17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA
50 ANIVERSARIO cujae

# Naive Bayes aplicados en el análisis de impactos armónicos en los sistemas eléctricos industriales

Waterloo Ferreira da Silva, Rildo de Mendonça Nogueira, Edson Farias de Oliveira
Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE. Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém - PA, Brasil
waterloof@gmail.com

Ádamo L. Santana, Maria Emília de Lima Tostes, Thiago Mota Soares
Instituto de Tecnologia – ITEC. Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém – PA, Brasil
adamo@ufpa.br

**RESUMEN**

En el trabajo se presenta un análisis de los impactos de las corrientes armónicas en la red eléctrica de una industria del Polo Industrial de Manaus (PIM) durante el proceso de fabricación de productos electrónicos, con su principal fuente de carga no lineal de sus productos: tabletas, ordenadores portátiles y ordenadores personales. Los materiales y métodos fueron tratados con los datos recolectados por analizadores de calidad de la energía colocados en el suministro de 13,8 KV y que significa un parámetro de carga de 800KVA del proceso de instalación, las mediciones fueron realizadas en las tomas de fabricación. El objetivo de este artículo es presentar un análisis utilizando la técnica de prospección de datos (data mining) utilizando redes Bayesianas (Naive Bayes) para determinar y cuantificar la distorsión armónica en las líneas de producción de este tipo de industria, realizando mediciones simultáneas de tensiones y corrientes que evalúa los impactos de cada proceso en la distorsión armónica total de la industria en el punto de acoplamiento común (PAC) con la compañía eléctrica.
**Palabras clave**: Naive Bayes, armónicos, prospección de datos, sistemas de potencia.

**ABSTRACT**

This paper discussed the analysis of harmonic current impacts on the power grid of an industry in the Manaus industrial zone, during the process of manufacture of electronics products, with its main source of non-linear load being: tablets, laptops and personal computers. All data were collected using power quality analyzers placed at the supply from the 13,8KV and mean load parameter of 800KVA from the manufacturing process of the facility where the measures were taken. The main objective of this paper is to present an analysis using data mining technique using bayesian networks (naive Bayes), to determine and quantify the harmonic distortion in the production lines of this type of industry, using simultaneous measurements of voltages and currents which evaluates how well each process impacts the total harmonic distortion of the industry at the point of common coupling (PAC) with the dealership energy.
**Keywords:** Naïve Bayes, Harmonics, Data Mining, Power Systems.

## I. INTRODUÇÃO

As formas de energia existente atualmente representam uma alavanca para o desenvolvimento dos países impactando de forma direta na sociedade em todos os seus aspectos. Uma dessas formas é a energia elétrica que impulsiona diversos seguimentos seja para consumo ou para produção[1].

A disponibilidade da energia elétrica representa um incremento na qualidade de vida das populações. Num primeiro momento em que se implanta um sistema de distribuição de energia elétrica, a população local imediatamente passa a constar com inúmeros benefícios, seja no conforto, criação de novos postos de trabalho e conseqüentemente no processo de desenvolvimento global.

Essa necessidade levou ao desenvolvimento da eletrônica de potência, então novas tecnologias envolvendo materiais semicondutores de características não-lineares passaram a ser empregadas para o alcance das soluções nas indústrias. Com isso os problemas com harmônicos vieram a ser acentuados [2].

Os harmônicos do sistema de potência são definidos como tensão e correntes senoidais em freqüências que são múltiplos inteiros da principal gerado (ou fundamental) de frequência [3].

Vale ressaltar que a estrita observância dos limites recomendados pelas normas não necessariamente eliminam os problemas, particularmente quando os sistemas estão operando perto dos limites.

Em geral este comportamento não linear pode ser observado pela não conformidade da forma de onde de corrente quando relacionada com a forma de onda de alimentação da carga [4] [5].

Existem várias normas e recomendações de diversas organizações mundiais sobre os limites de harmônicas em sistemas elétricos. Todas estas recomendações são desenvolvidas com o auxílio de diversos fabricantes de equipamentos, concessionárias de energias e instituições de pesquisa. O IEEE Std. 519-1992 como práticas recomendadas e requisitos para controle de harmônicas em sistemas elétricos de potência, propõe um compartilhamento de responsabilidades para a manutenção das harmônicas no PAC (Ponto de Acoplamento Comum), onde os consumidores devem garantir que as correntes harmônicas estejam limitadas e as concessionárias, por sua vez, garantam os limites das distorções harmônicas de tensão [6].

A IEC-61000-2-2 limita distorções harmônicas de tensão para consumidores com tensão de alimentação entre 240V e 450v para sistema trifásicos ou monofásicos que estejam operando com frequência nominal de 50Hz ou 60Hz [7].

A norma IEC 61000-4-7 especifica as diretrizes necessárias para o projeto e construção de medidores de distorção harmônica. De acordo com essa norma, os medidores de THD são basicamente compostos por: circuitos de entrada com filtros anti-aliasing, conversores A/D, unidade de sincronização e um processador de transformada discreta de Fourier responsável por fornecer os coeficientes de Fourier. No aspecto metrológico, a IEC 61000-4-7 define duas classes de exatidão para medidores de THD. A classe **I** é utilizada quando são necessárias medições com elevado grau de precisão de exatidão. Os instrumentos de classe II são recomendados para aplicações mais gerais [8].

A norma IEC 61000-4-30, publicada em 2003, que objetiva botar um ponto final nas indefinições em relação a como se medem os parâmetros de qualidade, conhecidos também como protocolos de medição [9].

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desenvolveu os Procedimentos de Distribuição de Energia (PRODIST) [10]. A atual revisão do PRODIST entrou em vigência em primeiro de janeiro de 2010. Dentre os principais objetivos do PRODIST encontra-se o de garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade. O Módulo 8 do PRODIST regula a qualidade da energia em redes de distribuição.

No âmbito da injeção dos harmônicos na rede elétrica, o PRODIST define os limites apresentados nas Tabelas I e II.

