

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE**

RAQUEL TWARDOWSKY RAMALHO RABELLO

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA A
DETERMINAÇÃO DE PERFIL DE CLIENTES PREDISPOSTOS A FRAUDES
EM MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

MONOGRAFIA

**CURITIBA
2016**

RAQUEL TWARDOWSKY RAMALHO RABELLO

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA A
DETERMINAÇÃO DE PERFIL DE CLIENTES PREDISPOSTOS A FRAUDES
EM MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Marcelo Rodrigues,
Dr.

CURITIBA

2016

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que está em primeiro lugar em minha vida e que orienta meus caminhos.

Agradeço ao meu marido, Lucas Emanuel Rabello de Oliveira, por todas as palavras de incentivo, pela ajuda nas tarefas do dia a dia e por compreender as horas de ausência.

Agradeço à minha filha, Rebeca Twardowsky Ramalho Rabello, por, mesmo sem compreender, aceitar a privação de minha atenção e cuidado.

Agradeço aos meus pais por nunca medirem esforços para que eu pudesse estudar, por sempre me incentivarem a continuar seguindo meus sonhos e por me ajudarem em todas as situações.

Agradeço à Distribuidora de Energia Elétrica por ceder os dados para que eu pudesse realizar este trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor Marcelo Rodrigues por ter aceitado orientar-me neste trabalho.

Agradeço a todos os professores da Especialização em Engenharia de Confiabilidade, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por compartilhar seus conhecimentos.

RESUMO

RABELLO, Raquel Twardowsky Ramalho. **Aplicação do Método de Delineamento de Experimentos para a Determinação de Perfil de Clientes Predispostos a Fraudes em Medidores de Energia Elétrica.** 2016. 65 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Esta monografia é um estudo baseado em fundamentos da engenharia de confiabilidade, cujo objetivo é determinar perfis de unidades consumidoras com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares. Devido a grande ocorrência de procedimentos irregulares, aos critérios estabelecidos pela regulamentação vigente no Brasil e ao impacto direto na arrecadação das distribuidoras de energia elétrica, se faz necessário à investigação e detecção de unidades consumidoras com procedimentos irregulares. Coletou-se os dados, que são referentes a uma capital brasileira e sua região metropolitana, de uma distribuidora de energia elétrica. Executou-se as análises dos dados através do delineamento de experimentos, DOE, e obteve-se perfis de unidades consumidoras com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares. Assim, pode-se utilizar estes perfis para o direcionamento de inspeções em unidades consumidoras.

Palavras-Chave: Confiabilidade. Procedimentos Irregulares. Distribuidora. Medidores de Energia Elétrica.

ABSTRACT

RABELLO, Raquel Twardowsky Ramalho. **Application of Design of Experiments Method to the Determination of Customers' Profile Predisposed to Fraud in Electricity Meters.** 2016. 65 p. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This monograph is a research based in reliability engineering foundations, which aims to determine consumers units profiles with greater likelihood of irregular procedures. Due to the high incidence of irregular procedures, the criteria established by the current legislation in Brazil and the direct impact on the revenues of the electric power companies, it is necessary to research and detection consumer units with irregular procedures. Collected was the data, that refer to a Brazilian capital and its metropolitan region, of an electric power company. Carried out was analyses of data through the design of experiments, DOE, and obtained was consumers units profiles with greater likelihood of irregular procedures. Thus, one can use these profiles for targeting inspections at consumer units.

Keywords: Reliability. Irregular Procedures. Electric Power Company. Electricity Meters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Medidor Eletromecânico de Indução Polifásico	23
Figura 2 – Partes Constituintes de um Medidor Eletromecânico de Indução...	24
Figura 3 – Medidor Eletrônico de Energia Elétrica Polifásico	27
Figura 4 - Diagrama de Blocos de um Medidor de Energia Eletrônico	29
Figura 5 – Bancada de aferição de medidores	31
Figura 6 – Esquema do Sistema de Medição Centralizada	34
Figura 7 – Visão Geral dos Elementos de um Smart Grid	35
Figura 8 – Modelo de regressão perfeita.....	40
Figura 9 – Modelo de regressão dom erros.....	41
Figura 10 – Divisões do item região da cidade.....	46
Figura 11 – Divisões do item ramo de atividade.....	47
Figura 12 – Divisões do item titularidade.....	47
Figura 13 – Divisões do item titularidade.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média de Perdas Comerciais nas Distribuidoras.....	19
Gráfico 2 – Gráfico da probabilidade normal do efeito.....	42
Gráfico 3 – Gráfico de pareto	43
Gráfico 4 – Gráfico da probabilidade normal do resíduo	44
Gráfico 5 – Gráfico resíduos vs. valor ajustado.....	45
Gráfico 6 – Gráfico de probabilidade normal do efeito.....	50
Gráfico 7 – Gráfico de pareto	51
Gráfico 8 – Gráfico de probabilidade normal do resíduo	52
Gráfico 9 – Gráfico resíduos vs. valor ajustado.....	53
Gráfico 10 – Gráfico pareto	56
Gráfico 11 – Gráfico de probabilidade normal do efeito.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Configuração de níveis dos fatores	48
Quadro 2 – Dados utilizados para o delineamento fatorial com dois níveis	49
Quadro 3 – ANOVA delineamento fatorial com dois níveis	49
Quadro 4 – Configuração de níveis dos fatores	54
Quadro 5 – Amostra dos dados utilizados no delineamento fatorial geral completo	55
Quadro 6 – ANOVA delineamento fatorial geral completo.....	55
Quadro 7 – Tabela de regressão.....	57
Quadro 8 – Região x Ramo significantes	59

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Variância	39
Equação 2 – Soma dos quadrados da regressão.....	40
Equação 3 – Soma dos quadrados dos erros.....	40
Equação 4 – Soma total dos quadrados.....	40
Equação 5 – Teste estatístico	41

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DFS – *Direct Field Sensor*

DSP – *Digital Signal Processor*

NBR – Norma Brasileira

RTM – Regulamento Técnico Metrológico

LISTA DE ACRONIMOS

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANOVA – Análise de Variância

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

REN – Resolução Normativa

TOI – Termo de Ocorrência e Inspeção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA	14
1.1.1	Delimitação do Tema	16
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS	17
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.1	Objetivos Específicos	17
1.4	JUSTIFICATIVA	18
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	21
2.1	VISÃO GERAL	21
2.2	MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA	22
2.2.1	Medidores Eletromecânicos de Indução	23
2.2.1.1	Partes do medidor eletromecânico de indução	23
2.2.1.2	Funcionamento do medidor eletromecânico de indução	26
2.2.2	Medidores Eletrônicos	27
2.2.2.1	Partes do medidor eletrônico	27
2.2.2.2	Funcionamento do medidor eletrônico	28
2.3	ASPECTOS METROLÓGICOS E NORMATIVOS	29
2.3.1	Aferição de Medidores	30
2.4	PROCEDIMENTOS IRREGULARES EM MEDIDORES DE ENERGIA	32
2.5	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA PARA COMBATE A PROCEDIMENTOS IRREGULARES	33
3	CONFIABILIDADE	36
3.1	CONCEITOS DE CONFIABILIDADE	36
3.2	DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS – DOE	36
3.2.1	Definições	37
3.2.2	Tipos de DOE	37
3.2.2.1	Delineamento com um fator	37
3.2.2.2	Delineamento fatorial	37
3.2.2.3	Método por superfície de resposta	38
3.2.2.4	Projeto Robusto	39
3.2.2.5	Confiabilidade DOE	39
3.3	Análises	39
3.3.3.1	Análise de variância – ANOVA	39
3.3.3.2	Análise Gráfica	41
4	ANÁLISE DOS DADOS	46
4.1	DADOS	46
4.2	ANÁLISE DOS DADOS	47
4.2.1	Delineamento Fatorial com Dois Níveis	48
4.2.2	Delineamento Fatorial Geral Completo	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
5.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS	61
5.2	TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno. A maior parte das atividades do dia-a-dia somente é possível porque a energia elétrica chega até as residências, fábricas, supermercados, shoppings e em muitos outros estabelecimentos. (ELETROBRÁS, 2015A; ANEEL, 2008; COPEL, 2015).

A eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável para o desenvolvimento socioeconômico e tecnológico de muitos países e regiões. (ELETROBRÁS, 2015A; ANEEL, 2008; COPEL, 2015).

A importância dessa forma de energia pode-se provar pelo fato de, modernamente, os países mais industrializados duplicarem o consumo de energia elétrica a cada dez anos (ELETROBRÁS, 2015A; ANEEL, 2008; COPEL, 2015).

A eletricidade, que pode ser obtida através de vários outros tipos de energia, é transportada e chega aos consumidores no mundo inteiro por meio de sistemas complexos, compostos pelas etapas de geração, transmissão e distribuição. As distribuidoras recebem a energia dos agentes supridores (transmissoras, geradores ou outras distribuidoras), entregando-a aos consumidores finais, sejam eles residenciais, comerciais, rurais, industriais ou pertencentes às demais classes (ELETROBRÁS, 2015A; ANEEL, 2015A).

1.1 TEMA

As distribuidoras, ao efetuarem a entrega da energia nos consumidores finais, realizam a medição do consumo de energia elétrica, que está diretamente relacionada ao faturamento das empresas. (ANEEL, 2015B; ANEEL, 2015C; ANEEL, 2015D).

Cabe à ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - estabelecer tarifas que assegurem ao consumidor o pagamento de uma tarifa justa, como também garantir o equilíbrio econômico-financeiro da concessionária de distribuição de energia, para que ela possa oferecer um serviço com a

qualidade, confiabilidade e continuidade necessárias. A tarifa de energia elétrica é composta por duas parcelas: a “Parcela A” representada pelos custos não gerenciáveis da empresa (encargos setoriais, encargos de transmissão e compra de energia para venda) e a “Parcela B”, que agrega os custos gerenciáveis (despesas com operação e manutenção, despesas de capital). A “Parcela B” é regulamentada e definida pela ANEEL (ANEEL, 2015B; ANEEL, 2015C; ANEEL, 2015D).

A energia medida pelas distribuidoras nas unidades consumidoras será sempre inferior à energia recebida dos agentes supridores. Essa diferença é chamada de perda de energia. Na rede de distribuição, essas perdas são divididas em Perdas Técnicas, que podem ser entendidas como o consumo dos equipamentos responsáveis pela distribuição de energia, e Perdas Não Técnicas, que correspondem à diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas. Nas perdas não técnicas são considerados os furtos e fraudes de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras¹ sem equipamento de medição, entre outros (ANEEL, 2015A; ANEEL, 2015E).

Uma parcela das perdas não técnicas é repassa a tarifa de energia elétrica e cabe à ANEEL, que é a agência que regulamenta o setor de energia elétrica, definir qual a parcela desta perda poderá ser suportada pela tarifa e consequentemente pelos consumidores regulares (ANEEL, 2015A).

Essas perdas, que também são denominadas perdas comerciais, geram evasão de tributos, comprometem o resultado e indicadores das concessionárias, geram impacto na tarifa de energia, promovem a concorrência desleal no mercado, uma vez que o fraudador pode vender seu produto mais barato, aumentam os riscos de acidentes com energia elétrica, gerando uma preocupação nacional e se tornando um dos maiores desafios das distribuidoras de energia elétrica do Brasil (ASSIS, 2009).

¹ Unidade Consumidora: Conjunto composto por instalações, ramal de entrada, equipamentos elétricos, condutores e acessórios, incluída a subestação, quando do fornecimento em tensão primária, caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em apenas um ponto de entrega, com medição individualizada, correspondente a um único consumidor e localizado em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas. (REN 414/2010, ANEEL)

1.1.1 Delimitação do Tema

Dentre as várias origens das perdas comerciais, será abordada a fraude de energia elétrica, visto que a maioria dos outros elementos relacionados a essas perdas são de cunho administrativo e podem ser facilmente gerenciados pelas concessionárias.

As fraudes de energia elétrica podem ocorrer de diversas formas, deste modo serão estudadas as fraudes de energia relacionadas aos medidores de energia elétrica, que também são chamadas de procedimentos irregulares.

As distribuidoras de energia elétrica, quando detectam indícios de procedimentos irregulares no sistema de medição de energia, devem compor um conjunto de evidências a fim de caracterizar eventuais irregularidades e apurar os consumos de energia não faturados ou faturados a menor (ANEEL, 2012).

Além de documentos que tipifiquem os procedimentos irregulares, como a emissão do TOI (Termo de ocorrência e Inspeção), fotografias, vídeos, avaliação de histórico de consumo, faz-se necessária, também, a avaliação técnica dos equipamentos de medição. Essa avaliação técnica pode ser realizada pela Rede de Laboratórios Acreditados ou pelo laboratório da distribuidora de energia, desde que possua pessoal tecnicamente habilitado e equipamentos calibrados conforme padrões do órgão metrológico (ANEEL, 2012).

Com o resultado da avaliação técnica dos equipamentos de medição e com os outros documentos solicitados pela Resolução Normativa Nº 414/2010 a distribuidora pode proceder à recuperação da receita, conforme critérios estabelecidos na REN 414/2010 (ANEEL, 2012).

Diante disto, pretende-se identificar um perfil dos clientes, atendidos em baixa tensão com medidores de corrente nominal/máxima 30/200A, onde ocorre maior número de procedimentos irregulares em uma capital brasileira e sua região metropolitana.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

Com o avanço da tecnologia e dos sistemas de informação, os procedimentos irregulares em medidores de energia elétrica estão se tornando cada vez mais sofisticados, dificultando sua detecção, tanto por softwares, como por inspeções realizadas nas unidades consumidoras.

Atualmente na distribuidora de energia estudada existe software específico para direcionamento de inspeções em unidades consumidoras, porém não se tem um perfil traçado dos clientes em regiões onde ocorre o maior número de procedimentos irregulares.

Com base no problema apresentado surge a seguinte questão:

É possível delinear um perfil dos consumidores com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar um modelo probabilístico para especificar um perfil das unidades consumidoras, atendidas com medidores de energia elétrica com corrente nominal/máxima 30/200A, mais suscetíveis a realizarem procedimentos irregulares.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Revisar a literatura sobre modelos de distribuições estatísticas;
- Estudar a evolução e funcionamento dos medidores de energia elétrica;
- Revisar a legislação vigente para sistemas de medição de energia elétrica;
- Selecionar os consumidores que são atendidos através de medidores de energia elétrica com corrente 30/200A (nominal/máxima);

- Classificar os dados pertinentes à classe de medidores estudados;
- Definir modelos de distribuição que melhor representa o universo de dados estudado;
- Validar o modelo que reproduz os dados coletados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os furtos e as fraudes de energia elétrica representam a maior parte das perdas comerciais das distribuidoras de energia elétrica e são realizados por todos os níveis de consumidores, residenciais, comerciais e industriais. Este é um problema que prejudica a sociedade e acarreta aumento na tarifa de energia e injustiça social (FARIA, 2012).

