

Análise Estatística para o Cálculo de Métodos de Potência em Harmônicos

W. S. Tostes¹ T.F. Oliveira² M. E. L. Tostes¹ R. S. Alves¹ C. R. F. Marçal¹
C. C. M. M. Carvalho¹ P. P. C. de Oliveira¹ J. H. D. Souza¹ J. C. D. Carvalho³

Resumo - Este trabalho teve por objetivo analisar as grandezas de influência nos métodos de cálculo de potência em ondas não-senoidais. Os efeitos de vários fatores foram avaliados utilizando técnicas estatísticas de planejamento experimental e de análise multivariada, com a utilização de materiais de alto nível de rastreabilidade na realização dos experimentos, no Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas da Eletronorte. Através da estrutura de variação do processo, constatou-se que as grandezas de influência tiveram diferentes variabilidades durante os períodos manhã e tarde influenciando de forma diferenciada os seis métodos estudados bem como os três tipos de potência. A menor incerteza de medição foi obtida pelo método de *Kuster e Moore* utilizado no cálculo de potência reativa durante o período da tarde.

Palavras-Chaves - Potência; Grandeza de Influência, Harmônicos; Análise Fatorial; Metrologia; Métodos Estatísticos.

I. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e o desenvolvimento da tecnologia utilizada em equipamentos eletrônicos, tais como *microchips*, a qualidade da energia fornecida (frequência, amplitude e distorção harmônica da tensão de fornecimento) passou a ser fator determinante tanto para as concessionárias (por questões de multas pelo mau fornecimento e devido a imagem da empresa) quanto para consumidores.

A energia elétrica ideal fornecida deveria ter uma tensão com forma de onda perfeitamente senoidal com frequência única e amplitude constante.

Assim, este trabalho tem por objetivo geral avaliar as grandezas de influência, temperatura e umidade, em seis métodos de cálculo de potência em ondas não-senoidais com diferentes períodos de medição.

A tendência mundial ultimamente exige que as medições tenham a qualidade adequada aos fins propostos, e que o laboratório atenda aos requisitos: use métodos validados; use procedimentos internos de qualidade; participe de testes de competência; tenha credenciamento baseado na norma ISO 17025 e estabeleça a rastreabilidade dos resultados das medições [1].

Em sintonia com seu objetivo geral, esse trabalho possui os seguintes objetivos específicos: investigar a influência dos períodos dos seis métodos de potência; analisar a variabilidade dos métodos por período; verificar a influência do período de medição nos métodos para o cálculo das potências ativa, reativa e aparente.

Neste estudo foi utilizado um calibrador trifásico, para o conhecimento das grandezas: harmônicos, *flickers*, *sags* e *swells*.

O estudo foi realizado no Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas da Eletronorte (CAEL), membro da Rede Brasileira de Calibração, credenciado pela CGCRE/INMETRO de acordo com a norma NBR ISO/IEC 17025 sob o nº 237. O CAEL realiza calibrações em várias grandezas (tensão, corrente, potência, dentre outros), para equipamentos da Eletronorte, empresas e laboratórios de todo o Brasil.

Um dos assuntos da qualidade de energia que se destaca pela frequência de ocorrência são os harmônicos, que serão abordados na próxima seção.

II. HARMÔNICOS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA (CAUSAS E EFEITOS)

A presença de harmônicos em sistemas elétricos de potência não é um fenômeno novo [2]. Esforços para limitar o conteúdo de harmônicos para proporções aceitáveis já eram uma preocupação de engenheiros da área de potência no início do século passado. Naquela ocasião, a distorção era causada tipicamente pela saturação magnética de transformadores ou por certas cargas industriais.

Atualmente, tem-se constatado no setor elétrico uma popularização do uso da eletrônica de potência e controles microprocessados no setor doméstico. Neste setor existe um aumento crescente de aparelhos cada vez mais sofisticados e funcionais [3]. Esses eletrodomésticos possuem, em sua grande maioria, conversores eletrônicos, tendo como consequência uma forma de corrente distorcida em comparação à forma de onda fornecida pelo sistema de distribuição.

Os principais problemas causados por harmônicos são: interferências em sistemas de comunicação; redução da vida útil de equipamentos; falta de exatidão e instabilidade na operação de sistemas de controle, proteção e medição; dentre outras [4].