TABELA I - VALORES GLOBAIS DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS TOTAIS

| **Tensão Nominal do Barramento** | **Distorção Harmônica Total de Tensão (%)** |
|---|---|
| $Vn \leq 1$ kV | 10 |
| 1 kV < $Vn \leq 13{,}8$ kV | 8 |
| 13,8 kV < $Vn \leq 69$ kV | 6 |
| 69 kV < $Vn \leq 230$ kV | 3 |

TABELA II - NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA DISTORÇÕES HARMÔNICAS INDIVIDUAIS DE TENSÃO

| **Ordem Harmônica** | | **Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Vn ≤ 1 kV** | **1 kV < Vn ≤ 13,8k V** | **13,8 kV < Vn ≤ 69 kV** | **69 kV < Vn ≤ 230 Kv** |
| **Ímpares não múltiplos de 3** | 5 | 7,5 | 6 | 4,5 | 2,5 |
| | 7 | 6,5 | 5 | 4 | 2 |
| | 11 | 4,5 | 3,5 | 3 | 1,5 |
| | 13 | 4 | 3 | 2,5 | 1,5 |
| | 17 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 |
| | 19 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1 |
| | 23 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1 |
| | 25 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1 |
| | > 25 | 1,5 | 1 | 1 | 0,5 |
| **Ímpares múltiplos de 3** | 3 | 6,5 | 5 | 4 | 2 |
| | 9 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1 |
| | 15 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 21 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | > 21 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| **Pares** | 2 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 |
| | 4 | 1,5 | 1 | 1 | 0,5 |
| | 6 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 8 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 12 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | > 12 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Apesar da legislação vigente não penalizar as indústrias pela geração de correntes harmônicas no sistema de energia, já há sinalização de que em breve a ANEEL divulgará nova legislação para avaliar os impactos oriundos das indústrias, conforme citação da nota técnica 0083/2012-SRD/ANEEL [11] onde a mesma faz referência a norma australiana que impõe valores de referência para a distorção harmônica da tensão (a serem observados pela distribuidora) e outros à corrente harmônica de equipamentos conectados na rede (a serem observados pelo consumidor).

Os efeitos das distorções harmônicas incluem: o aumento dos valores de pico de tensão (pode levar o sistema de isolamento à ruptura); o aumento dos valores de eficaz (RMS) ( leva a aumentar as perdas de potência) e o aumento da tensão e corrente de espectro de frequência (vibrações adicionais e desgaste mecânico) [12][13]. Devido a circulação de correntes harmónicas produz aquecimento adicional em fios de alimentação, alternadores e motores, transformadores, portanto, causa avarias no sistema de correção do fator de potência. Além disso, problemas inesperados em dispositivos de proteção, operação errada em equipamentos eletrônicos sensíveis (computadores, equipamentos de comando e controle, etc.) e erros nos valores dos equipamentos de medição (por exemplo, balanças industriais eletrônicas, dosímetros eletrônicos, etc.) pode ocorrer [13].

Tendo como objetivo avaliar o impacto das harmônicas em uma fábrica de eletrônicos no PIM e permitir a antecipação com relação à próxima legislação a entrar em vigor, foram definidas em conjunto com a indústria e os pesquisadores a metodologia a ser aplicada no referido trabalho: Instalou-se 5 medidores de qualidade de energia durante 7 dias em diferentes circuitos na indústria, a coletar dos dados, conversão de dados, aplicar técnicas estatísticas de mineração de dados e avaliar os resultados.

Portanto, o artigo apresenta a análise dos dados através técnica de redes bayesianas mais especificamente com o Naive Bayes para identificar o impacto das componentes harmônicas individuais de corrente das cargas não lineares provenientes de equipamentos eletrônicos no THDv da tensão de entrada de uma indústria no PIM.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A mineração de dados é uma parte integral da "descoberta do conhecimento em base de dados" (KDD – *Knowledge Dicovery in Database*), que é o processo geral de versão de dados brutos em informações uteis, conforme mostrado na fig. A. Este processo consiste de uma série de passos de transformação, do pré-processamento dos dados até o pós-processamento dos resultados da mineração de dados [17].

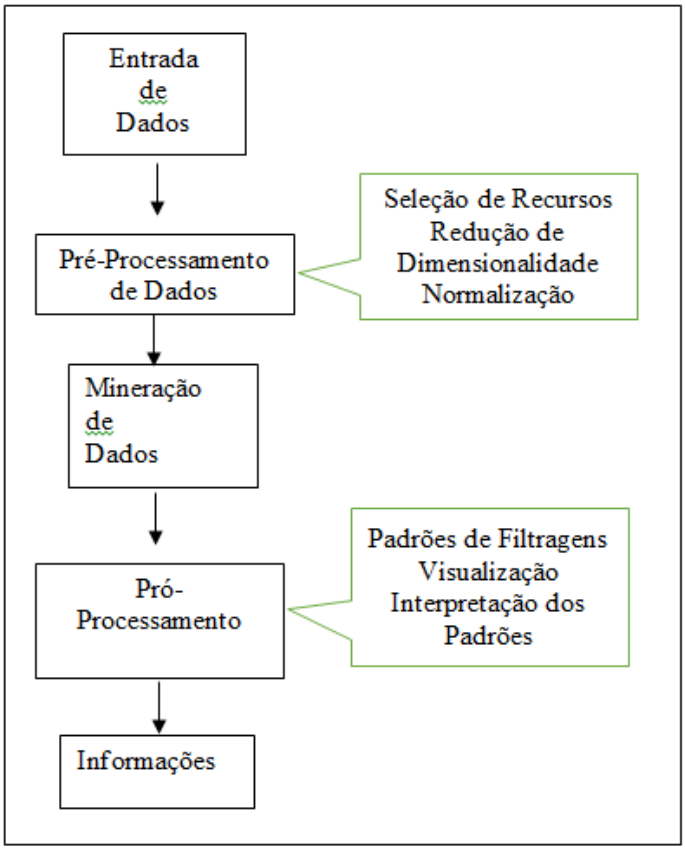


Figura 1. O processo de descoberta de conhecimento em banco de dados (KDD).

Esta foi à metodologia escolhida para a execução da pesquisa.

Os dados de entrada podem ser armazenados em uma diversidade de formatos (arquivos simples, planilhas ou tabelas relacionas) e podem ficar em um repositório central de dados ou serem distribuídos em múltiplos locais [17].

Escolheu-se armazenar os dados em tabelas relacionadas de um banco de dados.

O propósito de pré-processamento é transformar os dados de entrada brutos em um formato apropriado para a análises subsequente [17]. Nesta fase uso-se a ferramenta Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) [15], que dispõe de uma coleção de algoritmos de aprendizagem de máquina para resolução de problemas de Data Mining, efetuou-se discretização não supervisionada por frequência dos dados.

