



AVALIAÇÃO DE IMPACTOS HARMÔNICOS NA REDE ELÉTRICA ATRAVÉS DOS INDICADORES THD E FATOR DE POTÊNCIA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Benevaldo Pereira Gonçalves¹

Jorge Almeida Brito Junior²

Jandecy Cabral Leite³

Carlos Tavares da Costa Junior⁴

Maria Emilia de Lima Tostes⁵

RESUMO

Este artigo apresenta uma proposta de análise da qualidade de energia elétrica através do indicador THD (total de distorção harmônica) e do Fator de Potência em sistema trifásico de baixa tensão utilizando um sistema de inferência Fuzzy, tendo como resultado uma nova proposta para avaliação da qualidade de energia.

Palavras-chave: Qualidade de Energia, Harmônica, Indicador THD, Fator de Potência, Sistema de Inferência Fuzzy.

1 ITEGAM, R. 18 casa 58 – São José III, Manaus, CEP 69086-190, AM, (92) 3248-0720, benevaldo@gmail.com.

2 ITEGAM, R. D. da Costa 255 – D. Pedro, Manaus, CEP 69060-670, AM, (92) 3657-0430, jorgebritojr@gmail.com

3 ITEGAM, R. Via Láctea 17- Morada do Sol, Manaus - Amazonas, CEP 69060-085, AM, 3584-6145, jandecy.cabral@itegam.org.br

4 UFPA, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém, 66075-110, 91 3201-7000, cartav@ufpa.br

5 UFPA, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém, 66075-110, 91 3201-7000, tostes@ufpa.br



ABSTRACT

This paper presents an analysis of the quality of electricity through the indicator THD (Total Harmonic Distortion) and the Power Factor in a low voltage three-phase system using a fuzzy inference system resulting in a new proposal for the evaluation of power quality.

Keywords: Power Quality, Harmonic, Indicator THD, Power Factor, Fuzzy Inference System.

1. INTRODUÇÃO

O termo qualidade, de uma forma geral, é um item que tem sido almejado por todos os setores. Este conceito procura assegurar que o produto vai atender às necessidades do consumidor. A qualidade associada à energia elétrica é ainda mais importante, pois está presente nos mais diversos ambientes seja em residências ou na cadeia produtiva.

Conceitualmente a Qualidade de Energia está relacionada a um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico. O problema da qualidade de energia como: "Qualquer problema de energia manifestada na tensão, corrente ou nas variações de frequência que resulte em falha ou má operação de equipamentos de consumidores" [13]. Tais alterações podem ocorrer em várias partes do sistema de energia, seja nas instalações de consumidores ou no sistema supridor da concessionária.

Um critério utilizado para avaliar a qualidade de energia sob a ótica das distorções harmônicas é o indicador da Taxa de Distorção Harmônica (THD). Outro critério é o Fator de Potência (FP) utilizando extensivamente para mensurar a eficiência do uso da energia, ou seja, um alto fator de potência indica uma eficiência alta e um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética. No Brasil o padrão limite para o fator de potência é de no mínimo 0.92, logo um fator de potência menor que o limite estabelecido é taxado com multa pela concessionária.

O presente estudo tem como escopo formular uma análise referente à qualidade de energia elétrica em sistema trifásico de baixa tensão através da avaliação dos indicadores THD (total de distorção harmônico) e fator de potência utilizando um sistema de inferência Fuzzy que tem a finalidade



de trazer para a análise a visão do especialista baseada nas normas vigentes no mercado brasileiro.

Atualmente, os especialistas da área, para desenvolver o trabalho de análise da qualidade elétrica necessitam mensurar o sistema elétrico e depois tem-se a necessidade de consultar as normas regulamentadoras para poder formalizar uma análise da qualidade de energia. É exatamente sobre este último ponto que o referido trabalho propõe uma nova abordagem trazendo, para dentro da metodologia, a visão do especialista baseada nas normas regulamentadoras através de um sistema de inferência Fuzzy.

2. HARMÔNICO, FATOR DE POTÊNCIA E LÓGICA FUZZY

2.1. Harmônico

Os Harmônicos do sistema de potência são definidos como tensão e correntes senoidais em frequências, que são múltiplos inteiros da principal gerado (ou fundamental) de frequência [1]. A Figura 1 exemplifica a tensão normal da 5ª harmônica proveniente de um sinal distorcido.

