

Implementação de Algoritmos para os Cálculos das Novas Definições de Potência através do uso da Plataforma LabVIEW**Implementation of Algorithms for the Calculations of New Power Definitions through the use of LabVIEW Platform**

DOI:10.34115/basrv4n5-036

Recebimento dos originais: 04/09/2020

Aceitação para publicação: 30/10/2020

Ricardo de Carvalho Padilha

Mestrado em Engenharia Elétrica

Instituição: GE Renewable Energy

Endereço: Rua José Bonifácio Moreira, 1252, apto 62A, Bairro Jardim Paulista, Taubaté-SP, CEP: 12091-500

E-mail: ricardo.padilha.eng@gmail.com

Igor de Paula Cardoso

Mestre em Engenharia Elétrica

Instituição: NEOENERGIA

Endereço: Rua Dr. Arnaldo de Carvalho 708, apto 32A

E-mail: igor.igpc@gmail.com

Fernando Nunes Belchior

Doutor em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Faculdade de Ciências e Tecnologia - R. Mucuri, s/n - St. Conde dos Arcos, Aparecida de Goiânia - GO, 74968-755

E-mail: fnbelchior@ufg.br

Paulo Márcio da Silveira

Doutor em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal de Itajubá

Endereço: Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG, 37500-903

E-mail: pmsilveira@unifei.edu.br

Héctor Arango

Doutor em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal de Itajubá

Endereço: Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG, 37500-903

E-mail: harango@uol.com.br

RESUMO

Dentro da grande área de Sistemas Elétricos de Potência, o indicador Fator de Potência (FP) se torna de grande importância na medida em que consumidores industriais pagam multas quando este indicador fica abaixo de 0,92, de acordo com a norma vigente nº 414/2010 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Buscando meios para medir corretamente este indicador, existem esforços nacionais e internacionais voltados para a interpretação correta de situações reais compreendendo tensões e correntes elétricas com distorções harmônicas, assunto este de grande importância quando se tem uma

energia com perda de qualidade. Nesta situação real, percebe-se que o FP diminui, aumentando a possibilidade de cobranças de multas por parte das concessionárias de energia. Buscando aprimorar os conhecimentos neste sentido, este artigo apresenta um *software* na plataforma LabVIEW capaz de calcular e comparar as diferentes formulações internacionais relatadas na literatura.

Palavras-chave: Aquisição de Dados, cálculo do FP, LabVIEW, Matlab, novas definições de potência aparente.

ABSTRACT

Within the large area of Electrical Power Systems, the Power Factor (PF) indicator becomes of great importance as industrial consumers pay fines when this indicator falls below 0.92, according to the current rule No. 414/2010 of ANEEL (National Electrical Energy Agency). Seeking means to correctly measure this indicator, there are national and international efforts aimed at the correct interpretation of real situations comprising voltages and electric currents with harmonic distortions, a subject of great importance when one has an energy with loss of quality. In this real situation, it is perceived that the PF decreases, increasing the possibility of fines being collected by the energy concessionaires. Seeking to improve knowledge in this sense, this article presents a *software* in the LabVIEW platform capable of calculating and comparing the different international formulations reported in the literature.

Keywords: Data acquisition, PF calculation, LabVIEW, Matlab, new apparent power settings.

1 INTRODUÇÃO

Para os sistemas elétricos com tensões e correntes senoidais e equilibradas, os conceitos de potência ativa, potência reativa e potência aparente estão bem definidos e entendidos. Nesta situação, estes atendem a consumidores e concessionárias de forma satisfatória. Porém, com o crescimento do número de cargas não-lineares, que levam a distorções nas formas de ondas das correntes e das tensões, este cenário vem mudando paulatinamente [1]. Aliado à questão harmônica, o desequilíbrio tem também aumentado e a presença de grandes cargas elétricas monofásicas tem contribuído para este fato. Essa nova situação leva a uma maior ocupação do sistema elétrico e esta ocupação não tem sido refletida nas tarifas de energia elétrica.