Este trabalho é resultado de um projeto de P&D do Ciclo 2003/2004 da Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - ELETRONORTE

¹ UFPA/ NESC/ LABQUALI (Laboratório de Qualidade e Eficiência Energética)/ CT/ DEEC Av. Augusto Corrêa, 1 – Guamá CEP: 66075-900 Belém-PA-Brasil (e-mail: tostes@ufpa.br)

² UFPA/ CCEN/ DEEST Av. Augusto Corrêa, 1 - Guamá CEP: 66075-900 Belém-PA-Brasil (e-mail: tfo@ufpa.br)

³ ELETRONORTE/ LACEN/ CAEL (Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas) Av. Tancredo Neves, s/n. - Terra Firme CEP: 66077-530 Belém-PA-Brasil (e-mail: jclaudio@eln.gov.br)

III. POTÊNCIA EM HARMÔNICOS

O calibrador trifásico utilizado neste trabalho dispõe para o cálculo das potências ativa, reativa e aparente as seguintes definições:

- (A) Budeanu
- (B) Fryse
- (C) Kusters e Moore
- (D) Shepherd e Zakikhani
- (E) Sharon/Czarnecki
- (F) IEEE

O objetivo é verificar qual desses métodos resulta em uma medição, a menor incerteza para o cálculo das potências.

As expressões gerais para esses parâmetros segundo [5] são mostradas a seguir:

A. Potência ativa

A potência ativa P de um sinal comportando harmônicos é a soma das potências ativas causadas por tensões e correntes de mesma ordem. A decomposição da tensão e da corrente em seus componentes harmônicos nos fornece (1):

$$P = \sum_{h=1}^n U_h I_h \cos \phi_h \quad (1)$$

ϕ_h - seria a defasagem entre a tensão e a corrente harmônica de ordem h .

Nota: Supõe-se que o sinal não comporta componente contínua: $U_0=I_0=0$. Na ausência de harmônicos, encontramos a expressão $P=U_1 I_1 \cos \phi_1$: potência de um sinal senoidal na frequência fundamental.

B. Potência reativa

A potência reativa é definida somente para frequência fundamental, seja:

$$Q = \sum_{h=1}^n U_h I_h \sin \phi_h \quad (2)$$

C. Potência de distorção

Na presença de harmônicos, pode-se escrever:

$$S^2 = \left(\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2 \right) \cdot \left(\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \right) \quad (3)$$

A relação $S^2 = P^2 + Q^2$ não é válida na presença de harmônicos. Defini-se a potência de distorção D tal que: $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$, seja;

Na presença de harmônicos, a relação $S^2 = P^2 + Q^2$ não é válida. Defini-se a potência de distorção D tal que: $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$, ou seja, pela definição de Budeanu;

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (4)$$

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização do presente trabalho, ocorreu no Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas da ELETRONORTE, usando um Calibrador Trifásico e um Padrão Trifásico de Potência e Energia como padrão de referência.

Os dados foram coletados em um único dia, com o mesmo operador, com as grandezas de influência, temperatura e umidade, controladas durante todo o processo de medição.

Foram feitas 720 medições, 360 pelo período da manhã e 360 pelo período da tarde, considerando as seguintes variáveis:

- 1) Período: Manhã e tarde;
- 2) Método de Cálculo de Potência: Budeanu (A), Fryse (B), Kuster e Moore (C), Shepherd & Zakikhani (D), Sharon/Czarnecki (E) e IEEE (F);
- 3) Tipo de Potência: Ativa, Reativa e Aparente;
- 4) Temperatura (°C) e
- 5) Umidade (%).

No registro dos valores indicados pelos equipamentos foi utilizado o método de comparação direta, registrando-se 40 leituras por ponto (20 pelo período da manhã e 20 pelo período da tarde), apenas para a fase 1 do calibrador de qualidade de energia.

