional com o sistema pré-pago.
- Análise das vantagens e desvantagens que o sistema de pré-pagamento tem a respeito do consumidor e das concessionárias de energia.
  - Estudo sobre as regulamentações de outros países que utilizam o sistema de energia pré-paga e sugerir propostas visando melhor eficiência para a implantação no Brasil.
  - Análise dos medidores pré-pagos já existentes no mercado e seus funcionamentos.

- Desenvolver um protótipo do medidor, testar e validar.

## 1.2 Justificativa

Esse é um tema que vai agregar muito na vida de muitas pessoas brasileiras, principalmente as de baixa renda, pois com um novo medidor de energia pré-paga irão poder administrar melhor os seus gastos, assim o usuário pode escolher quanto e quando comprar créditos para seu medido, além de ter um controle real de quanto de energia está consumindo.

De acordo com a notícia do Senado Federal Agência Senado, o consumidor de baixa renda poderá optar por conta pré-pago de energia e ter faixa de gratuidade.

O PLS (Projeto de Lei do Senado) 365/09, incumbe a Conta do Desenvolvimento energético (CDE), prevista na Lei 104358/02, de financiar a gratuidade de até 30 kWh para os consumidores de baixa renda. A única condição é que esses consumidores façam a adesão ao sistema de pré-pagamento da fatura, na forma de uma futura regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Com esse apoio do governo, pode-se prever uma queda no uso de energia de forma clandestina e uma diminuição do número de consumidores inadimplentes. (HIEDA, 2012, pág. 17-18).

O novo medidor que se pretende criar, será algo que irá facilitar muito o dia-a-dia das pessoas, pois além de poder controlar a energia gasta, as pessoas têm fácil acesso a recargas de celulares. Nesse caso, o usuário ao realizar uma recarga de celular em qualquer ponto de venda, terá o valor da recarga transformado em uma certa quantidade de energia elétrica para ser gasta. Em outros países, existem sistemas semelhantes a este, como por exemplo na África do Sul, existe o sistema *Smart-cards*, aonde o usuário recebe um cartão magnético que contém dados que serão usados para compra de créditos nos terminais cadastrados, assim logo após a compra de créditos o usuário coloca o cartão no medidor.

Além disso, para as concessionárias de energia, irá diminuir a quantidade de usuários inadimplentes e também poderão controlar a quantidade de energia na rede, evitando assim os famosos “gatos”, ou seja, as ligações elétricas clandestinas com o intuito de furtar energia elétrica, por parte de alguns consumidores.

Atualmente a energia pré-paga já é existente em diversos países, mas no Brasil ainda é uma grande novidade. Apesar da Aneel ter aprovado a

resolução quer permite a utilização do sistema de pré-pagamento de energia elétrica no país em março de 2014, já existe no Brasil dois projetos pilotos, ou seja, dois projetos testes desse sistema, um está localizado na vila de São Tomé, na região da Amazônia, e o outro no Rio de Janeiro.

Segundo informações da Aneel na data 01/04/2014, o sistema de pré-pagamento de energia funcionará da seguinte forma:

O consumidor recebe um crédito inicial de 20 kWh, a ser quitado na compra subsequente. Posteriormente, poderá comprar novos créditos quando quiser e quantas vezes desejar, sendo 5 kWh o montante mínimo de compra. A venda dependerá da estratégia que a distribuidora adotar, o que pode ocorrer por meio de agentes credenciados pela distribuidora ou, inclusive, pela internet. A tarifa do pré-pagamento será igual à do pós-pago. No entanto, a distribuidora poderá conceder descontos por sua conta e risco para incentivar os consumidores a aderirem à novidade.

No pré-pagamento, a notificação prévia ao esgotamento dos créditos ocorrerá por meio de alarmes visual e sonoro disponíveis no interior da unidade consumidora, a fim de que haja tempo hábil para providenciar uma nova recarga.

Além disso, quando houver esgotamento dos créditos, o consumidor poderá solicitar à distribuidora um crédito de emergência de 20 kWh, que deverá ser disponibilizado em qualquer dia da semana e horário, sendo pago pelo consumidor na primeira compra subsequente.

O retorno ao modelo convencional poderá ser solicitado a qualquer tempo e o pedido deve ser atendido em no máximo 30 dias. (Aneel, 2014).

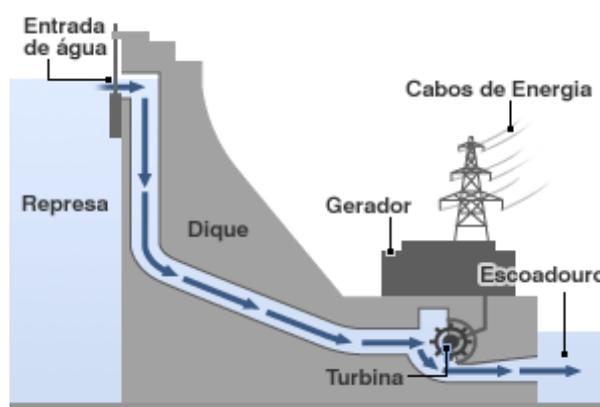
Nos países em que esse sistema já é utilizado a mais tempo, são utilizados medidores aonde é inserida uma chave com um código, que pode ser adquirida em diversos pontos. Além desses modelos existem também medidores mais aprimorados que já possuem conexão com a internet, ou seja, o cliente pode comprar pela internet o valor que irá gastar em energia elétrica.

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO

O sistema de energia elétrica brasileiro pode ser dividido em três partes: geração, transmissão e distribuição.

Atualmente, a geração de energia elétrica brasileira que alimenta o comércio, a indústria e nossas casas é proveniente principalmente de usinas hidroelétricas (Figura 1), isso devido ao grande potencial hídrico existente e também ao relevo que facilita as grandes quedas d'água, dessa maneira ocorre a passagem das águas dos rios pelas turbinas, que transformam a energia mecânica em energia elétrica.

Figura 1 - Funcionamento de uma Usina Hidrelétrica



Fonte: (BBC Brasil, 2014)

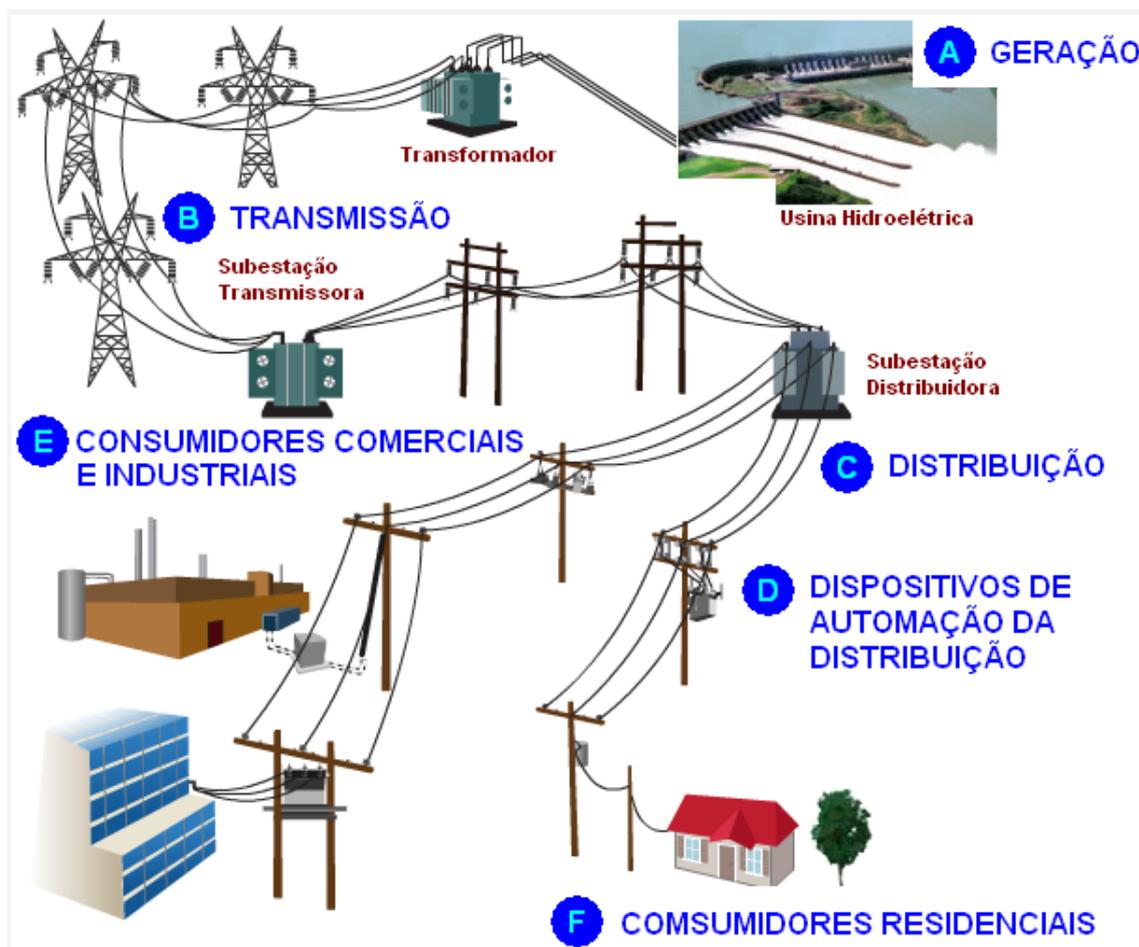
O bloco de geração de energia elétrica é seguido pelo da subestação de elevação de tensão, no qual a tensão gerada é elevada para a tensão de transmissão. O valor desta tensão a ser transportada é estabelecido em função da distância a ser percorrida e pela quantia de energia a ser transportada.

Segundo Bock (2014), os blocos subsequentes correspondem ao sistema de transmissão, subestação abaixadora de subtransmissão (primeiro estágio de abaixamento do nível de tensão), sistemas de subtransmissão (usualmente operam em níveis de tensão de 69 kV ou 138 kV), subestação de distribuição (reduzem a tensão de subtransmissão ao nível de 13,8 kV ou 23,1 kV), sistema de distribuição primária (responsáveis pelo suprimento dos transformadores de distribuição), transformadores de distribuição (responsável

pela transformação da tensão primária a níveis de baixa tensão) e sistema de distribuição secundária. Portanto a energia elétrica percorre um grande caminho a partir do ponto de geração para finalmente ser entregue aos clientes. Após o consumo da energia, ela é cobrada pela distribuidora, tendo todos os custos do percurso inseridos nessa tarifa, além de impostos.

Na Figura 2, pode-se observar o caminho que a energia elétrica percorre até chegar aos consumidores.

Figura 2 - Energia elétrica desde a geração até o consumo



Fonte: (SOARES, 2011)

No mercado de energia elétrica brasileira atual existe apenas uma opção para a taxação do serviço que se denomina sistema pós-pago, onde o cliente primeiramente utiliza o serviço para depois realizar o pagamento do mesmo. Nesse caso, se trata de uma maneira convencional, onde é dividido em três etapas. Primeiramente temos o consumo de energia elétrica por parte dos

consumidores, após isso, a leitura do consumo é realizada por um funcionário contratado pela concessionária onde é emitido um boleto para pagamento, e por fim temos o pagamento deste boleto por parte do consumidor.

Após se passar muitos anos, novos sistemas de medição de energia estão entrando no mercado. Em março de 2014, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) aprovou a Resolução Normativa N° 610/2014 que permite a utilização do sistema de pré-pagamento de energia elétrica no Brasil.

Segundo informações do site O Globo (2014), à implantação desse sistema ainda deverá demorar devido a regulamentação dos medidores eletrônicos de energia, que terão que ser aprovados pelo Inmetro, além da definição do valor do ICMS dos estados para a comercialização desta energia.

O sistema de energia pré-pago já existente em diversos países, como Inglaterra, Irlanda, Argentina, Bolívia, é semelhante ao sistema pré-pago de telefonia móvel, muito usado pela população. Nesse caso, o consumidor compra créditos de energia elétrica, e enquanto possuir créditos poderá utilizar energia. Após o término dos créditos, o consumidor poderá adquirir mais destes em diversos pontos.

Esse sistema de pré-pagamento quando implantado no Brasil, pode ter vantagens principalmente para a população de baixa renda, que poderá ter um maior controle da energia gasta, além de ser beneficiada com ajuda do governo. Além disso, com a instalação de medidores de energia pré-paga existe uma grande possibilidade de resolver o grande problema da inadimplência por parte dos consumidores, de não pagar a fatura de energia elétrica, além de resolver também o problema das ligações elétricas clandestinas destinadas a furtar energia elétrica. Para o consumidor que possui casa no campo ou na praia, também irá se isentar de pagar a taxa básica de energia todo o mês, assim poderá diminuir seus custos mensais.

Mas existem algumas controvérsias em relação a esse sistema: muitos acreditam que possa prejudicar os consumidores, uma vez que o corte ou bloqueio (nesse caso) do fornecimento de energia por falta de créditos é mais fácil e pode ocorrer de forma automática.

### **3. MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

Os medidores de energia elétricos são dispositivos ou equipamentos eletromecânicos/ eletrônicos que possuem a finalidade de medir o consumo de energia elétrica. A unidade mais utilizada é o kWh. Esse tipo de dispositivo está presente na maioria das residências e habitações no mundo todo, podendo ser ligado diretamente entre a rede elétrica e a residência ou através de transformadores de acoplamento de tensão/ corrente.