Em geral, os consumidores são cobrados pela energia ativa consumida e/ou demandada e estão sujeitos às multas por baixo fator de potência. Há uma tendência de se expandir a tarifação de modo a contemplar o desequilíbrio e a distorção. Assim, há a necessidade, mas também a oportunidade da introdução de novas definições de potências, definições estas que devem permanecer válidas para as situações clássicas. Estas definições devem ter uma base comum para caracterizar e melhorar a QEE, ajudar na detecção das fontes prejudiciais e consolidar uma nova metodologia de tarifação. É preocupação das concessionárias, agentes e consumidores chegar a um consenso quanto à definição de potência aparente para, então, se definir uma nova estrutura tarifária que contemple esta definição. As concessionárias têm interesse de cobrar a utilização do sistema elétrico, os agentes devem regular tais

relações e os consumidores precisam saber se terão que utilizar métodos de compensação para atenuar os chamados distúrbios da QEE.

Em 1886, o Instituto Americano de Engenheiros Eletricistas (AIEE) contava com 400 membros [2]. Nesse ano, W. Stanley construiu a primeira linha de distribuição em corrente alternada. Os melhores e mais brilhantes engenheiros da época procuravam explicar o significado físico do defasamento angular entre a corrente e a tensão. Levou aproximadamente 15 anos para que os engenheiros daquela época comesçassem a entender que os circuitos alternados comportavam-se diferentemente dos circuitos de corrente contínua e a aceitarem os conceitos de potências aparente e reativa. Surgiu então a ideia do FP que ajudou a quantificar a utilização das redes elétricas. Os sistemas desequilibrados traziam dúvidas de qual a correta definição para a potência aparente e FP. Em 1927, C. I. Budeanu descreveu o primeiro modelo de potências em sistemas monofásicos com formas de ondas distorcidas. A disseminação da teoria de Budeanu levou a muitas pesquisas e confusões e à necessidade de uma teoria unificada que poderia explicar todas as condições possíveis em um circuito alternado. Esta resolução para a potência aparente foi incluída na primeira *American Standard Definitions of Electrical Terms*, em 1941. Esta definição permaneceu praticamente a mesma por anos e é encontrada na última edição do IEEE Std100 [3], em 1992. As definições utilizadas giravam em torno da potência aparente aritmética e a da potência aparente vetorial. Havia discussão sobre qual delas seria a mais adequada.

No âmbito do IEEE foi criado um grupo de estudos, que culminou na norma IEEE Std 1459-2000 [4], encabeçada pelo Prof. A. Emanuel, que foi escrita procurando dar subsídios aos estudiosos e fabricantes de equipamentos de medição, explorando novos conceitos de potências que serão apresentados no decorrer deste artigo. Este artigo destaca também o chamado método FBD, desenvolvido pelo Prof. M. Depenbrock [5]. Estas novas definições de potências baseiam-se na interpretação física de que a potência aparente é associada à máxima potência útil que pode ser entregue para uma carga [6].

Dentro deste contexto é que se insere este artigo, o qual faz uma comparação dos estudos realizados internacionalmente para os cálculos do fator de potência. Esta comparação é realizada através do *software* LabVIEW.

2 DEFINIÇÕES DE POTÊNCIAS

2.1 DEFINIÇÕES CLÁSSICAS DE POTÊNCIAS PARA SISTEMAS TRIFÁSICOS

Durante o decorrer dos anos foram estabelecidas diversas formulações de potência aparente para os sistemas trifásicos, tais como: potência aritmética (S_A), potência vetorial (S_V) e potência do sistema (S_S).

2.1.1 Potência aparente aritmética S_A

A potência trifásica aparente aritmética representa a soma linear das potências aparentes de cada fase, calculadas individualmente. Conforme Fig. 1, S_A pode ser expressa por:

$$S_A = |\dot{S}_a| + |\dot{S}_b| + |\dot{S}_c| = S_a + S_b + S_c \quad (1)$$

$$= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c$$

$$S_a = \sqrt{P_a^2 - Q_a^2 - D_a^2} \quad S_b = \sqrt{P_b^2 - Q_b^2 - D_b^2} \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 - Q_c^2 - D_c^2}$$

$$V_a^2 = \sum_h V_{ah}^2 \quad I_a^2 = \sum_h I_{ah}^2 \quad (3)$$

As potências ativa e reativa podem ser calculadas através de (4) e (5):

$$P_i = \sum_h V_{ih} I_{ih} \cos(\theta_{ih}) \quad (4)$$

$$Q_i = \sum_h V_{ih} I_{ih} \sin(\theta_{ih}) \quad (5)$$

A potência que contabiliza a distorção, normalmente denominada potência de distorção ou potência harmônica, é dada por (6) e (7):