As Tarefas de mineração de dados são geralmente divididas em duas categorias principais:

Tarefa de Previsão – O objetivo destas tarefas é prever o valor de um determinado atributo baseado nos valores de outros atributos. O atributo a ser previsto é comumente conhecido com a variável dependente ou alvo, enquanto que os atributos usados para fazer a previsão são conhecidos como as variáveis independentes ou explicativas [17].

Tarefa Descritiva – Aqui o objetivo é derivar padrões (correlações, tendências, grupos, trajetórias e anomalias) que resumas os relacionamentos subjacentes nos dados. As tarefas descritivas da mineração de dados

são muitas vezes exploratórias em sua natureza e frequentemente requerem técnicas de pós-processamento para validar e explicar os resultados [17].

A técnica escolhida para realizar a análise foi o classificador de Bayes Simples ou Naive Bayes. O Teorema de Bayes: Para chegarmos ao teorema de Bayes, partimos do princípio básico. Assim, a probabilidade de que observemos simultaneamente um evento A em um evento B é dado por:

$$P(A \cap B) = P(A/B) * P(B) \quad (1)$$

Por outo lado, a probabilidade de que observemos simultaneamente um evento A e um evento B também pode ser dada por:

$$P(B \cap A) = P(A\ B) = P(B/A) * P(A) \quad (2)$$

Combinando (1) e (2), temos:

$$P(A/B) * P(B) = P(B/A) * P(A) \quad (3)$$

Rearranjando, chegamos ao teorema de Bayes,

$$P\left(\frac{A}{B}\right) = \frac{P\left(\frac{B}{A}\right) * P(A)}{P(B)} \quad (4)$$

Redes de Bayes são ferramentas poderosas para decisão e raciocínio sob incerteza. Uma forma muito simples de Bayes redes é chamado de classificadores Naive Bayesianos [21,18,19,20] dedicada à tarefa de classificação. Essas redes são compostos por grafos acíclicos direcionado com uma estrutura única, tem um nó raiz (chamado pai), o que representa o nó de classe, e vários filhos, o que corresponde a atribuir nós. Naive trabalhar sob a forte suposição 'ingênua' de independência entre nós filhos no contexto de seu pai. Assim, na presença de um conjunto de treinamento só devemos calcular probabilidades condicionais de um modo frequência vez que a estrutura é única.

Um grafo *G* e um par ordenado *G* = (*V*, *A*), onde *V* e um conjunto não vazio cujos elementos são chamados vértices ou nós e *A* e um conjunto de pares dos vértices de *V*, cujos elementos são denominados arestas. Usualmente *V* (e consequentemente *A*) é finito, isto e, *V* = {*X1*, *X2*,..., *Xn*}. Dois vértices ligados por uma aresta são ditos adjacentes. Duas arestas são adjacentes se compartilham um mesmo vértice. Grafos direcionados possuem uma aresta do conjunto A é representada como (u,v), diz-se que v é adjacente a u, e a arestas do tipo (u,u) são chamadas de *self-loops*.

De posse do arquivo discretizados no WEKA, utilizou-se os softwares Genie 2.0 que pode ser feito o download em http://genie.sis.pitt.edu/ e o software RapidMiner 5.3 que pode ser feito o download em http://www.rapidminer.com, onde aplicou-se a técnica de mineração de dados Naive Bayes.

## III. DA INDÚSTRIA ELETROELETRÔNICA - ESTUDO DE CASO

O presente estudo foi desenvolvido a partir da concepção do estudo de caso realizado em uma indústria eletroeletrônica que produz um *mix* de produtos manufaturados tais como: televisores, desktops, tablets e celulares instalada em Manaus no Pólo Industrial de Manaus (PIM) com incentivos da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA-ZFM) há mais de 30 anos. Os casos-piloto podem ser conduzidos por várias razões não relacionadas com os critérios para seleção dos casos finais na condução do estuado de caso [13].

Um dos objetivos foi relacionado com advento recente da aprovação da prorrogação da ZFM, as empresas instaladas tiveram que antecipar os incentivos permitidos para a lei de informática e se adaptarem a nova legislação da ANEEL que irão avaliar os impactos das correntes de harmônicos provenientes das indústrias a fim de melhorar os seus indicadores de qualidade de energia, permitindo assim, as coletas de dados deste estudo.

Os dados foram coletados nesta indústria do ramo de atividades com processos de manufaturas indicadas pelo *mix* de produtos de alta tecnologia onde o funcionamento destes produtos geram os impactos de distorções harmônicas na rede, um dos grandes problemas analisado. O período de duração de coleta de dados foi descriminado pelos turnos de segunda a sexta feira, horário da seguinte forma: sendo o primeiro turno de 06:00 às 15:48 e segundo de 16:00 às 01:30. Durante esse período a mesma estava produzindo notebooks e tablets.

As coletas de dados escolhidas foram dos seguintes pontos analisados: saída do quadro de alimentação (220/127V), circuito que alimenta as centrais de ar condicionado, circuito que alimenta a sala de compressores,

circuito que alimenta a linha de teste de notebook, com aproximadamente 900 notebooks ligados simultaneamente, circuito que alimenta a sala de montagem de tablets, com aproximadamente 140 tablets ligados simultaneamente. Nestes pontos, foram instalados 5 medidores de qualidade de energia HIOKI PW3198, conforme está evidenciado na Fig. 1.

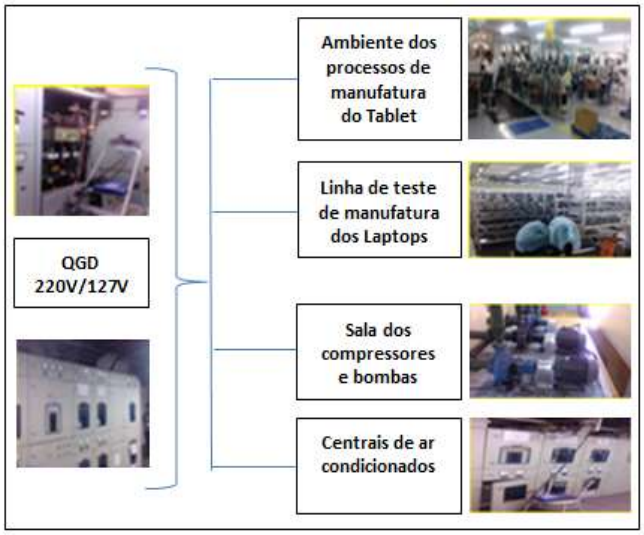


Figura 2. Pontos de Instalações dos Medidores de Qualidade Energia Elétrica.