A energia elétrica, que chega em nossas residências, é medida de forma direta, onde o fornecimento de energia é feito na baixa tensão (127 / 220 V), não sendo necessário a utilização de equipamentos auxiliares. Já os consumidores de média (13,8 kV a 34,5 kV) e alta tensão (69 kV a 230 kV), necessitam de equipamentos auxiliares como transformador de corrente e potencial, destinados a medir as grandezas elétricas de forma indireta, isso ocorre pois o medidor não suporta uma conexão direta com as linhas de alta e média tensão, assim é necessário utilizar um conjunto para que se possa reduzir tensão e corrente, possibilitando assim a utilização de equipamentos de medição convencionais para a medição da energia elétrica.

Segundo Epalanga, Lopes e Tembu (2010), os erros dos medidores industriais podem variar de menos de 0,02% a até 2,00% em condições controladas (25°C +/- 5°C, tensão nominal e corrente nominal) e dependem da aplicação desejada. Nas residências são comumente utilizados medidores de classe 2 (erro relativo percentual de +/- 2,00 %).

#### **3.1 Medidor eletromecânico**

Segundo Mínguez (2007), o medidor eletromecânico de energia elétrica tipo indução é um motor elétrico cuja interação de fluxos magnéticos produz movimento no rotor com correntes elétricas.

Atualmente os medidores de energia elétrica eletromecânico do tipo indução são constituídos pelos seguintes componentes básicos:

- Elemento motor;
- Elemento móvel (disco);

- Ímã permanente,
- Registrador;
- Dispositivo de ajuste;
- Estrutura para a montagem dos componentes.

Segundo Epalanga et al. (2010), o funcionamento de um medidor eletromecânico do tipo indução pode ser descrito da seguinte maneira:

O elemento motor consiste de dois circuitos magnéticos com as respectivas bobinas de potencial e de corrente, cujos campos magnéticos resultantes são proporcionais à corrente e à tensão do circuito medido. Os fluxos resultantes das correntes que atravessam as bobinas de potencial e de corrente induzem correntes de Foucault no disco, feito de material condutor, que se encontra no entreferro. A interação das correntes induzidas no disco com os fluxos magnéticos das bobinas dá origem a quatro conjugados. O sentido da força eletromagnética, determinada pelo produto vetorial dos respectivos fluxos e corrente define o sentido da rotação do disco. O conjugado motor tem o valor maior que a fricção nos mancais e o atrito que o ar oferece ao disco em movimento. Assim, para um equilíbrio entre o conjugado motor e as rotações do disco, introduz-se um conjugado de restrição em forma de um ímã permanente, sendo proporcional à velocidade do disco e dependente do fluxo do ímã. O registrador em forma de ciclômetro ou ponteiros indica a energia medida, integrando e multiplicando pelas respectivas constantes (EPALANGA et al, 2010, pág. 7).

### **3.2 Medidores eletrônicos**

A tecnologia com medidores eletrônicos (Figura 3) garante tanto para a concessionária como para o consumidor uma melhor exatidão em relação aos medidores eletromecânicos, também podendo oferecer informações detalhadas em relação ao consumo de energia. O medidor eletrônico pode possuir a tecnologia de monitoramento de dados à distância via modem, ou internet, dependendo do modelo a ser utilizado.

Através das coletas de dados, o sistema de distribuição de energia elétrica disponibilizado pela concessionária, pode assim ser melhor dimensionado e o consumidor ser privilegiado com uma energia de melhor qualidade, com menos variações e interrupções no fornecimento. Entretanto essa nova tecnologia deve, assim como o medidor eletromecânico, garantir confiabilidade ao medidor eletrônico.

Segundo Mínguez (2007), dentre as vantagens da utilização do medidor eletrônico podemos destacar: automação do processo de aquisição e

tratamento de dados dos consumidores, para fins de faturamento, e ganhos na exatidão.

Figura 3 - Medidor eletrônico de energia elétrica



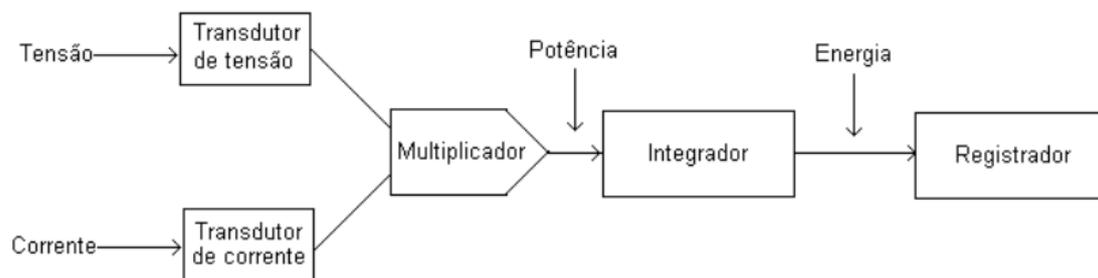
Fonte: (ECIL ENERGIA, 2014)

De acordo com Mínguez (2007), os transdutores de tensão e corrente são responsáveis por receber os sinais de entrada do medidor e adequá-los de modo a serem multiplicados. A potência é obtida através de blocos multiplicador. A energia é obtida através do bloco integrador, finalmente esse valor é armazenado e registrado no bloco registrador.

A Figura 4, mostra o diagrama de um medidor eletrônico e o princípio de funcionamento do mesmo, assim como os componentes básicos para realizar a medição da energia.

Atualmente o grande entrave para a larga escala de comercialização de medidores eletrônicos é o alto custo de aquisição por parte da concessionária, apesar que em grandes centros e cidades a troca de medidores eletromecânicos por eletrônicos já está ocorrendo.

Figura 4 - Diagrama de blocos do medidor eletrônico

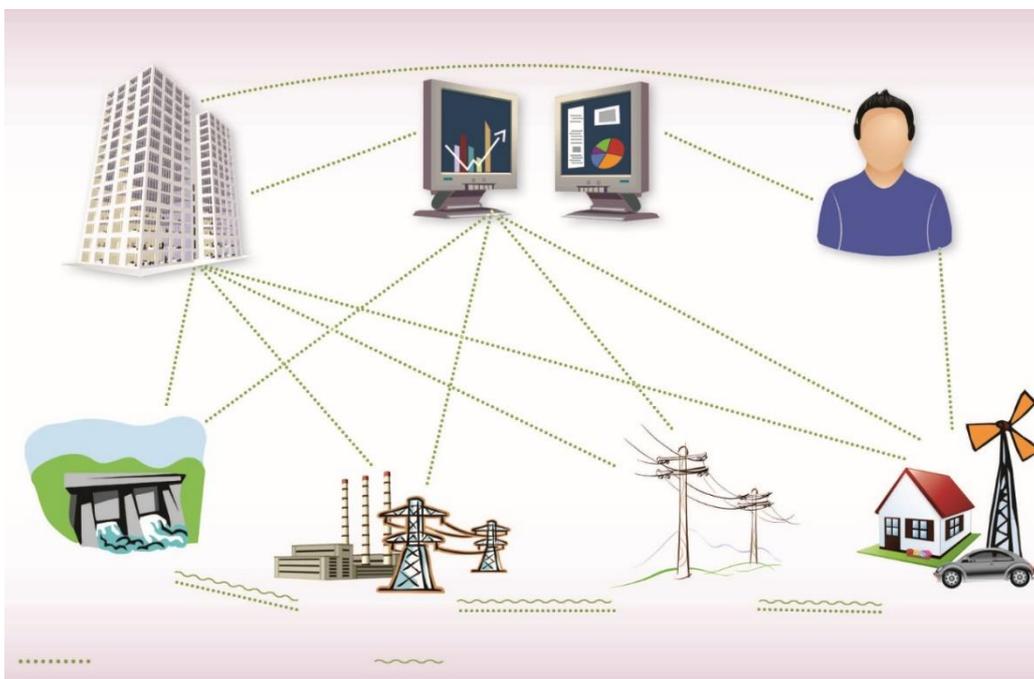


Fonte: (MÍNGUEZ,2007)

## 4. MEDIÇÃO INTELIGENTE

Atualmente a medição inteligente vem acompanhando a nova era do setor elétrico brasileiro e mundial, onde os medidores inteligentes estão se tornando peças fundamentais para a comunicação *Smart Grid* (Figura 5), gerando assim uma ampla conectividade entre consumidor e concessionária principalmente.

Figura 5 - Conectividade da medição inteligente (*Smart Grid*)



Fonte: (CEMIG, 2014)

O novo sistema com redes elétricas inteligentes traz grandes vantagens em relação ao sistema convencional com medidores eletromecânicos, melhorando assim a gestão e eficiência da medição, como por exemplo:

- Detecção de fraudes na rede elétrica;
- Corte e religamento remoto de energia;
- Comunicação bidirecional (consumidor e concessionária);
- Medição à distância, sem a necessidade de funcionário para realizar a medição.

O sistema de medição inteligente prevê a adoção de fatura de tarifação pré-paga de energia, possibilitando que o consumidor gerencie de uma forma mais eficaz os seus gastos com energia elétrica.

No parágrafo seguinte, a empresa Ecil Energia explica, de forma sucinta, a aplicação das redes inteligentes no funcionamento de distribuição de energia elétrica:

Segundo a empresa Ecil Energia, as redes NAN (*Neighborhood Area Network*) e WAN (*Wide Area Network*) serão a base que permitirá as concessionárias realizar a gestão no ponto de entrega, possibilitando o corte e religamento, a coleta de dados de energia, a identificação de eventos de fraude, a falta de energia em circuitos secundários e primários e outras funcionalidades ainda em fase de definição, de forma remota e instantânea. Além disso, o sistema fornece informações de gestão como perdas técnicas e comerciais por ramal, sobrecarga por circuito, desbalanceamento de fases e qualidade de energia, de forma dinâmica (Ecil Energia, 2014, pág. 3).

Neste caso, o sistema consiste basicamente na instalação de um medidor eletrônico em cada residência que interligados, trocam informações através de uma rede sem fio.

Os medidores inteligentes podem ser do modelo monofásico, bifásico e trifásico (direto e indireto), utilizados tanto para medições residenciais como para comerciais. Essa linha de medidor possui característica de utilização semelhante a de tecnologia de comunicação por rádio frequência, ou seja, cada medidor poderá operar como roteador de pacotes de outros medidores na rede de comunicação.

Neste caso, o roteamento de informações é realizado de forma dinâmica, tornando o sistema cada vez mais vigoroso, ou seja, quanto maior o número de dispositivos conectados à rede, maior será o fluxo de informações, permitindo assim o estabelecimento de diversos caminhos para o tráfego das informações.

Benefícios para o consumidor:

- Gestão online do consumo;
- Redução do tempo de interrupção no fornecimento;
- Energia pré-paga.

Benefícios para a concessionária:

- Controle online do consumo de energia residencial;
- Corte e religamento remoto;

- Detecção de fraudes na rede;
- Melhor interação com o consumidor.
- Melhoria de indicadores, DEC e FEC.

A implantação das REIs (Redes Elétricas Inteligentes), como é conhecido atualmente no Brasil, pode ser analisado em três etapas complementares e independentes.

Segundo Bandeira (2012), na primeira etapa, as intervenções são feitas com o objetivo de agregar inteligência ao sistema de fornecimento de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição), promovendo robustez, segurança e agilidade na rede.

A segunda etapa, tem como finalidade a substituição dos medidores eletromecânicos convencionais pela tecnologia dos medidores eletrônicos, assim, nesse caso o consumidor possui informações sobre o seu consumo de energia, registros das faturas anteriores, indicativos da qualidade da energia fornecida pela concessionária. Já as concessionárias de energia, irão poder realizar cortes e religamentos imediatos, oferecer novas tarifas de energia elétrica (energia pré-paga), além de reduzir custos com funcionários e manutenção de rede.

Na última etapa, se pode analisar o uso da automação por parte dos consumidores, principalmente pelo emprego de eletrodomésticos interligados aos medidores, permitindo uma gestão da qualidade de energia utilizada. Além disso, também pode se ter a comunicação bidirecional da energia elétrica, através da geração de energia solar e eólica.

#### **4.1 Tecnologias AMR, AMI, AMM E MDM**

Segundo Júnior e Oliveira (2012), dentro do contexto da Medição Inteligente existem alguns termos que devem ser explorados para melhor entendimento da evolução deste conceito que são Leitura Automática do Medidor (AMR), Infraestrutura de Medição Avançada (AMI), Gerenciamento Avançado do Medidor (AMM) e Gerenciamento de Dados do Medidor (MDM).

#### 4.1.1 Tecnologia AMR

Atualmente o método do serviço de leitura envolve gastos operacionais, com pagamento de funcionários, transporte e material de trabalho. Apesar de ser um sistema eficaz, é trabalho manual que se torna lento, além de ter possibilidades de erros nos registros de informações.

Nesse caso, a medição remota de consumo, conhecida como Leitura Automática do Medidor (AMR), é uma tecnologia promissora para as concessionárias de energia elétrica.

Segundo Fernandes (2006), implantar um sistema automático para a leitura do consumo permite o conhecimento da curva da demanda, a identificação precisa da frequência e duração das falhas no fornecimento (FEC e DEC) e o corte e religação remotos de clientes inadimplentes. Assim, a empresa pode melhorar seu desempenho e aumentar o lucro final.

No sistema AMR os medidores de energia se comunicam eletronicamente a uma central local. Essa central pode ser um computador que é responsável por fazer o armazenamento e o processamento das informações do consumo de todos os medidores conectados ao mesmo barramento.