$$D_i = \sqrt{S_i^2 - P_i^2 - Q_i^2} \quad (6)$$

$$P = P_a + P_b + P_c \quad Q = Q_a + Q_b + Q_c \quad (7)$$

$$D = D_a + D_b + D_c$$

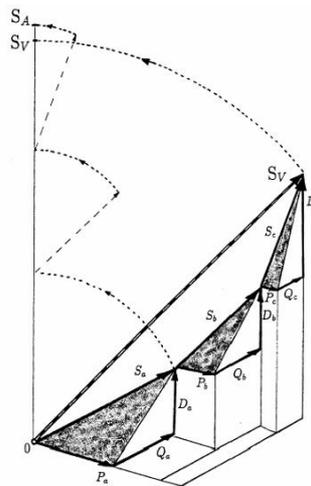
2.1.2 Potência aparente vetorial S_V

Como o próprio nome indica, tal potência é a soma vetorial das potências de cada fase. Tem-se em (8):

$$S_V = |\dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c| = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (8)$$

Pode-se observar, conforme apresentado na Fig. 1, que $S_V \leq S_A$.

Fig. 1 – Potência aparente vetorial e aritmética [4]



Todavia, ambas as definições mostradas não levam em consideração o desequilíbrio do sistema trifásico. Assim sendo, foi feita a proposta de uma potência aparente que contemplasse a possibilidade de desequilíbrio e/ou assimetria. Esta é tratada seguir.

2.1.3 Potência aparente do sistema S_S

Segundo Filipiski, a potência aparente do sistema S_S pode ser interpretada como uma quantidade definida arbitrariamente, onde sua formulação tem uma justificativa prática, podendo então, ser utilizada. A seguinte propriedade da potência aparente do sistema monofásico foi considerada a mais importante: “A potência aparente é numericamente igual à máxima potência ativa que existe em dados pontos de entrada, com o valor dado por corrente e tensão senoidal.” Para o sistema trifásico, a rede passa a ser vista como um único elemento, descrita em (9):

$$S_S = V_{rms3\phi} I_{rms3\phi} = \sqrt{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2} \sqrt{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2} \quad (9)$$

Tal potência considera mais um tipo de Potência não-Ativa, a de desequilíbrio (A). Esta potência é resultado do produto cruzado dos sinais de tensão e de corrente (fundamental e harmônicas) de fases diferentes.

A potência não-ativa de assimetria é dada por:

$$A_1 = \sqrt{\Lambda_1 + \Gamma_1 + \Psi_1 + \Theta_1} \quad (10)$$

Onde:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= V_{A1}^2 I_{B1}^2 + V_{A1}^2 I_{C1}^2 + V_{B1}^2 I_{A1}^2 + V_{B1}^2 I_{C1}^2 + V_{C1}^2 I_{A1}^2 + V_{C1}^2 I_{B1}^2 \\
 \Gamma_1 &= -2 * V_{A1} V_{B1} I_{A1} I_{B1} \cos(\gamma_{A1} - \gamma_{B1}) \\
 \Psi_1 &= -2 * V_{B1} V_{C1} I_{B1} I_{C1} \cos(\gamma_{B1} - \gamma_{C1}) \\
 \Theta_1 &= -2 * V_{C1} V_{A1} I_{C1} I_{A1} \cos(\gamma_{C1} - \gamma_{A1})
 \end{aligned}$$

Assim, a potência aparente do sistema pode ser também representada por (11):

$$S_s = \sqrt{\sum_k P_k^2 + \sum_k Q_k^2 + \sum_k D_k^2 + \sum_h A_h^2} \quad (11)$$

Dentre as várias proposições para cálculo da potência de distorção (D), a fórmula de Budeanu modificada tem sido bastante utilizada. Esta expressão é resultante do produto cruzado entre os harmônicos de tensão pelos de corrente de mesmas fases, conforme (12).

$$D = \sum_{k=A,B,C} \sqrt{\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=m+1}^{\infty} \left(\frac{V_{km}^2 I_{kn}^2 + V_{kn}^2 I_{km}^2 - 2 * V_{km} I_{kn} V_{kn} I_{km} \cos(\gamma_{km} - \gamma_{kn})}{2} \right)} \quad (12)$$

2.2 NOVAS DEFINIÇÕES DE POTÊNCIA

Nas últimas décadas foram apresentadas à comunidade científica duas novas propostas para a definição da potência aparente, contabilizando o desequilíbrio entre as fases e a distorção das formas de ondas e a corrente de neutro. Estes são: método americano (IEEE Std 1459-2000) e o método europeu (FBD), que serão analisados nos próximos itens.

