



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
CENTRO INTEGRADO DE MANUFATURA E
TECNOLOGIA**

DAN MARAMBAIA DOS SANTOS FIGUEIREDO

**ESTUDO DE IMPACTO E PRIORIZAÇÃO DA
PADRONIZAÇÃO DA MEDIÇÃO EM CLIENTES
ATENDIDOS EM MÉDIA TENSÃO PELA COELBA**

Salvador
2013

DAN MARAMBAIA DOS SANTOS FIGUEIREDO

**ESTUDO DE IMPACTO E PRIORIZAÇÃO DA
PADRONIZAÇÃO DA MEDIÇÃO EM CLIENTES
ATENDIDOS EM MÉDIA TENSÃO PELA COELBA**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Engenharia do Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.

Orientador: MSc. Eric Magalhães Delgado

Salvador
2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

F475e

Figueiredo, Dan Marambaia dos Santos.

Estudo de impacto e priorização da medição em clientes atendidos em média tensão pela Coelba / Dan Marambaia dos Santos Figueiredo. 2013.

28f.; il.; color.

Orientador: Prof.º Eric Magalhães Delgado

Monografia (Especialização em Sistemas de engenharia de distribuição de energia elétrica) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia Senai - CIMATEC, Salvador, 2013.

1. Energia elétrica. 2. Distribuição - Energia elétrica. 3. Medição de energia elétrica. 4. Coelba - Energia elétrica. I. Faculdade de Tecnologia Senai - CIMATEC. II. Delgado, Eric Magalhães. III. Título.

CDD: 621.31

NDI - 01



Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO LATO SENSU EM ENGENHARIA
DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

ATA DE DEFESA

Ata de apresentação do Projeto Final de Curso, **Estudo de Impacto e Priorização da Padronização da Medição em Clientes Atendidos em Média Tensão da COELBA**, submetido pelo aluno **Dan Marambaia dos Santos Figueiredo**, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Especialista em Engenharia do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica, pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, às 14h00min do dia 13 de maio de 2013 reuniu-se, no CIMATEC, a Banca Examinadora, constituída pelos Professores Msc. Gustavo Bernardo Paez Ortega, Esp. Eduardo Andrade Silva e pelo professor, Msc. Milton Bastos de Souza. O professor Milton Bastos de Souza, deu início aos trabalhos e concluída a exposição pelo estudante, a banca reuniu-se atribuindo a seguinte nota ao estudante, 7,0 (Sete).

A banca de avaliadores decidiu pela

() Aprovação Integral do trabalho

Caberá ao aluno apresentar, no máximo em 30 (trinta) dias duas cópias do trabalho impresso em capa dura e uma cópia em PDF gravadas em CD.

(x) Aprovação do trabalho com restrições

Caberá ao aluno apresentar o trabalho com as considerações sugeridas em um prazo máximo de 30 (trinta) dias. 05 (cinco) dias após a entrega, o coordenador do curso deverá emitir parecer definitivo nessa mesma forma de documento.

() Reprovação do trabalho

O aluno terá que se matricular novamente no PFC – Projeto de Final de Curso e ser submetido a uma banca avaliadora no semestre seguinte.

As ações conseqüentes ao status de Aprovação deverão obedecer aos prazos propostos sob pena do parecer final ser modificado para o status de Reprovado automaticamente e sem possibilidade de recurso.

Para constar, lavrou-se a presente ata que vai assinada por todos os membros da Banca. Por estarem cientes de suas obrigações estão de acordo com os termos desse documento:

Salvador, 13 de maio de 2013.

Ausente
Eric Magalhães Delgado – Orientador

Eduardo Andrade Silva – Professor

Gustavo Bernardo Paez Ortega – Professor

Milton Bastos de Souza – Professor

Dedico esse trabalho às mulheres da minha vida, Camila e Sofia.

Agradecimentos

Agradecimento especial à COELBA, pela iniciativa de, em conjunto com Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec, realizar o curso de Especialização em Engenharia de Sistema de Distribuição de Energia Elétrica, acreditando nos benefícios para a empresa e para a sociedade que podem advir da capacitação do seu corpo de engenheiros.

Agradeço ainda ao colega Thiago Mendes pelo apoio nas pesquisas iniciais, aos meus líderes Alfredo João, Josildo Alves e Daniel Silva pela confiança nos resultados alcançados e ao meu orientador Eric Delgado pelo suporte.

Por fim, agradeço aos meus familiares e amigos pela compreensão e ajuda.

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre métodos de medições de consumo de energia de unidades consumidoras atendidas em média tensão pela COELBA, explicitando os resultados quando da migração do método no qual o consumo é aferido pelo monitoramento de apenas duas das fases para o método no qual o consumo é aferido pela monitoração das três fases. No ano de 2012 foram realizadas 55 adequações de medições de clientes do Grupo A, representando um investimento total de 425 mil reais. A partir dessa amostra, os resultados da diferença da energia medida entre os dois métodos são apresentados, o que, ao final, explicita um ganho de apenas 0,05% na apuração do consumo faturado. São apresentados, também, possíveis contrapontos que indicam premissas para definição de quais unidades devem ter essas substituições feitas em um primeiro momento. Com isso, espera-se embasar as decisões que venham a ser tomadas pela COELBA envolvendo este tema.

Palavras-chave: energia elétrica. Distribuição. Clientes especiais. Perdas não-técnicas. Medição de energia elétrica.

Abstract

This paper presents a study of measurements methods of electrical energy at consumers served in medium voltage by COELBA, explaining the results when the migration of the method in which consumption is measured by monitoring only two of the phases to the method in which consumption is measured by monitoring the three phases. In 2012 55 adjustments were made to Group A customers measurements, representing a total investment of 425,000 Reais. From the sample set the results of the measured energy difference between the two methods are presented and the total sum, just 0.05% gain in the calculation of billed consumption. Are also presented possible counterpoints which indicate assumptions for defining which units should have those substitutions made at first. Thus it is expected to base decisions that may be taken by COELBA involving this topic.

Keywords: eletricity. Distribution. Special clients. Non-technical losses. Electrical measurement.

Abreviaturas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

COELBA: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia

PRODIST: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica

SEP: Sistema Elétrico de Potência

SDAT: Sistema de Distribuição de Alta Tensão

SDBT: Sistema de Distribuição de Baixa Tensão

SDMT: Sistema de Distribuição de Média Tensão

TC: Transformador de Corrente

TP: Transformador de Potencial

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Estrutura da Monografia	2
2	Revisão da Literatura	4
2.1	Sistema Elétrico de Potência	4
2.2	Tipos de Medição	5
2.2.1	Método dos Três Wattímetros	5
2.2.2	Método dos Dois Wattímetros	5
2.3	Norma de Fornecimento COELBA	10
2.4	Situação Atual do Parque de Medição em Média Tensão	10
2.5	Investimentos Realizados em 2012	12
3	Metodologia	14
3.1	Simulação da Medição a Dois Elementos	16
4	Resultados	19
4.1	Análise das Simulações	19
4.2	Análise das Vulnerabilidades	20
5	Considerações Finais	23
5.1	Recomendações	24
	Referências Bibliográficas	24

Capítulo 1

Introdução

As perdas de energia elétrica motivam inúmeras discussões e pesquisas envolvendo concessionárias de distribuição de energia, instituições de ensino e pesquisa e a ANEEL. Em um país com as especificidades do Brasil, tanto as perdas técnicas quanto as não-técnicas possuem importante participação na totalização das perdas globais do sistema elétrico brasileiro.

O combate às perdas comerciais ganhou grande importância no decorrer dos últimos 20 anos e tem sido cada vez mais intensificado pelas concessionárias brasileiras. Novas tecnologias são criadas, padrões revistos e modelos repensados. Tudo com a expectativa de reduzir o prejuízo das empresas, do governo e da sociedade com a energia perdida.