Uma parte dessa perda é suportada pelos consumidores regulares, que pagam, através da tarifa de energia, essa parcela da energia que os clientes que praticaram procedimentos irregulares deixaram de pagar.

As perdas comerciais, além do valor que é determinado pela ANEEL, não são compensadas na tarifa de energia, sendo assumido pela distribuidora de energia elétrica (RESENDE, 2013).

No Gráfico 1 pode-se observar as médias percentuais das perdas comerciais, reais e regulatórias, ao longo de cinco anos. Essas médias foram calculadas com base nos dados disponibilizados pela ANEEL. Apesar do decréscimo do valor real das perdas comerciais no período verificado, constata-se que o valor regulatório, o qual é compensado na tarifa de energia, está sempre inferior ao real, ou seja, esta diferença é custeada pelas distribuidoras de energia, impactando em seus resultados.

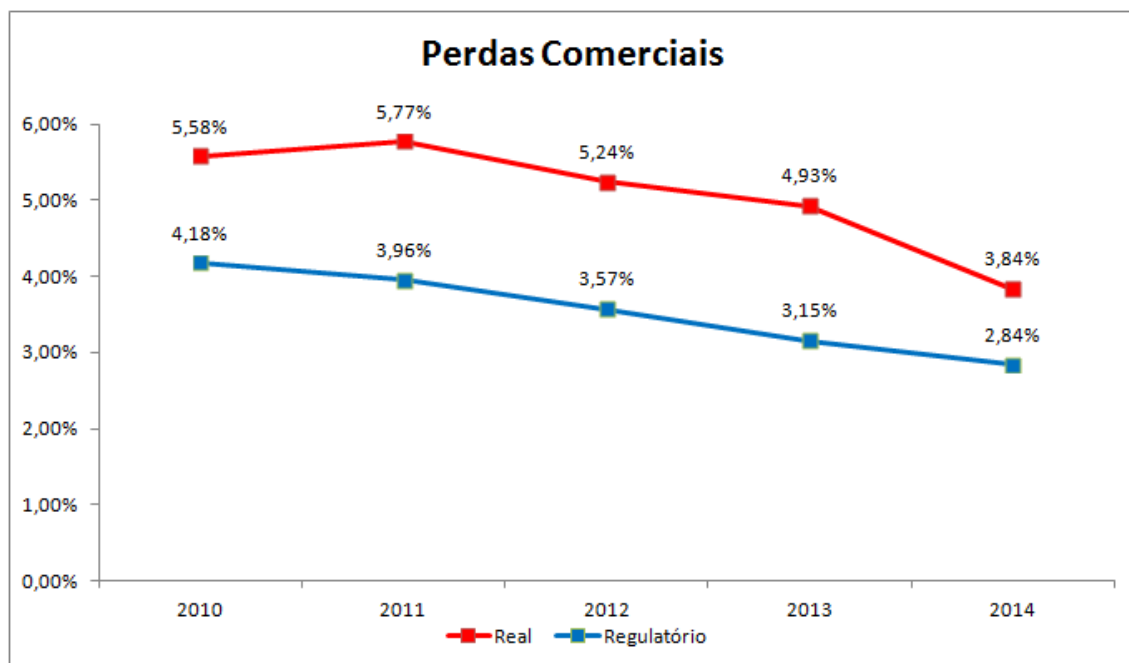


Gráfico 1 – Média de Perdas Comerciais nas Distribuidoras
Fonte: ANEEL, 2015F

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente será revisada a literatura sobre distribuições estatísticas aplicadas à engenharia de confiabilidade e será apresentado um cenário a respeito da evolução dos medidores de energia elétrica.

Posteriormente, será realizada a coleta dos dados a ser tratados, através de relatórios do sistema de gestão utilizado na distribuidora de energia e complementarmente com consultas a aplicativos específicos do sistema de gestão. Após a coleta dos dados, estes serão organizados de forma que se possa selecionar os consumidores atendidos com medidores de energia com corrente 30/200A (nominal/máxima), os quais são objeto de estudo. Os dados serão classificados conforme as características da unidade consumidora, que envolverá parâmetros como ramo de atividade, localização da unidade consumidora, tipo do medidor de energia, natureza do procedimento irregular, entre outros.

Subsequentemente, com os dados já tratados, dar-se-á a realização dos testes de aderência para a identificação das distribuições estatísticas que

melhor aderem ao conjunto de dados analisado, utilizando o *software DOE ++*, da Realiasoft, *para* a análise de confiabilidade.

Com as distribuições estatísticas definidas a partir dos dados, pode-se, então, representar o cenário estudado.

Para a realização da validação do modelo elaborado será utilizada a comparação dos dados do ano de 2014 com o ano de 2015.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 faz uma introdução ao problema relacionado às perdas comerciais nas distribuidoras de energia, discorre a respeito das justificativas e propõe soluções, que serão elucidadas ao longo do trabalho.

O capítulo 2 traz um breve resumo sobre os medidores de energia elétrica ao longo do tempo, bem como as inovações tecnológicas deste setor.

Já o capítulo 3 faz uma revisão da literatura a respeito dos modelos de distribuições estatísticas aplicadas à engenharia de confiabilidade.

O capítulo 4 apresenta a forma da coleta de dados, o tratamento e análise desses dados e as inferências sobre os resultados obtidos. Além disso, discorre sobre a análise dos resultados com os perfis identificados.

E finalmente, o capítulo 5 discorre sobre as conclusões obtidas do estudo realizado.

2 MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os medidores de energia elétrica registram a energia consumida pela unidade consumidora e com isso possibilitam que a distribuidora de energia elétrica fature os valores consumidos.

Diante disto, ocorrem procedimentos irregulares nos medidores de energia elétrica com o objetivo de causar distorção no registro da energia consumida e conseqüentemente no valor faturado pela distribuidora de energia elétrica.

2.1 VISÃO GERAL

A energia elétrica é uma mercadoria comercializada como outra qualquer, porém há algumas implicações em sua venda, como: o consumidor somente paga pela energia elétrica após o término do ciclo de faturamento, que é de aproximadamente 30 (trinta) dias; o medidor fica na casa do consumidor, o que requer cuidados especiais por parte da distribuidora; a distribuidora “olha” o medidor apenas uma vez por mês, através do leiturista², enquanto o consumidor pode verificá-lo diariamente. Tudo isto levou a técnica a tomar certas precauções especiais da concepção à construção dos medidores de energia elétrica (MEDEIROS, 1997).

A medição de energia elétrica é empregada para possibilitar as distribuidoras o faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada unidade consumidora, dentro de uma tarifa estabelecida. A concessionária tem grande interesse no perfeito e correto desempenho do medidor de energia elétrica, pois nele é que estão as bases econômicas da empresa. Assim, a prática de procedimentos irregulares impacta diretamente no faturamento da distribuidora de energia elétrica (MEDEIROS, 1997).

Diante disto, as entidades governamentais do Brasil, como a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), regulamentam o setor através de

² Leiturista: Pessoa que faz a leitura das marcações de consumo de luz, água e gás. (Dicionário Michaelis)

normas que dispõem as condições que os medidores devem satisfazer para serem comercializados (MEDEIROS, 1997).

Os medidores de energia elétrica, atualmente empregados pelas distribuidoras, podem ser do tipo eletromecânico ou eletrônico (ANEEL, 2011).

2.2 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Assim que a energia elétrica tornou-se uma mercadoria, viu-se a necessidade da utilização de medidores de energia para que fosse possível a contabilização e cobrança da energia utilizada.

O primeiro equipamento destinado a quantificação do consumo de energia elétrica surgiu em 1872 e foi chamado de medidor integrador. Este medidor media o tempo em que circuito ficava energizado e a potência nominal da carga. Já em 1881, com o advento da iluminação incandescente, Edison inventou o medidor eletrolítico, o qual possuía placas que se deterioravam e a diferença entre essas placas deterioradas e as novas resultavam na energia elétrica consumida. Em 1889 surgiu o medidor comutador, o primeiro verdadeiro medidor de energia elétrica, desenvolvido por Elihu Thompson, e utilizado em sua maioria para a medição de energia em corrente contínua, pois logo em seguida surgiu o medidor tipo indução, que se verificou o mais adequado para a utilização em corrente alternada e veio a ser o mais importante e utilizado medidor de energia elétrica (HENRIQUES, 2002; NAGAMINE, 2011).

A partir da década de 80 houve uma revolução em termos tecnológicos com o desenvolvimento do registrador eletrônico programável, para atender às necessidades das distribuidoras para a implantação de tarifas diferenciadas. Porém, este equipamento não era um medidor de energia elétrica, ele era apenas um contador de pulsos e foi desenvolvido para trabalhar em conjunto com os medidores eletromecânicos de indução. Posteriormente, na década de 90, surgiu o medidor de energia elétrica tipo eletrônico, diferenciando-se do registrador eletrônico programável por possuir a propriedade de medir e, por isso, dispensando o uso de outros medidores associados. Por este fato, o uso dos registradores eletrônicos programáveis tornou-se inviável (HENRIQUES, 2002; NAGAMINE, 2011).

2.2.1 Medidores Eletromecânicos de Indução

O medidor de energia elétrica eletromecânico é um equipamento de medição que baseia o seu funcionamento do princípio da indução eletromagnética, utilizando a interação de campos eletromagnéticos para a produção de movimento no elemento móvel (MINGUEZ, 2007; CALDEIRÃO, 2005).

Na Figura 1 observa-se um medidor de eletromecânico de indução polifásico.



Figura 1 – Medidor Eletromecânico de Indução Polifásico
Fonte: NANSEN, 2015

2.2.1.1 Partes do medidor eletromecânico de indução

Na Figura 2 pode-se observar os principais componentes de um medidor eletromecânico de indução.

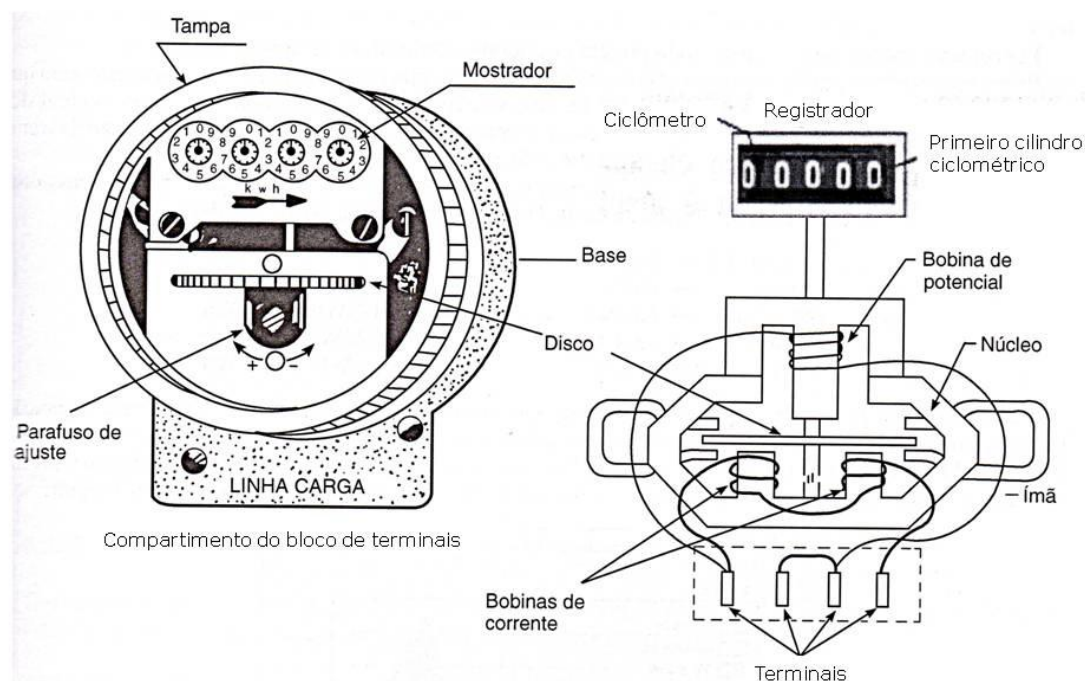


Figura 2 – Partes Constituintes de um Medidor Eletromecânico de Indução
Fonte: Adaptado de CREDER, 2002, página 31

As principais partes de um medidor eletromecânico de indução são:

- Base: parte do medidor destinada à sua instalação e sobre a qual são fixadas a estrutura, a tampa do medidor, o bloco de terminais e a tampa do bloco de terminais (NBR 8377, ABNT);
- Compartimento do bloco de terminais: parte onde fica localizado o bloco de terminais (NBR 8377, ABNT);
- Bloco de terminais: Suporte de material isolante no qual são agrupados os terminais do medidor (NBR 8377, ABNT);
- Terminais: Dispositivos destinados a ligar o medidor ao circuito a ser medido (NBR 8377, ABNT);
- Tampa do bloco de terminais: peça destinada a cobrir e proteger o bloco de terminais, o(s) furo(s) inferior(es) de fixação do medidor e o compartimento do bloco de terminais, quando existir (NBR 8377, ABNT);

- Registrador: Conjunto formado pelo mostrador, sistema de engrenagens e cilindros ciclométricos (NBR 8377, ABNT);
- Mostrador: placa que contém abertura para leitura dos algarismos do ciclométrico (NBR 8377, ABNT);
- Ciclômetro: tipo de registrador dotado de cilindros com algarismos (NBR 8377, ABNT);
- Primeiro cilindro ciclométrico: cilindro do ciclométrico que indica a menor quantidade de energia expressa em números inteiros de quilowatts-hora (NBR 8377, ABNT);
- Elemento motor: conjunto formado pela bobina de potencial e seu núcleo, por uma ou mais bobinas de corrente e seu núcleo, destinado a produzir um conjugado motor sobre o elemento móvel (NBR 8377, ABNT);
- Núcleos: conjunto de lâminas de material magnético que forma os circuitos magnéticos das bobinas de potencial e de corrente (NBR 8377, ABNT);
- Bobina de corrente: bobina cujo campo magnético resultante é função da corrente que circula no circuito cuja energia se pretende medir (NBR 8377, ABNT);
- Bobina de potencial: bobina cujo campo magnético resultante é função da tensão do circuito cuja energia se pretende medir (NBR 8377, ABNT);
- Elemento móvel: conjunto formado pelo(s) disco(s), eixo e partes solidárias que gira com velocidade proporcional à potência do circuito cuja energia se pretende medir (NBR 8377, ABNT);
- Mancais: conjunto de peças destinadas a manter o elemento móvel em posição adequada a permitir sua rotação (NBR 8377, ABNT);
- Elemento frenador: conjunto compreendendo um ou mais ímãs, destinado a produzir um conjugado frenador sobre o elemento móvel (NBR 8377, ABNT);
- Placa de identificação: peça destinada à identificação do medidor (NBR 8377, ABNT);
- Tampa do medidor: peça sobreposta à base para cobrir e proteger a estrutura e todas as peças nela montadas (NBR 8377, ABNT).