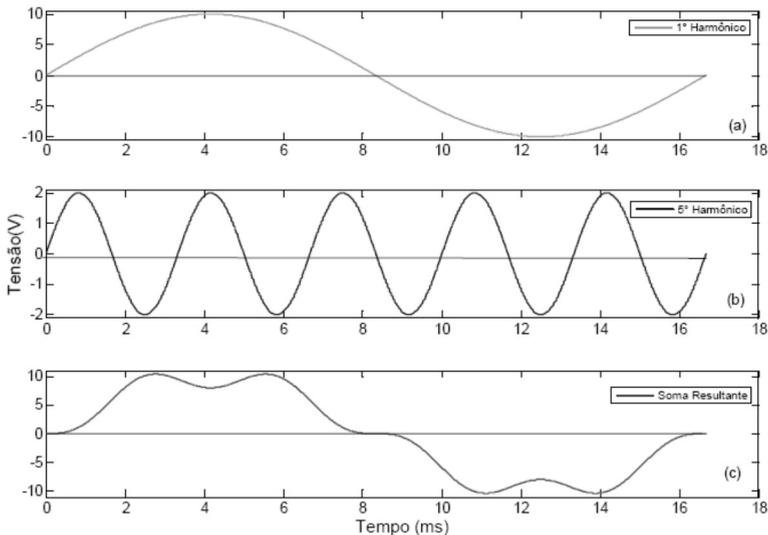


Figura 1 - Tensão normal adicionada da 5ª harmônica resultando o sinal distorcido.



2.1.1. *Impactos Harmônicos*

Os principais efeitos da tensão e harmônicas de corrente dentro do sistema de alimentação são [2], [3]:

- A possibilidade de ampliação dos níveis de harmônicas resultantes de série e em paralelas ressonâncias;
- Uma redução na eficiência de geração, transmissão e utilização da energia elétrica;
- O envelhecimento do isolamento dos componentes de instalações elétrico com conseqüente encurtamento de sua vida útil, e
- O mau funcionamento do sistema ou fábrica de componentes.

Entre os possíveis efeitos externos dos harmônicos são uma degradação na comunicação sistemas de desempenho, ruído audível excessivo e harmônica induzida por tensão e correntes [4].

2.2. Fator de Potência

Dentre as cargas existentes dentro da rede elétrica, uma parte consome energia reativa indutiva, tais como motores, geradores, transformadores e outros equipamentos. Essas unidades consumidoras utilizam dois tipos de potências, potência ativa e potência reativa.

A potência ativa medida em kWh é o que de fato gera trabalho e faz os motores e geradores funcionarem, a potência reativa medida em kVarh não realiza trabalho, no entanto é necessária para o funcionamento de motores e geradores através de campos magnéticos que circulam por esses elementos na rede, então essas duas formas de energia juntas resultam na potência aparente. [7]

A relação entre as potências descritas pode ser representada pelo triângulo de potências descrito na Figura 2.

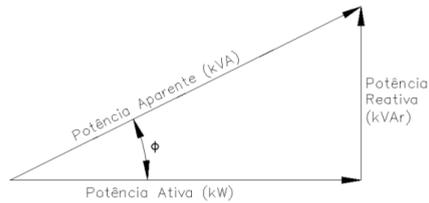


Figura 2 - Triângulo de potências.

O fator de potência pode ser expresso por:

$$FP = \frac{kW}{KVA} = \cos\phi = \cos\left(\arctg \frac{k\text{ var}}{kW}\right) \quad (1)$$

Por definição o fator de potência sempre está entre 0 e 1.

O fator de potência é utilizado como parâmetro de medição da defasagem entre tensão e corrente que circulam pela rede elétrica, que é determinado pelos tipos de cargas dentro da rede elétrica:

- Cargas Resistivas – Em uma rede com cargas resistivas a tensão e corrente estão em fase, com defasagem 0, logo o fator de potência é 1;
- Cargas Indutivas – A carga indutiva provoca um atraso na corrente, e isso ocorre devido aos campos magnéticos criados por enrolamentos de fios existentes em cargas indutivas, então em uma rede puramente indutiva o ângulo é de 90° , logo o fator de potência é igual a 0, e
- Cargas Capacitivas – A carga capacitiva provoca um atraso de tensão e ocorre devido aos campos elétricos criados pelos capacitores existentes nessas cargas, então em uma rede puramente capacitiva o ângulo é de 90° , logo o fator de potência é igual a 0.