Dentro deste contexto, os clientes do Grupo A, que representam os grandes consumidores de energia, assumem extraordinária relevância, uma vez que consomem na COELBA aproximadamente 45% da energia distribuída, enquanto representam menos de 0,2% do número total de consumidores, conforme dados extraídos do sistema comercial desta empresa. Ou seja, grande participação em consumo e faturamento de um pequeno grupo de clientes.

O resultado desta conta simples é que não são medidos esforços para garantir a precisão e a confiabilidade na medição de energia deste tipo de consumidor. Os consumidores do grupo A são acompanhados de maneira diferente dos consumidores com fornecimento em baixa tensão. O espaço para falhas é reduzido ao máximo.

Em razão deste cuidado maior, diversas ações foram desenvolvidas visando combater perdas nos clientes do Grupo A, destacando-se as seguintes: alterações no padrão de ligação, utilização de conjuntos de medição encapsulados, procedimentos de blindagem da medição, utilização de medidores inteligentes, instalação de sistemas de telemedição e telemetria, etc.

Com a crescente necessidade de redução das perdas imposta pelo endurecimento dos critérios dos cálculos tarifários feitos pela ANEEL [1], nos quais os repasses das perdas globais aos consumidores estão sendo mais criteriosos, as concessionárias passaram a buscar ainda mais

alternativas para mitigar o problema.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar uma das alternativas implantadas pela COELBA na tentativa da redução de perdas comerciais em consumidores do Grupo A, que consiste na modificação da medição de unidades que tenham apenas 2 elementos de medição para 3 elementos. Estuda-se o real impacto destas substituições, com o incremento da energia medida, a partir dos resultados obtidos com as adequações realizadas durante o ano de 2012.

É importante deixar claro que não existe qualquer intenção em alterar a norma de ligação atualmente vigente na COELBA, que padroniza a ligação de clientes com fornecimento em média tensão em 3 elementos de medição, mas sim apresentar uma visão pragmática sobre a realidade das perdas de energia geradas nos cerca de 750 consumidores que ainda possuem o padrão com 2 elementos de medição.

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho é avaliar a alternativa de substituir medições de consumidores com fornecimento em média tensão que estejam no antigo modelo padrão da COELBA, que utilizava apenas duas das tensões entre fases e as correntes de duas fases para registrar o consumo trifásico total da unidade. Atualizando estas medições para o padrão utilizado atualmente, com o registro das tensões fase neutro e a correntes nas três fases para a obtenção do consumo trifásico da unidade.

Além disso, são objetivos secundários deste trabalho:

- avaliar quais os pontos vulneráveis do tipo de medição com dois elementos, bem como os indicativos da urgência de uma modificação para a medição de três elementos, na qual as três fases têm as suas tensões fase-neutro e suas correntes medidas para obtenção precisa do consumo trifásico total da unidade;
- avaliar os resultados apurados à partir das modificações realizadas em consumidores da COELBA no ano de 2012;
- identificar as reais razões para possíveis ganhos no registro de consumos, possibilitando a realização de planos de ação de redução de perdas nas unidades do Grupo A.

1.2 Estrutura da Monografia

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta os conceitos relacionados às perdas de energia e quais os objetivos específicos deste estudo. O segundo capítulo traz o conhecimento técnico a respeito dos tipos de medição utilizados na COELBA e a situação atual do parque de medição na área de concessão desta concessionária.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para elaboração deste trabalho. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos com as modificações das medições realizadas no ano de 2012 e as análises técnicas derivadas destes dados. Por fim, o capítulo 5 traz as considerações finais do autor e as sugestões para os casos nos quais a mudança na quantidade de elementos da medição melhor se justifica.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

As perdas técnicas constituem a quantidade de energia elétrica dissipada entre os suprimentos de energia da distribuidora e os pontos de entrega nas instalações das unidades consumidoras ou distribuidoras supridas. Essas perdas ocorrem nos processos de transporte e transformação de tensão, bem como nos equipamentos de medição [2].

As perdas não técnicas apuradas pela diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, considerando, portanto, todas as demais perdas associadas à distribuição de energia elétrica, tais como furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamento de medição, etc. Essas perdas estão diretamente associadas à gestão comercial da distribuidora [2].

Conforme analisado em [3], os valores das perdas globais de energia elétrica são obtidos através da diferença entre a energia injetada, ou seja, requerida ou gerada pela concessionária, e a energia efetivamente distribuída, que pode ser medida ou estimada. As perdas globais representam a soma da perda técnica e da perda não-técnica ou comercial. A primeira diz respeito às perdas físicas inerentes às redes e aos equipamentos elétricos, desde a geração até a distribuição. É caracterizada pelas perdas por efeito joule em cabos e condutores, nas conexões ao longo da rede e nos equipamentos de conversão, transformação e medição. Caracterizam-se por ocorrer antes do ponto de entrega.

2.1 Sistema Elétrico de Potência

Segundo a norma regulamentadora NR-10 [4], o sistema elétrico de potência (SEP) é definido como o conjunto das instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica até a medição, inclusive.

No caso da COELBA, por tratar-se de uma concessionária de distribuição de energia, o SEP é acessado da distribuição até a medição da energia elétrica. Os tipos de medição que são estudados neste trabalho fazem parte do Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT), que na COELBA varia entre as tensões de 11,5 kV até 69 kV.

2.2 Tipos de Medição

Para realizar a medição da energia elétrica consumida em unidades com fornecimento em alta tensão, bem como o registro das diversas grandezas elétricas que compõem o faturamento deste tipo de consumidor, tais como, energia reativa e demanda de potência ativa e reativa, são adotados dois arranjos principais, os quais são descritos abaixo.

- A medição com dois elementos consiste na utilização de dois TPs e dois TCs. A medição a três elementos, por outro lado, utiliza três TPs e três TCs.
- O princípio utilizado para a montagem destes dois tipos de medição segue os conceitos dos métodos de medição conhecidos como “Método dos Três Wattímetros” e “Método dos Dois Wattímetros”, os quais são descritos a seguir.

2.2.1 Método dos Três Wattímetros

A aplicação deste método é possível para os circuitos trifásicos a quatro fios e obedece ao diagrama ilustrado na Fig. 2.1, o qual foi retirado de [5]. A potência trifásica instantânea é obtida por meio do somatório das potências instantâneas ativas de cada fase [6], ou seja,

$$P = V_1 I_1 \cos \theta_1 + V_2 I_2 \cos \theta_2 + V_3 I_3 \cos \theta_3 , \quad (2.1)$$

sendo V a tensão fase neutro e I a corrente de fase. Os numerais fazem referência a cada uma das três fases de um sistema trifásico. Os ângulos θ_1 , θ_2 e θ_3 representam os respectivos ângulos de defasamento entre as correntes de fase e as tensões fase-neutro. Os cossenos destes ângulos representam os fatores de potência de cada uma das fases.

Neste método de medição o resultado possui alta confiabilidade, ficando sujeito apenas às incertezas dos equipamentos de medição e dos transformadores de instrumentos, nos casos das medições em alta tensão. Importante ressaltar que os transformadores de instrumentos utilizados pela COELBA são especificados com classe de exatidão 0,6 e os medidores eletrônicos utilizados em 100% dos consumidores com fornecimento em alta tensão possuem classe 0,3.

Os valores de todas as tensões, correntes e seus respectivos ângulos geram impacto no resultado da medição obedecendo exatamente à realidade do consumo e da potência.

2.2.2 Método dos Dois Wattímetros

A aplicação deste método é possível em circuitos trifásicos a três fios, com configuração em delta, conforme diagrama ilustrado na Fig. 2.2, o qual foi retirado de [7].

Para a obtenção da potência instantânea trifásica, considera-se que a soma das correntes de linha é sempre igual a zero, ou seja, $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, e a soma das tensões entre fases é sempre igual a zero, ou seja, $U_{12} + U_{23} + U_{31} = 0$ [6].