2.2.1.2 Funcionamento do medidor eletromecânico de indução

O princípio de funcionamento do medidor de energia elétrica eletromecânico de indução está baseado no fato de que os campos gerados pelas bobinas de corrente e potencial induzem correntes em um disco, provocando a sua rotação. No eixo do disco existe uma rosca sem fim, a qual está acoplada a primeira engrenagem do registrador, provocando sua rotação e indicando a leitura (CREDER, 2002).

O conjugado motor é originado no disco do medidor graças ao fenômeno conhecido como interação eletromagnética. Esta interação nos mostra que um condutor percorrido por uma corrente i , na presença de um campo magnético B , fica submetido a uma força F cujo sentido é dado pela regra dos três dedos da mão direita e cujo módulo é dado por (MEDEIROS, 1997; MINGUEZ, 2007):

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \alpha$$

Onde:

B – Campo magnético induzido;

i – Corrente no condutor;

L – Comprimento do condutor sob a ação do campo magnético B ;

α – ângulo entre B e a direção de i no espaço.

Assim, o disco do medidor de energia fica submetido a dois conjugados motores, originados de duas interações entre fluxo magnético e corrente. A primeira interação se dá entre o fluxo alternado da bobina de corrente e as correntes de Foucault induzidas no disco do medidor, devido ao fluxo alternado da bobina de potencial. Já a segunda interação ocorre entre o fluxo alternado da bobina de potencial e as correntes de Foucault induzidas no disco do medidor, através do fluxo alternado da bobina de corrente (MEDEIROS, 1997).

Esses dois conjugados motores, originados pelas duas interações, têm sempre o mesmo sentido, provocando, deste modo, o movimento de rotação do disco (MEDEIROS, 1997).

A velocidade de rotação do disco é proporcional à energia consumida pela carga em certo intervalo de tempo, visto que o conjugado motor que o disco está submetido depende da frequência e é proporcional corrente e a

tensão aplicada ao medidor, bem como ao ângulo entre essas grandezas (MEDEIROS, 1997; HELFRICK, 1994).

O amortecimento do movimento do disco é produzido por ímãs permanentes. Quando o disco gira, o ímã induz correntes de Foucault no disco, que reagem com os campos magnéticos deste ímã. O resultado é um torque de frenagem sobre o disco (MEDEIROS, 1997; HELFRICK, 1994).

2.2.2 Medidores Eletrônicos

Os medidores eletrônicos são medidores de energia elétrica estáticos no qual a corrente e a tensão atuam sobre os componentes eletrônicos para produzir uma informação de saída proporcional à quantidade de energia elétrica medida (ABNT, 2011).

Diferentemente dos medidores eletromecânicos de indução, os medidores eletrônicos podem possuir diversas funções, além da principal. Os equipamentos mais sofisticados, utilizados para medições de faturamento de unidades consumidoras de médio e grande porte, são providos de um dispositivo eletrônico denominado “memória de massa”, onde são armazenados pulsos relativos às grandezas medidas para posterior integralização e visualização (HENRIQUES, 2002; NAGAMINE, 2011).

A Figura 3 mostra um medidor eletrônico polifásico 30/200A.



Figura 3 – Medidor Eletrônico de Energia Elétrica Polifásico
Fonte: LANDIS&GYR, 2015

2.2.2.1 Partes do medidor eletrônico

Os medidores eletrônicos de energia elétrica, de uma forma geral, são constituídos pelos seguintes módulos:

- Módulo de conexão: composto pelo bloco de conexões dos transformadores de medição, dos divisores resistivos e dos sinais auxiliares. Os transformadores de corrente e os divisores resistivos funcionam como sensores das grandezas de interesse e como proteção aos circuitos eletrônicos do medidor contra distúrbios elétricos externos (HENRIQUES, 2002, páginas 26 e 27).

- Módulo de medição: composto pelos circuitos de medição e pela fonte de alimentação. A função primordial deste módulo é transformar os sinais de entrada da forma analógica ou contínua para a forma digital ou discreta, através de conversores A/D (analógico/digital), bem como fazer o processamento destes sinais. Para isso é utilizado um microprocessador eletrônico, também conhecido como DSP (do inglês, *Digital Signal Processor*) (HENRIQUES, 2002, páginas 26 e 27).

- Módulo de registro: composto pelo circuito eletrônico de registro das grandezas processadas no módulo de medição, memória de massa, interfaces de comunicação, interfaces com o usuário (mostrador e teclas de operação e comando) e relógio de tempo real (HENRIQUES, 2002, páginas 26 e 27).

- Carcaça: É um módulo destinado a prover sustentação mecânica e proteção, tanto mecânica como contra intempéries, aos demais componentes do medidor (HENRIQUES, 2002, páginas 26 e 27).

2.2.2.2 Funcionamento do medidor eletrônico

Nos medidores de energia elétrica eletrônicos os sinais de corrente e tensão são adquiridos através de transdutores. No caso dos sinais de corrente, os transdutores utilizados podem ser baseados nos princípios de medição shunt, em transformadores de corrente, bobina de Rogowski, entre outros. Com base nesses sinais, os elementos de medição DFS (*Direct Field Sensor*) geram um sinal proporcional a potência de cada fase, o qual é convertido em sinal digital para que possa ser processado pelo microcontrolador (NAGAMINE, 2011; MINGUEZ, 2007).

O microcontrolador irá processar os sinais digitais de cada fase e então alimentará o registrador de energia com o valor da energia elétrica consumida. Esses registros para faturamento e os parâmetros configurados no medidor são armazenados em uma memória não volátil (EEPROM), que assegura a integridade dos dados em caso de falta de energia (NAGAMINE, 2011).

Na Figura 4 encontra-se o diagrama de bloco de um medidor eletrônico.

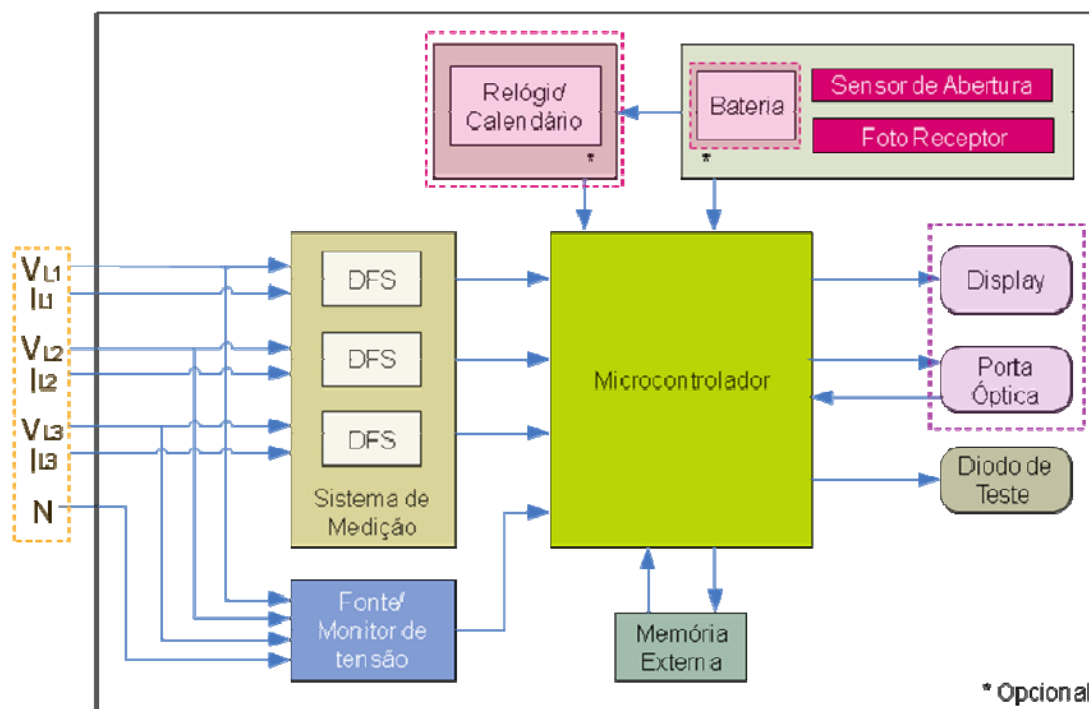


Figura 4 - Diagrama de Blocos de um Medidor de Energia Eletrônico
Fonte: NAGAMINE, 2011

2.3 ASPECTOS METROLÓGICOS E NORMATIVOS

A relação da distribuidora com o consumidor é regulamentada pela ANEEL através da Resolução Normativa 414/2010, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Esta agência também normatiza os procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional, através do PRODIST, e, no módulo 5 deste procedimento, estão os relativos aos sistemas de medição.

Conforme o módulo 5 do PRODIST, os sistemas de medição devem ter garantia de inviolabilidade, por meio de colocação de lacres, de modo a permitir a visualização de qualquer indício de violação. Esses lacres instalados nos medidores de energia elétrica e demais equipamentos de medição, caixas e cubículos somente poderão ser rompidos por representante legal da distribuidora.

As condições e características construtivas dos medidores de energia elétrica, tanto eletromecânicos como eletrônicos, devem obedecer a regulamentação metrológica pertinente ao INMETRO, através dos Regulamentos Técnicos Metrológicos (RTM's) ou, na sua inexistência, das normas ABNT (ANEEL, 2011).

Na REN 414/2010 verifica-se que para, quando constatado procedimento irregular no sistema de medição da unidade consumidora, a distribuidora deve compor provas para a fiel caracterização da ocorrência e apuração do consumo não faturado ou faturado a menor. Um dos procedimentos a ser adotado pela distribuidora para compor o conjunto de evidência é a elaboração de relatório de avaliação técnica, quando constatado a violação do medidor ou demais equipamentos de medição, exceto quando for solicitada pelo consumidor a perícia técnica.

Para a elaboração deste relatório de avaliação técnica, é necessário realizar a aferição e verificação do medidor em questão.

2.3.1 Aferição de Medidores

A aferição é a determinação dos erros do medidor, através da comparação com medidores padrões de serviço, e sua conformidade com as condições de operação estabelecidas na legislação metrológica (ANEEL, 2012; ABNT, 1995).

A aferição do medidor pode ser realizada pela Rede de Laboratórios Acreditados ou pelo laboratório da distribuidora. Algumas distribuidoras possuem laboratórios próprios, outras terceirizam este processo. A distribuidora em que se analisarão os dados possui laboratório próprio (ANEEL, 2012).

Independente do local onde a aferição é realizada, ela deve atender o RTM aprovado pela portaria 285/2008, para os casos de medidores eletromecânicos, e o RTM aprovado pela portaria 587/2012, para os casos de medidores eletrônicos. Os ensaios são realizados através da utilização de uma bancada de aferição de medidores, a qual pode ser observada na Figura 5. Esta bancada possui um medidor padrão, o qual é calibrado periodicamente e rastreado pelo INMETRO.

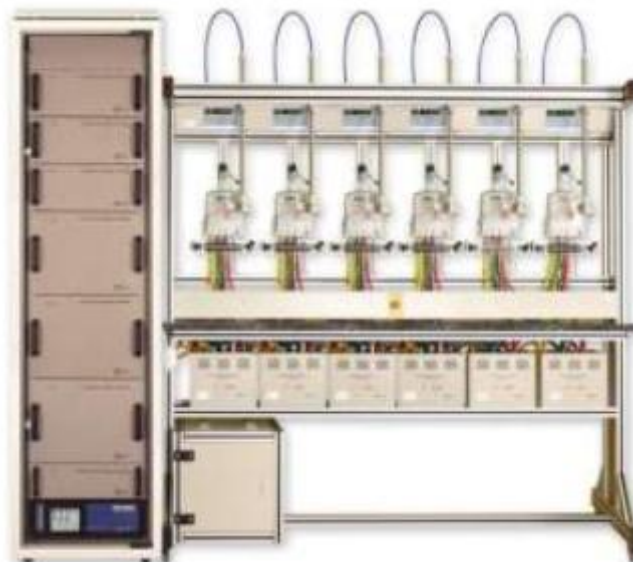


Figura 5 – Bancada de aferição de medidores
Fonte: UTILI, 2015

Os ensaios, a pedido do usuário/proprietário, que devem ser realizados, para os dois tipos de medidores, são:

- Inspeção da integridade dos lacres: constatar a integridade dos lacres da tampa principal do medidor, quando os ensaios forem realizados no laboratório. O medidor é considerado conforme se apresentar os lacres íntegros da tampa principal.

- Inspeção visual de correspondência ao modelo aprovado: verificar se o medidor apresenta as mesmas características construtivas que o modelo aprovado. Utilizado apenas para medidores eletrônicos.

- Inspeção geral do medidor e de suas respectivas ligações: consiste em averiguar a presença de falhas nas diversas peças e conjuntos que compõem o medidor e que possam acarretar danos físicos a pessoas e a bens materiais, diminuir a vida útil do medidor ou exigir maior manutenção.

- Ensaio de marcha em vazio: tem a finalidade de verificar se o medidor está bem regulado e não tem dissimetrias eletromagnéticas. Consiste em aplicar uma tensão ao medidor e não aplicar corrente. Para medidores eletrônicos este ensaio é realizado com 115% da tensão nominal e em medidores eletromecânicos é realizado com 110% da tensão nominal. O tempo que ensaio, no caso de medidores eletrônicos, é o equivalente a um terço do tempo calculado no ensaio marcha em vazio para a apreciação técnica de

modelo. Já para os medidores eletromecânicos o tempo de ensaio é de 15 (quinze) minutos e é igual para todos os modelos de medidores. O medidor é considerado aprovado se o dispositivo de saída para calibração/aferição não emitir mais de um pulso durante o período de realização do ensaio, para medidores eletrônicos, e o disco não efetuar uma rotação completa no tempo de ensaio, para medidores eletromecânicos.

- Ensaio de exatidão ou de influência da variação de corrente: tem o objetivo de averiguar se os erros apresentados pelo medidor estão dentro dos limites estabelecidos pelo RTM. O ensaio deve ser realizado com no mínimo duas condições distintas de carga.

- Ensaio do mostrador ou registrador: Averiguar se a indicação da energia medida corresponde à energia consumida. Para medidores eletrônicos aplica-se 1,0 kWh. Já para medidores eletromecânicos, deve-se aplicar 2kWh.

Além desses ensaios, para medidores com procedimento irregular, verifica-se os componentes internos do medidor com o objetivo de detectar quais mecanismos do medidor foram manipulados.

Assim, pode-se comprovar a ocorrência da fraude no medidor, juntamente com outras evidências, e proceder a cobrança dos valores não faturados ou faturados a menor, conforme as determinações da REN 414/2010.

2.4 PROCEDIMENTOS IRREGULARES EM MEDIDORES DE ENERGIA

Com a realização da aferição do medidor pode-se detectar se o equipamento está funcionando corretamente e, caso não esteja, qual a origem de seu funcionamento inadequado. Muitos casos de mau funcionamento de medidores de energia elétrica são causados pela intervenção de pessoas que têm o intuito de fazer com que o medidor registre menos energia que a realmente consumida. Esses casos são caracterizados como fraudes de energia elétrica.