Isso normalmente não acontece, o comum é uma rede elétrica mista de cargas. Uma carga pode ter características resistivas e indutivas e resistivas e capacitivas, nunca capacitiva e indutiva, dependendo do grau dessas misturas o ângulo de defasagem varia no range de 0° a 90° .



2.3. Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy ou nebulosa é uma das tecnologias atuais bem sucedidas para o desenvolvimento de sistemas para controlar processos sofisticados [7]. Com sua utilização, requerimentos complexos podem ser implementados em controladores simples, de fácil manutenção e baixo custo. O uso de sistemas construídos desta maneira, chamados de controladores nebulosos, é especialmente interessante quando o modelo matemático está sujeito a incertezas [18].

A teoria dos conjuntos fuzzy ou nebulosos foi desenvolvida a partir de 1965 com os trabalhos de Lotfi Zadeh, professor na Universidade da Califórnia em Berkeley [16]. Formalmente, um conjunto nebuloso A do universo Ω é definido por uma função de pertinência $\mu_A: \Omega \rightarrow [0,1]$. Essa função associa a cada elemento x de Ω o grau $\mu_A(x)$, com o qual x pertence ao conjunto fuzzy A [1]. A função de pertinência $\mu_A(x)$ indica o grau de compatibilidade entre x e o conceito expresso por A :

- $\mu_A(x) = 1$ indica que x é completamente compatível com A ;
- $\mu_A(x) = 0$ indica que x é completamente incompatível com A ;
- $0 < \mu_A(x) < 1$ indica que x é parcialmente compatível com A , com grau $\mu_A(x)$.

A inferência fuzzy tem sido aplicada com sucesso em domínios com controle automático de dados classificados, a análise de decisão, sistemas de peritos e visão computacional [8-10]. O método Mandani de Inferência fuzzy é o mais comumente visto através da metodologia fuzzy. O método Mandani foi um dos primeiros sistemas de controle construídos usando teoria de conjunto fuzzy [11] como uma tentativa de controlar a combinação de síntese de um conjunto de regras linguísticas com controles obtidos a partir de operadores com experiência humana. A técnica Mandani mede esforço baseado na teoria de Lotfi Zadeh através dos sistemas de algoritmos fuzzy complexos e processos na tomada de decisão [12]. A Figura 3 exemplifica a estrutura de um sistema de inferência Fuzzy.

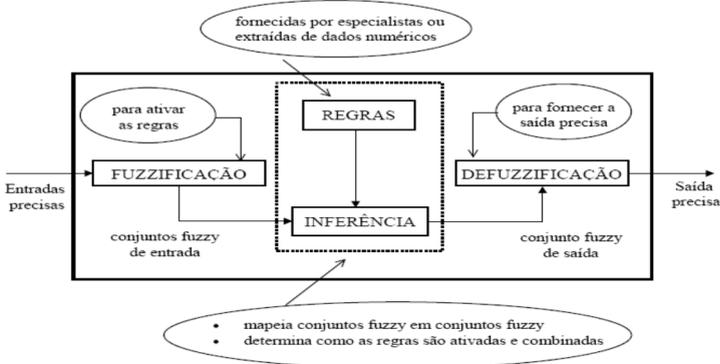


Figura 3 - Estrutura de um sistema de inferência Fuzzy.

3. ANÁLISE DO INDICADOR THD

Ao realizar a análise da qualidade de energia deve-se efetuar o processo de leitura da corrente e tensão no sistema elétrico desejado através de um equipamento de inferência devidamente calibrado e seguindo as normas do IEC 61000-4-7 e 61000-4-30. O respectivo equipamento deverá gerar um arquivo de saída com os valores para cada fase, da tensão, corrente, frequência, e principalmente os valores das componentes harmônicas da 2ª até a 50ª ordem de onde será calculado o THD de corrente e tensão.