Dessa forma, partindo da equação da potência trifásica instantânea, ou seja, $S = V_1 I_1 + V_2 I_2 + V_3 I_3$, e substituindo I_3 por $-I_1 - I_2$, uma vez que foi considerado que a soma das correntes de linha é sempre igual a zero, tem-se

$$S = V_1 I_1 + V_2 I_2 - V_3 (I_1 + I_2) . \quad (2.2)$$

Rearranjando (2.2),

$$S = (V_1 - V_3) I_1 + (V_2 - V_3) I_2 . \quad (2.3)$$

Dessa forma,

$$S = U_{13} I_1 + U_{23} I_2 . \quad (2.4)$$

Para a obtenção da potência ativa, entretanto, é necessário obter os ângulos de defasamento entre as tensões entre fases e as correntes de linha. Para isso, deve-se observar o diagrama fasorial e identificar os ângulos correspondentes. A Fig. 2.3 auxilia a definir as relações entre a corrente I_1 e a tensão U_{13} , assim como entre a corrente I_2 e a tensão U_{23} .

Em um circuito equilibrado, estas relações angulares são

$$U_{13} I_1 = 30^\circ - \theta_1 \text{ e } U_{23} I_2 = 30^\circ + \theta_2 . \quad (2.5)$$

O resultado para a potência trifásica instantânea é dado, então, por (2.6) [6].

$$P = U_{13} I_1 \cos(30^\circ - \theta_1) + U_{23} I_2 \cos(30^\circ + \theta_2) \quad (2.6)$$

A notação utilizada acima segue a notação apresentada na literatura revisada, fazendo uso de números subscritos para identificar as fases. Entretanto, a notação usualmente utilizada na COELBA faz uso das letras a, b e c para a identificação das fases e está será a notação utilizada na apresentação dos cálculos descritos no Cap. 4.

Além disso, existe diferença também em relação à fase não medida, enquanto na dedução da equação 2.6 foi considerada a fase 3 como não medida, o padrão de ligação na COELBA em dois elementos deixa a fase b sem registro das suas correntes. Na Fig. 2.4 é mostrado o diagrama fasorial adaptado à notação utilizada na COELBA.

Dessa forma, reescreve-se (2.6), obtendo-se

$$P = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \theta_A) + U_{CB} I_C \cos(30^\circ - \theta_C) . \quad (2.7)$$

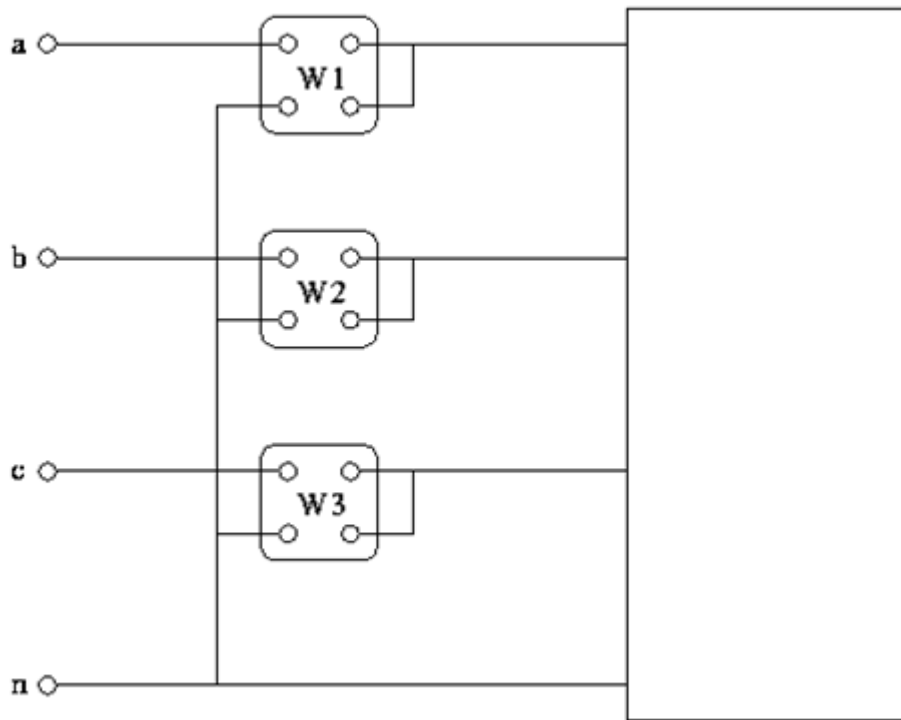


Figura 2.1: Diagrama esquemático do Método de Três Wattímetros.

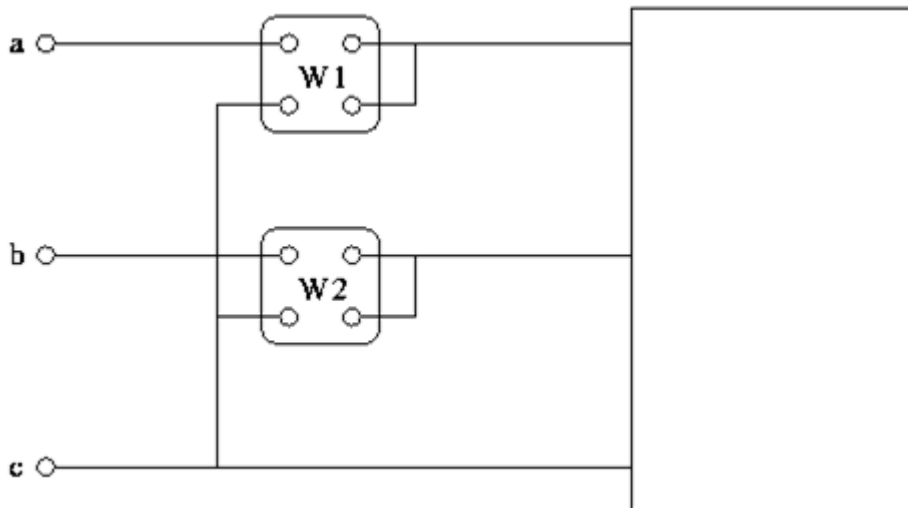


Figura 2.2: Diagrama esquemático do Método de Dois Wattímetros.

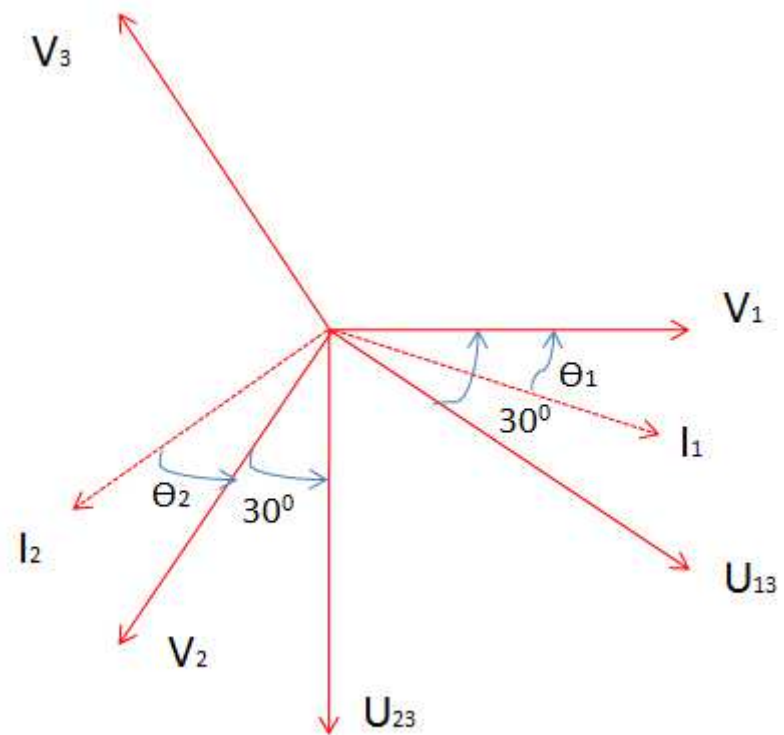


Figura 2.3: Diagrama Fasorial.