Existem diferenças entre furto e fraude de energia. O furto é caracterizado pelo desvio direto de energia da rede elétrica das distribuidoras para o consumidor ilegal, o que faz com que a energia seja utilizada, mas não contabilizada. No caso da fraude, contudo, o consumidor é registrado por parte da distribuidora, mas faz adulterações no sistema de medição de energia

elétrica (fiações, medidor, entre outros), de modo que, apesar de consumir uma quantidade de energia, paga efetivamente por uma parte menor (fração) desse consumo. Neste estudo, as fraudes serão denominadas procedimentos irregulares (ABRADEE, 2015).

O consumidor tem a responsabilidade por manter a custódia dos equipamentos de medição da distribuidora, na qualidade de depositário a título gratuito, quando instalado no interior da unidade consumidora, ou, se por sua solicitação formal, os equipamentos forem instalados em área exterior da mesma. Com a realização de procedimentos irregulares, o consumidor é o beneficiário do registro a menor de energia. Assim, o consumidor é o responsável pela ocorrência de procedimentos irregulares na unidade consumidora (ANEEL, 2011).

Como o objetivo deste trabalho não é elencar os procedimentos irregulares mais comuns e nem é o de mostrar como se faz tais procedimentos, não serão apresentados os tipos de procedimentos irregulares registrados na distribuidora de energia estudada. Estes procedimentos serão codificados.

2.5 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA PARA COMBATE A PROCEDIMENTOS IRREGULARES

Com a evolução tecnológica nos sistemas de medição aumentam os meios de prevenir os procedimentos irregulares que envolvem energia elétrica. Uma dessas tecnologias é a modalidade pré-paga de energia elétrica, onde o consumidor compra créditos e utiliza-os conforme sua necessidade, sendo notificado quando os créditos estiverem se esgotando (ANEEL, 2015G).

A medição centralizada é outra ferramenta utilizada pelas distribuidoras para prevenir os procedimentos irregulares. Neste tipo de medição a individualização da medição do consumo de energia elétrica é preservada, porém há a centralização das informações de consumo, permitindo o compartilhamento de partes comuns, havendo assim a redução do espaço físico e um melhor gerenciamento dos recursos e dados. Para isto, esta medição é constituída por medidores eletrônicos agrupados em concentradores, os quais podem ser instalados diretamente na rede de distribuição de energia. O sistema ainda é composto por terminais de leitura

individuais, instalados junto às unidades consumidoras. Além disso, os concentradores, onde ficam alojados os medidores de energia, possuem dispositivo antifraude, com condição de desligar todos os consumidores a ele ligados em caso de abertura indevida de sua porta. Na Figura 6 pode-se observar um esquema de medição centralizada (COPEL, 2014; NAGAMINE, 2011).

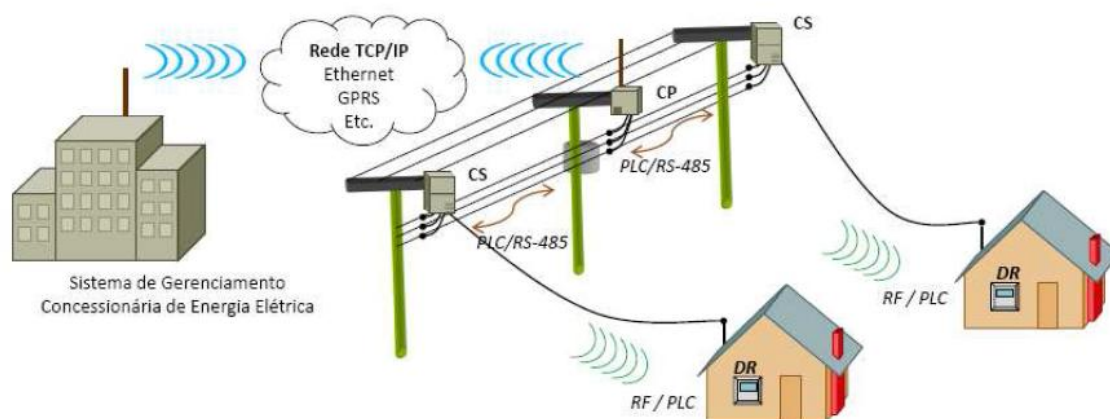


Figura 6 – Esquema do Sistema de Medição Centralizada
Fonte: NAGAMINE, 2011

No contexto de redes integradas e inteligentes surge o *smart grid*, que é uma solução inovadora para as redes elétricas e possui uma estrutura integrada com todos os componentes do sistema. Essa estrutura é fortemente baseada em redes de telecomunicações com vantagens inerentes, tais como maior eficiência e confiabilidade para o sistema, permitindo a comunicação entre dispositivos inteligentes na rede (LOPES, 2012).

O conceito de *smart grid* ou redes inteligentes se baseia na ideia de integração, ou seja, integrar a rede elétrica com a infraestrutura de telecomunicações. Deste modo, esta tecnologia inclui modernas subestações de distribuição de energia elétrica sem a presença de operadores e, também, sofisticados sistemas de telemedição e dispositivos de telecomando das redes de distribuição, ou seja, trata-se de uma automação total do sistema. Assim, nas *smart grids*, os medidores analógicos são substituídos pelos digitais, que são capazes de se comunicar diretamente com a distribuidora, provendo informações de consumo em tempo real (NAGAMINE, 2011; LOPES, 2012).

Na Figura 7 tem-se uma visão geral dos elementos de uma *smart grid*.

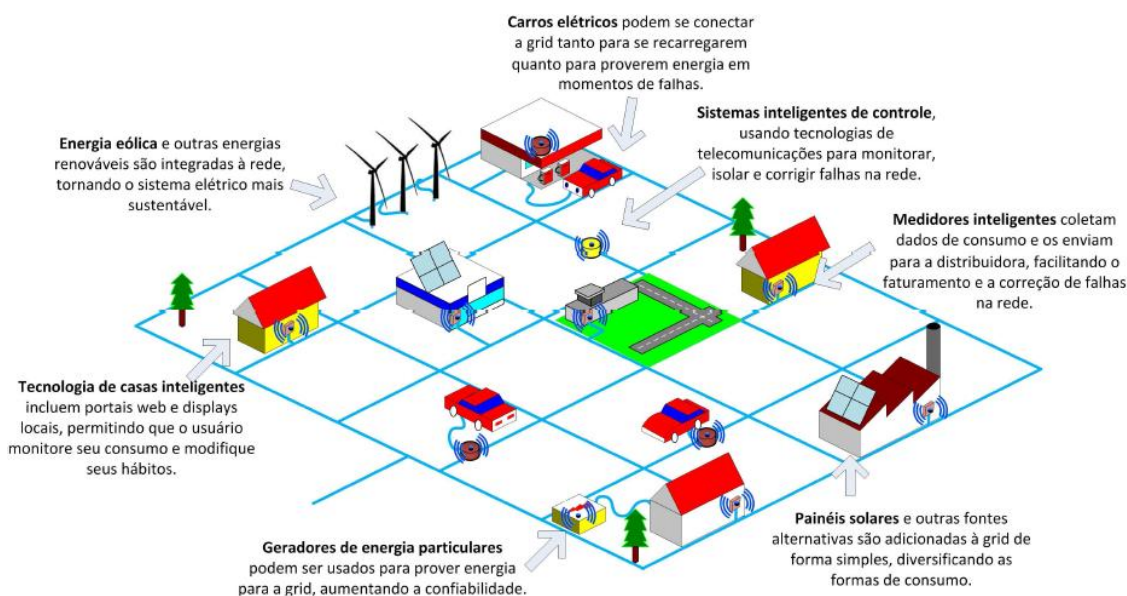


Figura 7 – Visão Geral dos Elementos de um Smart Grid
Fonte: LOPES, 2012

O smart grid pode permitir que as distribuidoras realizem serviços como corte e religamentos remotos, cobrança de energia diferenciada, conexão online com os dispositivos de medição, agregar informações em tempo real sobre a demanda dos clientes. Além disso as redes inteligentes permitem a aplicação de tele controle, monitoração remota, supervisão de fornecimento, inclusão digital, vigilância e segurança, integração de serviços públicos, internet banda larga, entre outros (PENIN, 2008).

Deste modo diversas áreas da empresa são beneficiadas com este sistema, sendo que o setor que controla as perdas de energia é amplamente beneficiado, com alertas contra procedimentos irregulares, estudos de variação de consumo, cortes e monitoramento em tempo real (PENIN, 2008).

3 CONFIABILIDADE

Este capítulo destina-se a apresentar os principais conceitos relacionados à confiabilidade e a teoria de confiabilidade aplicada á este trabalho.

3.1 CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

A confiabilidade pode ser definida, segundo a ABNT NBR 5462/1994, como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo.

O termo “Confiabilidade” também pode ser definido como sendo a confiança de que um componente, equipamento ou sistema desempenhe sua função básica, durante um período de tempo preestabelecido, sob condições padronizadas de operação (KARDEC, 2002).

Assim, para a realização de um projeto de confiabilidade é necessário definir as funções que serão executadas pelo item e a meta desempenho, as métricas de confiabilidade do item, o ambiente em que o item irá atuar e o tempo de missão do item (BLANCHARD, 1990).

3.2 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS – DOE

O delineamento de experimentos, também chamado de DOE, é uma parte fundamental da confiabilidade, que permite investigar simultaneamente os efeitos de vários fatores sobre a resposta e, assim, contribuir para a otimização do processo (RELIASOFT, 2008).

Diante disto, o DOE possibilita a identificação das relações entre causa e efeito, a compreensão das interações entre os fatores, a determinação das configurações dos níveis de cada fator visando a otimização da confiabilidade, a minimização do erro experimental e o aperfeiçoamento do projeto ou processo quanto as variações (RELIASOFT, 2008).

3.2.1 Definições

Algumas definições básicas que são utilizadas no DOE (RELIASOFT, 2008, CARVALHO, 2015):

- Experimento: é uma série de testes realizados de maneira sistemática, com o objetivo de aumentar o entendimento de um processo existente ou explorar um novo produto ou processo;
- Fator: é uma variável independente, cujo efeito sobre a resposta será investigado no experimento;
- Resposta: é a variável que será estudada no experimento e sobre a qual será avaliada a influência dos fatores;
- Nível: é a configuração do fator utilizado no experimento;
- Replicação: é repetir de maneira aleatória.

3.2.2 Tipos de DOE

Existem diversos tipos de DOE, que deverá ser selecionado conforme a análise que se deseja fazer dos dados e do tipo e natureza dos dados.

3.2.2.1 Delineamento com um fator

Neste tipo de delineamento deseja-se investigar a influência de um único fator sobre a resposta. O objetivo é determinar o quanto a resposta é significativamente diferente conforme se varia os níveis do fator. O fator pode ser quantitativo ou qualitativo (RELIASOFT, 2015).

3.2.2.2 Delineamento fatorial

Neste tipo de delineamento, vários fatores são investigados simultaneamente durante o teste. Podem ser analisados tanto fatores quantitativos como qualitativos. O objetivo deste tipo de delineamento é identificar os fatores que são relevantes para a resposta e, também, investigar

a significância das interações entre os fatores. Quando a análise é quantitativa podem-se fazer predições, porém com algumas ressalvas (RELIASOFT, 2015).

O delineamento fatorial é subdividido em:

- Delineamento Fatorial Completo Geral: os fatores podem ter diferentes quantidades de níveis e podem ser quantitativos ou qualitativos;
- Delineamento Fatorial Completo com Dois Níveis: todos os fatores devem ser dois níveis, obrigatoriamente. Se todos os fatores forem quantitativos, os dados dos experimentos podem ser utilizados para fins preditivos;
- Delineamento Fatorial Fracionado com Dois Níveis: é um tipo especial do delineamento com dois níveis, onde não são consideradas todas as combinações dos níveis dos fatores. Como algumas combinações são excluídas, determinadas interações não podem ser investigadas;
- Delineamento de Plackett-Burman: é uma categoria especial do delineamento fatorial fracionado com dois níveis. É utilizado para investigar apenas os efeitos principais, não sendo analisadas interações;
- Método de Taguchi: é um delineamento fatorial altamente fracionado, utilizado para estimar os efeitos principais realizando poucos experimentos. Pode ser utilizado para investigar os efeitos principais quando os fatores possuem mais de dois níveis ou quando os fatores possuem nível misto (os fatores analisados não possuem a mesma quantidade de níveis).

3.2.2.3 Método por superfície de resposta

O método por superfície de resposta é um delineamento especial que é utilizado para determinar as configurações dos fatores para atingir um valor ótimo de resposta (RELIASOFT, 2015).

3.2.2.4 Projeto Robusto

O delineamento de parâmetros robusto foi desenvolvido por Taguchi e é utilizado para projetar processos ou produtos insensíveis a ruídos (RELIASOFT, 2015).

3.2.2.5 Confiabilidade DOE

Este é uma categoria especial do DOE onde os delineamentos tradicionais são combinados com métodos de confiabilidade para investigar os efeitos de diferentes fatores sobre o ciclo de vida. Na confiabilidade DOE a resposta é uma métrica de vida e pode conter dados censurados (RELIASOFT, 2015).

3.3.3 Análises

3.3.3.1 Análise de variância – ANOVA

A ANOVA é um método que pode ser utilizado para testar a significância da regressão. Este método utiliza a variância dos dados observados para determinar se um modelo de regressão pode ser aplicado aos dados. A variância observada é dividida em componentes que são utilizados no teste de significância da regressão (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015).

A variância total é estimada com base nos dados observados e é dada conforme a Equação 1 (RELIASOFT, 2015).

$$Var(Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} \text{ (Eq. 1)}$$

Equação 1 – Variância

O numerador da Equação 1 representa a soma dos quadrados total (SS_T), pois está relacionado a variância total das observações. Já o denominador da equação está relacionado com os graus de liberdade associados a variância da amostra (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015).