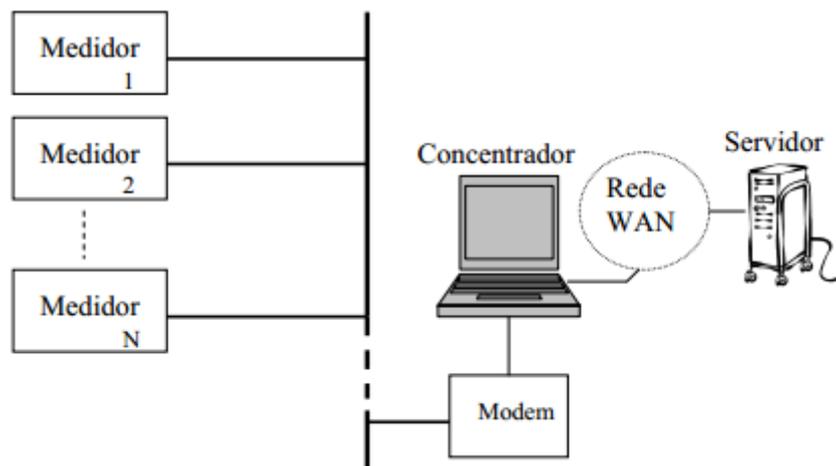
Em um sistema AMR podem ser utilizados medidores eletromecânicos convencionais, sem que haja a necessidade da substituição por outro tipo de medidor. Nesse caso, é necessário o desenvolvimento de um circuito eletrônico para monitorar o medidor eletromecânico e armazenar as suas informações de consumo. O dispositivo acoplado no medidor eletromecânico envia os dados para a central local. Essa solução se torna interessante uma vez que a empresa utiliza os medidores já adquiridos, evitando assim gastos maiores na troca por novos medidores.

Uma outra alternativa, seria a troca dos medidores eletromecânicos por eletrônicos. Nesse caso, o sistema de comunicação e monitoramento eletrônico do consumo de energia já estaria acoplado dentro do circuito do medidor.

Segundo Fernandes (2006), na topologia AMR, cada medidor deve possuir um endereço distinto para que possa ser identificado na linha. Por exemplo, todos os medidores deverão estar conectados através de uma rede comum a um mesmo computador que deverá realizar pedidos regulares de leitura dos totalizadores e armazenar estes dados.

A Figura 6 mostra a conexão de uma unidade local com os demais medidores.

Figura 6 - Conexão entre medidores e unidade local



Fonte: (FERNANDES, 2006)

Após agrupar as informações de consumos coletadas em um único ponto, as mesmas devem ser enviadas a um servidor da companhia de distribuição de energia através de uma rede interna privada ou uma rede pública, como a Internet. Assim, as informações de consumo dos clientes são armazenadas em banco de dados e são utilizados pelo sistema de cobrança da distribuidora. Nesse caso, a concessionária possui um ponto, onde o monitoramento de consumo e de cobrança é realizado de forma automatizada.

#### 4.1.2 Tecnologia AMI

O sistema de Infraestrutura de Medição Avançada (AMI) é um aprimoramento do sistema AMR, nesse caso existe um fluxo de dados duplo entre o medidor inteligente instalado na residência e o Centro de Controle de Medição da fornecedora de energia.

No parágrafo seguinte, pode-se ter uma explicação sucinta da atuação do sistema AMI:

Segundo Júnior e Oliveira, além de atuar no processo de geração de fatura, este sistema analisa a demanda de energia na unidade consumidora podendo atuar diretamente sobre dispositivos do consumidor, principalmente em períodos de pico, ou estimulando a participação ativa do consumidor através da sinalização do preço da

energia no display da interface de controle através do conceito preço em tempo real (dinâmica de preços), configurando o controle pelo lado da demanda. (JÚNIOR E OLIVEIRA, 2012, pág. 9)

#### 4.1.3 Tecnologia AMM

O sistema de Gerenciamento do Medidor Avançado (AMM), tem como função permitir o gerenciamento e o controle de vários medidores eletrônicos, fazendo com que a concessionária possa atuar sobre eles. Nesse caso o medidor eletrônico deixa de ser um dispositivo passivo e passa ser um equipamento ativo na rede, garantindo assim uma maior credibilidade e segurança no tráfego de informações entre o medidor eletrônico e o centro de controle de medição.

Segundo Júnior e Oliveira (2012), esta configuração também poderá permitir, além da geração remota da fatura, que a concessionária de energia elétrica realize o desligamento e o religamento remoto dos medidores, o que representará a menor necessidade de atuação de equipes no campo.

#### 4.1.4 Tecnologia MDM

Segundo Júnior e Oliveira (2012), o Gerenciamento de Dados de Medidor (MDM), possibilita a aquisição de dados adicionais tais como fator de potência (FP), duração de interrupção por unidade consumidora (DIC), frequência de interrupção por unidade consumidora (FIC), duração máxima de interrupção por unidade consumidora (DMIC), além de supervisionar e controlar grupos de medidores inteligentes, possibilitando dessa forma a atualização de firmware remotamente, garantindo a segurança da análise dos dados e o trânsito seguro das informações.

Portanto, o projeto de uma rede com medição inteligente, tem seu início com a instalação de medidores eletrônicos nas residências dos consumidores, permitindo assim a leitura automática do consumo por parte da concessionária de energia elétrica, até a instalação de um sistema que conecta o medidor da unidade consumidora com a rede de distribuição de energia da concessionária.

## 4.2 Plataforma GSM

O sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*), é um protocolo de comunicação para dispositivos sem fio criado em 1982, e atualmente é o padrão mais popular para celulares digitais no mundo. A tecnologia GSM é considerada o primeiro sistema de celular mundo a especificar modulação digital e arquiteturas de serviços de nível de rede, assim o GSM é conhecido como um sistema de telefonia celular da segunda geração, neste caso tecnologia 2G.

Segundo Braghetto et al. (ca. 2004), o padrão GSM foi inicialmente desenvolvido para ser um sistema pan-Europeu e prometia uma série de serviços utilizando a rede digital de serviços integrados RDSI (ou ISDN – *Integrated Services Digital Network*).

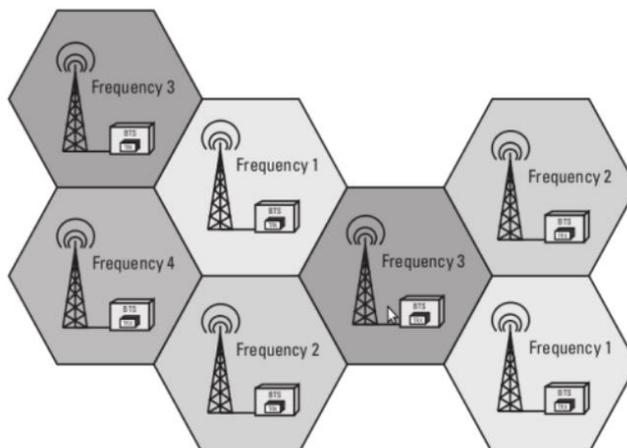
Para Liberalquino (2010), a arquitetura GSM utiliza uma estrutura celular (Figura 7), onde cada célula utiliza uma faixa de frequência de maneira que células vizinhas não utilizem a mesma faixa. O alcance de cada estação base é o menor possível, isso para que as frequências possam ser reusadas mais vezes.

O funcionamento do sistema GSM, é concentrado em dois conjuntos de frequências na banda dos 900 MHz. O primeiro conjunto de frequência é limitado na banda de 890 à 915 MHz, utilizando para as transmissões do terminal, já o segundo conjunto de banda é limitado entre 935 à 960 MHz, neste caso para as transmissões da rede. A frequência utilizada no método GSM é uma combinação de duas tecnologias o TDMA (*Time Division Multiple Access*) e o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).

A estrutura GSM possui algumas desvantagens, e uma delas é o grande custo de infraestrutura e manutenção, isso devido à grande quantidade de células que se necessita para manter uma boa conexão. Quando uma estação móvel, ou telefone celular, se desloca, ela pode sair de uma célula e migrar para outra, sendo assim é necessário realizar uma outra conexão para a nova estação base, esse processo é conhecido como *handover*. Além disso, é necessário se manter a localização aproximada de cada estação móvel dentro de uma célula, para que se consiga entregar uma chamada realizada por outro dispositivo. Portanto, por causa dos problemas de *handover* e de localização, a

estrutura se torna bastante complexa, com um grande volume de dados a ser analisados e processados por apenas uma única central, sendo necessário várias centrais de menor porte, gerando um alto custo.

Figura 7 - Estrutura da rede GSM



FONTE: (LIBERALQUINO, 2010)

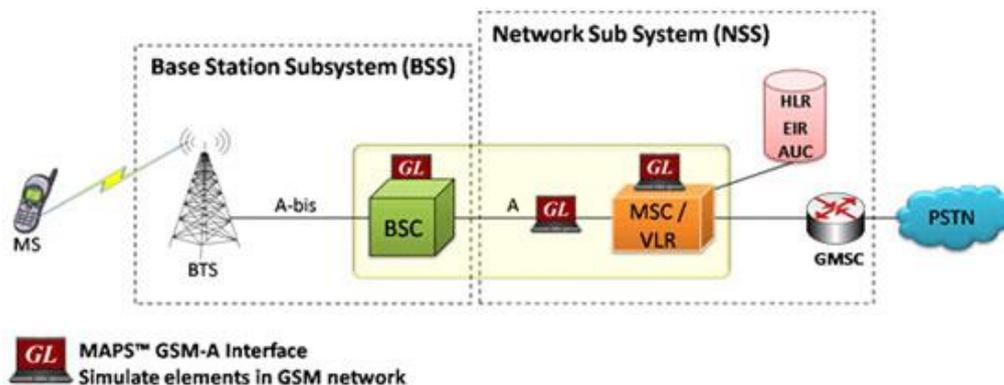
Em um sistema GSM, o usuário utiliza uma estação móvel, normalmente um aparelho celular, onde é inserido um chip SIM (*Subscriber Identity Module*), que possibilita identificar o usuário de maneira única. A identificação dos terminais, ou aparelhos, é dada através do IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), um número de identificação único composto por 15 dígitos.

Cada cartão SIM possui um código de identificação único e secreto denominado IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), esse código também pode ser protegido com o auxílio do código PIN, uma chave de 4 dígitos.

Nesse caso, independentemente de o usuário trocar de terminal, o cartão SIM irá identificar o usuário. A comunicação entre o usuário e a estação básica é realizada através de uma onda de rádio.

A arquitetura do sistema GSM (Figura 8), pode ser dividida em três subsistemas: subsistema estação rádio base (BSS - *Base Station Subsystem*), subsistema de rede e comutação (NSS - *Network and Switching Subsystem*) e o subsistema de suporte de operação (OSS - *Operation Support Subsystem*). Esses três subsistemas são conectados entre si e interagem diretamente com os usuários através de interfaces de rede.

Figura 8 - Arquitetura GSM



Fonte: (GL COMMUNICATIONS INC, 2014)

O subsistema estação rádio base (BSS), tem a finalidade de gerenciar as transmissões entre as estações móveis e a central de comutação, e também gerenciar a interface de rádio entre as estações móveis e todos os subsistemas GSM.

O subsistema de rede e comutação (NSS), é designado a gerenciar as funções de comutação do sistema e permitir que a central de serviços móveis se comunique com outras redes, como rede de telefonia pública comutada.

O subsistema de suporte de operação (OSS), tem o objetivo de operação e manutenção do sistema GSM. Neste caso, os engenheiros possuem acesso ao sistema, assim podem monitorar, diagnosticar e resolver problemas, caso haja alguma falha no aspecto do sistema GSM. O subsistema OSS, interage com os demais subsistemas, assim oferece facilidade de serviços para a companhia operadora.

### 4.3 Plataforma GPRS

O Serviço de Rádio Geral por Pacotes (*General Packet Radio Service – GPRS*), é um sistema que permite que sejam enviadas e recebidas informações em forma de dados através de uma rede de telefonia móvel. O sistema GPRS complementa o sistema de telefonia móvel GSM e o serviço de envio de mensagens via telefonia móvel, SMS (*Short Message System*). Logo, com a implantação de comunicação via dados, esse sistema se tornou conhecido como sistema da terceira geração, ou 3G.

O sistema GPRS foi desenvolvido para operar os serviços de dados, utilizando como base de transmissão a comutação de pacotes, diferente do sistema GSM que utiliza como transmissão a comutação por circuitos. Na comutação por pacotes a banda é empregada de forma mais eficiente, isso ocorre pois a transmissão é dada por rajadas.

O sistema GSM e GPRS possuem várias características semelhantes, como frequência, técnicas de modulação e banda. Apesar de todas essas semelhanças, existe uma grande diferença entre os dois sistemas, no caso a cobrança por uso GPRS é realizada pela quantidade de dados (bits) usados, já no serviço GSM, a cobrança é realizada pelo tempo de conexão (segundos) gastos.

Segundo Braghetto et al. (ca. 2004), o sistema GPRS facilita o uso de diversas aplicações novas que não é possível utilizar em redes GSM devido às limitações na velocidade de dados comutados circuito (9,6 kbps) e do comprimento de mensagem do SMS (160 caracteres). Existem dois grupos de aplicações as verticais e as horizontais. As horizontais são aplicações voltadas para os clientes *person-to-person* incluindo as ferramentas comuns como: *Web*, *chat*, *FTP (File Transfer Protocol)*, e-mails, leitor de cartão magnético. As verticais são aplicações adaptadas para resolver exigências.