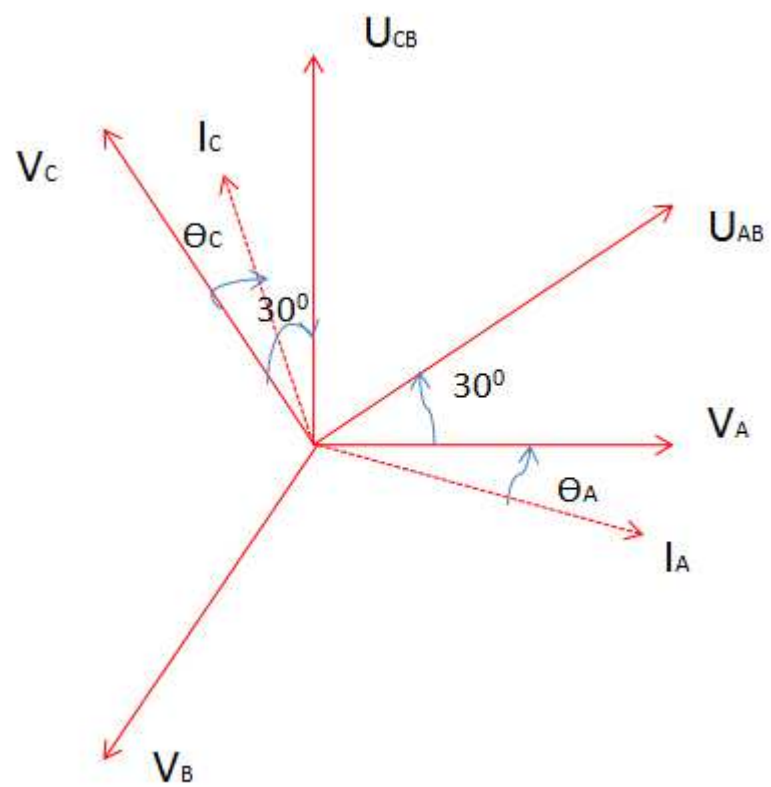


Figura 2.4: Diagrama Fasorial com a notação "abc" que é utilizada na COELBA.

2.3 Norma de Fornecimento COELBA

A atual norma de fornecimento da COELBA define a medição com três elementos para os consumidores com fornecimento em média tensão.

Não existem exceções toleráveis para as novas ligações em média tensão na COELBA. Todos os padrões novos são construídos obedecendo a norma de fornecimento que prevê a utilização de 3 TPs e 3 TCs para a medição de energia. Este padrão de medição foi adotado pela COELBA há mais de 10 anos, sendo definido após ampla discussão entre o Departamento de Engenharia Básica, responsável pela elaboração das normas internas da COELBA, a Unidade de Engenharia de Medição, o Departamento de Novas Ligações e o Departamento de Inspeção de Energia. Este último, responsável pelo combate às perdas de energia.

A conclusão foi de que o custo mais elevado para aquisição de um maior número dos equipamentos transformadores para instrumentos não seria impeditivo para esta atualização do padrão, em vista da maior confiabilidade na exatidão da medição do padrão com os três elementos medidos.

Na Fig. 2.5 consta o diagrama do padrão de medição para clientes atendidos em alta tensão pela COELBA.

Maiores detalhes sobre o fornecimento de energia são encontradas em [8] e [9].

2.4 Situação Atual do Parque de Medição em Média Tensão

Para uma análise mais aprofundada sobre os investimentos necessários e impactos de possíveis substituições, deve-se conhecer a situação atual do parque de medição dos consumidores com fornecimento em média tensão.

A COELBA possui aproximadamente 8.000 clientes classificados como grupo A, sendo que 90% destes consumidores já estão contemplados com sistemas de telemedição.

Para ilustrar melhor, são descritos os três principais tipos de medição em clientes do Grupo A:

- Medição direta: nessa medição é empregado um medidor sem a necessidade da utilização de transformadores para instrumentos, reduzindo assim a quantidade de pontos vulneráveis da medição. Tem por característica potência de transformação não superior a 112,5 kVA em tensão secundária de 380/220V [3].

- Medição indireta em baixa tensão: medição feita no secundário do transformador com o emprego de TCs. Essa medição é necessária quando a carga exige uma corrente maior que a tolerância do medidor direto. A potência de transformação é de até 300 kVA [3].
- Medição indireta em média tensão: essa medição tem por característica a medição do circuito antes do transformador. São empregados TCs e TPs para levar as grandezas até o medidor. A potência de transformação é superior a 300 kVA (MENDES, 2012). Dentro destes consumidores com medição indireta existe uma parcela importante que ainda possui o modelo que era usado anteriormente, a medição de dois elementos.

Na Tab. 2.1 observa-se a quantidade de cada tipo de medição.

Tipo de Medição	Quantidade
Medição Indireta	583
Medição Direta	7.936
Total	8.519

Tabela 2.1: Quantidade de Unidades Consumidoras por Tipos de Medição.

Entre as medições indiretas existem as que são montadas na alta tensão e as que são montadas na baixa tensão. Na Tab. 2.2 são explicitados tais valores.

Tensão de Medição	Quantidade
Alta Tensão	2.485
Baixa Tensão	5.451
Total	7.936

Tabela 2.2: Quantidade de Unidades Consumidores por Tensão de Medição.

As medições em alta tensão podem ser divididas em medições a dois ou medições a três elementos. Na Tab. 2.3 são explicitados tais valores.

Quantidade de Elementos	Quantidade
Dois Elementos	756
Três Elementos	1.729
Total	2.485

Tabela 2.3: Quantidade de Unidades Consumidoras por Número de Elementos Medidos.

Existem atualmente 756 medições com o padrão antigo de dois elementos na COELBA que devem ser gradualmente modificadas para o padrão de três elementos.

Para cada tipo de medição, algumas deficiências podem ocorrer de maneira mais recorrente. Os principais defeitos encontrados nos equipamentos de medição envolvem medidor, transformadores para instrumentos (TCs e TPs), chave de aferição e nos cabos dos TIs para a chave de aferição. A telemedição é a mais importante ferramenta na detecção das falhas de medição, alarmando faltas de tensão ou corrente, nos casos de deficiência nos TPs ou TCs respectivamente, além dos problemas com cabeamento ou chave de aferição. Indicando ainda medidores com perda de programação ou inicialização.

Para os consumidores ainda não telemedidos a análise do perfil de consumo, inspeções periódicas, ocorrências de leitura e de faltas de energia são os principais meios de detecção dos defeitos.

2.5 Investimentos Realizados em 2012

Para padronizar as medições antigas com dois elementos para três elementos foram investidos durante o ano de 2012 o valor de R\$ 425.500,00 (quatrocentos e vinte e cinco mil e quinhentos reais) para padronizar um total 55 medições. O que representa um custo médio de aproximadamente R\$ 7.700,00 por padronização.

Estes custos são compostos pelos equipamentos utilizados, TPs, TCs, chaves de aferição e medidores, quando a troca destes também se faz necessária. Custos com os materiais de consumo utilizados, conectores, hastes de cobre, cabos de dados e os custos de homem/hora, considerados os serviços realizados em horário normal de trabalho e os serviços realizados em horário extraordinário.