Quando se tentar encaixar um modelo de regressão aos dados observados, tenta-se explicar as variações dos dados através do modelo utilizado. Se o modelo de regressão é tal que todos os dados passem pela linha de regressão ajustada, tem-se um modelo perfeito, conforme pode-se observar na Figura 8. Neste caso, o modelo explica toda a variação dos dados observados. Assim, a soma dos quadrados da regressão (SS_R) é igual a soma dos quadrados total (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015).

$$SS_T = SS_R \text{ (Eq. 2)}$$

Equação 2 – Soma dos quadrados da regressão

Quando nem todos os dados seguem a linha de regressão ajustada, não se tem um modelo perfeito e, conseqüentemente, a variação de uma parte dos dados observados permanecem sem explicação, conforme observa-se na Figura 9. Assim, a variação desta parte não explicada pelo modelo é chamada de soma dos quadrados dos erros e obtida através do erro de cada observação, conforme tem-se na Equação 3 (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015):

$$SS_E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \text{ (Eq. 3)}$$

Equação 3 – Soma dos quadrados dos erros

Assim, a soma total dos quadrados é dada pela Equação 4:

$$SS_T = SS_R + SS_E \text{ (Eq. 4)}$$

Equação 4 – Soma total dos quadrados

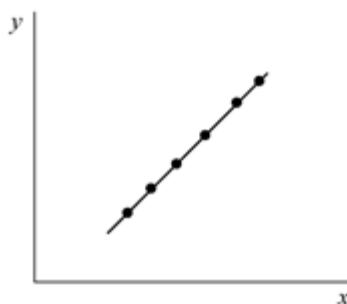


Figura 8 – Modelo de regressão perfeita
Fonte: Adaptado de RELIASOFT, 2015

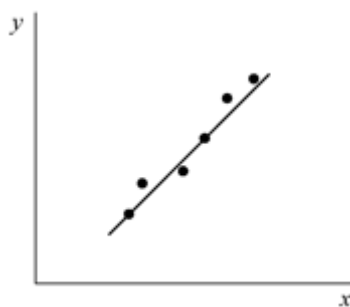


Figura 9 – Modelo de regressão com erros
Fonte: Adaptado de RELIASOFT, 2015

A média dos quadrados é obtida através da divisão da soma dos quadrados pelo respectivo grau de liberdade. Ela é utilizada no cálculo do teste estatístico da significância da regressão (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015).

Para o teste de significância da regressão é utilizado o teste de hipótese baseado na distribuição F. Assim, considerando o teste de hipótese $H_0: \beta_1=0$, o teste estatístico a ser realizado para este teste de hipótese é (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015):

:

$$F_0 = \frac{MS_R}{MS_E} \text{ (Eq. 5)}$$

Equação 5 – Teste estatístico

Onde:

MS_R é a média dos quadrados da regressão

MS_E é a média dos quadrados dos erros

3.3.3.2 Análise Gráfica

Para a análise dos dados também utiliza-se a análise gráfica. Através do software DOE++, da *Reliasoft*, pode-se verificar vários gráficos que auxiliam na análise dos dados.

No gráfico de probabilidade normal do efeito, Gráfico 2, pode-se observar quais os fatores são significantes para a análise. Estes fatores, ou suas interações, ficam destacadas na cor vermelha (RELIASOFT, 2010).

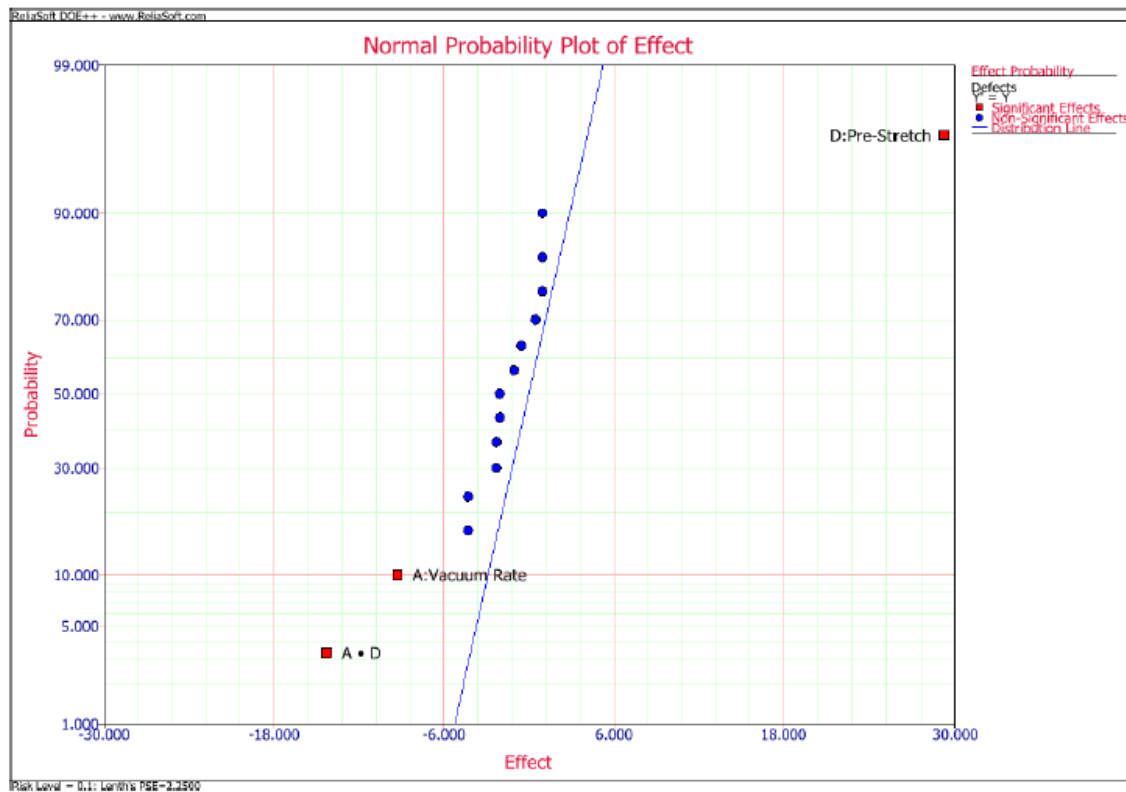


Gráfico 2 – Gráfico da probabilidade normal do efeito
Fonte: RELIASOFT, 2015

Da mesma forma que no gráfico da probabilidade normal do efeito, no gráfico de pareto, Gráfico 3, verifica-se quais os fatores ou interações são relevantes. Os fatores são considerados significantes quando seus valores absolutos superam a margem de erro (RELIASOFT, 2015).

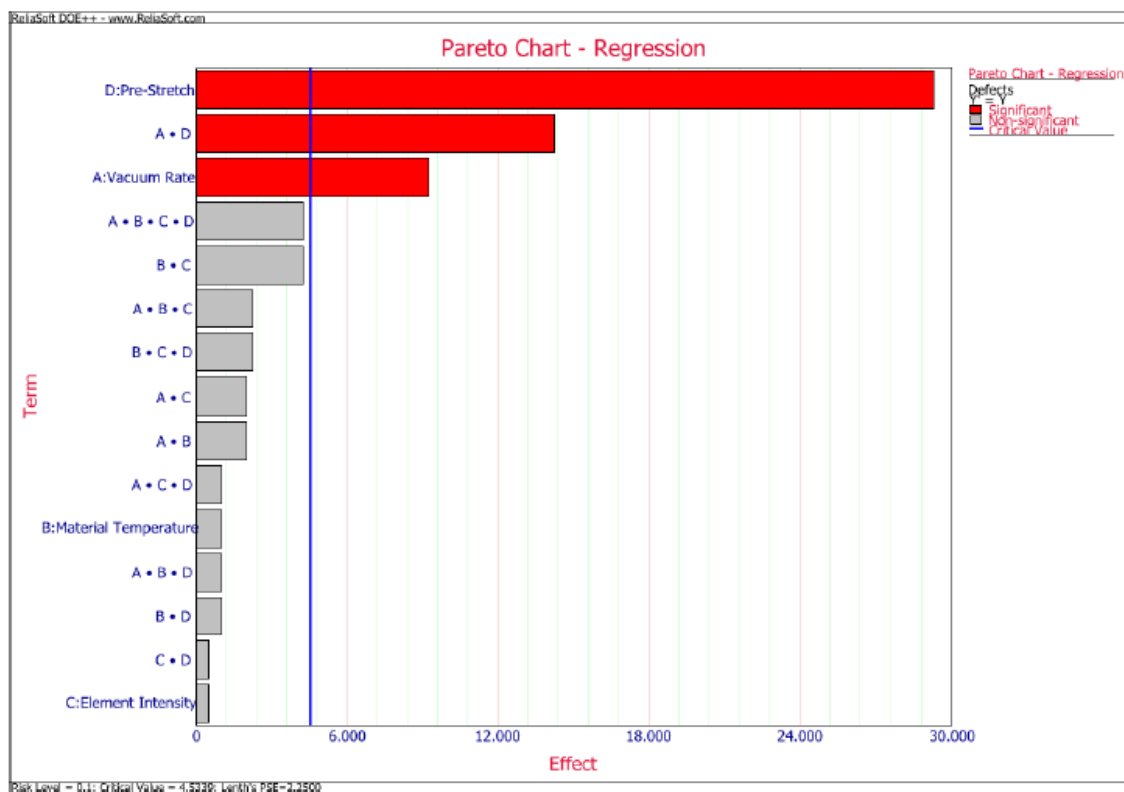


Gráfico 3 – Gráfico de pareto
Fonte: RELIASOFT, 2015

Já os gráficos residuais são utilizados para verificar se os resíduos seguem a distribuição normal, se possuem uma variância constante, assegurar que os resíduos não seguem padrões e, também, garantir que não existem dados discrepantes (RELIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015).

O gráfico da probabilidade normal do resíduo é usado para validar se os resíduos seguem a distribuição normal, conforme pode ser observado no Gráfico 4 (REALIASOFT, 2010; RELIASOFT, 2015).

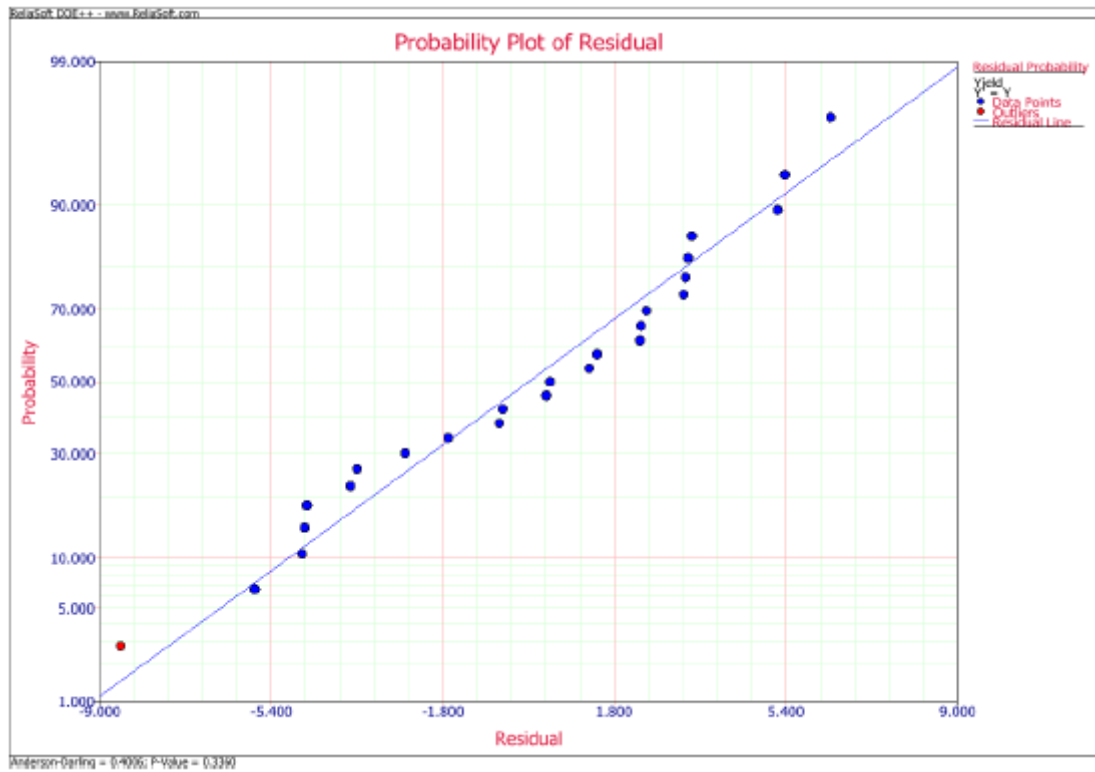


Gráfico 4 – Gráfico da probabilidade normal do resíduo
 Fonte: RELIASOFT, 2015

No gráfico de resíduos vs. valor ajustado verifica-se se os resíduos seguem algum padrão e se há dados discrepantes, que devem ser investigados. No Gráfico 5 pode-se observar um exemplo de gráfico de resíduos vs. valor ajustado (REALIASOFT, 2015; CARVALHO, 2015).

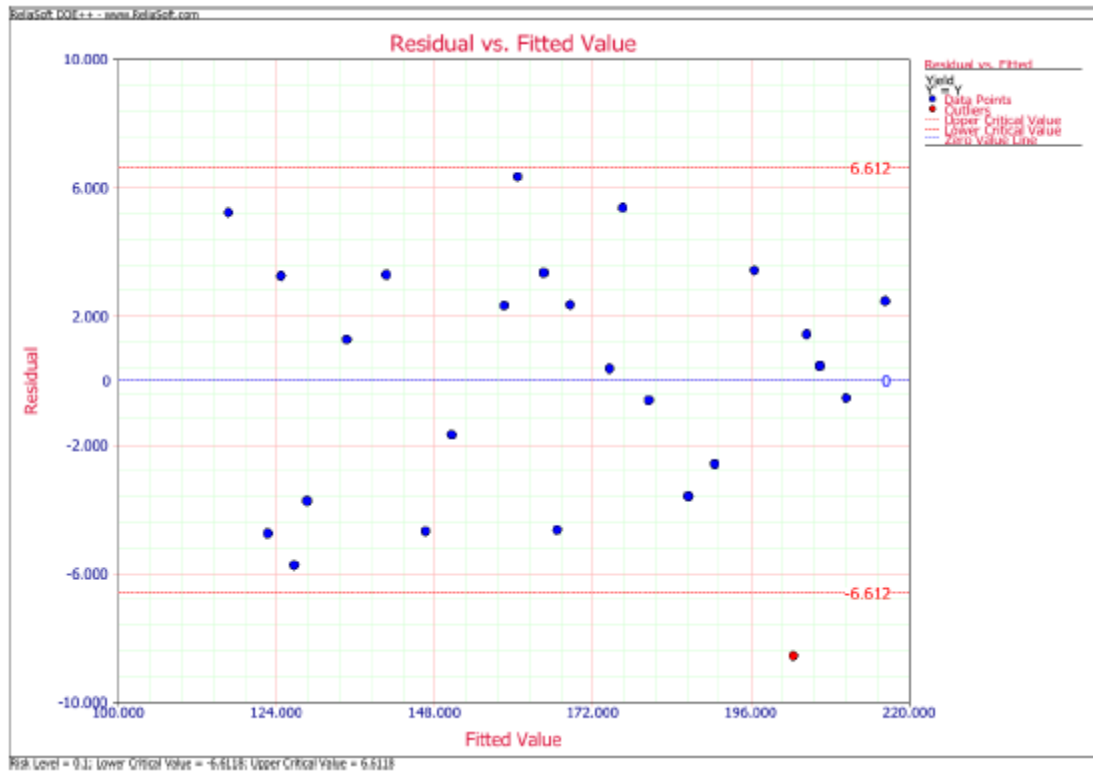


Gráfico 5 – Gráfico resíduos vs. valor ajustado
Fonte: RELIASOFT, 2015

4 ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo serão apresentados os dados referentes a procedimentos irregulares a serem analisados, bem como a análise efetuada desses dados.