Atualmente existem muitas aplicações utilizando o sistema GPRS, como:

- Permite que os adeptos do sistema utilizem grupos de chat, fazendo com que pessoas possam distribuir frases simples para um grupo de pessoas;
- Serviço de informações, como textos com uma gama maior de caracteres e a inserção de gráficos e figuras;
- Permite gravar informações, como vídeo conferência;
- Acesso à Web;
- Transferência de arquivos e imagens;
- Serviço de e-mail;
- Serviço de localização;

Nesse caso, existe uma vasta gama de aplicação utilizando como base o serviço GPRS, muitos ainda estão sendo desenvolvidos, e os atuais estão em constante implementação.

## 5. SISTEMAS DE TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Atualmente os dois principais tipos de tarifação de energia elétrica utilizados pela maior parte dos usuários no mundo, é o sistema pós-pago e o pré-pago. Além disso, atualmente existe no Brasil a Tarifa Branca, em que o valor da tarifação de energia difere de acordo com o dia da semana e a hora.

### 5.1 Sistema pós-pago de energia elétrica

Atualmente o sistema de tarifação de energia elétrica utilizado no Brasil é o pós-pago (Figura 9), ou seja, o consumidor primeiramente utiliza a energia para depois realizar o pagamento.

Nesse caso o sistema utilizado é bastante complexo em relação a sua tarifação. Existe um grande trabalho para que todo esse sistema funcione perfeitamente e uma também grande dificuldade por parte da distribuidora para o desligamento junto a consumidores inadimplentes.

Segundo Hieda (2012), no método pós-pago, o sistema de tarifação tem início com o fornecimento de energia por parte da concessionária para o consumidor, após um mês um funcionário contratado pela distribuidora se dirige à residência para fazer a leitura, e então é emitida uma conta da fatura para que o consumidor possa realizar o pagamento.

Figura 9 - Sistema pós-pago de energia



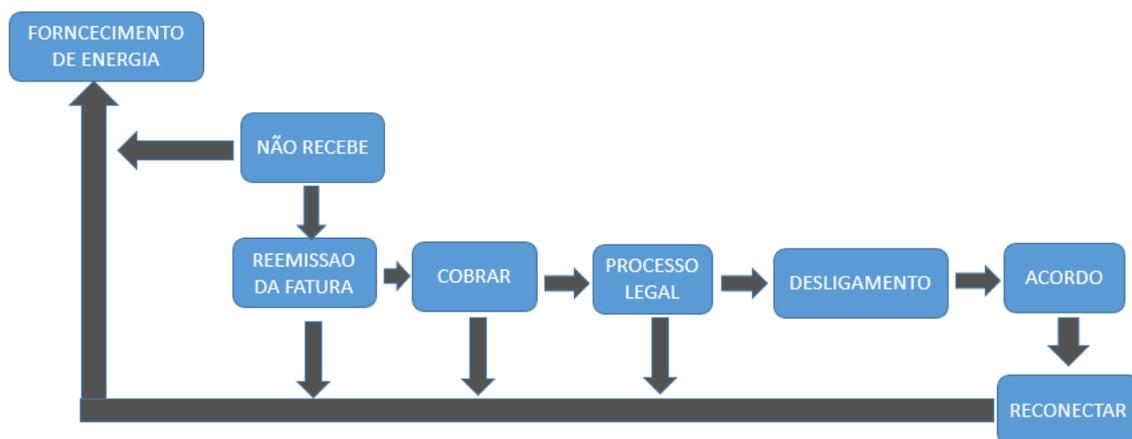
Fonte: ADAPTADO DE (BARBIERI, 2014)

Esse sistema convencional poderia funcionar perfeitamente, caso não fosse alguns consumidores inadimplentes, que após ser emitida a conta da fatura não realizam o pagamento da mesma. Nesse caso, se o pagamento não for realizado pelo consumidor, a concessionária é obrigada a reemitir a conta e

cobrar o usuário, nesse caso o fornecimento de energia continua normalmente. A energia é somente desligada através de um processo legal autorizando a concessionária a realizar a desconexão com o consumidor.

A Figura 10, mostra o processo de religamento de energia elétrica caso o consumidor não realiza o pagamento da fatura.

Figura 10 - Sistema pós-pago de energia - Sistema de religação



Fonte: ADAPTADO DE (BARBIERI, 2014)

No sistema convencional de tarifação existem preocupações tanto para o consumidor como para a concessionária. Para o consumidor as principais preocupações são a falta de dinheiro para realizar o pagamento da fatura, a visita de um funcionário da concessionária para realizar a leitura e por fim erros na leitura. Por parte da concessionária as preocupações são maiores, dentre as principais são a falta de acesso para realizar a leitura, erros na leitura, perdas por inadimplência, fluxo de caixa, relação com o consumidor, custos adicionais na fatura caso o usuário não efetuar o pagamento.

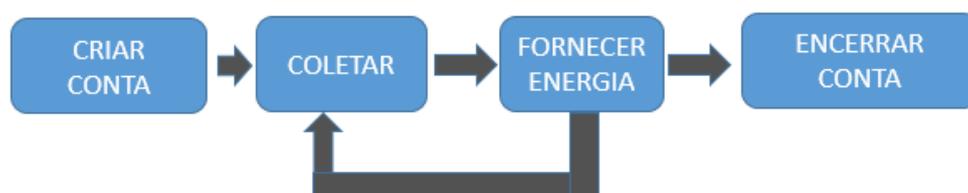
## 5.2 Sistema pré-pago de energia elétrica

O sistema pré-pago de energia possui uma forma mais simples de funcionamento, nesse caso ela pode ser dividida basicamente em três etapas: primeiramente é realizado a criação de uma conta para o consumidor, em seguida o usuário adquire créditos de energia e logo após a concessionária faz a coleta do pagamento para fornecer energia ao consumidor.

Na maioria dos casos, o consumidor adquire o crédito (*Ticket*), digita um código de 20 dígitos no teclado do medidor ou na unidade remota e este valor em kWh é transferido ao medidor, a família consome a energia (sistema avisa quando o crédito está para terminar), caso não é realizada uma nova compra o medidor suspende o fornecimento quando o crédito termina.

Na Figura 11, pode se ver a simplicidade do funcionamento do sistema de tarifação pré-paga. A grande vantagem de todo esse sistema, além de se poder ter um controle por parte do consumidor, é a redução de custos e serviços por parte da concessionária. As leituras e emissão de conta são totalmente desnecessárias nesse tipo de sistema. A grande barreira para o funcionamento desse sistema é o alto custo dos equipamentos necessários que ficariam por conta das distribuidoras.

Figura 11 - Sistema pré-pago de energia



Fonte: ADAPTADO DE (BARBIERI, 2014)

### 5.2.1 Vantagens para o consumidor

- Uma maior flexibilidade, assim o usuário pode escolher quanto e quando comprar créditos para seu medidor.
- Uma melhor administração de seu consumo, nesse caso o consumidor tem um controle real de quanto de energia está consumindo.
- Evita erros de leitura, se instalados corretamente.
- Para os consumidores de baixa renda existe um subsídio do governo.
- Muitas pessoas que recebem por semana acabam no final do mês não possuindo o total da fatura, assim nesse caso poderiam comprar energia de acordo com suas economias.

- Não há existência de custo para o desligamento e o religamento da rede.
- Eliminação de cobrança de multas por atraso de pagamento da fatura.
- Troca frequente de usuários em casas de alugueis.
- Ocupação temporária dos usuários, como em casas de praia, onde o dono da residência não irá precisar pagar taxa mensal de energia.

### 5.2.2 Vantagens para a concessionária

- Nesse caso não irá existir sistema de corte e religamento por parte da distribuidora, os cortes de energia serão automáticos e ocorrerão quando o consumidor não tiver mais créditos.
- Eliminação de custos com funcionários, nesse caso a concessionária não irá precisar de funcionários para fazer a leitura na residência e também não terá custos para a emissão da fatura.
- Eliminação na quantidade de fraudes de energia elétrica, o popularmente conhecido gato de energia, por parte de alguns consumidores, nesse caso a concessionária irá ter um maior controle da rede de energia. Além disso não iria ter o custo da energia perdida e nem dos impostos que acabariam não sendo arrecadados.
- Melhoria no relacionamento entre a empresa e o consumidor, ao se evitar erros de leitura e atraso no pagamento da fatura.
- A concessionária recebe o pagamento a vista, antes do consumidor utilizar o serviço.

### 5.2.3 Desvantagens para o consumidor

- Os cortes de energia serão mais facilmente executados, uma vez que ocorrerá uma notificação prévia ao esgotamento dos créditos através de um alarme visual e sonoro.
- Tempo e custo de deslocamento até o local de recarga.

#### 5.2.4 Desvantagens para a concessionária

- Alto custo para a aquisição dos medidores, comparado aos convencionais (pós-pago) utilizados atualmente. Os medidores pré-pagos possuem um valor mais elevado em relação aos medidores do sistema convencional.
- Elevado custo de manutenção dos medidores.
- Investimentos para a venda de créditos de energia. Nesse caso as concessionárias terão que instalar equipamentos em locais de vendas e pagar uma comissão para que esse tipo de serviço seja feito.

### 5.3 Terminais pré-pagos mais utilizados

O consumidor que optar pela utilização da energia pré-paga para o uso de energia elétrica, terá instalado em sua residência um terminal aonde será inserido os créditos comprados. Os terminais mais utilizados pelos usuários são:

#### 5.3.1 *Key meter*

No terminal *Key Meter* (Figura 12), o usuário recebe uma chave que contém dados que será usada para compra de créditos nos terminais cadastrados. Assim o usuário compra os créditos nos locais e logo após coloca a chave no medidor para utilizar a energia elétrica comprada. Um grande problema nesse tipo de terminal é que o usuário fica sem energia no momento em que retira a chave do medidor, ou seja, enquanto o usuário levar a chave para fazer a recarga a residência permanece sem energia elétrica.

Figura 12- Terminal Key Meter



Fonte: (BROOKLYNDHURST, 2013)

### 5.3.2 Card meter

No terminal *Card Meter* (Figura 13), o usuário recebe um cartão que contém dados que serão usados para compra de créditos nos terminais cadastrados. Assim o usuário compra os créditos nos locais e logo após coloca o cartão no medidor para utilizar a energia elétrica comprada. Um ponto negativo para esse tipo de medidor, é que se o usuário perder o cartão utilizado terá que ficar sem energia até que a distribuidora resolva o problema.

Figura 13 - Terminal *Card Meter*

Fonte: (BARBIERI, 2011)

### 5.3.3 Keypad meter

No terminal *Keypad Meter* (Figura 14), o usuário pode comprar créditos pela internet, pelo celular ou ainda comprar um *ticket* em locais de venda

credenciados. Nesse caso o usuário compra uma chave de 16 ou 20 dígitos que serão digitados no terminal e serão transformados em energia elétrica.

Figura 14 - Terminal Keypad Meter



Fonte: (BARBIERI, 2011)

#### 5.4 Tarifa branca

O modelo tarifário do setor elétrico brasileiro, não sofre mudanças há muitos anos, com decorrência disso, a ANEEL deseja implantar uma nova opção de tarifa para os consumidores em baixa tensão (127, 220, 380 ou 440 Volts), a chamada Tarifa Branca (ANEEL, 2012). Nessa nova opção de tarifa os consumidores irão pagar valores diferentes em função da hora e dia da semana em que estão consumindo energia.

Segundo Santos (2014), a Resolução Normativa 502/2012 da ANEEL estipula que a Tarifa Branca está atrelada à medição de energia elétrica para os consumidores de BT, através de medidores inteligentes que registram o horário de consumo, além do kWh consumido (medidores atuais). Os chamados medidores inteligentes abrem o caminho no campo da produção para a incorporação das inovações tecnológicas de medição, comando e controle (tecnologias de *smart grid*) nas redes de distribuição.

Atualmente o modelo tarifário utilizado possui um único valor cobrado pela energia consumida, e esse valor é igual em todos os dias e em todas as horas, já a Tarifa Branca (Figura 15) apresenta três postos diferente de tarifas: ponta, intermediário e fora de ponta.

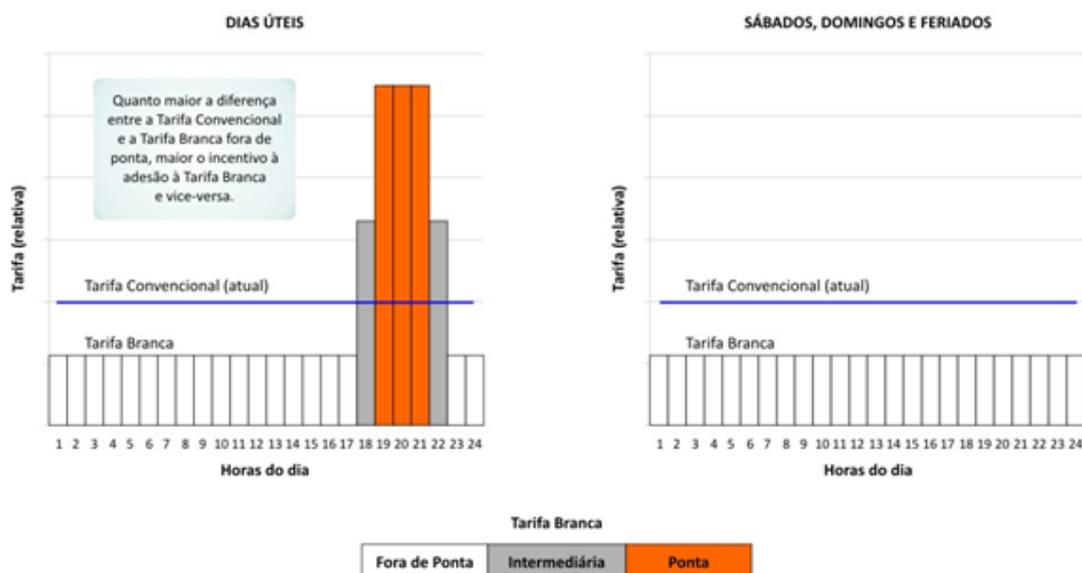
O horário de ponta corresponde ao período de três horas consecutivas de maior demanda de energia pela distribuidora, ou seja é o horário em que ocorre o pico da utilização da energia elétrica.