2.2.1 Método Americano (IEEE Std 1459-2000)[5]

Método defendido pelo prof. A. Emanuel e apresentado à comunidade científica através da norma IEEE Std 1459-2000 (esta norma só é definitiva em 2010), apresenta a potência aparente como a máxima potência ativa que pode ser transmitida e fornecida para uma determinada carga sob certas condições. A norma parte da premissa de que o sistema elétrico trifásico tem seu melhor desempenho operando sob condições de equilíbrio, simetria e sem distorções.

Considerando inicialmente o caso de um sistema monofásico com uma carga absorvendo P, alimentada por uma tensão não-senoidal v , percorrida pela corrente i e causando perdas na linha $W = rI^2$, onde I é o valor rms da corrente. A potência aparente $S = P_{MAX} = VI$ é a máxima potência ativa a ser transmitida para uma carga fictícia, resistiva e linear $R_e = V/I$. Assim, pode-se concluir que a máxima transferência de potência é obtida quando a corrente i tem o valor rms I e forma de onda idêntica à forma de onda da tensão v . Esta ideia pode ser entendida da seguinte forma: Desde que a corrente não-senoidal

não leva à melhor utilização do condutor de alimentação, pode-se imaginar o sistema fictício para quantificar S , como o circuito onde a tensão e a corrente são senoidais e em fase.

Para um sistema a quatro fios, o balanço da potência de perdas é expresso por (13):

$$r(I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + \rho I_n^2) = 3rI_e^2 \quad (13)$$

A partir de equações prévias [4], tem-se a corrente equivalente para um circuito trifásico a quatro condutores, mostrada em (14).

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + \rho I_n^2}{3}} \quad (14)$$

Caso o valor da relação ρ seja desconhecido, é recomendado usar o valor $\rho=1$.

Para os sistemas trifásicos com três condutores, tem-se em (15) a corrente efetiva.

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{3}} \quad (15)$$

A tensão equivalente é obtida assumindo que os componentes ativos da carga consistem em um arranjo de três resistências equivalentes R_Y conectados em estrela, suprido por um sistema trifásico com quatro condutores e dissipação de potência ativa P_Y . O remanescente de carga ativa consiste de três conexões delta de resistências equivalentes, R_Δ , que dissipa a potência P_Δ . A potência equivalente entre o sistema real e o equivalente é expressa em (16):

$$\frac{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2}{R_Y} + \frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{R_\Delta} = 3 \frac{V_e^2}{R_Y} + \frac{9V_e^2}{R_\Delta} \quad (16)$$

Com a notação,

$$\xi = \frac{P_\Delta}{P_Y} = \frac{9V_e^2 R_Y}{R_\Delta 3V_e^2} = \frac{3R_Y}{R_\Delta} \quad (17)$$

Resultando,

$$V_e = \sqrt{\frac{3(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2) + \xi(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)}{9(1 + \xi)}} \quad (18)$$

Caso a relação ξ não for conhecida, é recomendado usar o valor $\xi = 1$. Desta forma, a expressão da tensão efetiva é a seguinte:

$$V_e = \sqrt{\frac{3(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2) + (V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)}{18}} \quad (19)$$

A potência aparente efetiva é, então, dada por (20):

$$S_e = 3V_e I_e \quad (20)$$

2.2.2 Método Europeu - FBD [5], [6]

Este método é válido para sistemas com N condutores e, basicamente, utiliza as leis de Kirchhoff e o conceito do “*virtual star point*”. Recebeu a sigla FBD (Fryze-Buchholz-Depenbrock) e passou a ser referenciado no mundo após sua publicação no IEEE em 1993.

Depenbrock desenvolveu seu trabalho tendo em mente que as correntes não-ativas não contribuem para a transferência de energia de um sistema, sendo relacionadas apenas com perdas e problemas de interferência eletromagnética. Assim, concluiu-se que as potências não-ativas são grandezas de importância secundária, uma vez que elas são derivadas das correntes não-ativas.