No entanto, alguns dados serão codificados, devido sua confidencialidade.

4.1 DADOS

Visando determinar um perfil de unidade consumidora com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares, coletou-se os dados de ocorrência de procedimentos irregulares nos anos de 2014 e 2015, no sistema de gestão da distribuidora de energia elétrica.

Após a coleta dos dados, foi realizada a seleção dos procedimentos irregulares ocorridos em unidades consumidoras com medidor de energia elétrica com corrente 30/200A (corrente nominal/corrente máxima do medidor). Então, foram selecionados os dados relevantes para a análise.

Assim, obteve-se uma tabela com os seguintes dados relevantes de cada unidade consumidora: região da cidade, ramo de atividade, titularidade e tipo do medidor.

Cada uma destas classificações foi dividida conforme sua característica. Na Figura 10, observa-se as divisões da cidade por regiões. Essas regiões estão descritas através de siglas para que o sigilo da empresa seja mantido.

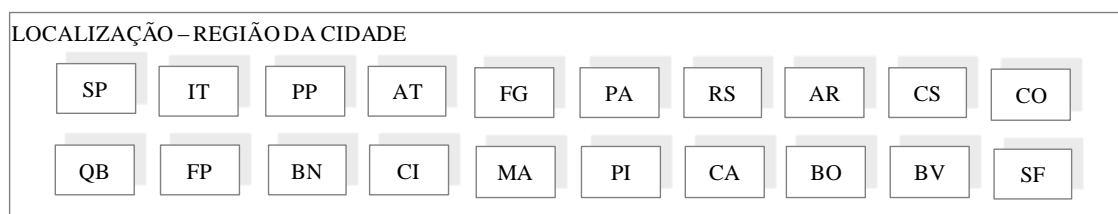


Figura 10 – Divisões do item região da cidade
Fonte: Autoria própria

A Figura 11 mostra os níveis do item ramo de atividade.

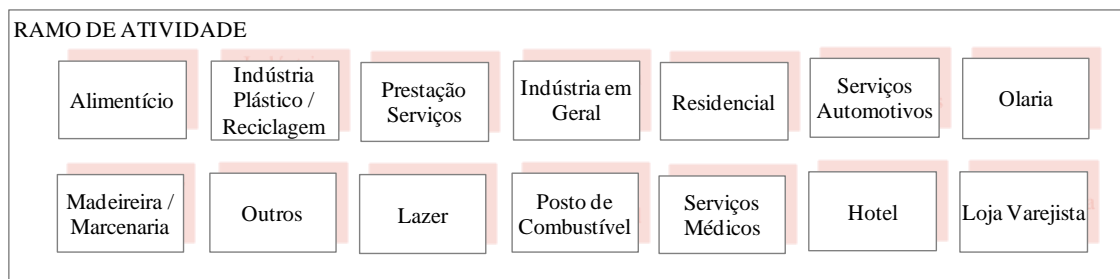


Figura 11 – Divisões do item ramo de atividade
Fonte: A autoria própria

Já a Figura 12 contém as ramificações do item titularidade.



Figura 12 – Divisões do item titularidade
Fonte: A autoria própria

Por fim, a Figura 13 demonstra quais as subdivisões do tipo de medidor.



Figura 13 – Divisões do item titularidade
Fonte: A autoria própria

Com os dados ordenados e classificados, verificou-se que a melhor forma de realizar a análise proposta era utilizando o delineamento de experimentos, visto que este método verifica a significância dos fatores e suas interações sobre a resposta.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Para a realização do delineamento de experimentos, utilizou-se o *software* DOE++, da Reliasoft.

Primeiramente, realizou-se um delineamento fatorial de dois níveis, pois se quer analisar quais os fatores influenciam na resposta, que nesta análise é a quantidade de procedimentos irregulares. Neste momento não será analisada a interação entre os fatores.

Depois de selecionado os fatores que são significantes, realizou-se um delineamento fatorial geral completo com os fatores significantes e considerando todos os níveis de cada fator. Assim, sendo possível a análise dos níveis significantes de cada fator e suas interações.

4.2.1 Delineamento Fatorial com Dois Níveis

Para o delineamento fatorial de dois níveis, têm-se quatro fatores: região da cidade, ramo de atividade, titularidade e tipo do medidor. Para cada um destes fatores configurou-se dois níveis, conforme o Quadro 1.

Fator	Região	Ramo	Titularidade	Tipo do Medidor
Nível 1	Capital	Comercial/Industrial	Pessoa Jurídica	Eletrônico
Nível 2	Região Metropolitana	Residencial	Pessoa Física	Eletromecânico

Quadro 1 – Configuração de níveis dos fatores
Fonte: Autoria própria

Com esses dados, criou-se, no *software* DOE++, um delineamento fatorial dois níveis, utilizando como resposta a quantidade de procedimentos irregulares e duas replicações, uma os dados do ano de 2014 e outra do ano de 2015.

No Quadro 2 estão representados os dados utilizados para este delineamento.

Bloco Valor	TM: TIPO MD	TI: TITULARIDADE	RE: REGIÃO	RA: RAMO	Quantidade PI
2014	ELETROMECÂNICO	PJ	METROPOLITANA	COMERCIAL	11
2014	ELETROMECÂNICO	PJ	CAPITAL	RESIDENCIAL	0
2014	ELETROMECÂNICO	PJ	CAPITAL	COMERCIAL	8
2014	ELETROMECÂNICO	PF	METROPOLITANA	COMERCIAL	11
2014	ELETROMECÂNICO	PF	CAPITAL	RESIDENCIAL	2
2014	ELETROMECÂNICO	PF	CAPITAL	COMERCIAL	8
2014	ELETROMECÂNICO	PF	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	2
2014	ELETROMECÂNICO	PJ	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	0
2015	ELETROMECÂNICO	PJ	METROPOLITANA	COMERCIAL	12
2015	ELETROMECÂNICO	PJ	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	0
2015	ELETROMECÂNICO	PF	METROPOLITANA	COMERCIAL	9
2015	ELETROMECÂNICO	PF	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	1
2015	ELETROMECÂNICO	PJ	CAPITAL	COMERCIAL	18
2015	ELETROMECÂNICO	PJ	CAPITAL	RESIDENCIAL	0
2015	ELETROMECÂNICO	PF	CAPITAL	COMERCIAL	6
2015	ELETROMECÂNICO	PF	CAPITAL	RESIDENCIAL	4
2014	ELETRÔNICO	PJ	CAPITAL	RESIDENCIAL	0
2014	ELETRÔNICO	PF	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	0
2014	ELETRÔNICO	PJ	METROPOLITANA	COMERCIAL	28
2014	ELETRÔNICO	PF	METROPOLITANA	COMERCIAL	34
2014	ELETRÔNICO	PJ	CAPITAL	COMERCIAL	11
2014	ELETRÔNICO	PJ	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	0
2014	ELETRÔNICO	PF	CAPITAL	COMERCIAL	5
2014	ELETRÔNICO	PF	CAPITAL	RESIDENCIAL	0
2015	ELETRÔNICO	PJ	CAPITAL	COMERCIAL	10
2015	ELETRÔNICO	PJ	CAPITAL	RESIDENCIAL	0
2015	ELETRÔNICO	PF	METROPOLITANA	COMERCIAL	14
2015	ELETRÔNICO	PF	CAPITAL	RESIDENCIAL	0
2015	ELETRÔNICO	PJ	METROPOLITANA	COMERCIAL	15
2015	ELETRÔNICO	PJ	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	0
2015	ELETRÔNICO	PF	METROPOLITANA	RESIDENCIAL	1
2015	ELETRÔNICO	PF	CAPITAL	COMERCIAL	3

Quadro 2 – Dados utilizados para o delineamento fatorial com dois níveis
Fonte: Autoria própria

Após o cálculo do delineamento, obteve-se a análise de variância (ANOVA), que é demonstrada no Quadro 3. Através da ANOVA pode-se verificar que os fatores “Região” e “Ramo” são significativos, já os fatores “Titularidade” e “Tipo do Medidor” não são significativos para a resposta.

Tabela ANOVA					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados [Sequencial]	Média dos Quadrados [Sequencial]	Relação F	Valor P
Modelo	5	1342,4062	268,4812	8,3418	8,24E-05
Bloco	1	22,7812	22,7812	0,7078	0,4078
TM: TIPO MD	1	26,2812	26,2812	0,8166	0,3745
TI: TITULARIDADE	1	5,2812	5,2812	0,1641	0,6887
RE: REGIÃO	1	124,0312	124,0312	3,8537	0,0604
RA: RAMO	1	1164,0312	1164,0312	36,1668	2,38E-06
Resíduo	26	836,8125	32,1851		
Falta de ajuste	26	836,8125	32,1851		
Total	31	2179,2188			

Quadro 3 – ANOVA delineamento fatorial com dois níveis
Fonte: Autoria própria

Nos gráficos de probabilidade normal do efeito, Gráfico 6, e de pareto, Gráfico 7, também pode-se verificar quais os fatores são significantes para esta análise, assim, confirmando o resultado da ANOVA, onde os fatores “Região” e “Ramo” são os mais significantes.

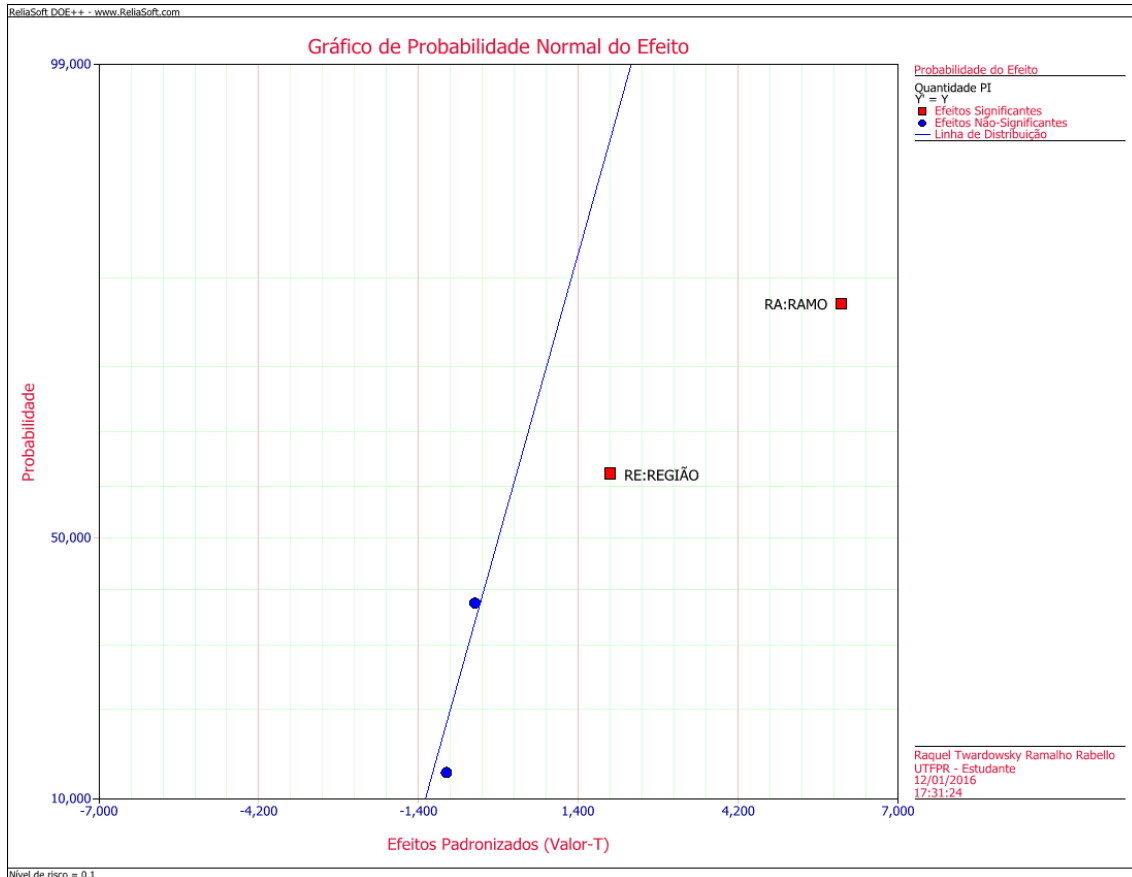


Gráfico 6 – Gráfico de probabilidade normal do efeito
Fonte: Autoria própria

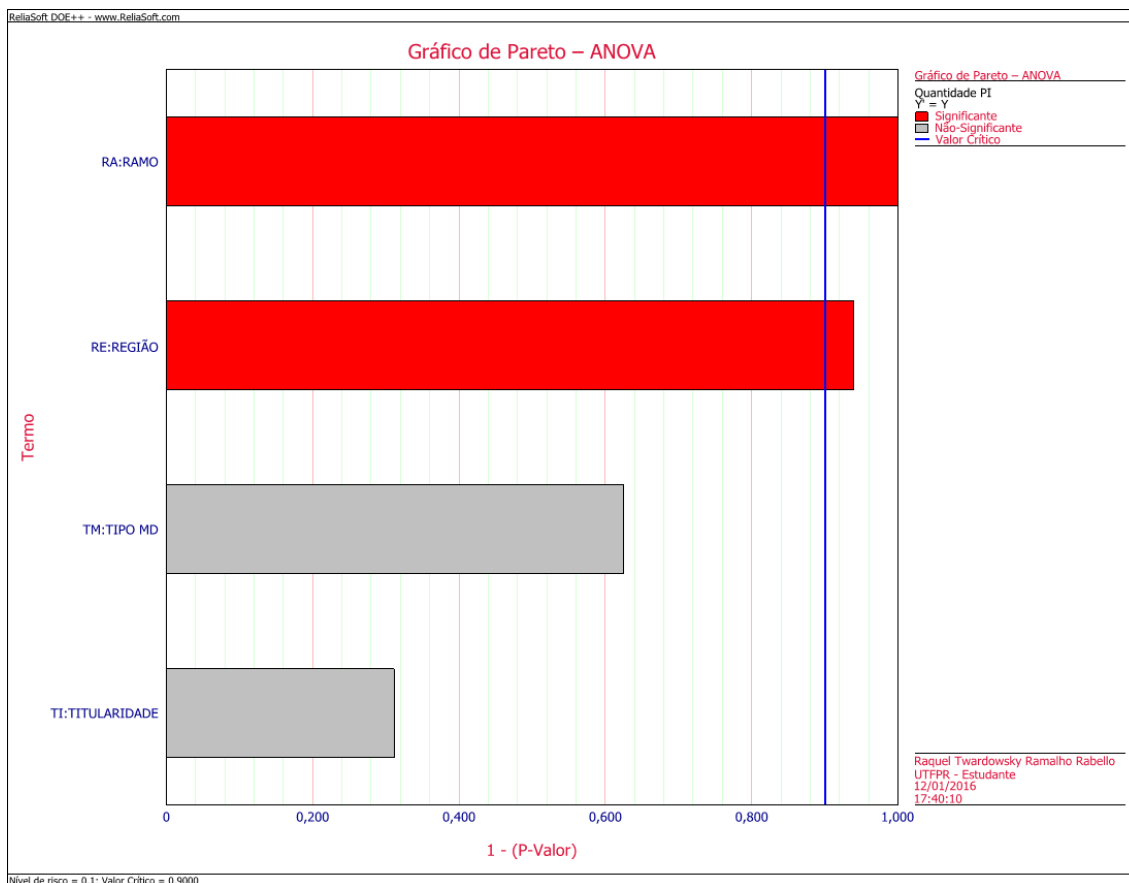


Gráfico 7 – Gráfico de pareto
Fonte: Autoria própria

No gráfico de probabilidade normal do resíduo, Gráfico 8, pode-se observar que a maioria dos resíduos segue a distribuição normal, assim, pode-se concluir que os dados analisados aderem ao modelo de regressão.