No padrão foram inseridas duas ondas, uma de tensão e outra de corrente, com a mesma configuração de distorção harmônica, programada para gerar um sinal de 150 volts como amplitude da 1ª harmônica de tensão e amplitude de 5 Amperes para a 1ª harmônica de corrente. A Distorção Harmônica Total (THD) para ambos os sinais foi de 10%, de acordo com a configuração mostrada na Tabela 1:

TABELA 1
AMPLITUDES DOS COMPONENTES HARMÔNICOS UTILIZADOS PARA
COMPOSIÇÃO DA ONDA NÃO-SENOIDAL

Amplitude do 1º Harmônico de tensão	Amplitude do 1º Harmônico de corrente	THD _f	Amplitudes dos componentes harmônicos			
			3ª	5ª	7ª	11ª
150V	5A	10%	6,499 %	5,690 %	4,553 %	2,160 %

Para a construção da onda não-senoidal, foram inseridas distorções na tensão e na corrente. O produto das duas resulta na composição da onda de potência. Pode-se visualizar as formas de onda de tensão, corrente e potência, com suas respectivas distorções harmônicas nas Figuras 1, 2 e 3.

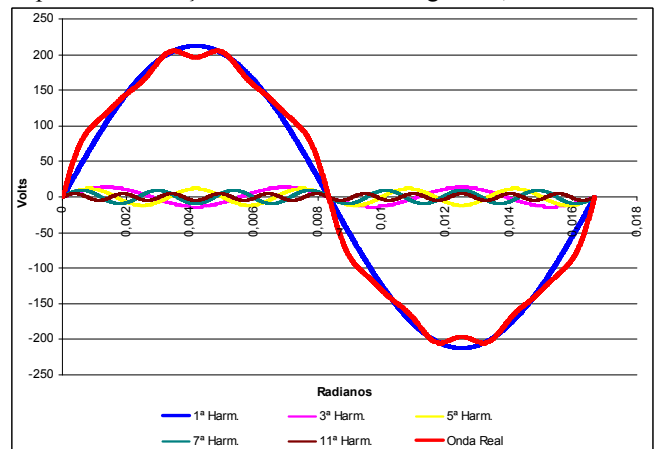


Fig. 1. Gráfico da onda de tensão inserida no componente harmônico

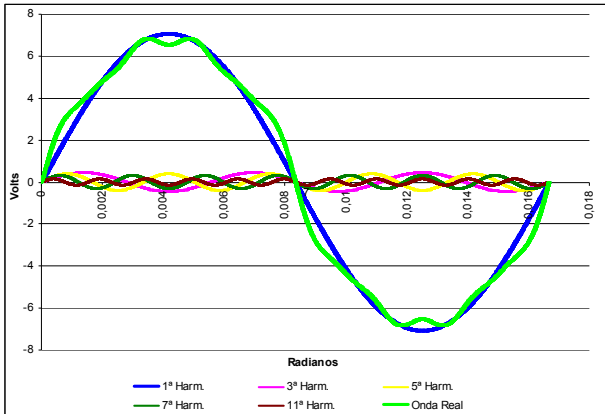


Fig. 2. Gráfico da onda de corrente inserida no componente harmônico

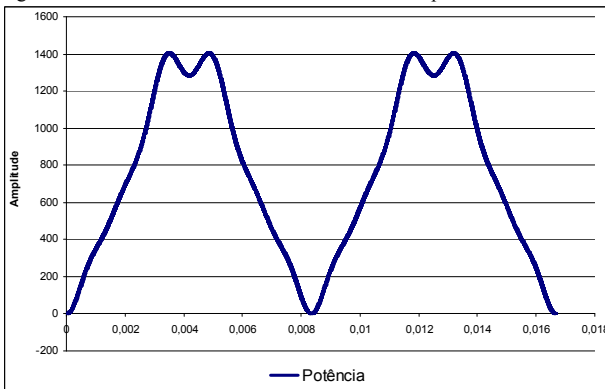


Fig. 3. Gráfico da onda de potência gerada com os componentes harmônicos

V. MODELAGEM MATEMÁTICA

Por definição a relação entre a amplitude de todos os harmônicos de tensão e corrente e a amplitude da frequência fundamental, a *THD* Este é normalmente especificada em porcentagem (%) e é um dos parâmetros de maior importância quando se analisa um sistema ou equipamento a quanto menor a distorção harmônica, melhor é a capacidade de processar, amplificar ou transmitir um sinal sem distorcer o sinal original (5).

$$THD_f = \frac{\sqrt{\sum_{h=2} A_h^2}}{A_1} \cdot 100\% \quad (5)$$

onde,

THD_f = é a taxa de distorção harmônica total da tensão ou da corrente em relação à componente fundamental;

A_n = é o valor da amplitude da onda harmônica de ordem h ;

h = é o índice da ordem harmônica;

A_1 = é o valor da amplitude da onda fundamental.