O horário intermediário corresponde a uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta.

O horário fora de ponta corresponde as demais horas dos dias. Em finais de semana e em feriados, vigora o horário fora de ponta.

Em relação à tarifa convencional, a energia no horário de ponta e intermediário é considerada mais cara, já no horário fora de ponta é considerada mais barata.

Figura 15 - Comparativo da Tarifa Branca e da Tarifa Convencional



Fonte: (ANEEL, 2015)

Segundo a ANEEL (c.a. 2015), a Tarifa Branca pode resultar em redução na conta de luz do consumidor na medida em que houver possibilidade de deslocar o consumo de energia elétrica do período de ponta para o de fora de ponta (dependendo da relação entre os valores da Tarifa Branca fora de ponta e o valor da Tarifa Convencional). Além disso, o consumidor também pode ao mesmo tempo, melhorar o fator de utilização das redes - o que reduz ou posterga investimentos.

O consumidor que optar pela Tarifa Branca, e tiver em sua residência um medidor analógico terá que substituí-lo por um medidor eletrônico, nesse

caso os custos com o medidor são de responsabilidade da distribuidora de energia. Caso o consumidor tiver que realizar alguma alteração no padrão de entrada da unidade consumidora, esses são de responsabilidade do cliente.

## **5.5 Sistema pré-pago de telefonia móvel**

Atualmente o sistema pré-pago de telefonia é bastante conhecido e utilizado em todo o Brasil, enquanto o sistema pré-pago de energia tenta entrar em funcionamento.

O sistema pré-pago de telefonia é utilizado pelos brasileiros há muitos anos, pelo simples fato de ser um sistema onde não há uma cobrança mensal. Nesse caso, o usuário realiza uma recarga em pontos de vendas, e assim os créditos são revertidos em ligações. A maior parte da população utiliza desse sistema, pois assim possui um maior controle dos gastos, não tendo a surpresa de altas faturas no final do mês.

A implantação do sistema pré-pago de telefonia tem beneficiado tanto operadoras como o usuário. A grande aceitação desse sistema por parte dos usuários se deve pelo não comprometimento de uma cobrança todo o final do mês e também pelo simples fato econômico, onde a pessoa recarrega o valor no dia que deseja. Do ponto de vista das operadoras, é um sistema onde ela recebe antes para depois prestar o serviço, assim possui uma maior segurança quanto à inadimplência de alguns usuários.

No Quadro 1, pode-se observar um comparativo do sistema pré-pago de energia elétrica com o de telefonia móvel. As vantagens do sistema de pré-pagamento são tanto para o consumidor como para a concessionária/operadora. Uma grande diferença que pode-se analisar entre o sistema pré-pago de telefonia e o de energia elétrica, é que a energia é algo necessário para o dia-a-dia das pessoas e faz muita falta, ou seja, se o usuário não possuir créditos não possui energia, enquanto no sistema de telefonia móvel se o usuário não possuir créditos no celular ele ainda recebe ligações.

Existem muitas semelhanças nas vantagens e desvantagens entre o sistema pré-pago de energia e o de telefonia, porém ainda existem muitas diferenças. Uma diferença marcante entre os dois sistemas é o simples fato de que a energia elétrica é um bem necessário para a sobrevivência das pessoas

enquanto o sistema de telefonia não possui esse valor marcante na vida dos usuários.

Quadro 1 - Comparativo do sistema pré-pago de energia com o de telefonia

Característica	Pré-pago de Telefonia	Pré-pago de Energia
Maior flexibilidade: o usuário escolhe quando e quanto de créditos comprar.	Sim	Sim
Melhor administração de gastos: o usuário possui uma ideia de quanto está gastando.	Sim	Sim
Eliminação dos serviços de cortes e religamento: os cortes são feitos de maneira automática	Sim	Sim
Subsidio do governo: consumidores de baixa classe recebem ajuda do governo.	Não	Sim
Não há necessidade de envio de boleto para os usuários, por parte das distribuidoras/operadoras.	Sim	Sim
Forma de pagamento: a empresa recebe o pagamento antes de o usuário utilizar o serviço.	Sim	Sim
Cortes imediatos do serviço	Sim	Sim
Créditos de emergência para o usuário	Sim	Sim
Tempo e custo, por parte do usuário, com deslocamento até o local de venda de créditos.	Sim	Sim
Quanto maior o valor de recarga colocada, maior o desconto.	Sim	Sim
Comercialização: Internet, pontos de venda e telefone.	Sim	Sim

Fonte: (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2014)

## **6. EXPERIÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS COM ENERGIA PRÉ-PAGA**

### **6.1 Experiências nacionais com energia pré-paga**

No Brasil existe dois projetos pilotos para o sistema pré-pagamento de energia elétrica, ou seja, dois projetos testes desse sistema, um está localizado na vila de São Tomé, na região da Amazônia, e o outro no Rio de Janeiro.

#### **6.1.1 Vila São Tomé**

A vila de São Tomé se encontra na região da Amazônica, próximo ao Oceano Atlântico. A vila é composta aproximadamente por 40 famílias, que vivem praticamente isoladas.

Segundo Hieda (2012), o sistema de energia na vila de São Tomé é híbrido de solar-eólico-diesel com armazenamento de energia elétrica em baterias e complemento da geração com um gerador diesel. A administração dessa energia não é realizada pelo governo, e sim pela própria comunidade através de uma associação.

No projeto teste na vila de São Tomé, foi usado um medidor do tipo *Card Meter* e valor cobrado por família era de 12 reais para 30 kWh.

A principal vantagem percebida com a instalação do sistema de pré-pagamento foi a melhor administração do consumo de energia por parte das famílias. Porém, a principal desvantagem observada foi o alto custo de instalação do sistema.

#### **6.1.2 Rio de Janeiro**

As duas concessionárias de energia elétrica do estado do Rio de Janeiro que tomaram como iniciativa o sistema de pré-pagamento são a Ampla e a Light. Segundo Agência Estado (2010, apud. HIEDA, 2014, p. 25-26), em uma matéria publicada, as duas empresas relatam um pouco das suas experiências com esse novo sistema. A seguir o relato completo transcrito:

*A partir de 2006, a Ampla iniciou os testes com o serviço pré-pago de energia com 500 clientes dos municípios de São Gonçalo, Caxias,*

Magé, Niterói, Itaboraí e Maricá. “Vislumbramos no pré-pago uma medida para reduzir a inadimplência”, justifica Moragas. O executivo afirma que do universo de 2,5 milhões de clientes da empresa, 800 mil consumidores são classificados como baixa renda. “Muitos não possuem uma renda fixa. O pré-pago seria uma maneira mais flexível de comprar energia, adequando o consumo à renda dos nossos clientes”, justifica. A Ampla também obteve autorização da Aneel para desenvolver este projeto-piloto.

Mas os problemas começaram logo que os primeiros cortes de fornecimento ocorreram. Muitos consumidores entraram na justiça para recuperar o suprimento, derrotando a Ampla. “Os juízes decidem à favor de um único consumidor em prejuízo a toda coletividade”, crítica Kelman. Segundo Moragas, a expansão do serviço pré-pago no País, a exemplo do que já existe no setor de telefonia, depende da regulamentação das regras de interrupção pelo regulador e da flexibilização do procedimento para a compra dos créditos. “Hoje, o consumidor precisa ir à loja adquirir os créditos, tendo que assinar sempre um termo de compra”, explica.

Com a homologação definitiva do Inmetro em julho de 2009, a Ampla retomou os planos de instalar os medidores digitais em sua área de concessão. Para 2010, a meta é instalar 50 mil unidades. Entre 2003 e 2009, a empresa já investiu R\$ 300 milhões na blindagem da rede e nos medidores. “Agora, a expansão do serviço pré-pago está em stand-by e depende de uma regulamentação”, afirma Moragas. O executivo disse que é do interesse da Ampla esse novo sistema porque os dados mostram que o consumidor rapidamente se acostuma com o serviço e que o nível de corte de fornecimento tende a ser menor do que na modalidade pós-paga.

A Light (RJ) é outra distribuidora que avança no uso de medidores digitais. Com uma perda total de 21%, sendo 15 pontos percentuais de perdas comerciais, a companhia adota estratégias distintas em sua área de concessão. Em locais de alto poder aquisitivo, a Light optou por instalar os medidores digitais individuais nas unidades consumidoras, alcançando 40 mil clientes. “Entre janeiro de 2008 a dezembro 2009, reduzimos as perdas totais desses consumidores de 25% para 9%, e temos a meta de chegar a 2%”, diz o superintendente de recuperação de energia da Light, José Geraldo Pereira. Nas áreas de maior risco do Rio, a empresa instala os medidores individuais à medida que o Estado retoma a sua presença nas comunidades.

O conceito de medição centralizada foi aplicado pela empresa nas regiões baixa renda de sua área de concessão, como a Baixada Fluminense. Até o momento, a companhia instalou 40 mil medidores digitais nessas localidades e pretende instalar mais 120 mil neste ano, diante da homologação dos equipamentos pelo Inmetro. “Temos como meta reduzir as perdas totais de 40% para 5% nessas regiões”, afirma o executivo. Para tanto, a Light pretende instalar 100 mil medidores por ano até 2013. “A regularização dos clientes beneficia a todos, inclusive o Estado. Se o nosso faturamento cresce, aumenta a arrecadação de impostos”, justifica.

Além da medição centralizada, o executivo diz que o serviço pré-pago é uma boa opção para o setor elétrico. Pereira, no entanto, afirma que a Light não deve investir no serviço até que a tecnologia seja regulamentada. Em 2009, a concessionária destinou cerca de R\$ 180 milhões a iniciativas de combate às perdas. Para 2010, a meta é aportar R\$ 190 milhões. No ano passado, a empresa deixou de faturar R\$ 700 milhões por conta das perdas comerciais. (HIEDA, 2014, pág. 25-26).

Apesar da iniciativa de ambas concessionárias para a instalação desse novo sistema, existem ainda dificuldades para se tornar eficaz a sua implementação, uma delas é a grande resistência inicial por parte dos consumidores, que acreditam numa maior facilidade no corte da energia elétrica.

## **6.2 Experiências internacionais com energia pré-paga**

O sistema de tarifação pré-pago já é existente em muitos países do mundo, como África do Sul, Inglaterra, Irlanda, França, Argentina, Bélgica, Peru.

### **6.2.1 África do Sul**

O sistema de tarifação pré-pago foi instalado na África do Sul principalmente para eliminar a inadimplência da grande parte da população africana. Os principais sistemas de medidores implantados foram os *smart-cards*, *Token* e os *key-pads*.

Segundo Canaes (2006), a África do Sul fez um esforço de universalização do atendimento elétrico com instalação de sistemas fotovoltaicos domiciliares onde o usuário, para obtenção de sua energia insere mensalmente um cartão magnético na forma de pré-pagamento. Os cartões são vendidos em lojas e comércios locais. Apesar de ser um sistema mais seguro que o pós-pago, esse sistema ainda apresenta inúmeros problemas, pois muitos africanos operam de maneira incorreta o equipamento, dificuldades de manutenção, inflexibilidade de modularização de instalação do equipamento, uso de um cartão cuja tecnologia permite fraude e por fim a falta de uma política de operação adequada ao nível socioeconômico dos usuários.

A população sul africana mais carente recebe um subsídio de 50 kWh do governo e caso esse crédito gratuito acabe, o usuário pode comprar mais créditos para a sua residência em pontos de venda.

### 6.2.2 Inglaterra

A Inglaterra foi um dos primeiros países a iniciar o sistema pré-pago no mundo, e até hoje utiliza esse sistema.

Segundo Hieda (2012), em 2009, das cerca das 27 milhões de residências, havia aproximadamente 3,6 milhões de medidores pré-pagos de energia, na sua maioria *key-masters*.

A maioria dos usuários britânicos avaliam que o sistema de pré-pagamento é bom, pois evita grandes contas e permite um melhor controle de seus gastos mensais.

As concessionárias de energia elétrica da Inglaterra, podem ou não fornecerem créditos de emergência. Uma medida adotada pelas distribuidoras de energia, foi a implantação de um botão de emergência no medidor para gerar um crédito extra sem a necessidade de introdução do cartão, pois foi verificado um grande problema com os usuários idosos que não tinham o conhecimento de operar o equipamento e não tinham condições de sair para recarregar seus cartões, assim muitos acabavam com seus créditos gastos e ficavam sem energia.