Essa definição parte da premissa de que existe um sistema ideal cuja potência aparente de uma carga, ou grupo de cargas (alimentadas por um alimentador comum) é máxima potência ativa que pode ser transmitida através deste circuito, mantendo-se a tensão na carga e as perdas no alimentador constantes.

As expressões de tensão efetiva e corrente efetiva para o cálculo da potência aparente são mostradas a seguir (21 e 22):

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_n^2}{3}} \quad (21)$$

$$V_e = \sqrt{\frac{(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2 + V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)}{12}} \quad (22)$$

Finalmente, para o cálculo da potência aparente efetiva, tem-se (23):

$$S_e = 3V_e I_e \quad (23)$$

3 INSTRUMENTO VIRTUAL PARA O CÁLCULO DOS DIFERENTES FATORES DE POTÊNCIA**3.1 SOFTWARE LABVIEW**

O *LabVIEW* (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) trata-se de uma plataforma de desenvolvimento em linguagem visual. Produzido pela *National Instruments*, o *software* se mostra bastante versátil em aplicação de monitoramento e atuação de diversos sistemas em uma vasta gama de setores.

Utilizando tal plataforma, a programação para o cálculo dos diferentes fatores de potência (FP) foi desenvolvido. Foram efetuados cálculos da potência aparente a partir das metodologias aqui discutidas. Ademais, como forma de ampliar a aplicação do *software* desenvolvido, uma vasta gama de grandezas elétricas trifásicas é simultaneamente calculada: Tensões e Correntes eficazes, Índice de Distorção Harmônica (DHT_v e DHT_i), Espectro Harmônico de tensões e correntes e índices de desequilíbrio de tensão e corrente (método das componentes simétricas).

Os sinais de tensão e corrente são gerados através de um simulador. Tal simulador permite o controle sobre a amplitude e o ângulo de fase de todos os componentes harmônicos de tensão e correntes trifásicos até a ordem 20. Desta forma, há uma flexibilidade para a verificação de resultados para diferentes sinais e padrões/características de desequilíbrio e distorção harmônica.

3.2 IMPORTÂNCIA DO SOFTWARE DESENVOLVIDO

A atual legislação para tarifação sobre limites de FP é pouco abrangente diante da disseminação do uso de equipamentos não-lineares por consumidores do grupo A. A norma vigente [9]-[10] define o FP como em (24):

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (24)$$

Ou seja, considera-se apenas o FP de deslocamento. Se um consumidor possuir um $FP < 0,92$, o limite permitido, pode acabar inserindo banco de capacitores em seu sistema. Porém, equipamentos como retificadores, por exemplo, causam distúrbios em forma de harmônicos que não são considerados em (24). Daí a importância de um medidor capaz de calcular as definições de potências mais abrangentes citadas.

3.3 SISTEMA SIMULADO

Os valores de tensão e corrente utilizados em simulação estão presentes em [7], [8] e correspondem às tensões aplicadas à carga e correntes de linha. Estes valores estão mostrados nas tabelas I e II.

TABELA I. VALORES DE PICO E FASE DE TENSÕES HARMÔNICAS

Harmônicos	Fase A		Fase B		Fase C	
	Valor RMS(V)	Fase (°)	Valor RMS (V)	Fase (°)	Valor RMS(V)	Fase (°)
1	120,0	0,0	100,0	-120	100,0	120
3	10,0	-285	8,0	-280	9,0	-290
5	6,0	-167	5,0	-286	4,0	-43,0

TABELA II. VALORES DE PICO E FASE DE CORRENTES HARMÔNICAS

Harmônicos	Fase A		Fase B		Fase C	
	Valor RMS (A)	Fase (°)	Valor RMS (A)	Fase (°)	Valor RMS (A)	Fase (°)
1	12,0	0,0	10,0	-120	10,0	120
3	6,0	-160	4,0	-175	5,0	-170
5	4,0	-218	2,0	-98	3,0	-338

Na Fig. 2 é mostrada a aba de entrada de dados de tensão na fase A. Para as fases B e C a estrutura se repete.

A Fig. 3 mostra a forma de onda correspondente aos valores de entrada e as componentes harmônicas de tensão e corrente em valores de amplitude.

As Figs 4 e 5 exibem as Potências Aritmética e Vetorial, as grandezas envolvidas em seus cálculos e seus respectivos FP.