A equação (5) pode ser simplificada na equação (6) quando se considera o valor das amplitudes harmônicas em percentual da ordem fundamental:

$$THD_f = \sqrt{\left(\frac{A_2}{A_1} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{A_3}{A_1} \cdot 100\right)^2 + \dots + \left(\frac{A_n}{A_1} \cdot 100\right)^2} \quad (6)$$

$$THD_f = \sqrt{h \sum_{n=2} A_{h\%}^2}$$

sendo, $A_{h\%}$ = Valor da amplitude da onda harmônica de ordem n em percentual;

VI. ANÁLISE FATORIAL (AF)

Segundo [6], a AF, de modo geral, é uma técnica estatística multivariada que tem como princípio analisar a estrutura das inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis, ou seja, descrever a estrutura de dependência de um conjunto de variáveis através da criação de fatores que medem aspectos comuns.

Com o emprego dessa técnica, inicialmente pode-se identificar as dimensões isoladas da estrutura dos dados e então determinar o grau em que cada variável é explicada por cada dimensão ou fator.

Em termos de pré-requisitos, para aplicação da técnica de Análise Fatorial são necessárias algumas propriedades restritivas, como uma matriz de covariância que tenha uma estrutura específica de covariância e que apresente propriedades inerentes a grandes amostras e estabilidade, que possibilitem a construção de testes de hipóteses e intervalos de confiança.

Ainda existem outros requisitos que devem ser satisfeitos, tais como:

- presença de correlações superiores a 0,30, em módulo, para as variáveis que situam no mesmo fator;
- presença de baixas correlações parciais ou na matriz anti-imagem;
- teste de Esfericidade de *Barlett* significativo, o que significa que a matriz de correlações tem correlações significativas no mínimo em algumas das variáveis, e
- medida de adequação de dados ao modelo de *Kaiser-Meyer-Olkin*, *KMO*, acima de 0,500 para cada variável ou para matriz completa;

Neste trabalho foi utilizada a Análise Fatorial para identificar a estrutura de variação do período do dia; método de cálculo de potência; tipo de potências e das grandezas de influência: temperatura e umidade. O método utilizado foi o de Análise de Componentes Principais, com rotação ortogonal dos eixos via *Varimax*, onde o objetivo é encontrar uma rotação dos fatores que maximize a variância da matriz de pesos, simplificando assim a interpretação dos mesmos.

Esta análise é baseada em um modelo explícito, em que as variáveis são expressas como uma função linear de um número reduzido de fatores latentes. Na Análise de Componentes Principais deseja-se determinar uma transformação linear das variáveis originais, sendo elas correlacionadas entre si, resultando em novas variáveis chamadas componentes principais, que possuem as seguintes características:

- São descorrelacionadas;
- A variação total é igual à variação das variáveis originais;
- $\text{Var}(c_1) \geq \text{Var}(c_2) \geq \dots \geq \text{Var}(c_p)$, onde $\text{Var}(c_1)$ é a maior possível.

A principal aplicação da Análise de Componentes Principais é a redução de dimensionalidade através da eliminação dos componentes com menor variância. A variância de cada componente principal é igual ao autovalor que lhe corresponde. O primeiro componente é o de maior variância e os outros aparecem em ordem decrescente de variância.

As variáveis da base de dados são descritas pelo modelo:

$$\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu} = \mathbf{L}\mathbf{F} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (7)$$

onde:

\mathbf{X} é o vetor das variáveis;

$\boldsymbol{\mu}$ é o vetor do centróide;

\mathbf{L} é matriz de carga dos fatores;

\mathbf{F} é o vetor de fatores;

$\boldsymbol{\varepsilon}$ é o vetor de resíduos do modelo.

Para este modelo assume-se que:

$$E(\mathbf{F}) = \mathbf{0} \text{ e } Cov(\mathbf{F}) = \mathbf{I}$$

$$E(\boldsymbol{\varepsilon}) = \mathbf{0} \text{ e } Cov(\boldsymbol{\varepsilon}) = \boldsymbol{\Psi}, \text{ onde } \boldsymbol{\Psi} \text{ é uma matriz diagonal.}$$

\mathbf{F} e $\boldsymbol{\varepsilon}$ são independentes.