Para iniciar a formulação dos critérios da análise, o primeiro passo é definir qual indicador representa de forma eficiente as distorções harmônicas. Para isso será utilizado o indicador THD (total de distorção harmônica) que traduz através de uma só grandeza a deformação da onda em tensão ou em corrente. [01]

A norma IEEE 519-1992 (Harmonic in Power System) estabelece limites para distorção harmônica de corrente e tensão em circuito de distribuição e transmissão para sistema de baixa tensão, determinando os valores aceitáveis do indicador THD. Este será tomado como referência para a análise dos limites indicado em [15]. Para cada leitura de tensão e corrente realizada em um determinado período, será gerada um conjunto de componentes harmônico da 2ª até a 50ª ordem para cada fase do sistema elétrico trifásico. Este conjunto com as componentes harmônicas será utilizado para calcular o THD de tensão e corrente respectivamente. Para realizar o cálculo do THD de cada leitura será utilizada a seguinte fórmula:



Para tensão:

$$\text{THD}_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} u_h^2}}{U_1} \quad (1)$$

Onde:

THD_u = representa o THD de tensão de uma leitura;

U₁ = harmônica de tensão fundamental;

U_h = harmônica de tensão de ordem n;

h = harmônica de tensão inicial de ordem 2;

Para corrente:

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2)$$

THD_i = representa o THD de corrente de uma leitura;

I₁ = harmônica de corrente fundamental;

I_h = harmônica de corrente de ordem n;

h = harmônica de corrente inicial de ordem 2;

Os elementos necessários para elaboração do sistema de inferência Fuzzy, conforme visualizado na Figura 3 são: processo de fuzzificação (variáveis de entrada), defuzzificação (variáveis de saída), mecanismo de inferência (mamdani). A seguir cada um desses elementos são comentados na estabelecer o sistema de inferência fuzzy proposto para o THD.

3.1. Modelagem do sistema de inferência Fuzzy para o indicador THD.

As variáveis de entrada utilizada no processo de fuzzificação do indicador THD estão descritas na Tabela 1.



Tabela 1 - Variáveis de entrada (THD)

Para tensão:	Para corrente:
Variável linguística: THD_U	Variável linguística: THD_I
Termo linguístico:	Termo linguístico:
Baixo: THD de tensão inferior a 5% - (NORMAL).	Baixo: THD de corrente inferior a 10% - (NORMAL).
Médio: THD de tensão entre 5 e 8% - (SIGNIFICATIVO).	Médio: THD de corrente entre 10 e 50% - (SIGNIFICATIVO).
Alto: THD de tensão acima de 8% - (CRÍTICO).	Alto: THD de corrente acima de 50% - (CRÍTICO).

Definição da variável de Saída

- Variável linguística: ANÁLISE
- Termo linguístico:
 - › N (normal): THD de tensão e corrente normais.
 - › IS&UN: THD de corrente significativo e THD de tensão normal.
 - › IC&UN: THD de corrente crítico e THD de tensão normal.
 - › IN&US: THD de corrente normal e THD de tensão significativo.
 - › S: THD de corrente e de tensão significativo.
 - › IC&US: THD de corrente crítico e THD de tensão significativo.
 - › IN&UC: THD de corrente normal e THD de tensão crítico.
 - › IS&UC: THD de corrente significativo e THD de tensão crítico.
 - › C: THD de corrente e de tensão crítico.

A Figura 4 representa o sistema de inferência fuzzy proposto onde: [THD_U] – representa a variável de entrada de tensão. [THD_I] - representa a variável de entrada de corrente. [ANÁLISE_THD] – representa o sistema de inferência mamdani. [ANÁLISE] – representa a variável de saída da análise.

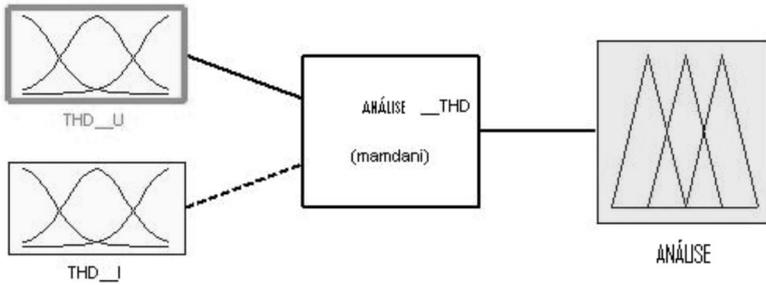


Figura 4 - Sistema de inferência Fuzzy proposto.

A Figura 5 representa a variável de entrada da tensão THD_U com os seguintes termos linguísticos [B] - representa o valor baixo (THD de tensão menor que 5%). [M] representa o valor médio (THD de tensão entre 5% e 8%). [A] – representa o valor alto (THD de tensão acima de 8%).