A Fig. 6 é a aba de Potências Clássicas, ativa e as não-ativas e o FP do sistema que contém um LED que define se o caráter capacitivo ou indutivo, neste caso é capacitivo, (LED aceso).

Finalmente, nas Figs. 7 e 8 são mostradas as novas definições de potência, IEEE 1459 e FBD, com as grandezas envolvidas em seus cálculos, juntamente com seu FP.

Fig. 2 – Tensões eficazes a serem simuladas (fase A)

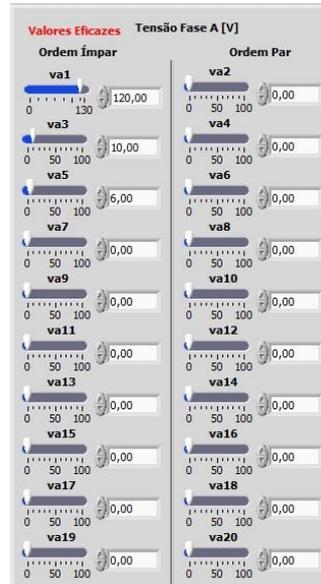


Fig. 3 – Formas de onda e componentes harmônicas de tensão e corrente (fase A)

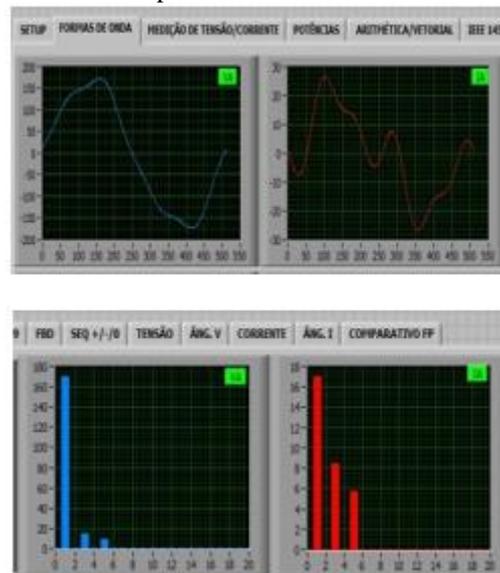
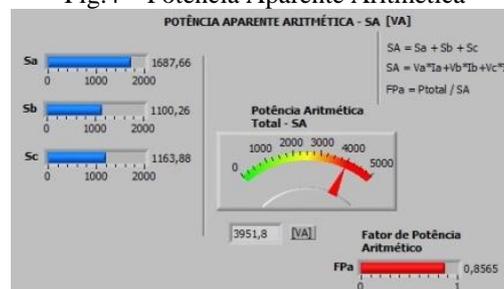


Fig.4 – Potência Aparente Aritmética



A maioria das saídas é apresentada combinando valores numéricos com graduações, deixando a leitura rápida e clara, além de representações gráficas de senóides e componentes harmônicas.