A variância de cada variável X_i pode ser dividida em duas parcelas: aquela devida a fatores comuns e aquela devido a fatores individuais, de acordo com o modelo que se segue,

$$Var(X_i) = s_{ii} = \lambda_{i1}^2 + \lambda_{i2}^2 + \dots + \lambda_{iq}^2 + \Psi_i \quad (8)$$

λ_{iq}^2 = Fatores individuais de cada variável

$\boldsymbol{\Psi}$ = é uma matriz diagonal.

A variância devido aos fatores comuns é denominada de comunalidade. A comunalidade total é dada por:

$$H = h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_p^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \lambda_{ij}^2 \quad (9)$$

h_p^2 = Comunalidade de cada fator do modelo.

Assim, a matriz de covariância de \mathbf{X} será a soma da matriz cheia $\mathbf{L}\mathbf{L}^T$ e da matriz diagonal $\boldsymbol{\Psi}$, isto é:

$$Cov(\mathbf{X}) = \boldsymbol{\Sigma} = \mathbf{L}\mathbf{L}^T + \boldsymbol{\Psi} \quad (10)$$

onde:

\mathbf{L}_{pxm} é a matriz de carga dos fatores, constituída dos coeficientes l_{ij} chamados de carga da i -ésima variável no j -ésimo fator.

$\boldsymbol{\Psi}_{p \times p}$ é a matriz de $Cov(\boldsymbol{\varepsilon}) = E[\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}^T]$, com

$$\boldsymbol{\Psi} = \begin{bmatrix} \Psi_1 & 0 \dots & 0 \\ 0 & \Psi_2 \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \dots & \Psi_p \end{bmatrix} \quad (11)$$

Logo, no modelo de Análise Fatorial, os fatores comuns são responsáveis pela estrutura de covariância, enquanto os fatores individuais só influenciam a diagonal da matriz de covariância de \mathbf{X} . Os fatores comuns são responsáveis pela estrutura de dependência entre as variáveis.

Um recurso para melhorar a interpretabilidade do \mathbf{L} é realizar uma rotação conjunta dos eixos. Utilizou-se o método de rotação ortogonal *Varimax*, o qual gera uma matriz \mathbf{G} dos fatores que maximizam a variância do quadrado das colunas de $\mathbf{L}^T = \mathbf{G}\mathbf{L}$.

Pode-se provar que as estimativas de máxima verossimilhança das comunalidades são:

$$\hat{h}_i^2 = \hat{l}_{i1}^2 + \hat{l}_{i2}^2 + \dots + \hat{l}_{im}^2 \quad \text{para } i=1,2,\dots,p. \quad (12)$$

\hat{l}_{im}^2 = Estimativas de cada fator na Comunalidade

Com a proporção da variância amostral total para o j -ésimo fator dada por:

$$\frac{\hat{l}_{i1}^2 + \hat{l}_{i2}^2 + \dots + \hat{l}_{im}^2}{s_{11} + s_{22} + \dots + s_{pp}} \quad (13)$$

s_{pp} = Variância amostral de cada fator

A proporção padronizada da variância amostral total para o j -ésimo fator é dada por:

$$\frac{\hat{l}_{i1}^2 + \hat{l}_{i2}^2 + \dots + \hat{l}_{im}^2}{p} \quad (14)$$

O algoritmo básico do *Varimax* define, para $j=1,\dots,m$ e $i=1,\dots,p$:

$$\tilde{l}_{ij}^* = \frac{\hat{l}_{ij}^*}{\hat{h}_i} \quad (15)$$

\hat{l}_{ij} = Estimativa individual dos fatores na comunalidade

\hat{h}_i = Estimativa total dos fatores na comunalidade

Como os coeficientes finais de rotação escalonados pela raiz quadrada da comunalidade. O procedimento utiliza uma transformação ortogonal que faz com que

$$V = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^p \tilde{l}_{ij}^{*4} - \left(\sum_{i=1}^p \tilde{l}_{ij}^{*2} \right)^2 / p \right] \quad (16)$$

seja a maior possível.