### 6.2.3 Irlanda

Segundo Hieda (2012), a Irlanda possui um dos sistemas mais avançados no sistema pré-pago de energia. A sua diferença está em seu medidor que é chamado de *keypad master*, que possui um teclado numérico que o usuário utiliza para colocar créditos. Nesse caso o consumidor compra créditos em forma de *ticket* e digita uma chave de 16 dígitos em seu medidor. Com esse sistema se evita perdas e danos nos cartões.

Segunda a Empresa CER (2003), a implantação do sistema pré-pago apresenta as seguintes vantagens:

- Redução de custos com funcionários e emissão de contas;
- Redução de inadimplência;
- Melhoria do controle do consumidor diminuindo, assim, os gastos das famílias.

#### 6.2.4 Argentina

O sistema pré-pago é utilizado na Argentina principalmente para maior controle do governo. Nesse caso o sistema adotado pelo governo argentino é um pouco diferente. Para que não ocorra de o usuário utilizar toda a energia subsidiada e acabar sem energia, a distribuidora de energia Argentina credita 0,0008 kW/h a cada 15 segundos para que o consumidor possa usar. Essa energia pode ser acumulada de 0,2 kW/h e 5 kW por dia. (HIEDA, 2012)

Os medidores instalados nas residências dos consumidores argentinos, possuem um teclado onde o usuário compra um *ticket* em um local de venda e digita a chave no medidor, creditando assim energia elétrica. Além disso, o medidor possui um *display* onde pode ser acompanhado o consumo e ainda há um alarme que avisa o consumidor quando possui pouca energia.

#### 6.2.5 Bélgica

Em regiões da Bélgica, o sistema pré-pago funciona de uma maneira muito eficaz, cada residência familiar recebe um total de 100 kW/h por ano de energia, idosos e deficientes recebem um total de 500 kW/h anual de energia. Caso a energia subsidiada pelo governo acabe, o usuário pode comprar mais créditos. No entanto, se o consumidor não efetuar uma nova compra, a energia não é totalmente desligada, uma quantia mínima de energia para as necessidades básicas ainda pode ser usada pelos consumidores.

#### 6.2.6 Peru

No Peru, ainda é pouco o número de adeptos do sistema pré-pago, mas cada ano vem aumentando o número de residências com esse tipo de sistema.

O grande motivo para a implantação de sistema pré-pago no país, foi o grande número de inadimplência. Após a implantação desse sistema, o número de inadimplentes diminuiu e grande parte da população em regiões rurais conseguiram instalar energia elétrica em suas residências.

Entre os adeptos do sistema pré-pago, foi realizada uma pesquisa de satisfação, em que foram analisadas as seguintes perguntas:

1) Qual a sua opinião sobre o sistema pré-pago?

Grande parte da população, 65,7%, acreditam que o sistema pré-pago é bom; 32,3% acreditam que o sistema é regular, e apenas 2% da população acredita que o sistema é ruim.

2) Conseguiu aprender a controlar o consumo de energia com o sistema pré-pago?

Segunda a pesquisa, 94,6% das pessoas responderam que sim, e apenas 5,4% responderam que não.

3) O sistema pré-pago ajudou a melhorar a economia doméstica?

A maioria da população, 90,7%, respondeu que conseguiram sim melhorar a economia doméstica, e apenas 9,3% responderam que não.

4) Para quem é conveniente o uso do sistema pré-pago?

Segunda a população, 31,9% o sistema é conveniente apenas para os clientes, 7,4% apenas para a empresa e 60,8% responderam que o sistema é conveniente para ambos.

5) Qual sistema é mais vantajoso?

Segundo a pesquisa, 92,6% da população acredita que o sistema mais vantajoso é o sistema pré-pago e apenas 7,4% da população acredita que o sistema mais vantajoso é o convencional.

Através da pesquisa realizada, pode-se ver que a maioria dos usuários aprova o sistema pré-pago de energia. Muitos acreditam que o sistema é conveniente para ambas as partes, tanto para o consumidor como para a concessionária, além de possuir uma melhor administração de seus gastos.

## 7. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

### 7.1 Modelo proposto

O modelo proposto, é um sistema de medidor de energia elétrica pré-pago com comunicação ao sistema de telefonia móvel (GSM). De uma maneira simplificada, o consumidor possui um *SIM Card*, inserido em seu medidor, e ao realizar uma recarga no seu número, a concessionária credita em seu medidor a quantia recarregada pelo usuário, facilitando assim um maior controle dos gastos mensais.

A utilização da tecnologia GSM se dá pela segurança que oferece, pois utiliza uma proteção via criptografia para impedir que dados dos usuários sejam indevidamente interceptados.

Para a construção do protótipo do medidor de energia pré-pago com comunicação GSM utilizou-se principalmente a plataforma *Arduino*, um *shield* GSM, um sensor de corrente e um display LCD.

A Figura 16, mostra um diagrama de blocos do projeto do medidor, com as conexões dos equipamentos utilizados.

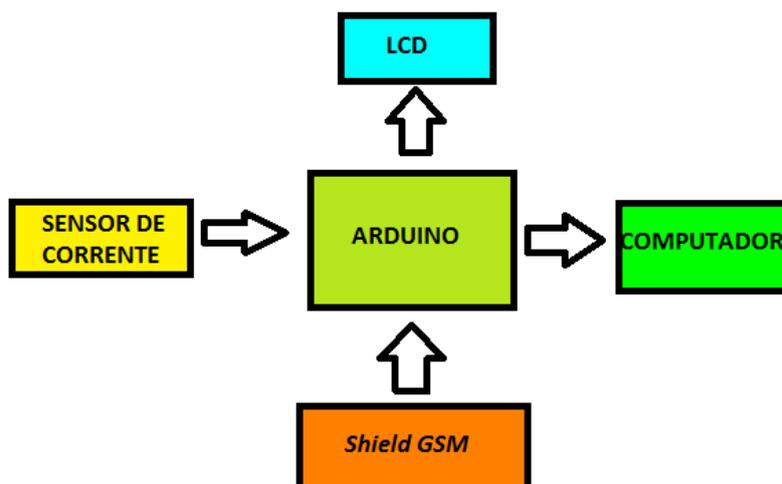


Figura 16 - Diagrama de blocos do medidor de energia

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

O uso do sensor de corrente, é necessário para que seja realizada a leitura de valores altos de corrente e repassá-los ao microprocessador.

A utilização do *Shield GSM* possibilita a comunicação do sistema de telefonia móvel com o Arduino, possibilitando o envio de SMS da concessionária para o *shield*.

A plataforma *Aduino*, é utilizado para receber os dados analógicos de corrente e fazer todo o processamento para transformá-los em digitais. Além disso, o *Arduino* também realiza o processamento das SMS recebidas pela *Shield*, nesse caso, transforma o dígito da mensagem em um valor inteiro.

O display LCD é utilizado para a visualização dos dados de potência e valor de créditos restantes para ser consumido.

Na interface do sistema, é possível visualizar informações como:

- Corrente;
- Potência;
- O consumo de kWh;
- O valor de crédito disponível.

## **7.2 Descrição dos componentes do sistema**

### **7.2.1 Sensor de corrente**

Existem diversas técnicas para realizar a medição de corrente de um sistema e para que ela seja medida de forma satisfatória, é necessário fornecer os níveis de corrente de acordo com as condições de entrada do circuito de medição.

Para realizar a medição de corrente, foi selecionado o transformador de corrente SCT-013-30 (Figura 17). O sensor de corrente, apresenta características de medição de correntes de até 30 A, e se adequa perfeitamente à arquitetura do sistema utilizado.

Para que haja um perfeito funcionamento por parte do sensor de corrente, é preciso condicionar o sinal de saída, nesse caso, utiliza-se a associação de resistores em série aplicado ao circuito no qual se deseja medir, além disso, utiliza-se capacitores para atuarem como filtros. A Figura 18, mostra o circuito com a associação realizada.

Figura 17 - Sensor SCT013-30



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

Figura 18 - Associação de resistores utilizado no protótipo



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

### 7.2.2 Plataforma GSM

A utilização da comunicação sem fio é um elemento muito importante para o funcionamento do sistema, pois torna o sistema mais rápido e dinâmico. Usando a comunicação GSM é possível realizar a troca de mensagens entre a concessionária e o consumidor, além do usuário poder realizar o recarregamento de crédito.

Para que haja a troca de mensagens, será necessário utilizar dois aparelhos GSM, nesse caso um deles estará situado no medidor (*Shield GSM*) e o outro será um aparelho celular, que irá simular as mensagens enviadas pela concessionária.

O *Shield* utilizado para o desenvolvimento do protótipo foi o GSM/GPRS *Shield* SIM 900 (Figura 19), ele é baseado no chip SIM900 de baixo consumo e tamanho resumido, fabricado pela empresa SIMCOM.

Figura 19 - Shield GSM



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

### 7.2.3 Microprocessador– *Arduino*

O microprocessador será o elemento responsável pelo controle de todos os dispositivos utilizados no sistema de medição de energia, além de realizar toda a comunicação com o medidor. A comunicação *GSM*, também será toda coordenada pelo microprocessador. Nesse caso, todos os dados recebidos na entrada serão processados pelo microprocessador, para que depois possam ser visualizados.

A plataforma utilizada na implementação do protótipo foi o *Arduino Uno* (Figura 20). O *Arduino* é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328 e possui uma interface série através de uma porta USB. Além disso, possui 14 pinos digitais de entrada/saída e 6 entradas analógicas.

Figura 20 – Plataforma Arduino



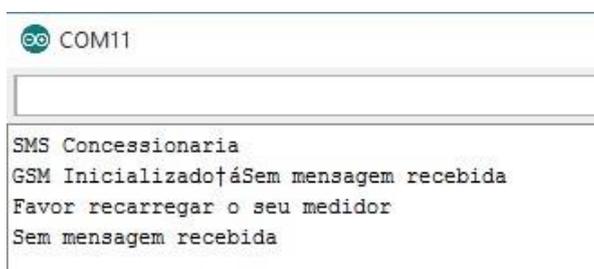
Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

### 7.3 Testes realizados

Para o perfeito funcionamento do medidor elaborado, foram realizados alguns testes. Primeiramente, foi utilizado um telefone móvel para a simulação da concessionária, simulando as recargas no medidor.

Inicialmente, pode ser visto na Figura 21, a imagem inicial enviada pelo sistema do medidor quando conectado ao computador. Nesse caso, o programa inicializa a plataforma GSM e imprime uma mensagem, pedindo para que o usuário realize uma recarga para que o medidor possa iniciar a sua operação.

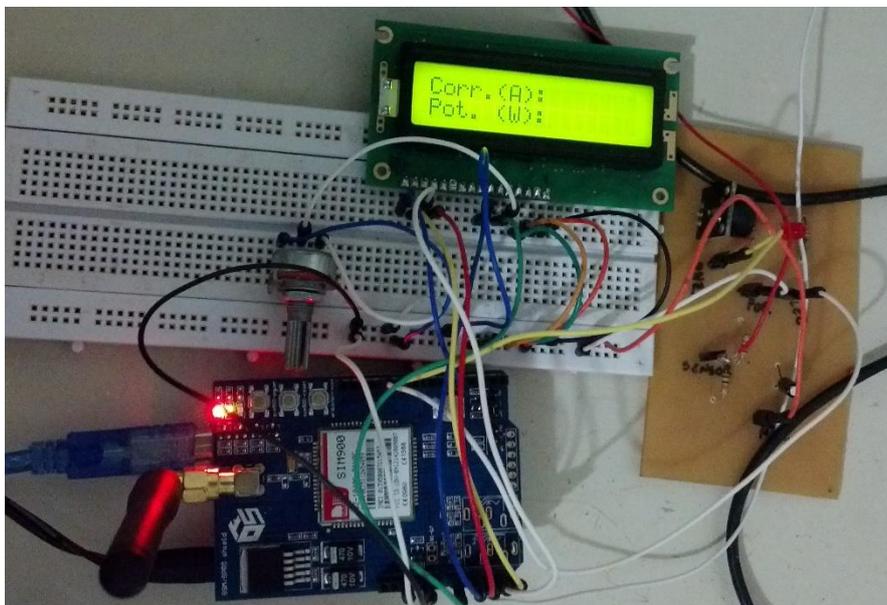
Figura 21 - Tela inicial do sistema de medição



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

Na montagem do protótipo, a Figura 22 apresenta o estado inicial antes de realizar uma recarga, aguardando um valor para iniciar operação de leitura e débito dos créditos adquiridos.