A Tabela III, IV e V apresentam as particularizações dos quadros de alimentacão e as características técnicas e de geração de harmônicas de cada circuito, os tipos de cargas, bem como, os detalhes dos períodos que permaneceram alimentados na linha burning test/tablets, compressores e bombas/centrais de ár-condicionados.

TABELA III. SUBESTAÇÃO

| Saída do Transformador de 1000kVA 220/127V, Alimenta a planta da Industria um Disjuntor Trifásico 3200A. | |
|---|---|
| Cargas Lineares | Cargas de Fonte Chaveada: THDi > 93%. Harmônicas: 3 (78%), 5 (44%), 7 (17%) ... 15 |
| Cargas Não lineares | Cargas de inversores de frequência: THDi > 100%. Harmônicas: 5 (81%), 7 (74%), 11 (42%), 13 (30%), 17 e 19, Cargas dos 5 UPSs de 80kVA , característica é: TDHi > 30%, Harmônicas: 5 (28%), 7 (5%), 11(6%) e 13 (6%) Cargas das lâmpadas fluorescente: TDHi > 50% Harmônicas: 3, 5, 9 e 11 |

TABELA IV. LINHA BURNING TEST / TABLETS

| 500 notebook de 65W cada bifásico, fonte chaveada de 65W, Corrente de Carga Nominal: 3,42 A, Potência de Saída Nominal : 65W, Regulação de Saída Total: +/- 5%, Regulação de Linha: +- 3%, Ripple: 200mV (pico a pico). Ruído: 380mV (pico a pico) e THD, V < 2% | |
|---|---|
| Cargas Lineares | Cada notebook fica ligado por 1 hora e é substituído por outro. No período de 01:30 às 06:00 ficam ligados os notebook do dia anterior. Durante o final de semana os notebooks ficam ligados na rede elétrica. Todos os notebooks são alimentados por um No-Break (UPS) de 80kVA. |

| | |
|---|---|
| | Carga oriunda de Fonte Chaveada. THDi > 93%.<br>Harmônicas: 3 (78%), 5 (44%), 7 (17%) ... 15<br>A linha estava ligada em UPS de 80kVA e cuja característica é: TDHi > 30% Harmônicas: 5 (28%), 7 (5%), 11(6%) e 13 (6%) |
| 10 Impressoras Laser com 57,96W cada, 4 Balanças Eletrônicas com 15W cada, 10 parafusadeiras elétricas com motor de 40W cada, 11 switch de rede com 10,3 W cada, 4 Monitores de LED com 45W cada, 01 Computador DeskTop de 352W, 1 Ferro de Soldar de 70W, 03 Ionizador de Ar com 26,4 W cada, 8 impressora de etiqueta com 110W cada, 17 notebooks com 65W cada, 25 lâmpadas LED com 20W cada, 12 dispensador eletrônico de parafusos com 6W cada e Em torno de 140 tablets ligados em teste com 10W cada | |
| Cargas Lineares | A maioria das cargas são de Fonte Chaveada.<br>THDi > 93%.<br>Harmônicas:3(78%), 5 (44%), 7(17%)...15<br>Existindo também as parafusadeiras elétricas com as seguintes características harmônicas:<br>THDi > 100%.<br>Harmônicas: 5 (81%), 7 (74%), 11 (42%), 13 (30%), 17 e 19, A linha estava ligada em UPS de 80kVA e cuja característica é: TDHi > 30% Harmônicas: 5 (28%), 7 (5%), 11(6%) e 13 (6%)<br>A Sala funciona de Todos os equipamentos e tablets são alimentados por um No-Break (UPS) de 80kVA. |
| Período | 06:00 às 01:30 do dia seguinte de segunda a sexta, onde os equipamentos da linha são desligados. No período de 01:30 a 06:00 ficam alguns tablets ligados. |

TABELA V. COMPRESSORES E BOMBAS / CENTRAIS DE ÁR-CONDICIONADOS

| | |
|---|---|
| 01 Compressor de 75 CV (55,93 kW),01 Bomba de Recalque de 25 CV (18,64 kW) e uma Bomba de Torre de 25 CV (18,64 kW) | |
| Circuito de Carga Linear | com baixo impacto na distorção harmônica |
| Período | Disponível entre 05:30 até 01:30 de segunda a sexta. No final de semana fica desligado |
| 04 Centrais de Ar-condicionado, Cada Central funciona com 2 compressores de 15TR (52,75 kW) | |
| Circuito de Carga Linear | Baixo impacto na distorção harmônica |
| Horário | Disponível entre 05:30 até 01:30 de segunda a sexta. No final de semana fica desligado |

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fig. 1 mostra a *naive bayes* criada com os dados provenientes da campanha de medição realizada nas instalações da indústria, cujas grandezas registradas foram: taxa de distorção harmônica total de tensão (THDv) do secundário do transformador de entrada, correntes harmônicas de ordem 3º, 5º, 7º, 9º e 11º dos processos *burning*, *tablet*, compressores e centrais de ar condicionados.