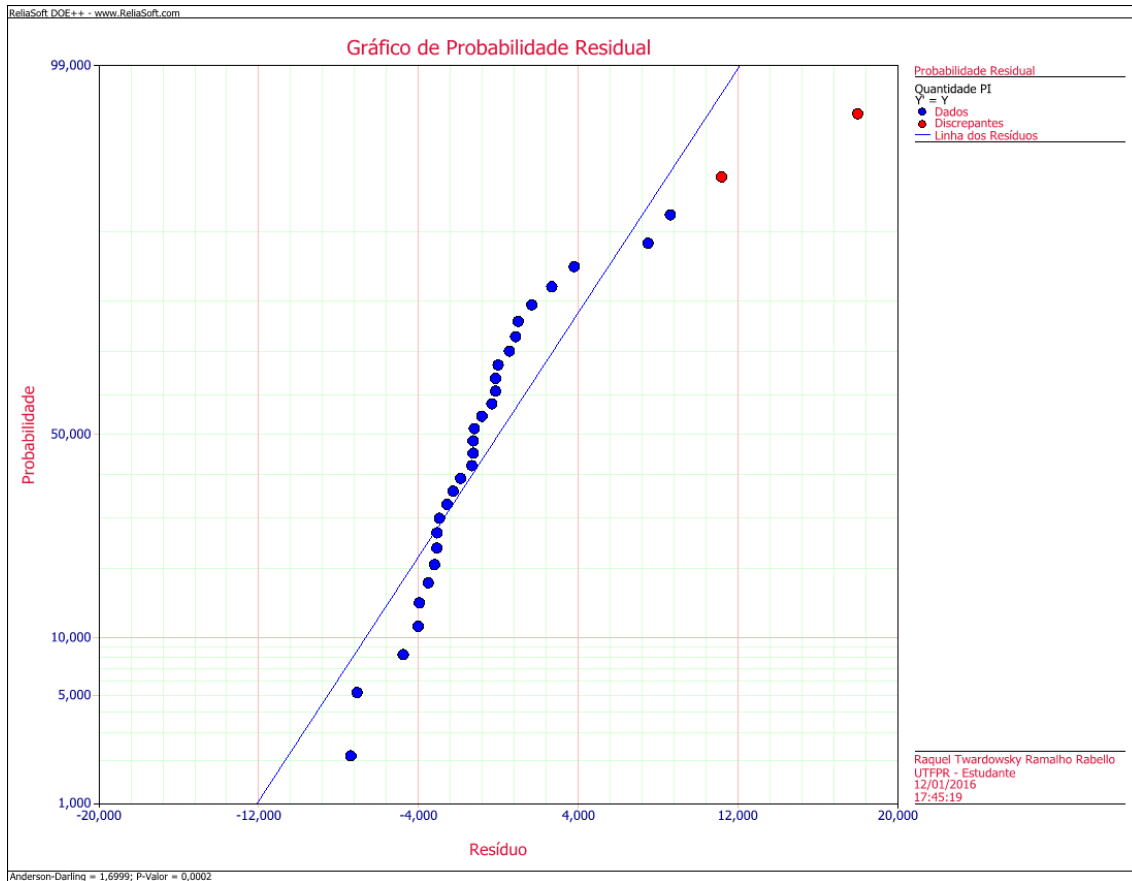


Gráfico 8 – Gráfico de probabilidade normal do resíduo
Fonte: Autoria própria

Já no gráfico de resíduo vs. valor ajustado, Gráfico 9, verifica-se que os resíduos não seguem padrões.

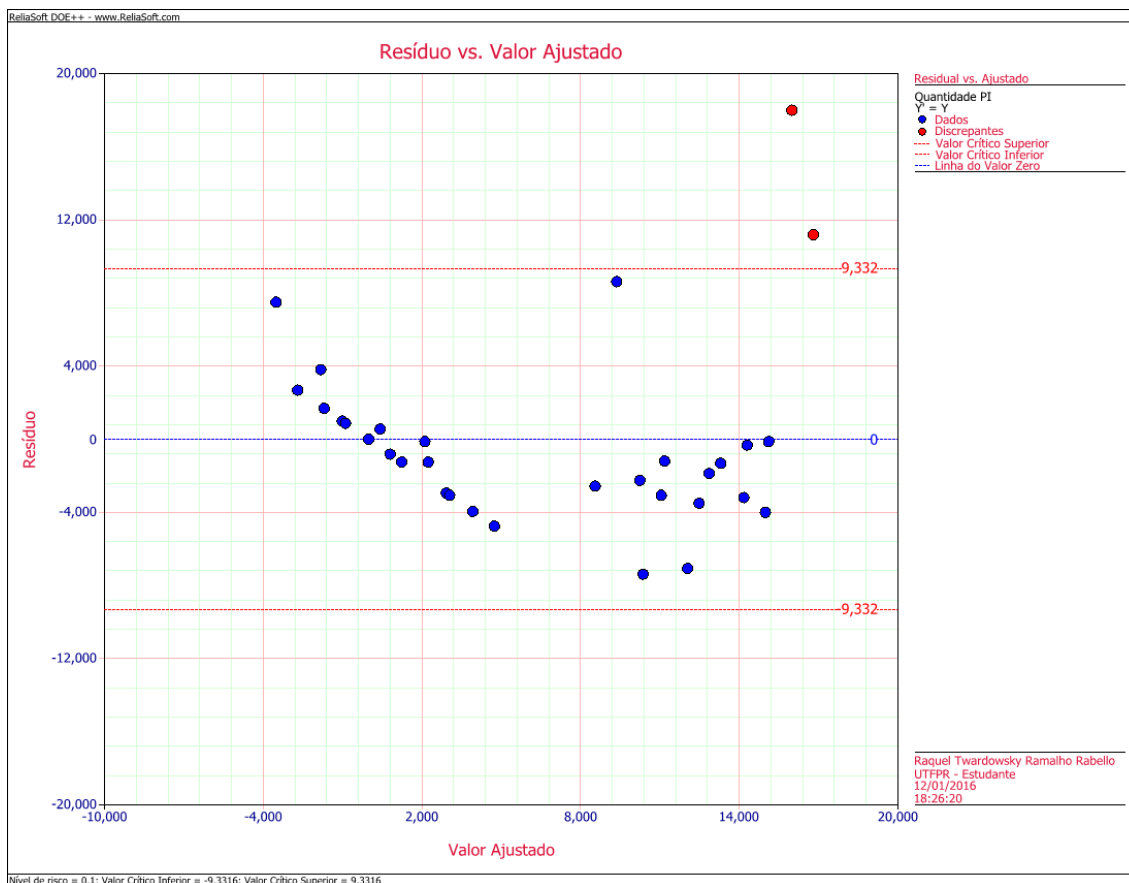


Gráfico 9 – Gráfico resíduos vs. valor ajustado
Fonte: Autoria própria

Diante dos dados analisados conclui-se que os fatores significantes são: ramo de atividade e região da cidade. Assim, esses dois fatores serão analisados com o delineamento fatorial geral completo.

4.2.2 Delineamento Fatorial Geral Completo

Na análise dos dados através do delineamento fatorial geral completo, utilizou-se dois fatores, resultado do delineamento fatorial com dois níveis, que são o ramo de atividade e região da cidade. Para o ramo de atividade utilizou-se 14 níveis e para a região da cidade 20 níveis. No Quadro 4 observa-se a distribuição desses níveis.

Fator	Região	Ramo
Nível 1	SP	ALIMENTÍCIO
Nível 2	IT	IND. PLÁSTICO/RECICLAGEM
Nível 3	PP	IND. EM GERAL
Nível 4	AT	OUTROS
Nível 5	FG	MADEREIRA/MARCENARIA
Nível 6	PA	LAZER
Nível 7	RS	OLARIA
Nível 8	AR	POSTO DE COMBUSTÍVEL
Nível 9	CS	SERVIÇOS AUTOMOTIVOS
Nível 10	CO	SERVIÇOS MÉDICOS
Nível 11	QB	RESIDENCIAL
Nível 12	FP	HOTEL
Nível 13	BN	PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS
Nível 14	CI	LOJA VAREJISTA
Nível 15	MA	-
Nível 16	PI	-
Nível 17	CA	-
Nível 18	BO	-
Nível 19	BV	-
Nível 20	SF	-

Quadro 4 – Configuração de níveis dos fatores
Fonte: Autoria própria

Com os dados do Quadro 4 foi realizado, no *software* DOE++, um delineamento fatorial geral completo, utilizando como resposta a quantidade de procedimentos irregulares e duas replicações, uma os dados do ano de 2014 e outra do ano de 2015.

Como esta análise gerou 560 execuções, no Quadro 5 estão representados parte dos dados utilizados para este delineamento.

Bloco Valor	RE:Região	RA:RAMO	Quantidade de PI
2014	AR	ALIMENTÍCIO	1
2014	AT	OUTROS	2
2015	BN	IND. EM GERAL	1
2014	BO	ALIMENTÍCIO	1
2014	BV	RESIDENCIAL	1
2014	CA	IND. PLASTICO/RECICLAGEM	4
2015	CI	IND. EM GERAL	2
2015	CO	IND. PLASTICO/RECICLAGEM	8
2015	CS	HOTEL	2
2014	FG	ALIMENTÍCIO	3
2015	FP	LAZER	1
2014	IT	MADEREIRA/MARCENARIA	6
2015	MA	PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS	3
2014	PA	SERVIÇOS MÉDICOS	2
2015	PI	SERVIÇOS AUTOMOTIVOS	1
2014	PP	IND. PLASTICO/RECICLAGEM	4
2015	QB	ALIMENTÍCIO	1
2014	RS	IND. PLASTICO/RECICLAGEM	1
2015	SF	ALIMENTÍCIO	4
2014	SP	IND. PLASTICO/RECICLAGEM	12

Quadro 5 – Amostra dos dados utilizados no delineamento fatorial geral completo
Fonte: Autoria própria

Realizando a análise do delineamento, obteve-se a análise de variância (ANOVA), conforme observa-se no Quadro 6.

Tabela ANOVA					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados [Parcial]	Média dos Quadrados [Parcial]	Relação F	Valor P
Modelo	280	406,95	1,4534	1,1429	0,1324
Bloco	1	1,2071	1,2071	0,9493	0,3308
RE:Região	19	84,5286	4,4489	3,4985	2,32E-06
RA:RAMO	13	56,7929	4,3687	3,4354	6,01E-05
RE • RA	247	264,4214	1,0705	0,8418	0,9172
Resíduo	279	354,7929	1,2717		
Falta de ajuste	279	354,7929	1,2717		
Total	559	761,7429			

Quadro 6 – ANOVA delineamento fatorial geral completo
Fonte: Autoria própria

Na análise de variância verifica-se que os fatores “Região” e “Ramo” continuam sendo significantes para a análise. Porém, a interação entre esses dois fatores não é significativa. Isto também se observa no gráfico de pareto, Gráfico 10.

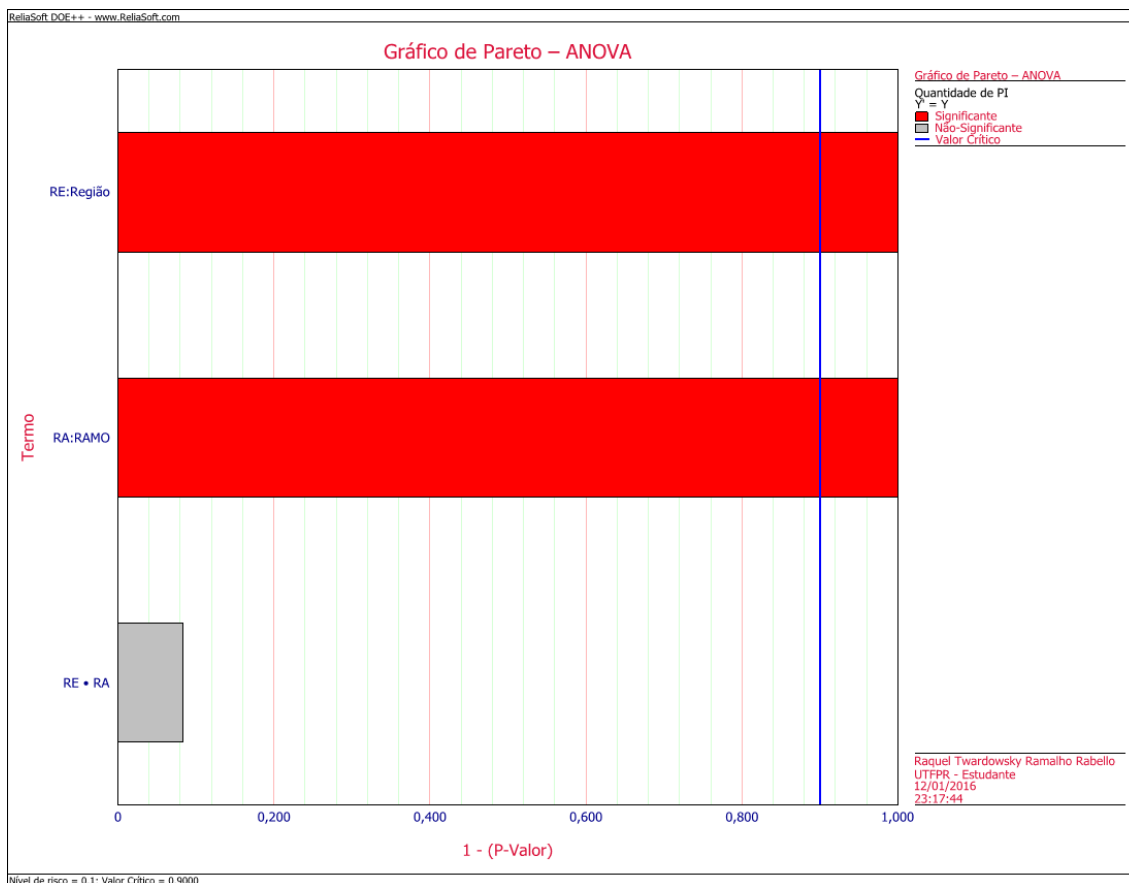


Gráfico 10 – Gráfico pareto
Fonte: Autoria própria

Como na ANOVA a interação entre os fatores não se mostrou significativa, verificou-se a análise de regressão para verificar se há interações significantes entre níveis específicos dos fatores e, também, verificar quais os níveis dos fatores são significantes.