A Análise Fatorial é usada neste trabalho na avaliação da estrutura do processo de medição, mais especificamente na avaliação da variabilidade das medições de potência.

VII. RESULTADOS

Para avaliar o processo de medição foi conduzida a Análise Fatorial considerando todas as 720 medições nos períodos da manhã e tarde, com as seguintes variáveis padronizadas: Período; Método de Cálculo de Potência (*Budeanu; Fryse; Kuster e Moore; Shepherd & Zakikhani; Sharon/Czarnecki e IEEE*); Tipo de Potência (ativa, reativa e aparente), Temperatura (°C) e Umidade (%). Esta análise resultou em três fatores, apresentando 85,163% da variância total de todo processo.

O valor de *KMO* foi de aproximadamente 0,500 para a matriz completa e o teste de *Bartlett* apresentou-se significativo com valor para o χ^2 (qui-quadrado) com 10 graus de liberdade igual 1148,910, indicando ser apropriada a aplicação da técnica:

São apresentados na Tabela 2 os fatores conforme a ordem de extração considerando os autovalores maiores ou iguais à unidade, significando também a ordem de importância, ou seja, o primeiro fator, que representa as grandezas de influência e o período, é o que tem maior importância no processo de medição, uma vez que responde isoladamente a 44,724% da variância total.

TABELA 2
TOTAL DA VARIÂNCIA EXPLICADA

Fatores	Autovalores	% Variância	% Variância acumulada
1	2,236	44,724	44,724
2	1,022	20,439	65,163
3	1,000	20,000	85,163

O segundo fator representa o método de cálculo de potência correspondendo a 20,439% da variância total. Já 20,000% da variância total é representada pelo tipo de potência, o terceiro fator.

As comunalidades e os fatores são apresentados na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3
FATORES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA

Variável	Comunalidade	Fator		
		1	2	3
Período	0,916	0,953	-0,103	0,000
Método	0,953	0,007	0,974	0,000
Potência	1,000	0,000	0,000	1,000
Temperatura	0,773	0,877	0,007	0,000
Umidade	0,612	-0,698	-0,354	0,000

Quanto mais próximo de 1 for o valor da comunalidade, maior a influência que a variável possui no sistema de medição.

Nas figuras 4 e 5 observa-se que os métodos A e B (*Budeanu* e *Fryse*) para as medições de potência ativa e reativa possuem uma maior variabilidade nas medições pelo período da manhã, podendo ser este um indício da suscetibilidade desses métodos às grandezas de influência, sendo que estas podem interferir diretamente no processo de medição, alterando resultados na falta de um controle das variáveis de influência.

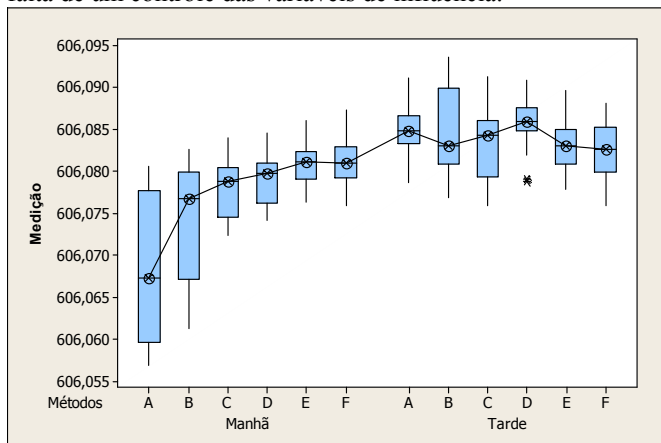


Fig. 4. Boxplot das medições por método para potência ativa

Em nível descritivo pode-se observar no boxplot da Figura (6), que a potência aparente apresentou um comportamento diferente das potências ativa e reativa, as quais tiveram grande variabilidade em suas medições nos períodos da manhã e da tarde. Percebe-se que as medições sofreram maior influência pela manhã, devido a baixa temperatura e a alta umidade logo no início desse período.