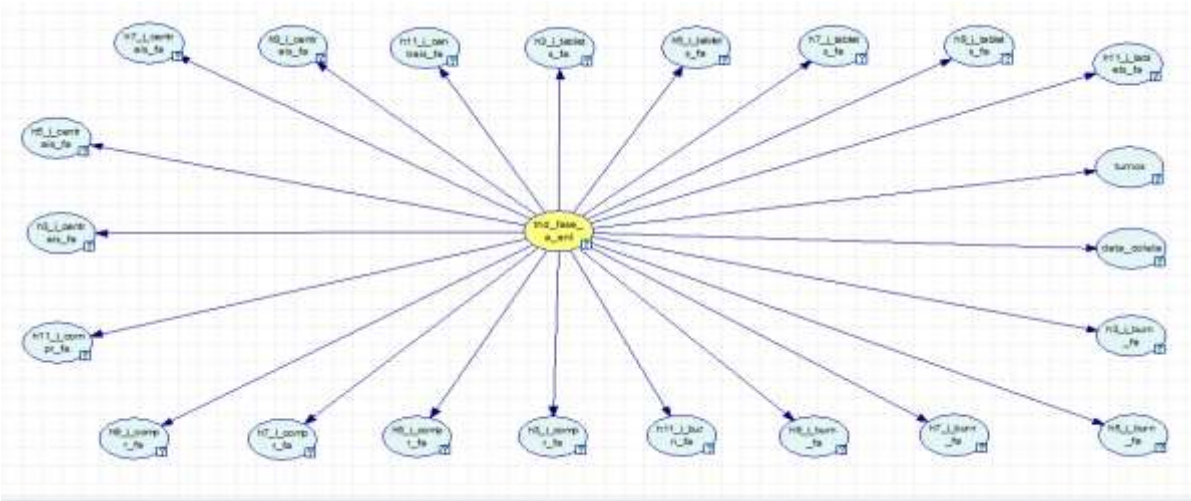

Figura 3. Naive Bayes.

Analisando as probabilidades obtidas com a criação da rede mostrada na fig. 3, observou-se que as correntes harmônicas de ordem 3º, 5º, 7º e 11º do processo *tablet*, a corrente harmônica de ordem 7 do processo compressor, e as correntes harmônica de ordem 5º, 7º e 9º do processo centras de ar apresentaram elevadas probabilidades (80% ou maiores) associadas ao crescimento dos valores de THDv de tensão da entrada.

Analisando a fig. 4, que mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 7º harmônico do processo compressor, pode-se verificar que há uma probabilidade de 88,5% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 7º harmônico do processo compressor apresentar um valor igual ou maior que 0,036%.

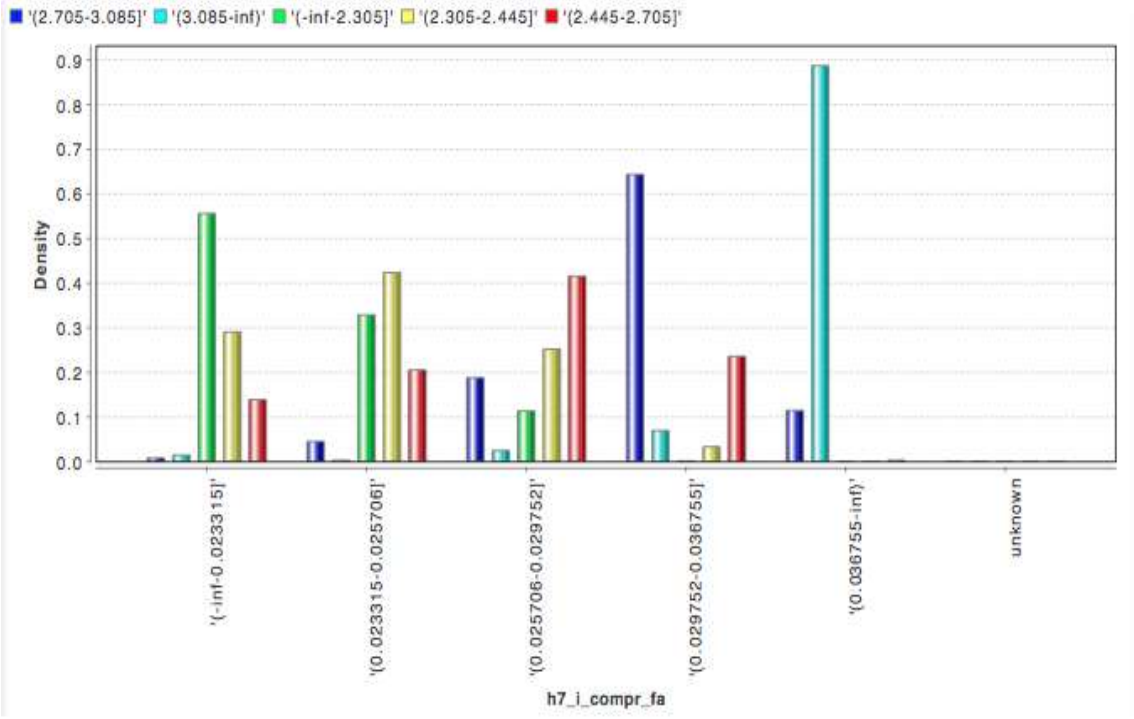


Figura 4. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv.

Analisando a fig. 5 mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 5º harmônico do processo centrais de ar, pode-se verificar que há uma probabilidade de quase 84,5% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 5º harmônico do processo centrais de ar apresentar um valor igual ou maior que 0,008%.