No Quadro 7 observa-se a tabela de regressão com os níveis significantes de cada fator e as interações significantes.

Informação da Regressão						
Termo	Coefficiente	Erro Padrão	Baixa Confiança	Confiança Elevada	Valor T	Valor P
Intercepção	0,3786	0,0477	0,2999	0,4572	7,9443	4,84E-14
Bloco	0,0464	0,0477	-0,0322	0,1251	0,9743	0,3308
RE[1]	1,4786	0,2077	1,1358	1,8214	7,1183	9,27E-12
RE[18]	-0,3429	0,2077	-0,6857	-5,79E-05	-1,6506	0,0999
RA[1]	0,8714	0,1718	0,5879	1,155	5,0719	7,19E-07
RA[2]	0,5214	0,1718	0,2379	0,805	3,0348	0,0026
RE[1] • RA[2]	4,1214	0,7489	2,8854	5,3574	5,5031	8,45E-08
RE[1] • RA[3]	3,4214	0,7489	2,1854	4,6574	4,5684	7,38E-06
RE[1] • RA[7]	1,7464	0,7489	0,5104	2,9824	2,3319	0,0204
RE[1] • RA[10]	-1,5786	0,7489	-2,8146	-0,3426	-2,1078	0,0359
RE[1] • RA[12]	-1,6786	0,7489	-2,9146	-0,4426	-2,2413	0,0258
RE[1] • RA[13]	-1,7536	0,7489	-2,9896	-0,5176	-2,3414	0,0199
RE[2] • RA[5]	3,1714	0,7489	1,9354	4,4074	4,2346	3,11E-05
RE[3] • RA[2]	1,2643	0,7489	0,0283	2,5003	1,6881	0,0925
RE[10] • RA[2]	3,0143	0,7489	1,7783	4,2503	4,0248	7,35E-05
RE[12] • RA[1]	1,7357	0,7489	0,4997	2,9717	2,3176	0,0212
RE[14] • RA[3]	1,4571	0,7489	0,2212	2,6931	1,9456	0,0527
RE[15] • RA[1]	3,9857	0,7489	2,7497	5,2217	5,3219	2,11E-07
RE[17] • RA[2]	1,2643	0,7489	0,0283	2,5003	1,6881	0,0925

Quadro 7 – Tabela de regressão
Fonte: Autoria própria

No gráfico de probabilidade normal do efeito, Gráfico 11, também pode ser visualizado os níveis e interações significantes.

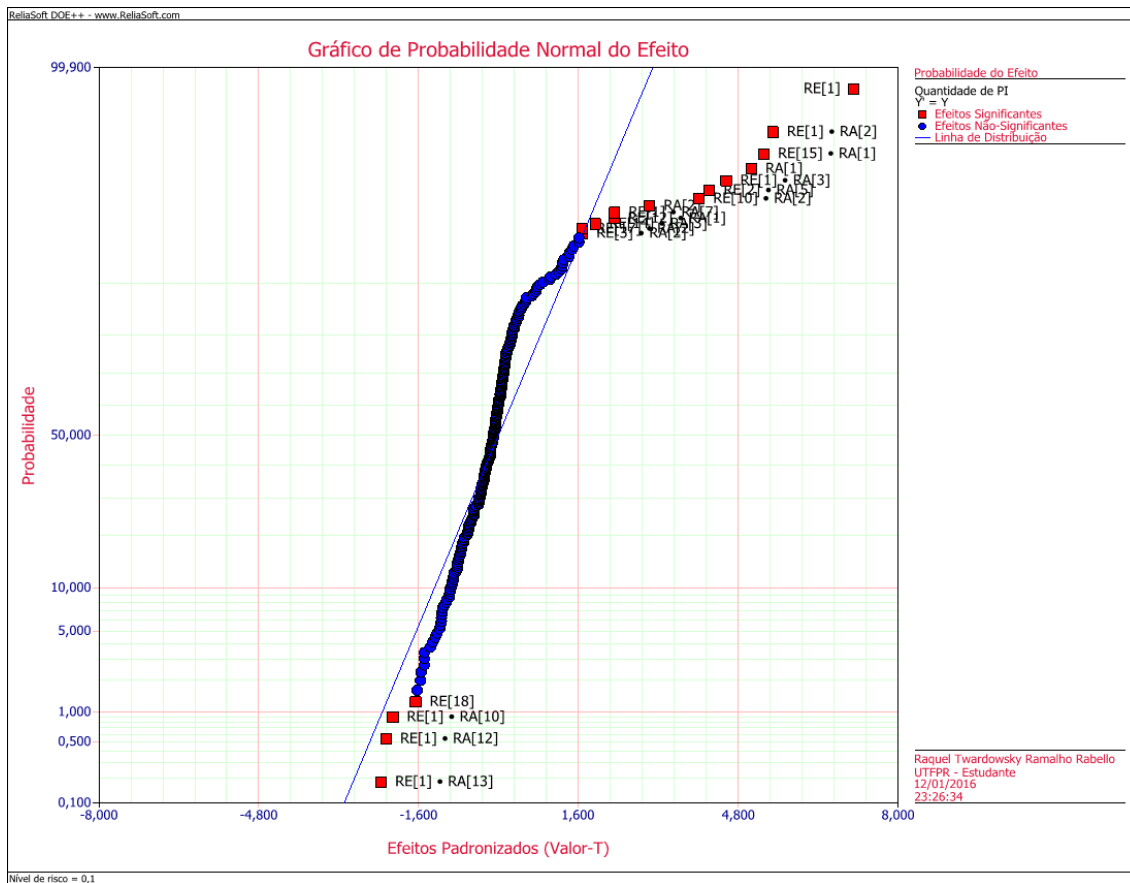


Gráfico 11 – Gráfico de probabilidade normal do efeito
Fonte: Autoria própria

Conforme o Quadro 7, verifica-se que alguns dos níveis dos fatores e várias interações entre os níveis de cada fator são significantes. Assim, no Quadro 8 observam-se quais são essas regiões e ramos significantes.

Termo Significante	Região	Ramo
RE[1]	SP	-
RE[18]	BO	-
RA[1]	-	ALIMENTÍCIO
RA[2]	-	IND. PLÁSTICO/RECICLAGEM
RE[1] • RA[2]	SP	IND. PLÁSTICO/RECICLAGEM
RE[1] • RA[3]	SP	IND. EM GERAL
RE[1] • RA[7]	SP	OLARIA
RE[1] • RA[10]	SP	SERVIÇOS MÉDICOS
RE[1] • RA[12]	SP	HOTEL
RE[1] • RA[13]	SP	PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS
RE[2] • RA[5]	IT	MADEREIRA/MARCENARIA
RE[3] • RA[2]	PP	IND. PLÁSTICO/RECICLAGEM
RE[10] • RA[2]	CO	IND. PLÁSTICO/RECICLAGEM
RE[12] • RA[1]	FP	ALIMENTÍCIO
RE[14] • RA[3]	CI	IND. EM GERAL
RE[15] • RA[1]	MA	ALIMENTÍCIO
RE[17] • RA[2]	CA	IND. PLÁSTICO/RECICLAGEM

Quadro 8 – Região x Ramo significantes
Fonte: Autoria própria

Conforme as informações do Quadro 8, verifica-se que não há um perfil de unidades consumidoras com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares, mas sim vários perfis. Assim, é possível concluir que conforme a região da cidade há probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares em determinados ramos de atividades das unidades consumidoras. Porém, também conclui-se que as regiões mais críticas são as SP e BO, já os ramos com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares são o alimentício e ind. de plástico/reciclagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados analisados neste trabalho correspondem a unidades consumidoras com maior demanda de energia e não residenciais. Assim, a ocorrência de procedimentos irregulares nestes clientes não pode ser justificada por motivo social e sim por motivos culturais, impulsionado pela sensação de impunidade que se tem hoje no Brasil.

Diante da probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares é certo que é necessária fiscalização nos clientes, porém a grande quantidade de unidades consumidoras dificulta a fiscalização de todos os consumidores. Uma das formas de aumentar a abrangência dos monitoramentos nas unidades consumidoras é a instalação de redes inteligentes abrangendo todos os consumidores.

Além disso, as distribuidoras de energia elétrica levam em consideração o percentual relativo a perdas não técnicas restituídos na tarifa de energia. Caso o percentual pago na tarifa seja maior que o real da distribuidora, a preocupação com as perdas não técnicas pode ser menor que no caso inverso. Deste modo, não se justificaria grandes investimentos nesta área. Porém, mesmo as perdas não técnicas sendo integralmente pagas na tarifa de energia elétrica, elas devem ser controladas ao menos para não se dissipar a sensação de impunidade e aumentar o percentual destas perdas.

Os procedimentos irregulares ocorridos em medidores de energia elétrica, atualmente, acontecem sem que a distribuidora de energia elétrica analisada perceba de maneira imediata esta intervenção no sistema de medição. Assim, não se sabe a data exata da interferência no medidor de energia, podendo demorar meses para que a distribuidora detecte o procedimento irregular.

Diante disto, como não se tem o tempo até a ocorrência do procedimento irregular, a análise realizada foi qualitativa.

Os dados de ocorrência de procedimentos irregulares foram coletados do sistema de gestão da distribuidora de energia elétrica, ou seja, os dados são observações e não experimentos previamente selecionados. Assim, esta análise tem validade apenas para estes dados, não sendo possível generalizar.

Porém, pode ser utilizado como base para planejamento de inspeções em unidades consumidoras.

Os dados coletados sofrem influência das inspeções realizadas, que, na maioria das vezes, é direcionada de acordo com alguma diretriz da área, não sendo aleatória. Isto impacta nas análises realizadas de tal modo que, caso fossem analisados dados de outros períodos possivelmente os resultados seriam diferentes.

Portanto, de um modo geral e diante dos dados disponíveis, entende-se que a monografia atingiu seu objetivo de determinar perfis de unidades consumidoras com maior probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Para a realização do tratamento e refinamento dos dados obtidos através do sistema de gestão da empresa, houve contratempos, visto que boa parte desta mineração de dados foi manual, causando um grande dispêndio de tempo e maior possibilidade de erros.

Não houve como contornar o maior dispêndio de tempo. Já as possibilidades de erros foram diminuídas através de cruzamento de dados.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho pode ser utilizado como início e inspiração para outros estudos que possam contribuir para a detecção de unidades consumidoras com procedimentos irregulares. Desta forma, sugere-se como trabalhos futuros:

- Análise quantitativa das ocorrências de procedimentos irregulares, podendo ser realizadas predições e otimizações;
- Criação de *software*, baseado nos conceitos de confiabilidade, para a detecção automática de unidades consumidoras com probabilidade de ocorrência de procedimentos irregulares.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE, 2015. Furto e Fraude de Energia. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/perdas/furto-e-fraude-de-energia>>. Acessado em: 19 out 2015.
- ABNT, 1994. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade.
- ABNT, 1995. **NBR 8377**: Medidor de Energia Ativa.
- ABNT, 2011. **NBR 14519**: Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica – Especificação.
- ANEEL, 2008. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília, 2008.
- ANEEL, 2011. **PRODIST**. Módulo 5.
- ANEEL, 2012. **Resolução Normativa 414/2010**: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.
- ANEEL, 2015A. Perdas de Energia. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801>>. Acessado em: 03 out 2015.
- ANEEL, 2015B. Medição Faturamento e Combate as Perdas Comerciais. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1623>. Acessado em: 03 out 2015.
- ANEEL, 2015C. Reajuste Tarifário Anual. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=95>>. Acessado em: 03 out 2015.
- ANEEL, 2015D. Tarifas – Consumidores Finais. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=91>>. Acessado em: 03 out 2015.
- ANEEL, 2015E. **PRORET**. Submódulo 2.6. Revisão 2.0.

ANEEL, 2015F. Tabela de Perdas de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801>>. Acessado em: 03 out 2015.

ANEEL, 2015G. ANEEL Aprova Pré Pagamento de Energia. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=7810&id_area=90>. Acessado em: 20 out 2015.

ASSIS, E. W. B. **Aspectos Jurídicos da Fraude de Energia Elétrica**. 2009. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCHY, W. J. **Systems Engineering and Analysis**. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990.

CALDEIRÃO, L. C. **Avaliação Experimental de Medidores Watt-Hora Operando em Condições Não-Senoidais**. 117 f. Dissertação (Mestrado). Ilha Solteira, 2005.

CARVALHO, M. M. **Delineamento de Experimentos – DOE**. 2015.

COPEL. **Especificação Técnica para Sistemas de Medição Centralizada**. Curitiba, 2014.

COPEL, 2015. A Eletricidade. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F3CD92FA03B2F45E10325740C0047BCD7>>. Acessado em: 03 out 2015.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 14. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ELETRORÁS, 2015A. Importância da Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.eletroras.com/elb/natrilhadaenergia/energia-eletrica/main.asp?View=%7BB1E5C97A-39C6-49BE-9B34-9BC51ECC124F%7D>>. Acessado em: 03 out 2015.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1994.

HENRIQUES, A. L. **Medição de Energia Elétrica para Faturamento: Estudo Comparativo de Medidores Eletrônicos e Eletromecânicos, com Foco no Desempenho sob Condições não Senoidais**. 136 f. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte, 2002.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. R. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

LANDIS&GYR, 2015. Disponível em:
<<http://www.landisgyr.com.br/product/e550/>>. Acessado em: 17 out 2015.

LOPES, Y.; et al. *Smart Grid* e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. XXX, 2012, Brasília.

MEDEIROS, S. **Medição de Energia Elétrica**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MÍNGUEZ, A. **Medidores de Energia Ativa: Funcionamento, Práticas Usuais, Principais Ensaios e Análise das Fraudes mais Comuns**. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro, 2007.

NAGAMINE, G. K. **Estudo das Perdas não Técnicas no Sistema Elétrico de Distribuição e as Tecnologias Utilizadas para seu Combate**. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curitiba, 2011.

NANSEN, 2015. Disponível em: <<http://www.nansen.com.br/polifasicos,1,13>>. Acessado em: 17 out 2015.

PENIN, C. A. S. **Combate, Prevenção e Otimização das Perdas Comerciais de Energia Elétrica**. 227 f. Tese (Doutorado). São Paulo, 2008.

RELIASOFT. *Experiment Design & Analysis Reference*. 2015.

RELIASOFT. **Introduction to Design of Experiments (DOE)**. 2008.

RELIASOFT. *Training Guide DOE++*. Version 1. 2010.

RESENDE, 2013. Perdas na Distribuição: Baixa Tensão, Altos Prejuízos.
Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/imprensa/artigos-e-releases/1018-perdas-na-distribuicao-baixa-tensao-altos-prejuizos-reportagem-especial-canal-energia>>. Acessado em: 04 out 2015.