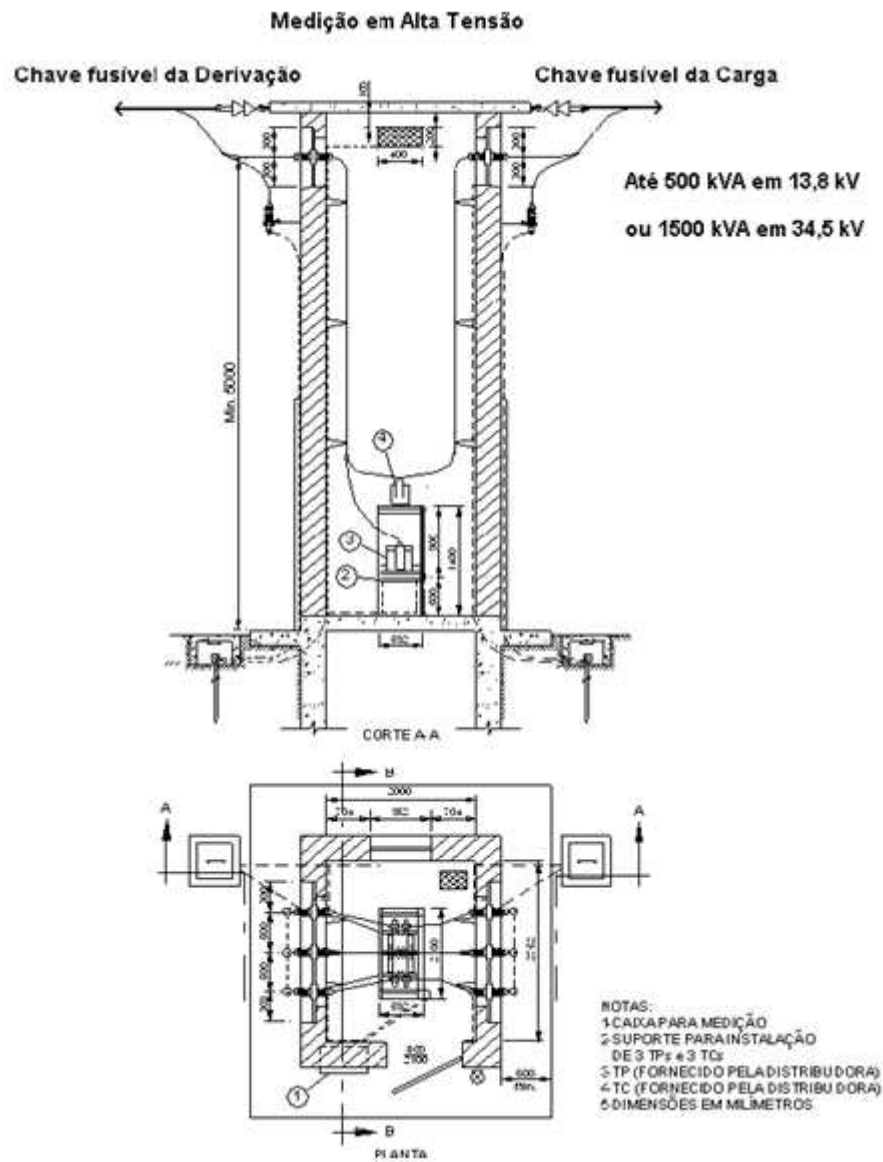


Figura 2.5: Diagrama do padrão de medição para clientes atendidos em alta tensão pela CO-ELBA.

Capítulo 3

Metodologia

Durante o ano de 2012 cinquenta e cinco unidades consumidoras tiveram os seus padrões de medição alterados para o modelo com três elementos. A quantidade destas trocas foi limitada pelo orçamento disponível, uma vez que, como visto anteriormente, são intervenções com custos unitários elevados.

O agendamento para execução dos serviços também se torna um fator limitador, pois se faz necessário a suspensão temporária do fornecimento de energia da unidade consumidora, algo que na grande maioria destes clientes de grande porte vai contra os seus interesses econômicos, havendo negociação de datas e enquadramento ao calendário proposto pelo consumidor.

Por conta disto, as unidades operacionais do departamento de inspeção de energia que são responsáveis pela execução em campo destas padronizações, realizaram a seleção das unidades que foram submetidas à modificação no ano de 2012 a partir da lista total de unidades com padrão a dois elementos da respectiva área, com a utilização de critérios definidos internamente e que levaram em conta principalmente a conveniência na execução do serviço.

A metodologia para realização deste estudo envolveu o estudo de uma amostra representativa destas 55 unidades padronizadas. O critério de seleção envolveu o consumo mensal de energia elétrica, a disponibilidade de medidores com página fiscal na unidade, pois estes equipamentos são os únicos que permitem a obtenção de relatórios fasoriais e a tendência de haver um maior peso de cargas monofásicas a depender da classe econômica do consumidor.

Para a análise do resultado das substituições realizadas no ano de 2012, dois pontos principais podem ser avaliados. O primeiro deles é a simulação a partir dos relatórios fasoriais das unidades que tiveram as modificações realizadas, dos valores que seriam obtidos caso as medições ainda estivessem com o modelo de dois elementos. Dessa forma, pode-se verificar precisamente os ganhos ou perdas decorrentes da modificação realizada. Esta análise foi feita com a amostra de 20 unidades selecionadas.

O segundo ponto a ser levantado é a avaliação em laboratório dos TCs retirados para verificar se havia queda de desempenho na transformação dos sinais de corrente em decorrência do final da vida útil ou saturação dos equipamentos. Esta análise dos TCs em laboratório é uma recomendação deste trabalho e uma ação que está sendo tomada para o decorrer do ano de 2013. Ainda não existem dados disponíveis para acrescentar no desenvolvimento deste estudo.

Na Fig. 3.1 segue fluxograma do processo.

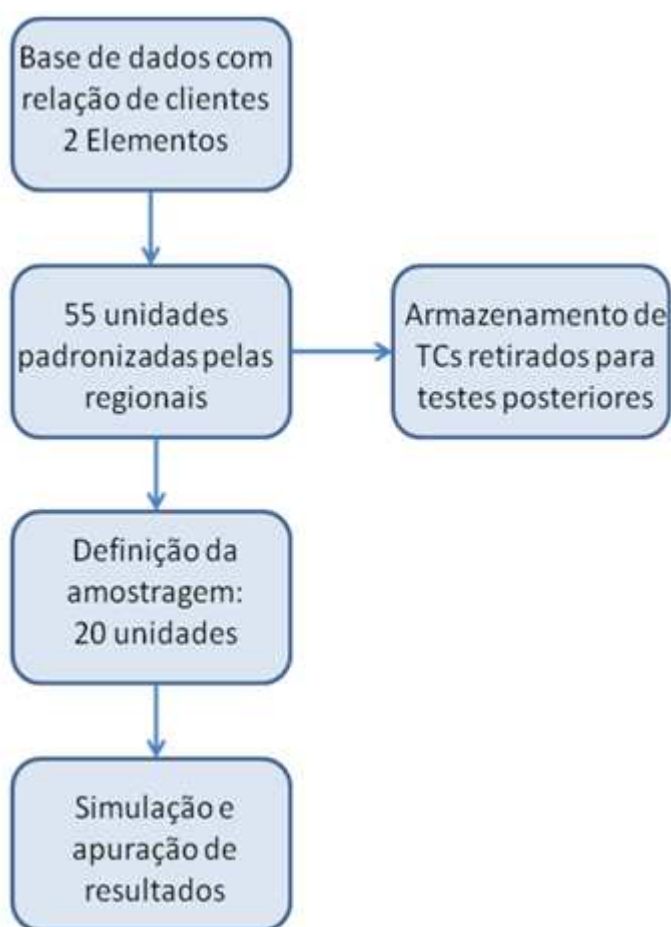


Figura 3.1: Fluxograma do processo.

3.1 Simulação da Medição a Dois Elementos

O princípio básico para a simulação da medição a 2 elementos é que os dados obtidos na medição a 3 elementos possibilitam que sejam realizados os mesmos cálculos e com os mesmos resultados que seriam observados caso não houvesse ocorrido a mudança.

Os medidores eletrônicos mais recentes possuem uma funcionalidade conhecida como página fiscal, que permite a extração de relatórios fasoriais com todas as informações de cada uma das fases separadamente. Estão disponíveis correntes, tensões, respectivos ângulos, potência, fator de potência, tensão entre fases, frequência, e até distorções harmônicas, com intervalos de integralização escolhidos a depender das necessidades do analista.