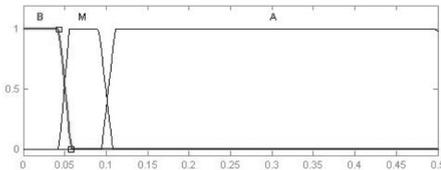


Figura 5 - Função característica da variável THD_U

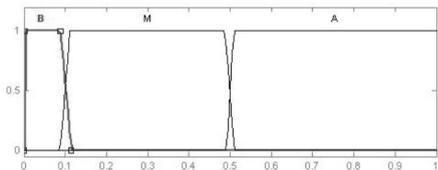


Figura 6 - Função característica da variável THD_I.

A Figura 6 representa a variável de entrada de corrente THD_I onde: [B] - representa o valor baixo (THD de corrente menor que 10%). [M] representa o valor médio (THD de corrente entre 10% e 50%). [A] – representa o valor alto (THD de corrente acima de 50%)

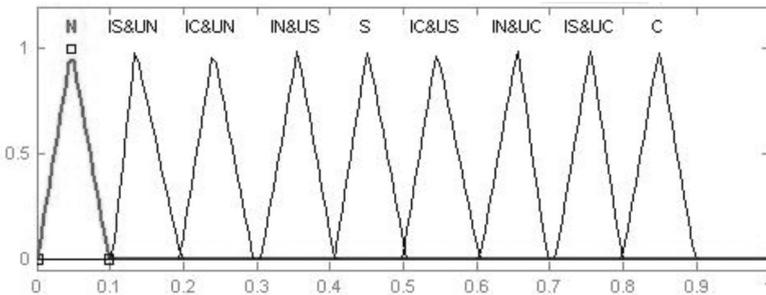


Figura 7: Função característica da variável de saída ANÁLISE.

A Figura 7 representa função característica da variável de saída ANÁLISE onde representa diferentes tipos de análise. A partir da variável



linguística de entrada descritas na Figura 4 obtém-se para o indicador THD as seguintes regras fuzzy:

Se THD_U é BAIXO E THD_I é BAIXO	Então ANÁLISE é N;
Se THD_U é BAIXO E THD_I é MÉDIO	Então ANÁLISE é IS&UN;
Se THD_U é BAIXO E THD_I é ALTO	Então ANÁLISE é IC&UN;
Se THD_U é MÉDIO E THD_I é BAIXO	Então ANÁLISE é IN&US;
Se THD_U é MÉDIO E THD_I é MÉDIO	Então ANÁLISE é S;
Se THD_U é MÉDIO E THD_I é ALTO	Então ANÁLISE é IC&US;
Se THD_U é ALTO E THD_I é BIXO	Então ANÁLISE é IN&UC;
Se THD_U é ALTO E THD_I é MÉDIO	Então ANÁLISE é IS&UC;
Se THD_U é ALTO E THD_I é ALTO	Então ANÁLISE é C;

3.2. Classificação do valor da variável de saída Análise

Baseado nas normas regulamentadoras descritas em [13] e utilizando as regras Fuzzy, os possíveis tipos de análise para o indicador THD são descritas abaixo:

Análise: Normal (N)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0 \leq \text{ANÁLISE} < 0,1$ }

Análise: THD de corrente significativo e THD de tensão normal - (IS&UN)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,1 \leq \text{ANÁLISE} < 0,2$ }

Análise: THD de corrente crítico e THD de tensão normal - (IC&UN)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,2 \leq \text{ANÁLISE} < 0,3$ }

Análise: THD de corrente normal e THD de tensão significativo - (IN&US)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,3 \leq \text{ANÁLISE} < 0,4$ }

Análise: THD de corrente e de tensão significativo - (S)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,4 \leq \text{ANÁLISE} < 0,5$ }



Análise: THD de corrente crítico e THD de tensão significativo – (IC&US)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,5 \leq \text{ANÁLISE} < 0,6$ }

Análise: THD de corrente normal e THD de tensão crítico – (IN&UC)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,6 \leq \text{ANÁLISE} < 0,7$ }

Análise: THD de corrente significativo e THD de tensão crítico – (IS&UC)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,7 \leq \text{ANÁLISE} < 0,8$ }

Análise: THD de corrente e de tensão crítico – (C)

{ANÁLISE | ANÁLISE é um número real tal que $0,8 \leq \text{ANÁLISE} < 0,9$ }

4. ANÁLISE DO INDICADOR FATOR DE POTÊNCIA

Os dados necessários para a análise são: o fator de potência, as distorções harmônicas de tensão e corrente e a hora em que foram feitas as medições. Os respectivos valores são mensurados pelo equipamento de leitura disponibilizado em arquivos. A Tabela 2 apresenta as variáveis linguísticas utilizadas no sistema de inferência para o indicador fator de potência e, o sistema de inferência proposto é apresentado na Figura 8.