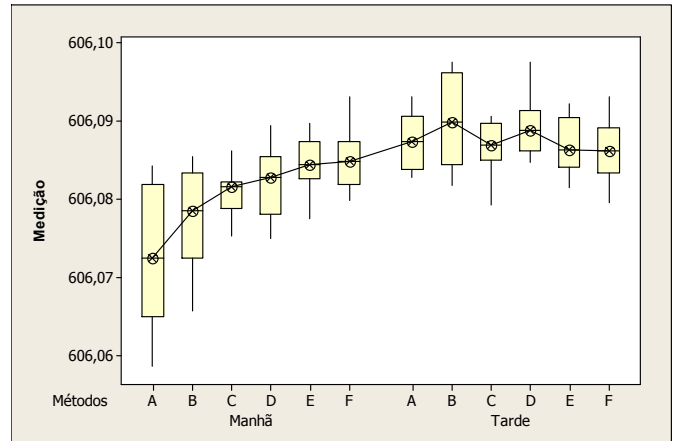


Fig. 5. Boxplot das medições por método para potência reativa

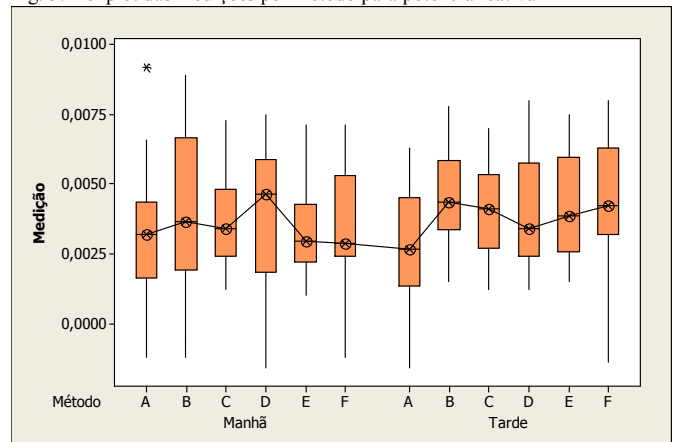


Fig. 6. Boxplot das medições por método para potência aparente

Também foi utilizado o Teste de Correlação de *Pearson*, para saber se há correlação entre o Método de Cálculo de Potência e o Tipo de Potência. Foram criadas as seguintes hipóteses com nível de 95% ($\alpha = 5\%$) de confiança:

H_0 : Há correlação entre as variáveis

H_1 : Não há correlação entre as variáveis

TABELA 4
MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE O PERÍODO DA MEDIÇÃO POR MÉTODO E TIPO DE POTÊNCIA

Método	Potência		
	P	Q	S
<i>Budeanu</i>	0,505	-0,181	0,736
	0,023	0,445	0,000
<i>Fryse</i>	0,553	-0,272	0,853
	0,011	0,247	0,000
<i>Kusters e Moore</i>	0,493	0,178	0,616
	0,027	0,452	0,004
<i>Shepherd & Zakikhani</i>	0,156	-0,385	-0,002
	0,510	0,094	0,992
<i>Sharon/ Czarnecki</i>	0,411	0,315	0,203
	0,072	0,177	0,390
<i>IEEE</i>	-0,688	0,031	-0,159
	0,001	0,897	0,504

*Correlação de *Pearson* primeira linha da tabela

*Probabilidade do teste bilateral 5%

Nos métodos *Budeanu* e *Fryse* observa-se que há correlação significativa entre as medições nos períodos manhã e tarde para a potência ativa e aparente.

No Método *Kuster e Moore* há correlação significativa somente entre as medições de potência aparente durante os períodos manhã e tarde.

Já no Método *IEEE* há correlação significativa apenas para as medições de potência ativa durante os períodos manhã e tarde.

A Tabela 5 apresenta o erro padrão da média ou a incerteza tipo A de cada método por período e tipo de potência:

TABELA 4
CÁLCULO DA INCERTEZA POR PERÍODO DE MEDIÇÃO,
MÉTODO E TIPO DE POTÊNCIA

Potência	Período	Métodos	Incerteza	Métodos	Incerteza		
P	Manhã	<i>Budeanu</i>	0,0021	<i>Fryse</i>	0,0016		
	Tarde		0,0006		0,001		
Q	Manhã		0,0005		0,0006		
	Tarde		0,0005		0,0004		
S	Manhã		0,002		0,0013		
	Tarde		0,0007		0,001		
P	Manhã		<i>Kuster e Moore</i>		0,0007	<i>Shepherd & Zakikhani</i>	0,0007
	Tarde				0,001		0,0007
Q	Manhã	0,0004		0,0005			
	Tarde	0,0003		0,0005			
S	Manhã	0,0006		0,0009			
	Tarde	0,0007		0,0007			
P	Manhã	<i>Sharon/ Czarniecki</i>		0,0005	<i>IEEE</i>		0,0007
	Tarde			0,0006			0,0008
Q	Manhã		0,0004	0,0005			
	Tarde		0,0004	0,0005			
S	Manhã		0,0007	0,0008			
	Tarde		0,0008	0,0008			