A Tab. 3.1 mostra um relatório fasorial após a conversão para uma planilha do *Excel*.

As medições da COELBA com 2 elementos têm como padrão utilizar as fases A e C, deixando a fase B sem o registro das correntes. Sabendo disso e considerando a disponibilização, após a padronização para três elementos, das informações de todas as tensões fase neutro, como mostrado anteriormente obtêm-se as equações necessárias.

$$P = U_{AB}I_A \cos(30^\circ + \theta_A) + U_{CB}I_C \cos(30^\circ - \theta_C) \quad (3.1)$$

As tensões entre fases podem ser obtidas a partir do cálculo vetorial das tensões fase neutro, ou seja,

$$U_{AB} = V_A - V_B \text{ e } U_{CB} = V_C - V_B \quad (3.2)$$

Os ângulos também podem ser precisamente obtidos. A variação angular entre tensão de fase e tensão entre fases, considerada na fórmula como 30° pode ter o valor real encontrado a partir dos ângulos das tensões, bem como os ângulos θ , entre tensões e correntes.

O modelo de planilha de cálculo pode ser visto na Tab. 3.2.

O fator de cálculo representa o fator multiplicador em razão das relações de transformação dos TCs e TPs, e a diferença é o resultado da comparação entre o consumo em um período de 1 mês nos dois tipos de medição e o respectivo percentual.

A partir destas explicações foram feitas simulações para a amostra das unidades que tiveram a padronização da medição feita em 2012.

Período		Tensão			Âng. tensão			Corrente			Âng. corrente			Potência			Fator Potência			Tensão entre fases		
Data	Dia	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	AB	BC	AC
27/11/12 11:15	Terça	107	116	107	0	242	123	3,08	3,14	2,65	352	224	105	327	347	272	99	95	95	192	192	189
27/11/12 11:30	Terça	107	117	108	0	242	123	3,07	3,16	2,64	0	224	107	329	354	274	100	95	96	193	193	190
27/11/12 11:45	Terça	107	117	107	0	242	123	3,12	3,25	2,75	352	224	107	333	364	283	99	95	96	192	193	190
27/11/12 12:00	Terça	107	117	108	0	242	123	2,93	2,98	2,52	0	228	109	314	339	265	100	97	97	193	194	190
27/11/12 12:15	Terça	108	118	108	0	242	123	2,89	2,94	2,44	352	226	109	310	333	256	99	96	97	194	194	191
27/11/12 12:30	Terça	108	118	108	0	242	123	3,27	3,43	2,89	352	224	105	351	386	299	99	95	95	194	194	191
27/11/12 12:45	Terça	108	118	108	0	242	123	3,18	3,31	2,76	352	224	105	340	372	285	99	95	95	194	194	191
27/11/12 13:00	Terça	108	118	109	0	242	123	3,12	3,21	2,71	352	223	104	335	359	280	99	94	94	194	195	191
27/11/12 13:15	Terça	107	117	107	0	242	123	3,36	3,46	2,93	352	223	105	357	383	300	99	94	95	192	192	189
27/11/12 13:30	Terça	106	116	107	0	242	123	3,34	3,46	2,91	352	223	104	352	378	294	99	94	94	192	192	189
27/11/12 13:45	Terça	107	117	107	0	242	123	3,73	3,84	3,31	349	223	105	394	423	336	98	94	95	192	193	189
27/11/12 14:00	Terça	106	116	107	0	242	123	3,24	3,38	2,86	352	224	105	343	374	291	99	95	95	191	192	189
27/11/12 14:14	Terça	107	117	108	0	242	123	3,33	3,47	2,93	352	223	102	353	382	296	99	94	93	192	193	190
27/11/12 14:30	Terça	108	118	108	0	242	123	3,12	3,2	2,68	352	223	105	333	358	277	99	94	95	193	194	191
27/11/12 14:45	Terça	108	118	108	0	242	123	3,18	3,24	2,74	352	224	107	340	363	284	99	95	96	194	194	191
27/11/12 15:00	Terça	108	118	109	0	242	123	3,03	3,13	2,63	352	223	104	325	350	271	99	94	94	194	195	192
27/11/12 15:15	Terça	108	118	109	0	242	124	2,97	3,06	2,6	352	224	106	319	344	269	99	95	95	195	195	192
27/11/12 15:30	Terça	109	119	109	0	242	123	2,83	2,93	2,44	352	224	107	306	333	255	99	95	96	196	196	193
27/11/12 15:45	Terça	109	119	109	0	242	123	2,77	2,85	2,36	352	226	107	301	325	249	99	96	96	196	196	193
27/11/12 16:00	Terça	109	119	109	0	242	123	2,91	2,96	2,5	352	224	107	315	336	263	99	95	96	195	196	193
27/11/12 16:14	Terça	108	118	109	0	242	123	2,8	2,91	2,47	352	228	107	301	333	260	99	97	96	194	195	191
27/11/12 16:30	Terça	108	118	109	0	242	123	3,03	3,12	2,64	352	224	105	326	351	275	99	95	95	195	195	192
27/11/12 16:45	Terça	109	119	109	0	242	123	2,99	3,05	2,58	352	224	107	324	345	270	99	95	96	196	197	193
27/11/12 17:00	Terça	108	118	109	0	242	123	3,06	3,18	2,7	352	224	105	330	357	279	99	95	95	195	195	192

Tabela 3.1: Planilha com valores de consumo de energia registrados com o método dos 3 elementos de medição.

^aTensão expressa em Volt.^bCorrente expressa em Ampere.^cPotência expressa em Watt.^dÂngulo expresso em grau.

Período		Tensão			Âng. tensão			Corrente			Âng. corrente			Pot. Três	U_{AB}	Ângulo	U_{BC}	Ângulo	Pot. Dois
Data	Dia	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	El. (kW)					El. (kW)
27/11/12 11:15	Terça	107	116	107	0	242	123	3,08	3,14	2,65	352	224	105	975,1	192,1	32,5	193,1	89,0	960,42
27/11/12 11:30	Terça	107	117	108	0	242	123	3,07	3,16	2,64	0	224	107	915,9	192,1	32,5	193,9	88,8	933,22
27/11/12 11:45	Terça	107	117	107	0	242	123	3,12	3,25	2,75	352	224	107	898,3	193,8	32,5	194,8	89,0	872,33
27/11/12 12:00	Terça	107	117	108	0	242	123	2,93	2,98	2,52	0	228	109	1031,5	193,8	32,5	194,8	89,0	1022,82
27/11/12 12:15	Terça	108	118	108	0	242	123	2,89	2,94	2,44	352	226	109	995,1	193,8	32,5	194,8	89,0	985,22
27/11/12 12:30	Terça	108	118	108	0	242	123	3,27	3,43	2,89	352	224	105	971,1	193,8	32,5	195,6	88,8	971,34
27/11/12 12:45	Terça	108	118	108	0	242	123	3,18	3,31	2,76	352	224	105	1037,0	192,1	32,5	193,1	89,0	1034,28
27/11/12 13:00	Terça	108	118	109	0	242	123	3,12	3,21	2,71	352	223	104	1024,5	190,4	32,6	192,2	88,9	1022,99
27/11/12 13:15	Terça	107	117	107	0	242	123	3,36	3,46	2,93	352	223	105	1153,4	192,1	32,5	193,1	89,0	1133,70
27/11/12 13:30	Terça	106	116	107	0	242	123	3,34	3,46	2,91	352	223	104	1004,0	190,4	32,6	192,2	88,9	996,67
27/11/12 13:45	Terça	107	117	107	0	242	123	3,73	3,84	3,31	349	223	105	1032,1	192,1	32,5	193,9	88,8	1039,38
27/11/12 14:00	Terça	106	116	107	0	242	123	3,24	3,38	2,86	352	224	105	966,0	193,8	32,5	194,8	89,0	961,41
27/11/12 14:14	Terça	107	117	108	0	242	123	3,33	3,47	2,93	352	223	102	988,2	193,8	32,5	194,8	89,0	976,03
27/11/12 14:30	Terça	108	118	108	0	242	123	3,12	3,2	2,68	352	223	105	944,3	193,8	32,5	195,6	88,8	942,97
27/11/12 14:45	Terça	108	118	108	0	242	123	3,18	3,24	2,74	352	224	107	930,6	193,8	32,5	194,6	88,4	919,76
27/11/12 15:00	Terça	108	118	109	0	242	123	3,03	3,13	2,63	352	223	104	892,7	195,5	32,5	196,5	89,0	876,63
27/11/12 15:15	Terça	108	118	109	0	242	124	2,97	3,06	2,6	352	224	106	872,3	195,5	32,5	196,5	89,0	852,76
27/11/12 15:30	Terça	109	119	109	0	242	123	2,83	2,93	2,44	352	224	107	911,0	195,5	32,5	196,5	89,0	899,73
27/11/12 15:45	Terça	109	119	109	0	242	123	2,77	2,85	2,36	352	226	107	891,4	193,8	32,5	195,6	88,8	871,62
27/11/12 16:00	Terça	109	119	109	0	242	123	2,91	2,96	2,5	352	224	107	947,9	193,8	32,5	195,6	88,8	942,43
27/11/12 16:14	Terça	108	118	109	0	242	123	2,8	2,91	2,47	352	228	107	938,3	195,5	32,5	196,5	89,0	926,58
27/11/12 16:30	Terça	108	118	109	0	242	123	3,03	3,12	2,64	352	224	105	964,0	193,8	32,5	195,6	88,8	958,12
27/11/12 16:45	Terça	109	119	109	0	242	123	2,99	3,05	2,58	352	224	107	988,0	195,5	32,5	196,5	89,0	983,56
27/11/12 17:00	Terça	108	118	109	0	242	123	3,06	3,18	2,7	352	224	105	894,7	193,8	32,5	195,6	88,8	915,64