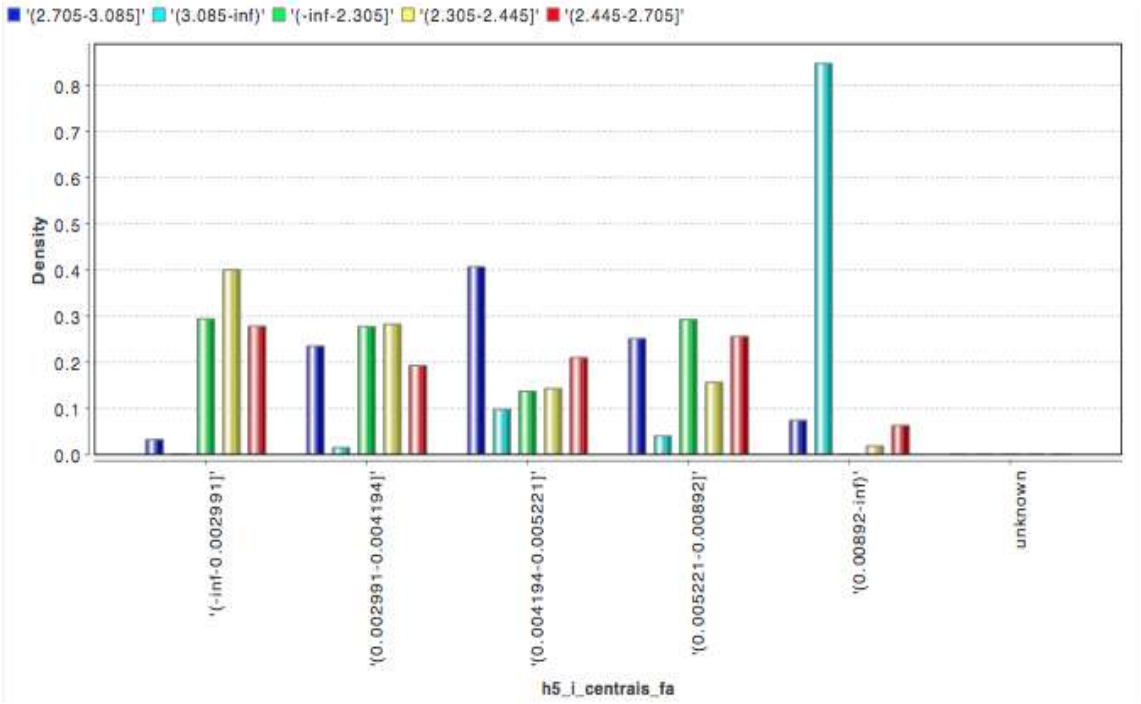


Figura 5. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 5º harmônico.

Analisando a fig. 6 mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 7º harmônico do processo centrais de ar, pode-se verificar que há uma probabilidade de quase 87,2% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 7º harmônico do processo centrais de ar apresentar um valor igual ou maior que 0,022%.

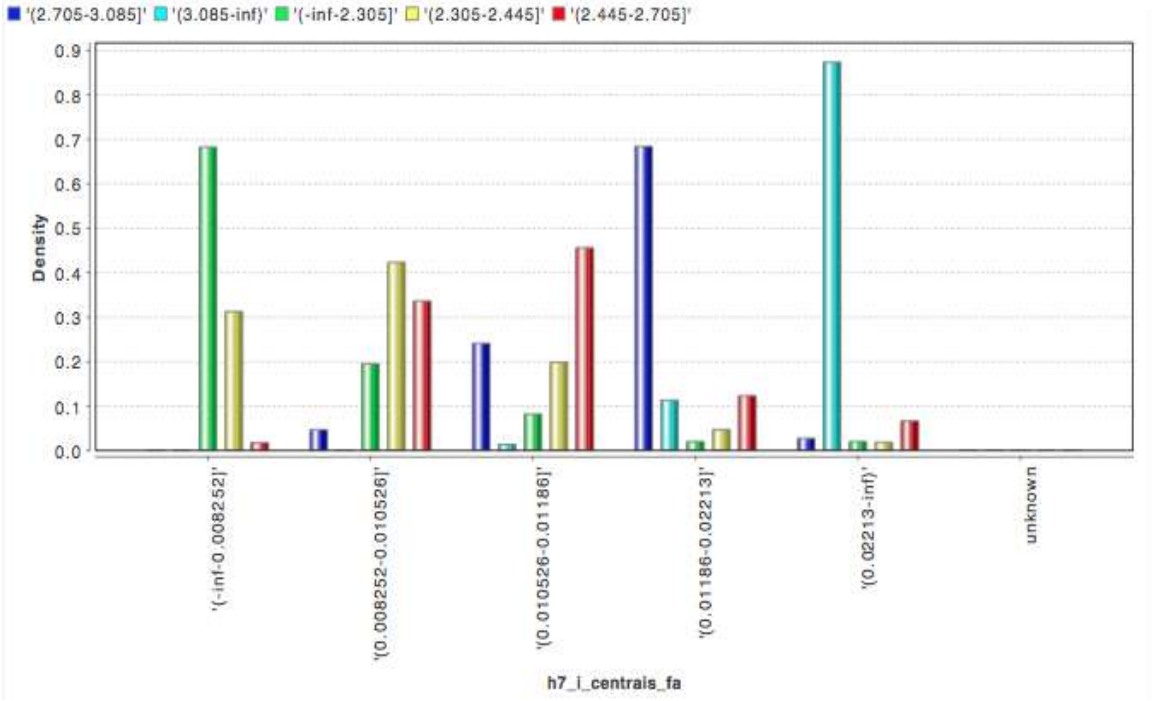

Figura 6. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 7º harmônico.

Analisando a fig. 7 mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 9º harmônico do processo centrais de ar, pode-se verificar que há uma probabilidade de quase 83% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 9º harmônico do processo centrais de ar apresentar um valor igual ou maior que 0,003%.

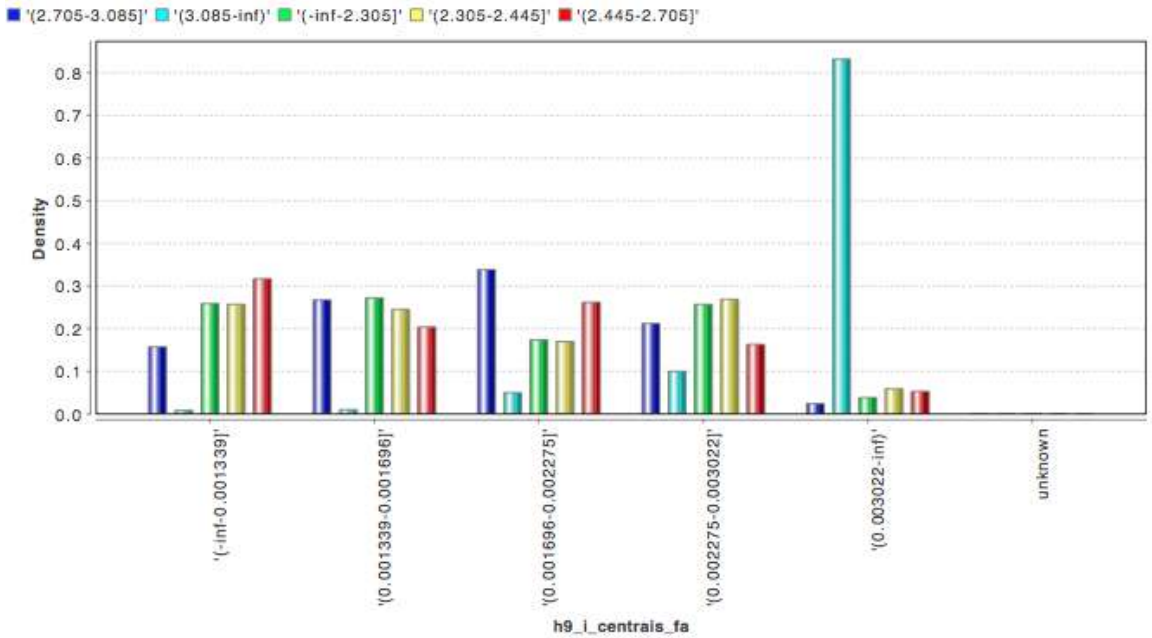


Figura 7. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 9º harmônico.