Fig.5 – Potência Aparente Vetorial

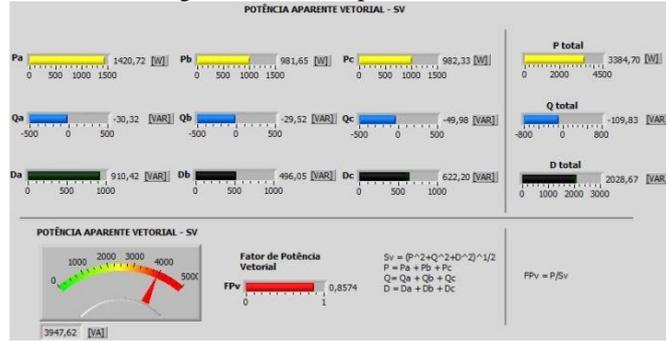


Fig.6 – Potência Aparente do Sistema e Potências Clássicas

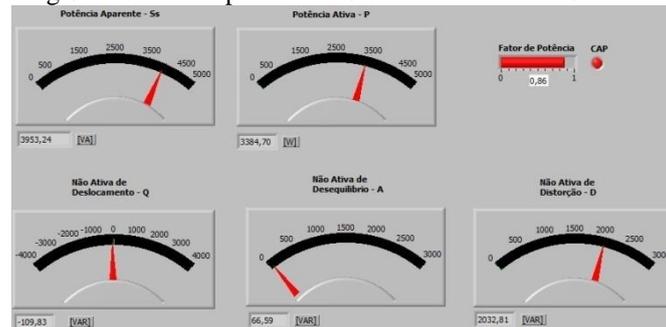
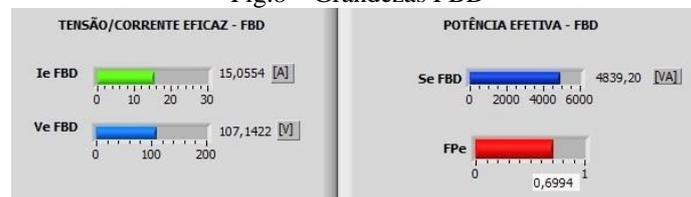


Fig.7 – Grandezas IEEE 1459



Fig.8 – Grandezas FBD



Comparando os FP encontrados, é possível perceber a discrepância entre os resultados dos FP do sistema (comumente utilizado) e o efetivo IEEE e FBD (proposições mais recentes) (Fig. 9). Enquanto o FP de deslocamento é 1 (situação ideal), as demais mostram uma condição bem abaixo do satisfatório,

justificando o grande enfoque de estudos a fim de tentar padronizar uma definição para a potência aparente.

Fig.9 – Comparativo entre FP



3.4 TESTE DE EFICÁCIA - COMPUTACIONAL

Utilizando-se como base o *software* desenvolvido na referência [7], [8], este por sua vez construído em plataforma MATLAB (*Matrix Laboratory*), realizou-se um teste de eficácia comparando seus resultados com os resultados do LabVIEW, especificamente para as Figs. 6 e 7. Em ambas as simulações, utilizaram-se os sinais de tensões e correntes das Tabelas I e II. Obteve-se, então, os resultados mostrados na Fig. 9. Em ambas as simulações, utilizaram-se $\rho = \xi = 1$.

Fig.10 – Potências Aparentes IEEE 1459 e FBD em MATLAB

```

*****
Resultados
*****
Corrente efetiva Ie 1459 :15.0477
Tensão efetiva Ve 1459 :107.2908
Potência aparente Se 1459:4843.4411
Potência aparente Se FBD :4836.8423

```

Os erros relativos, comparando os resultados do LabVIEW e Matlab estão mostrados na tabela III:

TABELA III. ERRO RELATIVO DA POTÊNCIA APARENTE ENTRE OS DOIS SOFTWARES

	Potência Aparente IEEE	Potência Aparente FBD
Erro Relativo (%)	0,0048	0,0049

Realizaram-se comparações apenas entre as potências aparentes IEEE e FBD, já que são as duas definições mais recentes e os principais focos deste artigo.

Tendo os resultados do *software* desenvolvido em [8] como comparativo, as respostas obtidas pelo programa em LabVIEW mostraram-se bastante satisfatórias por possuir um erro de aproximadamente 0,005%.

3.5 TESTE DE EFICÁCIA - EXPERIMENTAL

Foi desenvolvida, para o *software*, uma estrutura de entrada de dados por aquisição de sinais analógicos através de placas de aquisição de dados. Foram realizados ensaios experimentais, utilizando-se de uma fonte programável, capaz de gerar sinais exatamente como os das Tabelas I e II. Esses sinais foram levados até transdutores, que tem como entrada tensões e correntes e como saída apenas tensões proporcionalmente reduzidas com relação à entrada, condição essencial para uso de placas de aquisição de dados. A placa utilizada foi a NI USB-6212, que pode ser ligada diretamente a um PC, onde as informações foram devidamente processadas no *software* foco deste trabalho.

A Fig.11 compara os resultados obtidos nos dois métodos de entrada de dados.

Fig.11 – Comparação FP, sinais simulados x sinais aquisitados

FP DESLOCAMENTO	FP DESLOCAMENTO
1	1
FP	FP
0,856	0,858
FP ARITMÉTICO	FP ARITMÉTICO
0,857	0,858
FP VETORIAL	FP VETORIAL
0,858	0,859
FP EFETIVO IEEE 1459	FP EFETIVO IEEE 1459
0,699	0,702
FP EFETIVO FBD	FP EFETIVO FBD
0,7	0,703

Nota-se que os FP calculados nos dois casos são muito próximos, provando que sob leitura de sinais analógicos o *software* obteve ótimo resultado, algo muito importante já que como todo medidor de grandezas elétricas deve-se ter foco em sua aplicação no campo.