Tabela 3.2: Planilha de simulação do método dos 2 elementos de medição.

^aTensão expressa em Volt.^bCorrente expressa em Ampere.^cPotência expressa em Watt.^dÂngulo expresso em grau.

Capítulo 4

Resultados

Neste capítulo estão relacionados os resultados obtidos com as simulações realizadas nos 20 consumidores da amostra selecionada com os principais pontos observados. Também são mostradas as vulnerabilidades que a medição a dois elementos podem apresentar.

4.1 Análise das Simulações

Preservando a confidencialidade dos dados dos consumidores, os resultados são apresentados omitindo os nomes das empresas. Na Tab. 4.1 são comparados as medições de 20 consumidores que tiveram a padronização realizada no ano de 2012, o que significa uma amostra representativa.

Diversos pontos interessantes podem ser observados inicialmente na Tab. 4.1. A maior diferença percentual encontrada foi 0,64%. A maior diferença absoluta foi de 2.531 kWh. Apesar disso, existiu um equilíbrio entre o número de unidades que passaram a registrar maior consumo, onze, e o número de unidades que passaram a registrar menor consumo, nove. O total do consumo agregado é de apenas 0,05

As diferenças negativas, ou seja, onde as simulações dos consumos em medições a 2 elementos apresentaram resultados maiores do que os consumos registrados após a padronização para 3 elementos, mostram que nem sempre a substituição da medição garantirá o registro de consumos maiores. A razão deste resultado é que, a despeito das expectativas de que existiriam consumidores com grande desequilíbrio de cargas, as medições posteriores mostram que para estas unidades inicialmente escolhidas os desequilíbrios foram discretos, representando, na média, desvios mínimos entre as fases.

A Fig. 4.1 mostra a representação gráfica da comparação entre as curvas de carga de medições a dois e a três elementos de um consumidor escolhido aleatoriamente dentro da amostra estudada.

Consumidor	Consumo Três El. (MWh)	Consumo Dois El. (MWh)	Diferença (kWh)	%
A	258,62	259,33	- 714,10	-0,28
B	252,56	251,52	1.038,10	0,41
C	59,03	58,84	190,60	0,32
D	452,57	450,04	2.531,20	0,56
E	348,65	348,12	533,30	0,15
F	125,44	125,71	- 274,00	-0,22
G	393,73	393,81	- 76,80	-0,02
H	203,66	203,91	- 245,70	-0,12
I	194,47	194,72	- 245,00	-0,13
J	130,06	130,89	- 834,60	-0,64
K	106,76	106,73	29,20	0,03
L	246,95	246,48	474,20	0,19
M	70,13	70,05	84,80	0,12
N	266,15	265,79	359,20	0,13
O	337,99	338,71	- 720,00	-0,21
P	108,55	108,77	- 216,50	-0,20
Q	74,78	75,01	- 231,00	-0,31
R	79,04	78,94	102,60	0,13
S	99,92	99,61	314,00	0,31
T	479,84	479,66	178,70	0,04
Total	4.288,99	4.286,71	2.278,20	0,05

Tabela 4.1: Comparação entre os valores de consumo de energia registrados com o método dos 3 elementos de medição e os valores simulados com o método dos 2 elementos de medição.

Estes resultados apontam para o entendimento de que o padrão com dois elementos de medição apresenta em geral resultados muito próximos ao padrão com os três elementos medidos. Porém, este padrão apresenta vulnerabilidade em condições específicas e que podem ser manipuladas com o intuito de reduzir os valores registrados. A seguir é apresentada uma análise destas condições.

4.2 Análise das Vulnerabilidades

Como (2.7) representa o consumo e a potência trifásica de maneira aproximada para circuitos não perfeitamente equilibrados, identifica-se, imediatamente, alguns dos pontos de vulnerabilidade deste tipo de medição.

a) Corrente I_B desequilibrada em relação às outras correntes.

A corrente não medida é o componente mais óbvio que pode acarretar desajustes entre o real e o medido em medições a dois elementos. Uma vez que as variações nesta componente para mais ou para menos não terão qualquer interferência no valor medido final, algo pode trazer perdas para a concessionária ou para o cliente.

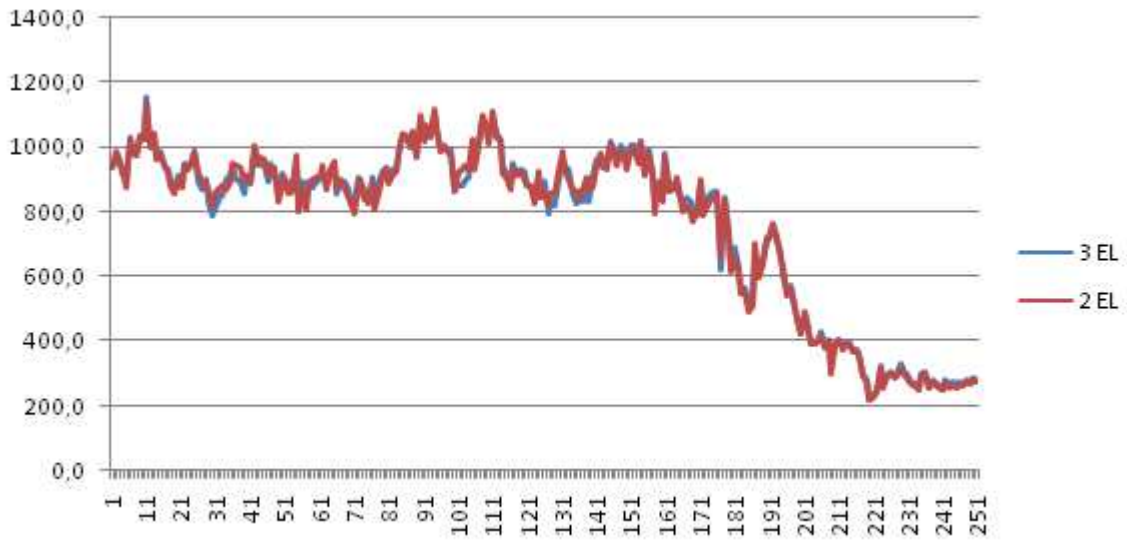


Figura 4.1: Gráfico comparativo curvas de carga.