Tabela 2 - Variáveis de entrada (fator de potência)

Para fator de potência capacitivo Variável linguística: FPC Termo linguístico: Ruim: $\text{FP} \leq 0,92$, Bom: $\text{FP} > 0,92$	Para THDV Variável linguística: THDV, figura 6 Termo linguístico: Ruim: $\text{THDV} > 5\%$, Bom: $\text{THDV} \leq 5\%$
Para fator de potência indutivo Variável linguística: FPL, figura 5 Termo linguístico: Ruim: $\text{FP} \leq 0,92$, Bom: $\text{FP} > 0,92$	Para THDI Variável linguística: THDI, figura 7 Termo linguístico: Ruim: $\text{THDI} > 10\%$, Bom: $\text{THDI} \leq 10\%$
Para horas Variável linguística: HORAS Termo linguístico: HC: $\text{HORAS} \leq 6$, HL: $\text{HORAS} > 6$	

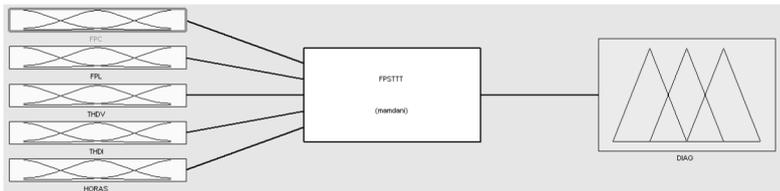


Figura 8 - Sistema de inferência fuzzy para avaliação do sistema de rede elétrica

A variável linguística na saída do sistema de inferência Fuzzy para o indicado fator de potência é denominada DIAG onde representando os diferentes tipos possíveis de diagnóstico para o fator de potência. A Figura 9 representa os termos linguísticos para esta variável descrita abaixo.

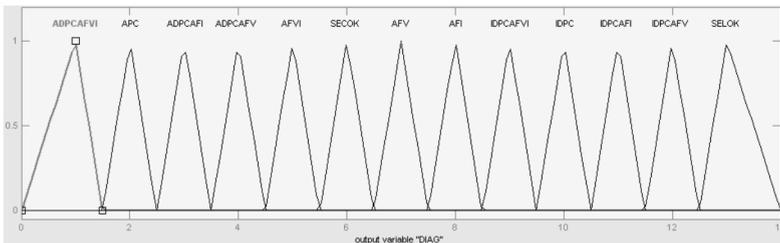


Figura 9 - Variável de saída DIAG

Variável linguística: DIAG

- Termo linguístico:
- ADPCAFVI - ajuste, dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência no espectro de tensão e corrente.
- APC - análise da potência capacitiva.
- ADPCAFI - ajuste, dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência espectro de corrente.
- ADPCAFV - ajuste, dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência espectro de tensão.
- AFVI - análise da frequência no espectro de tensão e corrente.
- SECOK - sistema elétrico ok para o fator de potência capacitivo.
- AFV - análise da frequência no espectro de tensão.



- AFI - análise da frequência no espectro de corrente.
- IDPCAFVI - instalação, dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência no espectro de tensão e corrente.
- IDPC - instalação e dimensionamento das potências capacitivas.
- IDPCAFI - instalação, dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência no espectro de corrente.
- IDPCAFV - instalação, dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência no espectro de tensão.
- SELOK - sistema elétrico ok para o fator de potência indutivo.

A partir da variável linguística de entrada descritas na Figura 8 obtém para o fator de potência as seguintes regras fuzzy:

Se FPC é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é ruim então saída é ADPCAFVI

Se FPC é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é bom então saída APC

Se FPC é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é bom então saída ADPCAFI

Se FPC é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é ruim então saída ADPCAFV

Se FPC é bom e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é ruim então saída AFVI

Se FPC é bom e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é bom então saída SECOK

Se FPC é bom e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é ruim então saída AFV

Se FPC é bom e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é bom então saída AFI

Se FPL é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é ruim então saída é IDPCAFVI



Se FPL é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é bom então saída IDPC

Se FPL é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é bom então saída IDPCAFI

Se FPL é ruim e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é ruim então saída IDPCAFV

Se FPL é bom e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é ruim então saída AFVI

Se FPL é bom e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é bom então saída SELOK

Se FPL é bom e HORAS é capacitiva e THDI é bom e THDV é ruim então saída AFV

Se FPL é bom e HORAS é capacitiva e THDI é ruim e THDV é bom então saída AFI

4.1. Classificação das variáveis de saída DIAG

Baseado nas normas regulamentadores e utilizando as regras Fuzzy, os possíveis tipos de diagnósticos para o indicador fator de potência são descritas abaixo:

DIAG: ADPCAFVI, é um número entre os valores 0 e 1.49.