Analisando a fig. 8 mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 3º harmônico do processo *tablet*, pode-se verificar que há uma probabilidade de quase 82,9% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 3º harmônico do processo *tablet* apresentar um valor igual ou menor que 3,55%.

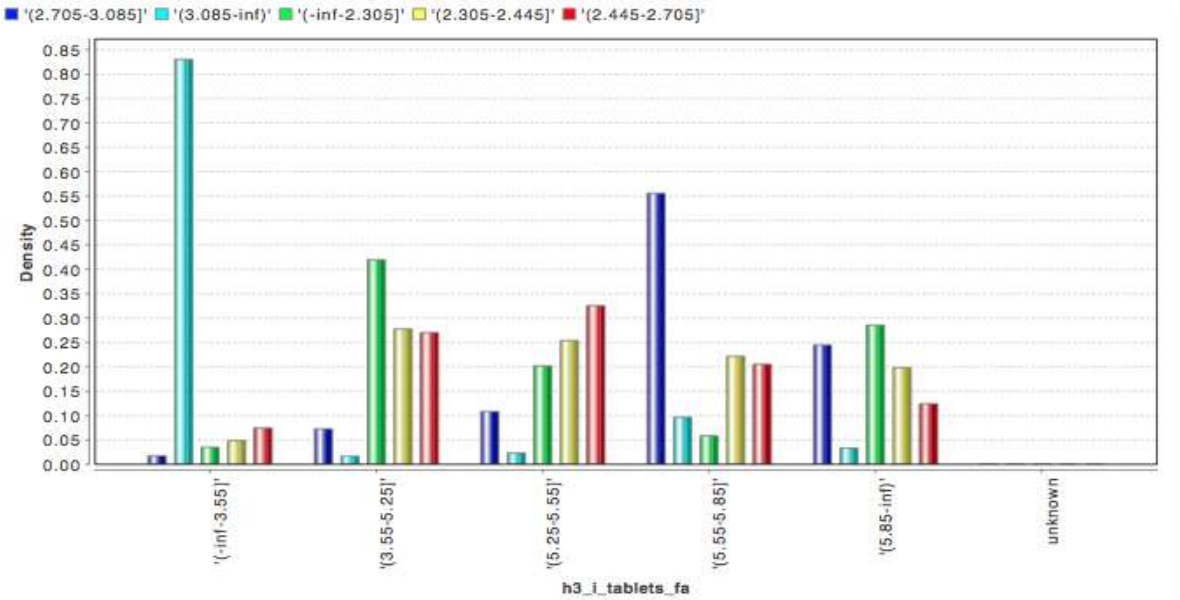


Figura 8. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 3º harmônico.

Analisando a fig. 9 mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 5º harmônico do processo *tablet*, pode-se verificar que há uma probabilidade de quase 82,5% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 5º harmônico do processo *tablet* apresentar um valor igual ou maior que 3,05%.

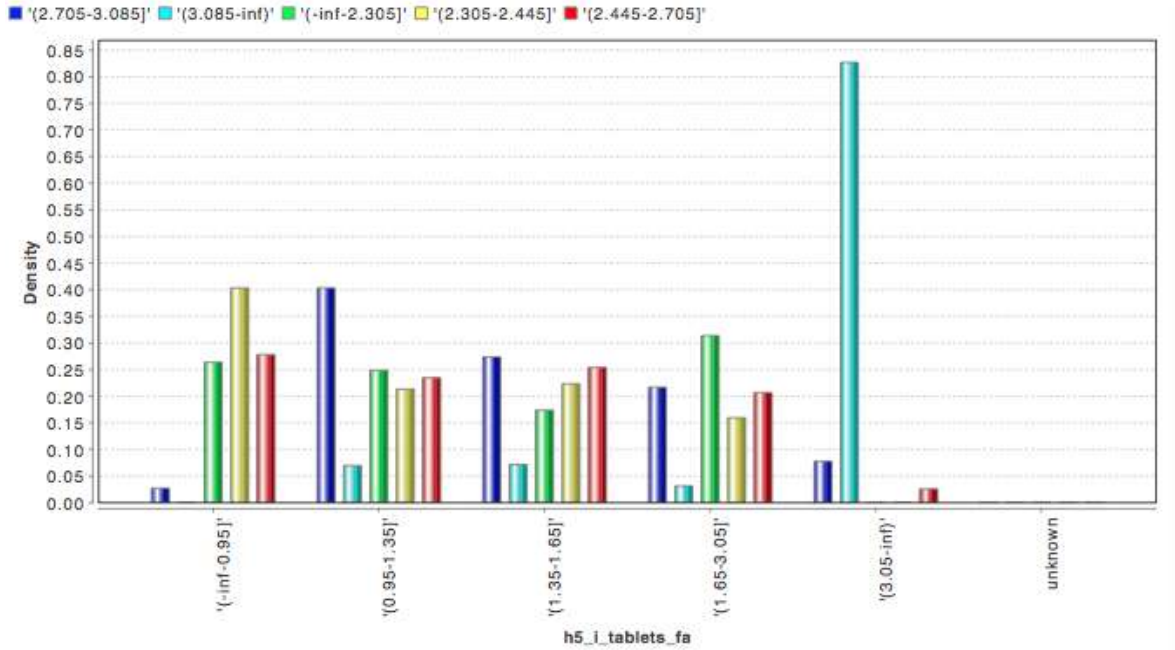


Figura 9. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 5º harmônico.

Analisando a fig. 10 mostra a densidade de probabilidade de ocorrência dos cinco intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 7º harmônico do processo *tablet*, pode-se verificar que há uma probabilidade de quase 88% do THDv apresentar um valor igual ou maior que 3,085% quando a corrente do 7º harmônico do processo *tablet* apresentar um valor igual ou maior que 4,85%.