Figura 22 - Protótipo antes de realizar a recarga



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

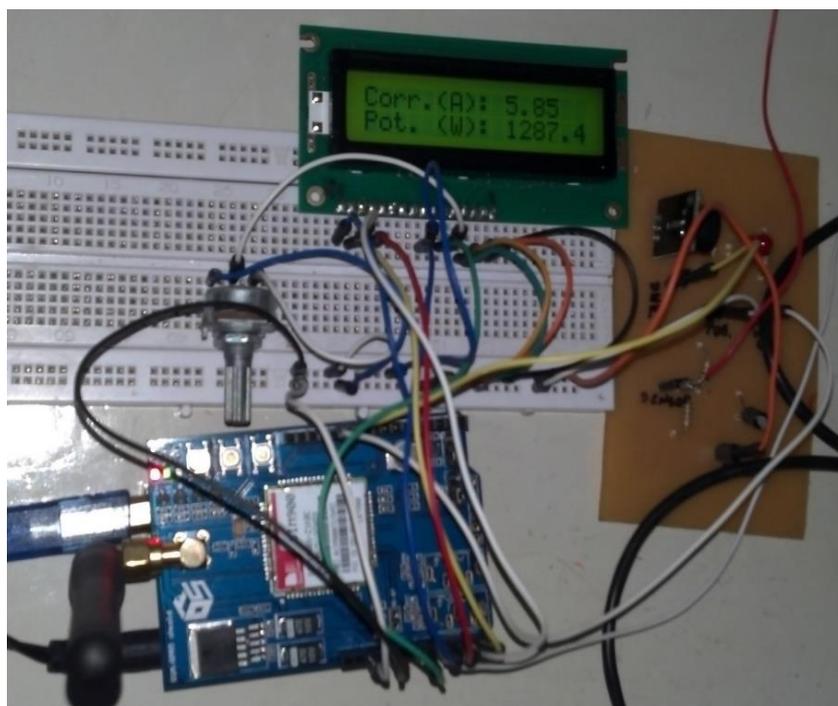
Em seguida, após o medidor receber os créditos da concessionária, ele começa a medir a corrente e a potência, demonstrando também na interface do computador (Figura 23) o valor dos quilowatts-hora total, o consumo em reais do medidor e também o valor que o consumidor ainda pode utilizar antes de realizar uma nova recarga. Além disso, caso o medidor não receba nenhum outro valor de recarga, é apresentado na interface da tela “Sem mensagem recebida”. Além disso, existe um display externo que mostra a potência e o valor de saldo restante, Figura 24. Para realizar o cálculo em reais da energia consumida foi utilizado uma tarifa de R\$ 0,58 o kWh.

Figura 23 - Interface do medidor após o consumidor realizar a recarga

```
Favor recarregar o seu medidor
Sem mensagem recebida
Favor recarregar o seu medidor
Mensagem Recebida
+5555 XXXXXXXX
Voce Recarregou (R$):12
Valor acumulado de recarga: 12.0000000000
Corrente : 0.32 Potencia (W) : 71.15
kwhTotal Acumulado: 0.0197641544
R$: 0.0114632081
Valor que pode ser gasto: 11.9885368347
Sem mensagem recebida
Corrente : 0.08 Potencia (W) : 18.08
kwhTotal Acumulado: 0.0247867679
R$: 0.0143763246
Valor que pode ser gasto: 11.9856233596
```

Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

Figura 24 - Medidor em funcionamento

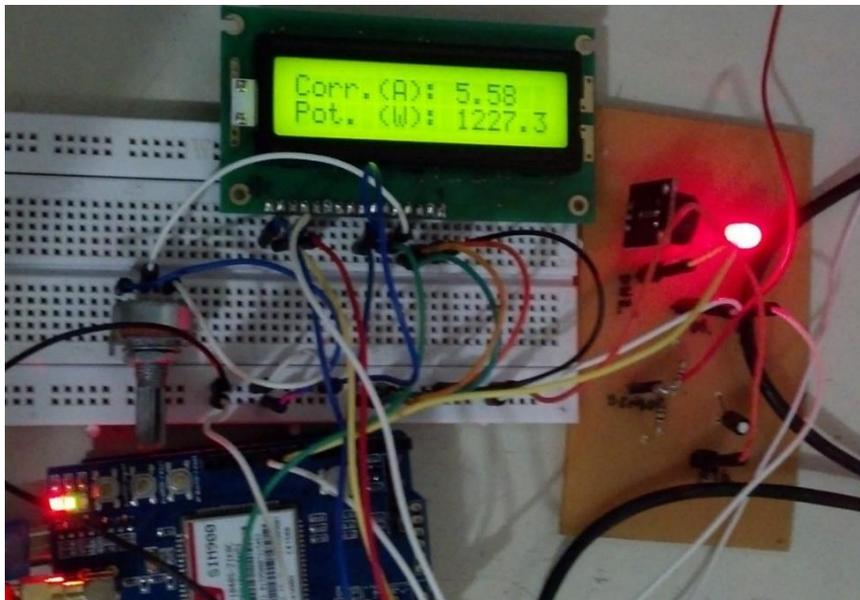


Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

Para que o consumidor não fique sem energia de modo inesperado, o medidor possui uma programação de alerta para falta de créditos (Figura 25), sendo assim, quando o valor de créditos chegar a R\$ 10,00 o medidor aciona um LED e uma buzina para aviso ao consumidor. Após o consumidor realizar

uma nova recarga, o valor contido no medidor se soma com o valor da recarga efetuada, Figura 26.

Figura 25 - Sistema de alerta ao consumidor em funcionamento



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

Figura 26 - Nova recarga realizada

```

Corrente : 5.52 Potencia (W) : 1214.51
kwhTotal Acumulado: 10.1112079620
R$: 5.8645005226
Valor que pode ser gasto: 6.1354980468
Sem mensagem recebida
Corrente : 5.53 Potencia (W) : 1215.84
kwhTotal Acumulado: 10.4489421844
R$: 6.0603866577
Valor que pode ser gasto: 5.9396119117
Mensagem Recebida
+555599745890
Voce Recarregou (R$):20
Valor acumulado de recarga: 25.9396114349
Corrente : 5.54 Potencia (W) : 1218.34

```

Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

Sendo assim, o medidor possui uma funcionalidade bastante simplificada mas com grande eficácia, garantindo ao consumidor uma fácil e completa interface de comunicação.

Na Figura 27, pode-se observar uma imagem da montagem final do medidor de energia elétrica.

Figura 27 -Interface final do medidor



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR, 2015)

#### 7.4 Comercialização do protótipo

Para que o protótipo desenvolvido seja validado como um produto comercial, deve-se implantar algumas normas previstas pela ANEEL, que padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Segundo a Resolução N° 502/2012 da ANEEL, que regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B (baixa tensão), em complemento aos requisitos metrológicos referentes à apresentação de informações ao consumidor, devem estar disponíveis por meio de mostrador existente no próprio medidor ou em dispositivo localizado internamente à unidade consumidora:

I – o valor de energia elétrica ativa consumida acumulada por posto tarifário;

II – a identificação do posto tarifário corrente.

A Resolução N° 610/2014 da ANEEL, que regulamenta as modalidades de pré-pagamento e pós-pagamento eletrônico de energia elétrica, esclarece que o sistema de pré-pagamento deve permitir no mínimo a visualização da quantidade de créditos disponíveis, em kWh, e possuir alarme visual e sonoro que informe ao consumidor a proximidade do esgotamento dos créditos.

Segundo o PRODIST Módulo 5 - Sistemas de Medição, que tem como objetivo estabelecer os requisitos mínimos para medição das grandezas elétricas do sistema de distribuição, os medidores eletrônicos devem registrar pelo menos a energia ativa, energia reativa e demanda.

Em relação aos requisitos técnicos mínimos para os sistemas de medição, o Módulo 5 do PRODIST estabelece as seguintes condições:

- Os projetos dos sistemas de medição devem ser elaborados de modo a permitirem fácil manutenção, calibração e substituição dos componentes do painel, caixa ou cubículo de medição.
- Os sistemas de medição devem ter garantia de inviolabilidade, por meio da colocação de lacres, de modo a permitir a visualização de qualquer indício de violação.

Já os requisitos técnicos mínimos para os equipamentos de medição são estabelecidos no Módulo 5 do PRODIST, são:

- As condições e características construtivas devem obedecer à regulamentação metrológica pertinente do INMETRO.
- Os medidores de energia ativa e os medidores de energia reativa devem atender todos os requisitos metrológicos pertinentes às classes de exatidão do Regulamento Técnico Metrológico (RTM), ou, na sua inexistência, das normas ABNT.
- Os medidores de energia devem ter seus modelos aprovados por portaria específica emitida pelo INMETRO.

Dessa forma, o medidor concebido e em fase de protótipo não atenderia todas as regras, neste momento, para ser um produto comercial necessitando de aperfeiçoamento e adequação às normas. Sobretudo à capacidade de medir energia ativa e reativa independentes, visto que sua etapa atual contempla apenas a medida da potência aparente. No entanto, a partir da implantação de

um sistema de detecção por zero será capaz de calcular o seu fator de potência e, conseqüentemente, as potências reativa e ativa.

## CONCLUSÃO

A implantação de medidores de energia elétrica através do sistema pré-pago irá facilitar o controle dos gastos com energia para os consumidores e melhorar o controle da rede de consumidores da concessionária local. Além disso, o medidor irá resolver o grande problema da inadimplência por parte dos consumidores, de não pagar a fatura de energia elétrica, pois não se inicializa sem que seja efetuada uma recarga.

O trabalho desenvolvido permitiu uma abordagem interdisciplinar, juntando o conhecimento de diversas áreas, resultando no sucesso dos objetivos propostos.

O objetivo geral de desenvolver um novo medidor de energia pré-paga em comunicação com o sistema de telefonia móvel, favorecendo as famílias de classe baixa, facilitando assim um maior controle de seus gastos mensais foi atingido com sucesso.

O medidor possui um chip de telefonia móvel acoplado, onde as pessoas ao realizar uma recarga, seja transformada em créditos para serem utilizados em energia, o que garante confiabilidade ao sistema por usar a própria segurança elevada do sistema GSM para estabelecer comunicação. Ou seja, uma interface existente em todos os locais e com tecnologia em constante monitoramento.

A grande diferença do modelo de medidor proposto em relação aos demais medidores do sistema de pré-pagamento, é que o consumidor ao realizar a recarga não necessita levar uma chave ou cartão para que seja efetuada a recarga, apenas deve fornecer o número do chip que se encontra no medidor, desse modo não estará com falta de energia no momento em que realiza a recarga, como nos demais. Além disso, a própria recarga da operadora irá gerar os créditos necessários a partir da mensagem recebida pelo medidor, bastando adaptar as palavras padronizadas da mensagem para detectar a informação e registrar apenas aquele número de origem para realizar tal feito.

Com a instalação do medidor proposto, a concessionária pode implantar redes inteligentes com a comunicação *GSM*, sendo assim é possível:

- Detecção de fraudes na rede elétrica;

- Corte e religamento remoto de energia;
- Comunicação bidirecional (consumidor e concessionária);
- Medição à distância, sem a necessidade de funcionário para realizar a medição.

As vantagens que o medidor construído traz ao consumidor são:

- Uma maior flexibilidade, assim o usuário pode escolher quanto e quando comprar créditos para seu medidor.
- Uma melhor administração de seu consumo, nesse caso o consumidor tem um controle real de quanto de energia está consumindo.

O projeto foi desenvolvido em dois módulos: o módulo do medidor, em que foi possível, através de um sensor medir a corrente de um equipamento e assim realizar os cálculos de potência, consumo em kwh e também o consumo em reais. O segundo módulo, é a comunicação *GSM*, em que a concessionária envia os créditos para o medidor do consumidor.

O protótipo foi testado com sucesso, apresentando uma visão voltada para a sustentabilidade, possibilitando o consumidor controlar os seus gastos. Além disso, a interface desenvolvida é bastante simples disponibilizando ao consumidor, valores como corrente, potência, consumo de kWh e também o valor de crédito disponível para consumo.

A grande dificuldade encontrada na montagem do protótipo, foi realizar a programação em conjunto do medidor de energia e da comunicação *GSM*, pois acabou requerendo vários testes, de diversas formas, para o correto funcionamento e integração das funcionalidades mínimas estabelecidas.

A principal contribuição deste projeto foi o desenvolvimento de um sistema de medição de energia microcontrolado juntamente com a comunicação *GSM*, associando assim duas plataformas. O sistema criado pode ser adotado como base para o desenvolvimento de projetos futuros que envolvem o monitoramento do consumo de energia elétrica.

Em síntese, esse trabalho permitiu validar uma maneira de medição e faturamento de energia de forma automática e pré-paga. Permitiu ampliar meu conhecimento a respeito da medição de energia elétrica, dos procedimentos de distribuição da ANEEL, a Tarifa Branca e suas aplicações, além da Medição Inteligente, parte importante das Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*).

Portanto, é possível concluir que todos os objetivos desse trabalho foram concluídos com sucesso.

### **8.1 Proposta para futuros projetos**

A principal proposta para futuros projetos é incrementar no medidor uma comunicação Ethernet, para que o consumidor possa ter acesso do seu medidor em qualquer lugar que se encontra.

Outra proposta futura, seria medir apenas a energia ativa consumida, pois no protótipo desenvolvido ocorre a soma da energia ativa e reativa, ou seja, está sendo medido a energia aparente. Atualmente, os consumidores residenciais pagam apenas a energia ativa consumida. Para efetuar o cálculo apenas da energia ativa, uma alternativa seria a implantação de um detector de passagem por zero.

O detector de passagem por zero é um circuito que produz um pulso positivo de pequena duração quando o sinal senoidal de entrada passa pelo ponto de zero na sua descida. A fonte de alimentação deve ser simétrica e o sinal de entrada não pode superar em amplitude a tensão de alimentação. Com este circuito, é possível obter a medida de tempo do período da onda e realizar o monitoramento da energia média, e através de equações matemáticas, encontrar o valor da energia ativa.

Outra solução para filtrar a energia ativa, seria um circuito com o CI AD633JN. Este circuito integrado é um multiplicador analógico de quatro quadrantes com entradas e precisão de 2% diferenciais, e fornece de forma direta a potência em mV/W na saída.

No circuito, a tensão é detectada utilizando um divisor de tensão e a corrente é detectada por derivação. A tensão e a corrente são multiplicadas pelo CI AD633. A saída fornece uma tensão proporcional à potência instantânea. Para obter a potência média é necessário filtrá-la usando um filtro RC. Por fim, é utilizado o microcontrolador para registrar e realizar os cálculos de energia consumida.