4 CONCLUSÕES

Desejou-se mostrar através deste artigo o instrumento virtual desenvolvido em LabVIEW capaz de calcular diversos tipos de FP e uma ampla quantidade de outras grandezas elétricas de forma simplificada, de fácil visualização e executando ainda um teste de eficácia.

Realizando um levantamento bibliográfico sobre as variadas definições de potência aparente, pôde-se vislumbrar o grande horizonte que o tema apresenta para discussões em seus cálculos e, conseqüentemente, nos de fatores de potência. Isso se deve, principalmente, ao interesse de um possível padrão no cálculo dessa potência aparente, que permita considerar todos os efeitos de distorção e desequilíbrio da maneira mais simples possível.

Através de sinais de tensões e correntes obtêm-se as potências aparentes aritmética, vetorial, do sistema, IEEE 1459 e FBD, permitindo comparar suas variações mediante as entradas com qualquer nível de desequilíbrio e distorção.

É válido destacar que as normas abordadas são discutíveis e ainda não aplicáveis ao sistema elétrico nacional.

AGRADECIMENTOS

Nosso reconhecimento e gratidão à FAPEMIG pela concessão dos recursos para o projeto de pesquisa e da bolsa de iniciação científica.

NOMENCLATURA

- V_a – Tensão fase-neutro Eficaz na fase a;
- V_{ab} – Tensão fase-fase Eficaz;
- I_a – Corrente Eficaz na fase a;
- I_n – Corrente Eficaz no neutro;
- S_a - Potência Aparente na fase a;
- P - Potência Ativa;
- Q - Potência Não-Ativa de Deslocamento;
- A - Potência Não-Ativa de Desequilíbrio;
- D - Potência Não-Ativa de Distorção;
- h – Ordem Harmônica;
- k – Número de fase do sistema elétrico;
- γ_m - Ângulo formado entre tensão e corrente da harmônica de ordem m ;
- γ_n - Ângulo formado entre a tensão e a corrente da harmônica de ordem n ;
- V_{ih} – Tensão Harmônica na fase i (a, b ou c);
- I_{ih} – Corrente Harmônica na fase i ;
- θ_{ih} – Ângulo entre V_{ih} e I_{ih} na fase i ;
- $V_{rms3\phi}$ – Tensão Trifásica Equivalente;

Brazilian Applied Science Review

$I_{rms3\phi}$ – Corrente Trifásica Equivalente;

r – Resistência da linha;

r_n – Resistência do condutor neutro;

ρ – r_n/r ;

V_e – Tensão de fase Efetiva ou Equivalente;

I_e – Corrente Efetiva ou Equivalente;

S_e – Potência Aparente Efetiva ou Equivalente

REFERÊNCIAS

- [1] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, J. Beaty, “Electrical Power Systems Quality”, 2nd. Ed., McGraw-Hill, 2003.
- [2] A. E. Emanuel, “Summary of IEEE 1459: Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 40, n°3, May/June, 2004.
- [3] IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms. ANSI/IEEE Std. 100-1992 (5th Edition). The Inst. Of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 1992, pp. 373, 758 and 996.
- [4] IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions, IEEE PES, Power System Instrumentation and Measurements Committee, Upgraded to Full-use, August 2002. Available: IEEE Std, 1459-2000.
- [5] M. Depenbrock, “The FBD-Method, A Generally Applicable Tool for Analyzing Power Relations,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, n° 2, pp. 381-387, May 1993.
- [6] J. L. Willems, J. A. Ghijselen, A. E. Emanuel, “The Apparent Power Concept and the IEEE Standard 1459-2000,” IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 20, N° 2, April 2005.
- [7] H. Arango, J. P. G. Abreu, P. M. Silveira, J. E. Almeida, Power Definitions for Frequency-dependent Link Resistances, 12th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP 2006), Cascais, Portugal, Vol (4) (2006).
- [8] J. E. Almeida, “Proposição de novas metodologias para avaliação das medições de energia elétrica frente a condições não-senoidais e de desequilíbrio”, Tese de Doutorado, Unifei, 2008.
- [9] Regulação Normativa n° 414/2010, ANEEL (<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>)
- [10] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8