Este também é o problema mais difícil de ser detectado, pois precisam ser feitas medições em campo, através das inspeções da medição, na tentativa de identificar os desequilíbrios instantâneos em um determinado consumidor.

b) Correntes I_A e I_C desequilibradas entre si.

Em um circuito totalmente resistivo ou com o fator de potência perfeitamente corrigido, as contribuições das correntes I_A e I_C possuem equivalência. No mundo real, porém, um fator de potência de 0,92 atende aos pré-requisitos da resolução da ANEEL e valores nesta ordem de grandeza são os mais comumente encontrados nas medidas realizadas no dia a dia no campo. Portanto, ângulos de aproximadamente 20° entre corrente e tensões fase neutro são perfeitamente possíveis, o que vai representar diferença entre as contribuições das duas correntes.

Simulando θ_A e θ_C iguais a 20° em (2.7), tem-se

$$P = U_{AB}I_A \cos 50^\circ + U_{CB}I_C \cos 10^\circ . \quad (4.1)$$

Como o cosseno apresenta o valor maior para 10° do que para 50° , a corrente I_C acaba sendo multiplicada por um valor maior e assim terá uma maior contribuição na obtenção do valor total da potência trifásica.

Neste caso, caso I_C seja em média maior do que I_A , o resultado da medição será majorado,

prejudicando o consumidor. A recíproca, também, pode ocorrer, com I_A maior do que I_C , o que gera perdas para a concessionária.

c) Fatores de Potência diferentes entre as fases medidas.

Valores diferentes para os ângulos θ_A e θ_C provocam desequilíbrio entre as contribuições das correntes, e mesmo correntes perfeitamente equilibradas geram distorções entre consumo e potência reais e medidos.

Capítulo 5

Considerações Finais

A despeito das expectativas criadas relacionadas às modificações das medições de dois para três elementos, verifica-se que na prática de campo não existem ganhos significativos com a substituição da medição de unidades com o padrão antigo.

A principal razão disto é a observação de correntes de fase que, se não totalmente equilibradas, apresentam variações que não chegam a comprometer os resultados das medições. A idéia inicial de que poderiam existir clientes que, sabendo da ausência da medição da corrente em uma das fases, estariam utilizando suas cargas monofásicas ligadas nesta fase, não se confirmou.

A medição a dois elementos possui suas vulnerabilidades, que não se restringem apenas as correntes da fase B sem medir, pois correntes desequilibradas entre as fases A e C, bem como seus respectivos fatores de potência, também podem representar desajustes entre o real e o medido. Contudo, infere-se que na grande maioria dos clientes não serão encontradas diferenças relevantes entre os dois tipos de medições.

Porém, apesar da indicação de que em um primeiro momento não existe má-fé por parte da grande maioria dos consumidores e que as diferenças entre a energia registrada por medições a 3 elementos e a energia registrada por medições a 2 elementos são mínimas, eventualmente podem ser encontradas algumas unidades consumidoras em que alguma situação excepcional provoque condições para uma medição a 2 elementos com divergências maiores do que as aceitáveis. Por essa razão, torna-se justificável a realização de padronização em unidades que ainda estejam com o padrão antigo.

O que deve ser feito é a tentativa de priorização destas modificações, atingindo unidades consumidoras que, de fato, tenham desequilíbrios entre as fases medidas, ou que sejam indicados por outros fatores, tais como: demandas desajustadas com a corrente nominal dos TCs, idade e modelo dos transformadores para instrumentos.

Conclui-se, também, que a norma de fornecimento atual da COELBA está ajustada às

necessidades no que se refere à qualidade da medição de energia elétrica, devendo ser mantido o padrão de medição com as três fases medidas.

5.1 Recomendações

A priorização das padronizações das medições atualmente com dois elementos deve ser feita obedecendo a critérios específicos e objetivos, evitando perdas de energia para a concessionária e a otimização dos recursos e investimentos.

A escolha deve levar em conta idade dos TCs, relação entre demanda e corrente nominal do TC, modelo, fabricante e data de fabricação, unidades consumidoras com correntes desbalanceadas, unidades com diferença entre os fatores de potência das fases.

Deve ser realizado estudo mais apurado sobre o parque de transformadores de corrente instalado, avaliando o desempenho destes equipamentos. Avaliando através de amostragens a existência de modelos que precisem ser substituídos com maior urgência.

Referências Bibliográficas

- [1] ANEEL. "Resolução Normativa nº 395". Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição. 2009
- [2] SILVEIRA COELHO, Julião. "Tratamento regulatório de perdas não-técnicas". *Terceira conferência da Associação de Reguladores de Energia dos Países de Língua Oficial Portuguesa – RELOP*. 2010.
- [3] MELO, Thiago Mendes Paixão. "Perdas Comerciais em Clientes Atendidos em Média Tensão da COELBA: Oportunidades e Melhorias". Monografia do curso de Especialização em Engenharia dos Sistemas de Distribuição. 2012
- [4] "Norma Regulamentadora nº 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade", aprovado pela Portaria GM n.º 598, de 07/12/2004.
- [5] GARCIA, Ariovaldo. "Método dos três wattímetros". Disponível no *site* ; <http://www.dsee.fee.unicamp.br/sato/ET515/node45.html> . Acessado em 05/03/2013.
- [6] MEDEIROS FILHO, Solon. "Medição de Energia Elétrica". *Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.*. Quarta Edição. Rio de Janeiro, 1997.
- [7] GARCIA, Ariovaldo. "Método dos dois wattímetros". Disponível no *site* ; <http://www.dsee.fee.unicamp.br/sato/ET515/node46.html> . Acessado em 05/03/2013.
- [8] ANEEL. "Resolução Normativa nº 414". Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2010.
- [9] COELBA. "Norma SM04.08-01.003 Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão de Distribuição à Edificação Individual". Sexta Edição, 23/11/11.
- [10] CALILI, Rodrigo Flora. "Desenvolvimento de sistema para detecção de perdas comerciais em redes de distribuição de energia elétrica". Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2005.
- [11] DANTAS, Pedro Roberto Paiva. "Avaliação de perdas de energia elétrica não-técnicas metodologia aplicada no município de Salvador/BA". Dissertação de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia. *Universidade Salvador – UNIFACS*. Salvador, 2006.

- [12] FLÔR, Ricardo Antonio Maciel. "Estimativa de consumo para recuperação de perdas não-técnicas de energia elétrica – metodologia para determinação de fatores de carga e demanda típicos de atividades comerciais". Dissertação de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia. *Universidade Salvador – UNIFACS*. Salvador, 2010.
- [13] MELO, Thiago Mendes Paixão. "Aspectos da evolução dos processo de Regulação das Telecomunicações no Brasil – das redes independentes às redes convergentes". Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. *Universidade Salvador - UNIFACS*. Salvador, 2005.
- [14] MENDONÇA NETO, Manoel G. *et al.*. "Garimpendo Fraudadores: O uso da Mineração de Dados na Descoberta de Padrões de Consumidores que Causam Perdas Comerciais em uma Concessionária de Energia Elétrica". 2010. Disponível no *site* ; www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2010/0013.pdf. Acessado em 05/09/2012.
- [15] OLIVEIRA, Marcelo Escobar. "Avaliação de Metodologias de Cálculo de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica". Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. *Universidade Estadual Paulista*. Ilha Solteira, 2009.
- [16] PENIN, Carlos Alexandre de Sousa. "Combate, Prevenção e Otimização das Perdas Comerciais de Energia Elétrica". Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. *Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2008.
- [17] PINA, Ricardo Prado; NASCIMENTO, Carlos Alberto F.; e COSTA, Graciene Melo. "Tele-medição como ferramenta para gestão dos grandes consumidores da COELBA". *Anais do XVIII SENDI Seminário de Distribuição de Energia Elétrica*. Olinda, 2008.