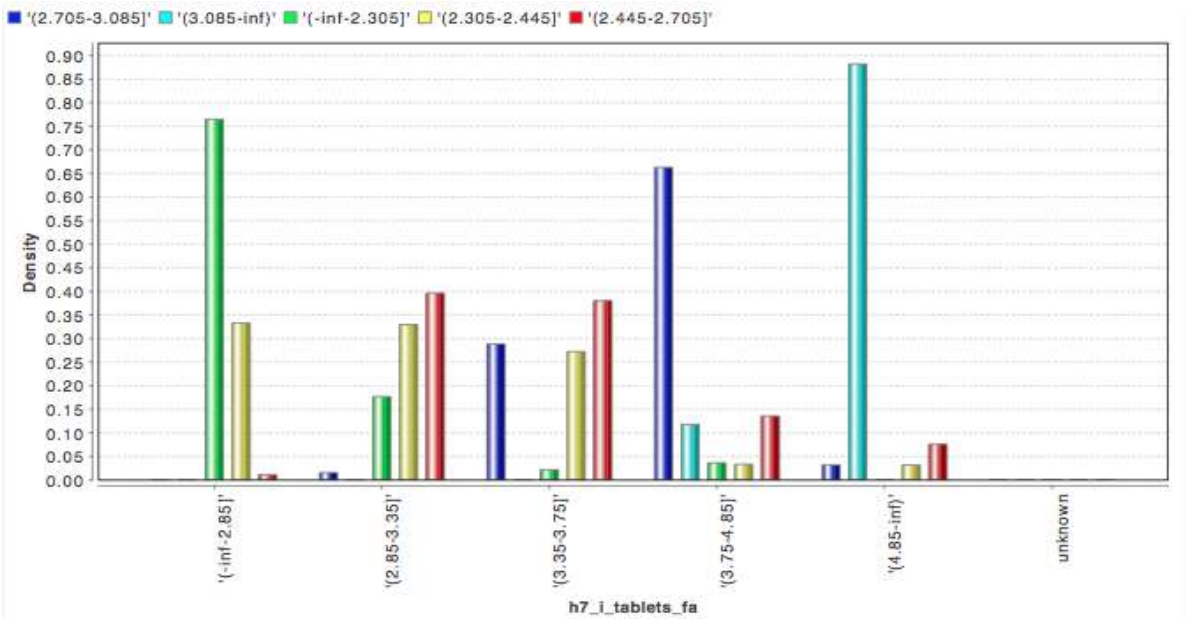


Figura 10. Densidade de probabilidade dos intervalos discretizados do THDv em relação a corrente do 7º harmônico.

## V. CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas utilizando a técnica de data mining (naive bayes) em uma base discretizada por frequência obteve-se as seguintes conclusões: as harmônicas de ordem 5ª e 7ª do compressor apresentaram os respectivos percentuais, 84% e 88,5%; nas centrais de ar-condicionado as harmônicas de ordem 7ª e 9ª apresentaram os percentuais de 87,2% e 83% respectivamente; nas linhas de produção de tablets as harmônicas de ordem 3ª, 5ª e 7ª apresentaram os percentuais de 82,9%, 82,5% e 88% nesta ordem. Desta forma as harmônicas que mais contribuíram para o aumento da distorção harmônica foram encontradas nas linhas de produção de tablets devido aos equipamentos utilizados empregarem fontes chaveadas que apresentam-se como cargas não lineares gerando um desequilíbrio entre as fases. No contexto geral a 7ª harmônica foi a que maior influência teve no impacto harmônico, o que reforça a preocupação das recomendações das normas internacionais e o PRODIST [9] no módulo 8 o qual referencia a qualidade de energia em sistemas elétricos industriais.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará - UFPA, ao Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia – ITEGAM e ao Instituto de Tecnologia José Rocha Sérgio Cardoso – ITJC pelo suporte durante a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

[1] 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.

[2] NUNES, Renato VINHAL. Análise da penetração harmônica em redes de distribuição desequilibradas devido às cargas residenciais e comerciais com a utilização do ATP. Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFMG. 2007.

[3] ARRILAGA J and N.R. Watson, Power Systems Harmonics, Wiley, 2nd Edition, 2003.

[4] DUGAN, R. C.; MCDERMOTT, T.E. Operanting conflits for distributed generation on distribution systems. IEEE. 2001.

[5] DUGAN. ROGER C. MARK F. MCGRANAGHAN, SURYA SANTOSO, H. WAYNE BEATY. Electrical Power Systems Quality. Second Edition. McGraw-Hill. USA. 2004.

[6] IEEE Stardard 519-1992 (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in electrical Power Systems). 1992.

[7] IEC61000-2-2 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems

[8] IEC (IEC 61000-4-7, 61000-4-30) International Electrotechnical Commission.

[9] IEC 61000-4-30 Ed. 2.0 b:2008 Electromagnetic Compatibility - Part

[10] ANEEL. Módulo 8 – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. 2010.

[11] ANEEL. Nota Técnica, n° 0083 /2012-SRD/ANEEL, de 12 **J**unho 2012. Processo: 48500.002798/2012-61.

[12] R. Dugan, M. McGranaghan, H. Wayne, "Electrical Power Systems Quality", 265 pp., McGraw-Hill, New York, USA. 1999.

[13] IEEE Task Force on Effects of Harmonics on Equipment: "Effects of Harmonics on Equipment", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, n.º 2, pp. 672-680, April 1993.

[14] Yin, Robert K. Case Study Research: Design and Methods. 4a Edition. Sage Publications of London, Thousand Oaks and New Delhi and Singapure. 2010.

[15] E. Frank, M. Hall, and L. Trigg, "Weka 3-Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java," The University of Waikato, 2000.

[16] H. Bakhta et all. Naïve possibilistic network classifiers, Fuzzy Sets and Systems 160 ScienceDirect (2009) 3224–3238.

[17] TAN, Pang-Ning; STEINBACH, Michael; KUMAR, Vipin Introdução ao DATAMINING Mineração de Dados Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

[18] P. Langley, W. Iba, K. Thompson, An analysis of Bayesian classifiers, in: Proc. AAAI-92, 1992, pp. 223–228.

[19] P. Langley, S. Sage, Induction of selective Bayesian classifiers, in: Proc. 10th Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence UAI-94, 1994, pp.399–406.

[20] D. Grossman, P. Dominigos, Learning Bayesian maximizing conditional likelihood, in: Proc. on Machine Learning, Canada, 2004, pp. 46–57.

[21] R. Duda, P. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis, Wiley, New York.