DIAG: APC, é um número entre os valores 1.5 e 2.49.

DIAG: ADPCAFI, é um número entre os valores 2.5 e 3.49.

DIAG: ADPCAFV, é um número entre os valores 3.5 e 4.49.

DIAG: AFV, é um número entre os valores 4.5 e 5.49.

DIAG: SECOK, é um número entre os valores 5.5 e 6.49.

DIAG: AFV, é um número entre os valores 6.5 e 7.49.

DIAG: AFI, é um número entre os valores 7.5 e 8.49.

DIAG: IDPCAFVI, é um número entre os valores 8.5 e 9.49.



DIAG: IDPC, é um número entre os valores 9.5 e 10.49.

DIAG: IDPCAFI, é um número entre os valores 10.5 e 11.49.

DIAG: IDPCAFV, é um número entre os valores 11.5 e 12.49.

DIAG: SELOK, é um número entre os valores 12.5 e 14.

5. APLICAÇÃO

5.1. Análise do indicador THD

Para um período de leitura do sistema elétrico que gera um THD de tensão de 20% e THD de corrente e de 50% implica na seguinte análise: observe que a entrada no sistema de inferência fuzzy, descrito na Figura 10, as variáveis THD_U = 0,2 (20%) e THD_I = 0,5 (50%). Então o valor gerado para variável de saída ANÁLISE é 0,857. Dessa forma, o sistema Fuzzy proposto classifica a variável de saída ANÁLISE como: THD DA CORRENTE E TENSÃO CRÍTICO.

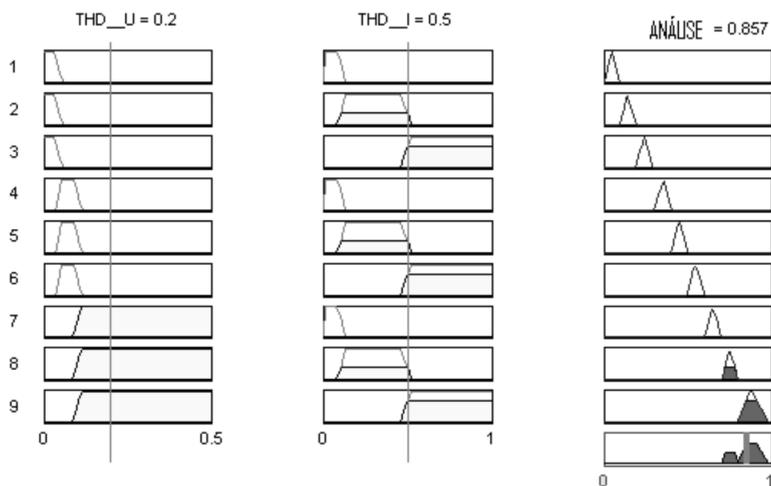


Figura 10 - Valor da variável ANÁLISE através da ativação das regras das variáveis de entrada THD_U e THD_I no sistema de inferência Fuzzy.

5.2. Análise do indicador Fator de Potência

Levando em consideração uma medição feita às 12h, na qual o sistema é avaliado apenas com relação ao fator de potência indutivo. Os valo-



res utilizados foram: $f_{pl} = 0.82$, $thdv = 0.2$, $thdi = 0.5$. Na variável de entrada f_{pc} o valor é considerado 1, pois num sistema só existe 1 caso, ou seja, se existe fator de potência indutivo, não existe fator de potência capacitivo. Com base nesses dados de entrada, visualizado na Figura 11, tem-se uma saída $diag = 8,96$, que no sistema fuzzy de avaliação quer dizer que "IDPCA-FVI - instalação dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência no espectro de tensão e corrente".