A menor incerteza tipo A para a potência ativa durante o período da manhã foi de 0,0005, verificada através do método *Sharon/ Czarniecki*; e para o período da tarde os métodos *Budeanu* e *Sharon/Czarniecki*, tiveram uma incerteza de 0,0006 para a medição.

No período da manhã, a menor incerteza de médias para a potência reativa foi 0,0004 para os métodos *Kuster e Moore* e *Sharon/Czarniecki*. No período da tarde essa incerteza foi 0,0003 para o método *Kuster e Moore*.

E para a potência aparente o método *Kuster e Moore* apresentou a menor incerteza, 0,0006, durante o período da manhã. Já os métodos *Budeanu*, *Kuster e Moore* e *Sherpherde e Zakikhani* tiveram 0,0007a menor incerteza durante o período da tarde.

VIII. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou as principais estruturas do sistema de medição de cálculo de potência por ondas não-senoidais pelos métodos de *Budeanu*, *Fryse*, *Kuster e Moore*, *Shepherd & Zakikhani*, *Sharon/Czarniecki* e *IEEE*, no Laboratório de Calibração de Grandezas Elétricas da Eletronorte.

Uma das contribuições deste trabalho foi mostrar experimentalmente a importância das grandezas de influência na potência pelos seis métodos, conforme previsto na ISO-17025 para qualquer sistema de medição.

A temperatura e a umidade tiveram diferentes variabilidades durante os períodos da manhã e tarde influenciando de forma diferenciada os seis métodos estudados, bem como os três tipos de potência.

A menor incerteza de medição foi obtida pelo método de *Kuster e Moore* utilizado no cálculo de potência reativa durante o período da tarde, seguida pela obtida para o cálculo da mesma potência pelos métodos de *Kuster e Moore* e *Sharon/ Czanecki* no período da manhã.

Ainda para a potência reativa os cálculos obtidos pelos métodos de *Kuster e Moore* e *Shepherd & Zakikhani*, bem como pelo método *IEEE* não apresentaram diferenças significativas nos períodos da manhã e tarde.

Nesta pesquisa não pode-se fazer uma generalização das incertezas, pois as diversas análises efetuadas mostraram que o modelo de erros não é linear, nem aditivo e os próprios fatores utilizados no cálculo dos três tipos de potência são correlacionados.

A obtenção de um modelo matemático para os componentes e combinação das incertezas permanece, portanto, uma questão aberta para pesquisas que demandam técnica de planejamento experimental, de análise multivariada e inteligência artificial, para o ajuste do modelo nada trivial.

IX. BIBLIOGRAFIAS

- [1] Maroto, A.; Riu, J.; Boqué, R. e Xavier, R. *Estimating uncertainties of analytical results using information from the validation process. Analytica Chimica Acta* 391, 1999, pp.173-185.
- [2] Short, T.A. *Harmonics and IEEE 519, Prepared for the Electric Council of New England*, 1992.
- [3] Soares, E.L. *Uma Investigação dos Consumidores Residenciais sob o Enfoque da Qualidade de Energia Elétrica*, UFU, Uberlândia, 1999.
- [4] Garcez, J.N. Apostila do curso "Qualidade de Energia", NESC/UFPA, Belém, 2000.
- [5] Fryze, S. *Wirk Blind und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusförmigem Verlauf von Strom und [N. L. Kusters and W. J. M. Moore, "On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions," IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 5, pp 1845-1854, Sept/Oct 1980.*
- [6] Santana, M.M. *Análise do Padrão Tecnológico do Setor Agropecuário goiano, Dissertação de Mestrado em Agronegócios/UFG, Goiânia, 2005.*