A instalação de filtros de harmônicas, também seria outra proposta de melhoria. A presença de harmônicas é sinônimo de uma onda de tensão ou de corrente deformada. A deformação da onda de tensão ou de corrente significa

que a distribuição de energia elétrica é perturbada e que a qualidade de energia não é ótima (SCHNEIDER ELETRIC, 2003).

As correntes harmônicas são geradas por cargas não-lineares que estão conectadas a rede. A circulação dessas correntes gera tensões harmônicas através das impedâncias da rede, e então uma deformação da tensão de alimentação. Uma carga é dita não-linear quando a corrente que ela absorve não tem a mesma forma da tensão que a alimenta.

As harmônicas têm um impacto econômico considerável nas instalações, como por exemplo:

- Aumento das despesas com energia,
- Envelhecimento dos materiais,
- Perdas de produtividade.

Portanto, o objetivo da filtragem é evitar que as correntes harmônicas se propaguem pelo sistema, elevando os valores de tensão, e conseqüentemente a distorção harmônica total.

Segundo Engematec (2010), o princípio básico de funcionamento do filtro harmônico é o de absorver determinadas correntes harmônicas evitando que estas se propaguem pelo sistema minimizando desta maneira a distorção harmônica de tensão. Resumidamente, o filtro é um conjunto série de indutor e capacitor, sendo que seus elementos são escolhidos de forma a proporcionar uma baixa impedância para a frequência que se deseja atenuar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL aprova pré-pagamento de energia.** Notícia, 2014. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=7810&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=7810&id_area=90). Acesso em 21 mar. 2015.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução sobre pré-pagamento de energia é publicada no Diário Oficial.** Notícia, 2014. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=7895&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=7895&id_area=90). Acesso em 21 mar. 2015.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifa Branca.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>. Acesso em: 03 abr. 2015.

AGÊNCIA DO ESTADO. **Ampla e Light instalam medidor digital enquanto aguardam lei.** Notícia, 2010. Disponível em: <http://www.redeinteligente.com/2010/01/19/ampla-e-light-instalam-medidor-digital-enquanto-aguardam-lei/>. Acesso em 22 out. 2014.

ALECRIM, Emerson. **Tecnologias 2G e 2.5G: TDMA, CDMA, GSM, GPRS e EDGE.** Artigo, 2013. Disponível em: <http://www.infowester.com/2g.php>. Acesso em: 27 out. 2015.

BANDEIRA, Fausto de Paula Menezes. **Redes de Energia Elétrica Inteligente (Smart Grids).** Nota Técnica. Consultoria Legislativa, 2012. Disponível em: [http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/2012\\_7872.pdf](http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/2012_7872.pdf). Acesso em: 03 abr. 2015.

BARBIERI, Roberto. **As soluções para pré-pagamento de energia elétrica.** Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/hotsite/seminario/apresentacoes/21-09%20manha/Roberto%20Barbieri%20-%20ApresAbinee\\_21out11.pdf](http://www.aneel.gov.br/hotsite/seminario/apresentacoes/21-09%20manha/Roberto%20Barbieri%20-%20ApresAbinee_21out11.pdf). Acesso em: 25 abr. 2015.

BBC Brasil. **Guia de Energia Global**. Disponível em: [http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/1931\\_energia/page4.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/1931_energia/page4.shtml). Acesso em 15 out. 2014.

BOCK, Sandro A. **Introdução aos Sistemas de Energia**. Íjuí: Unijuí, 2014.

BRAGHETTO, Luis Fernando B. et al. **Redes GSM e GPRS**. Monografia UNICAMP, [ca. 2004]. Disponível em: <http://www.braghetto.eti.br/files/Trabalho%20Final%20GSM.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

BROOKLYNDHURST. **COMING HOME TO A HOUSE WITH NO POWER**. Disponível em: <http://www.brooklyndhurst.co.uk/blog/?p=1503>. Acesso em 12 out. 2014.

CAIRES, Luis Eduardo. **Aplicação de Redes Inteligentes nas Instalações Elétricas Residenciais**. Monografia USP, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-28062012-143248/publico/dissertcairescorrigida.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

CANAES, José Edimilson. **Sistema Alternativo de Pagamento de Energia Elétrica “Uma Opção Nacional de Baixo Custo”**. Monografia USP, 2006. Disponível em: [http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-01082007-235759/publico/Sistema\\_Alternativo\\_de\\_Pagamento\\_de\\_Energia\\_Eletrica.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-01082007-235759/publico/Sistema_Alternativo_de_Pagamento_de_Energia_Eletrica.pdf). Acesso em: 25 abr. 2015.

CEMAT. **Aneel quer luz pré-paga em todo o país**. Notícia, Disponível em: <http://www.cemat.com.br/noticias/aneel-quer-luz-pre-paga-em-todo-o-pais/>. Acesso em 19 out. 2014.

CEMIG. **O QUE SÃO AS REDES INTELIGENTES DE ENERGIA**. Notícia, 2014. Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/sustentabilidade/nossos\\_programas/Redes\\_Inteligentes/Paginas/as\\_redes\\_inteligentes.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Redes_Inteligentes/Paginas/as_redes_inteligentes.aspx). Acesso em: 25 mar. 2015.

CER COMMISSION FOR ENERGY REGULATION. “**Prepayment Meters - A consultation paper**”, CER 03/291. Disponível em: <http://www.cer.ie/docs/000398/cer03291.pdf>. Acesso em 12 out. 2014.

CORREIA, Salatiel Pedrosa Soares. **Tarifas e a Demanda de Energia Elétrica**. 1. Ed. São Paulo: Synergia, 2010.

DANYK.CZ – Electrotecnic Schematics. **Wattmeter (Simple AC Power Meter)**. Disponível em: [http://danyk.cz/wmetr\\_en.html](http://danyk.cz/wmetr_en.html). Acesso em: 23 out. 2015.

ECIL Energia. **Medição Inteligente**. Informativo, 2014. Disponível em: <http://www.ecilenergia.com.br/download/Medidores.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2015.

ENGEMATEC. **Harmônicos em Sistemas de Potência: Entenda os Fundamentos**. Artigo Técnico, 2010. Disponível em: [http://www.engematec.com.br/site/downloads/harmonicos\\_fundamentos.pdf](http://www.engematec.com.br/site/downloads/harmonicos_fundamentos.pdf). Acesso em: 26 dez. 2015.

EPALANGA, Eliseu; LOPES, Carlos; TEMBU, Roberto. **TCC – Medidor de Energia Inteligente**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2010. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/135168950/Tcc-medidor-de-Energia-Inteligente#scribd>. Acesso em: 02 abr. 2015.

ESPOSITO, Alexandre Siciliano; RIVEIRA Ricardo; TEIXEIRA, Ingrid. **Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local**. Revista do BNDES 40, 2013. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4002.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4002.pdf). Acesso em: 05 abr. 2015.

FERNANDES, Paulo Gentil Gibson. **Medidor Eletrônico de Consumo de Energia Elétrica**. Monografia UFRJ, 2006. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10002468.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2015.

FERREIRA, Nuno António Dias. **Sistema de contagem de energia eléctrica baseado em tecnologia GSM**. Monografia Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2011. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61507/1/000148272.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2015.

GANIM, Antonio. **Setor Elétrico Brasileiro – Aspectos Regulamentares e Tributários**. 1. Ed. São Paulo: Canalenergia, 2003.

GL COMMUNICATIONS. **VoIP Analysis and Simulation – MAPS**. Disponível em: <http://www.gl.com/maps-gsma.html>. Acesso em: 21 mar. 2015.

GRUPO DE TRABALHO DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Smart Grid**. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio\\_GT\\_Smart\\_Grid\\_Portaria\\_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157). Relatório, 2010. Acesso em: 29 out. 2015.

HIEDA, Fabio Yukio. **Análise técnica e regulatória do sistema pré-pago de energia elétrica do Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso UFPR, 2012. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/232.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2015.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. **Detector de Passagem por Zero (NE352)**. Disponível em: <http://newtoncbraga.com.br/index.php/circuitos/130-instrumentacao/5319-ne352.html>. Acesso em: 22 out. 2015.

JÚNIOR, José Maria Cesário. **Um medidor de energia eléctrica integrado em redes de comunicações**. Monografia Universidade Estadual de Campinas, 2014. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000922642>. Acesso em: 28 jul. 2015.

LAMIN, Hugo. **Medição Eletrônica em Baixa Tensão: aspectos regulatórios e recomendações para implantação**. Monografia UnB, 2009. Disponível em: [http://bdtd.bce.unb.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/19/TDE-2009-09-10T093809Z-4312/Publico/2009\\_HugoLamin.pdf](http://bdtd.bce.unb.br/tesesimplificado/tde_arquivos/19/TDE-2009-09-10T093809Z-4312/Publico/2009_HugoLamin.pdf). Acesso em: 26 mar. 2015.

LIBERALQUINO, Diego. **Desenvolvimento de Plataforma de Comunicação GSM/GPRS para Sistemas Embarcados**. Monografia, UPE, 2010. Disponível em: <http://tcc.ecomp.poli.br/20102/diegotcc.pdf>. Acesso em: 16 out. 2015.

LIMA, Charles Borges de; VILHAÇA, Marco V. M. **AVR e Arduino Técnicas de Projeto**. 4. Ed. Florianópolis: Ed. Dos Autores, 2012.

MEDEIROS, Edmundo Emerson de. **Infraestrutura Energética – Planejamento e Regulamentação do Setor Elétrico**. 1. Ed. São Paulo: Mp Editora, 2009.

MÍNGUEZ, Agustín. **Medidores de Energia Ativa: Funcionamento, Práticas Usuais, Principais Ensaios e Análise das Fraudes Mais Comuns**. Monografia UFRJ, 2007. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000368.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

OFICINA DA NET. **O que é GSM e como funciona**. Redação, 2013. Disponível em: [http://www.oficinadanet.com.br/artigo/733/gsm\\_o\\_que\\_e\\_e\\_como\\_funciona](http://www.oficinadanet.com.br/artigo/733/gsm_o_que_e_e_como_funciona). Acesso em: 02 abr. 2015.

O GLOBO. **Aneel aprova sistema de energia elétrica pré-paga**. Notícia, 2014. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/defesa-do-consumidor/aneel-aprova-sistema-de-energia-eletrica-pre-paga-12056498>. Acesso em 20 out. 2014.

OLIVEIRA, Rafael Deléo; JÚNIOR, José Carlos de Melo Vieira. **Benefícios e Desafios de Redes Inteligentes**. Revista eletrônica de energia UNIFACS, 2012. Disponível em: [www.revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/download/1609/1531](http://www.revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/download/1609/1531). Acesso em: 02 abr. 2015.

PAULA, José de. **Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto**. Monografia UniCEUB, 2013. Disponível em:

[http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3857/1/Gilberto%20Jos%C3%A9%20De%20Paula%20Monografia%201\\_2013.pdf](http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3857/1/Gilberto%20Jos%C3%A9%20De%20Paula%20Monografia%201_2013.pdf). Acesso em: 28 jul. 2015.

RESOLUÇÃO N° 414/2010- ANEEL. **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 29 out. 2015.

RESOLUÇÃO N° 502/2012- ANEEL. **Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.

RESOLUÇÃO N° 610/2014- ANEEL. **Regulamenta as modalidades de pré-pagamento e pós-pagamento eletrônico de energia elétrica.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2014610.pdf>. Acesso em: 29 out. 2015.

SANTOS, Alan Baesse de Sousa. et al. **Tarifa Branca – Um Estudo da Estrutura Tarifária do Grupo B do Setor Elétrico – Parte I: Regulação.** Artigo Técnico UFU, 2014. Disponível em: [http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2014/ceel2014\\_artigo018\\_r01.pdf](http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2014/ceel2014_artigo018_r01.pdf). Acesso em: 02 abr. 2015.

SCHNEIDER ELETRIC. **Workshop Instalações Elétricas de Baixa Tensão.** Artigo Técnico, 2003. Disponível em: <http://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/harmon.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2015.

SENADO FEDERAL. **Consumidor de baixa renda poderá optar por conta pré-paga de energia e ter faixa de gratuidade.** Notícia, 2011. Disponível em: <http://www12.senado.gov.br/noticias/materias/2011/08/04/consumidor-de-baixa-renda-podera-optar-por-conta-pre-paga-de-energia-e-ter-faixa-de-gratuidade>. Acesso em 13 out. 2014.

SENRA, Renato. **Energia Elétrica – Medição, Qualidade e Eficiência.** 1. Ed. São Paulo: Baraúna, 2013.

SOARES, Diego. **A questão energética e o modelo arbóreo de desenvolvimento.** Disponível em: <http://antroposimetrica.blogspot.com.br/2011/11/questao-energetica-e-o-modelo-arboreo.html>. Acesso em 19 out. 2014.

SOUZA, Vitor Amadeu. **Desenvolvendo um medidor de energia em kWh.** 1.Ed. São Paulo: Clube de Autores, 2014. 96p.

UNIENERGIA. **Pré-pagamento de energia elétrica é regulamentado pela Aneel.** Notícia, 2014. Disponível em: <http://unienergia.net/noticia-detahes/1258>. Acesso em 18 out. 2014.

WIKIPÉDIA. **Gato de energia.** Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Gato\\_de\\_energia](http://pt.wikipedia.org/wiki/Gato_de_energia). Acesso em 15 out. 2014.