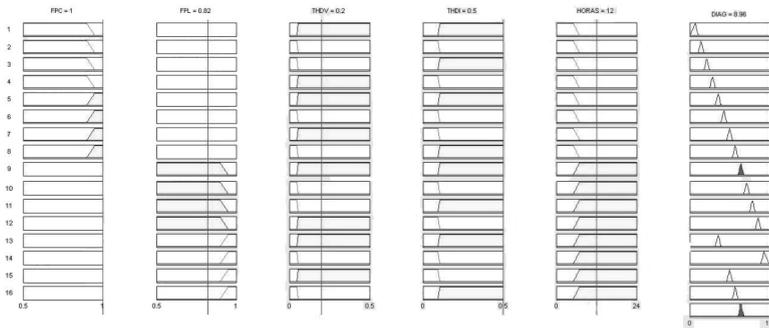


Figura 11 - Valor da variável DIAG através da ativação das regras das variáveis de entrada no sistema de inferência Fuzzy do fator de potência.

5.2. Resultado

Fazendo a análise final levando em conta os indicadores THD e o Fator de Potência a partir dos seus respectivos sistema de inferência Fuzzy temos: Com relação ao THD: corrente e tensão críticos, conseqüentemente disfuncionamento são possíveis; uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação são necessárias. Com relação ao fator de potência: instalação dimensionamento das potências capacitivas e análise da frequência no espectro de tensão e corrente.

6. CONCLUSÃO

O referido estudo apresenta uma proposta de análise da qualidade de energia elétrica sob a ótica das distorções harmônica em sistema trifásico de baixa tensão através da avaliação do indicador THD (total de distorções harmônicas) e do fator de potência com a utilização de um sistema de inferência fuzzy que agrega a visão do especialista baseada nas normas vigentes. A vantagem do sistema proposto tanto para a análise do THD como



para o diagnóstico do fator de potência é agregar o conhecimento do especialista evitando o uso recorrente das normas regulamentadoras por parte do usuário formalizar uma análise sobre a qualidade de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ARRILLAGA, and WATSON, N.R. Power Systems Harmonics, 2a. Ed. John Wiley & Sons, Ltd U.S.A.2003.

[2] IEEE/ANSI C57.110-1998, IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents. IEEE, New York.

[3] CCITT Directives Concerning the Protection of Telecommunication Lines against Harmful Effects from Electricity Lines, International Telecommunications Union, Geneva, 1963.

[4] IEEE 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (ANSI). IEEE, New York.1992.

[5] DUBOIS, D and H. Prade, Fuzzy and Sets Systems: Theory and applications. Academic Press, New York, 1980.

[6] RUSS, Eberhart, SIMPSON,Pat, OBBINS, Roy. Computational Intelligence PC tools, London: ed. AP Professional, 1996.

[7] KLIR, George, CLAIR, Ute H. St., YUAN, Bo. Fuzzy Set Theory – Foundations and Applications, Estados Unidos: ed. Prentice Hall, 1997.

[8] MUKAIDONO, Masao. Fuzzy Logic for beginners, Singapore: ed. World Scientific, 2001.

[9] JANG, J.S. and C. T. SUN. Neuro-fuzzy modeling and control, Proceedings of the IEEE, March, 1995.

[10] MANDANI, E. H. and S. ASSILIAN. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies. Vol 7 n° 1, pp. 1-13, 1975.

[11] SUGENO, M. Industrial applications of fuzzy. Elsevier Science Rub. Co., 1985.

[12] ZADEH, L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex syste-



ms and decision processes. IEEE transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol 3. nº 1, pp. 28-44, Jan, 1973.

[13] OLIVEIRA, C. G. et al. Estudo de caso de eficiência energética e qualidade de energia elétrica. 6p. Anais do VIII Induscon Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Poços de Caldas/MG, 2008.

[14] L. A. Zadeh. Fuzzy Sets, Information and Control, 8:338 – 353, 1965.

[15] SCHNEIDER (2005). Workshop Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Qualidade de Energia – Harmônicas. Apostila da Schneider Electric e Procobre, download disponível em www.schneider.com.br

[16] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Fuzzy Sets, Information and Control, 8:338 – 353., 1965.

[17] Fuzzy Open-Loop Attitude Control for the FAST Spacecraft, San Diego - CA, Julho 1996. Proc. of the NASA AIAA, Guidance, Navigation and Control Conference.

[18] G. J. Klir and T. A. Folger. Fuzzy Sets, Uncertainty, and Informations. Prentice Hall, Englewood Cliffs - New Jersey, 1988.

[19] Weg, Manual para correção do fator de potência, <http://www.weg.net> (Consultado em junho de 2010).