

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

WELLINGTON MAYCON SANTOS BERNARDES¹

SÉRGIO FERREIRA DE PAULA SILVA²

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise dos parâmetros que caracterizam uma energia elétrica de qualidade quando suprindo cargas tipicamente hospitalares, ou seja, equipamentos eletromédicos. Os estudos foram conduzidos no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia, onde diversos equipamentos eletromédicos foram avaliados e discutidos. Tais aparelhos são considerados como cargas não-lineares, pois eles possuem corrente distorcida, ou seja, a corrente não apresenta a mesma forma de onda da tensão. Dessa maneira, a interação entre esses equipamentos eletromédicos e a rede de suprimento é investigada criteriosamente, onde se verifica a contribuição dos mesmos na degradação da energia elétrica.

Palavras-chave: distorções harmônicas; equipamentos eletromédicos; qualidade de energia elétrica; medição de sistemas elétricos de potência.

Abstract: This paper shows an analysis of the parameters that characterize an electric power with suitable quality when supplying typical hospital loads, i. e., electromedical equipments. The studies were conducted at Hospital de Clinicas, Federal University of Uberlandia, where several electromedical equipments were analyzed and discussed. Such devices are considered to be nonlinear loads, because of their distorted current, i.e. the current does not present the same waveform as the voltage wave. Thus, the interaction between these electromedical equipments and the supplying system is deeply investigated, and their contribution to the electric power degradation is checked.

¹ wellingtonmaycon@ieee.org

² sergio@eletrica.ufu.br

Keywords: harmonic distortion; electromedical equipments; power quality; electric power measurement.

1. INTRODUÇÃO

Em geral, a qualidade de um produto ou serviço é um atributo que informa o quão bom é este. Alguns requisitos mínimos devem ser mantidos por um sistema de alimentação para que seja considerado adequado ao suprimento de energia elétrica. No caso específico da energia elétrica, a qualidade está associada à ausência de variações de tensão (desligamentos, flutuações, surtos entre outros), ou seja, inexistência de desvios significativos na magnitude, frequência ou pureza da forma de onda da tensão ou da corrente que possam resultar em falha ou operação incorreta de algum equipamento do consumidor (Silveira, 2002).

No Brasil, a qualidade de energia elétrica está associada à conformidade da tensão e às condições do fornecimento, que formam as condições técnicas e a qualidade dos serviços de energia elétrica. Em outros países e mercados comuns o conceito de qualidade de energia utiliza diferentes terminologias, como:

- a) África do Sul – é usada a terminologia *quality of supply*;
- b) Colômbia – é aplicado o termo *calidad de la potencia*;
- c) Estados Unidos – se utiliza o termo *power quality*;
- d) Europa – se emprega o conceito de *voltage quality*.

O *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) define *power quality* como o conceito de alimentação e aterramento de equipamento sensível de forma que a operação do mesmo seja adequada, considerando também a poluição harmônica causada pelas cargas. A *International Electrotechnical Commission* (IEC) emprega o termo Compatibilidade Eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility* – EMC) para descrever a habilidade de dado instrumento ou sistema em funcionar de forma satisfatória no meio eletromagnético sem introduzir distúrbios eletromagnéticos intoleráveis a qualquer outro equipamento ou sistema que esteja no mesmo meio (Bollen, 2000).

Ainda, o conceito de qualidade da energia elétrica está intimamente associado ao funcionamento adequado e seguro dos equipamentos, de forma a garantir o conforto desejado aos usuários, sem afetar o meio ambiente de forma negativa. Dentro deste aspecto, a qualidade do fornecimento de energia tem sido avaliada por meio da disponibilidade,

conformidade, restaurabilidade e flexibilidade (Borenstein e Camargo, 1997; Borenstein, 1999).

Nacionalmente, o conceito de qualidade de energia elétrica associa-se basicamente à qualidade da tensão e do serviço de fornecimento da mesma. Até o presente momento, a legislação existente contempla apenas aspectos referentes à continuidade e conformidade no que tange aos limites de variações da tensão fornecida. Entretanto, estudos são desenvolvidos para ampliar essa abrangência, a fim de abarcar outros aspectos que influem diretamente na qualidade da energia tendo em vista a diversidade de novas tecnologias que estão continuamente sendo conectadas à rede elétrica.

Nos dias atuais, são a sensibilidade e o desempenho dos equipamentos utilizados pelo consumidor que têm definido como está a qualidade da energia fornecida. Com o avanço da tecnologia e a redução dos custos de fabricação, um número cada vez maior de equipamentos com circuitos eletrônicos mais sensíveis é adquirido pelos consumidores, os quais desejam que esses funcionem de forma adequada.

2. CARACTERÍSTICAS DOS FENÔMENOS NA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA CONFORME A ANEEL

2.1. Tensão em regime permanente

A ANEEL estabelece os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente (estado estacionário), os indicadores de qualidade, os critérios de medição e registro, prazos para regularização e de compensação ao consumidor caso os limites para o atendimento adequado não sejam adequados. Nesse trabalho, serão demonstrados apenas os limites adequados e indicadores de qualidade.

A Resolução ANEEL n.º 505/2001 (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001), prevê três faixas de classificação: adequada, precária e crítica. Para cada faixa foram estabelecidos os limites de variação de tensão de leitura (TL) em relação à tensão de leitura (TL) em relação à tensão nominal (TN). Alguns limites estabelecidos para as tensões padronizadas por esta resolução estão sucintamente mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Pontos de entrega em tensão nominal igual ou inferior a 1 kV.

Tensão nominal (TN)		Faixa de valores adequados das tensões de leitura (TL) em relação à TN	Faixa de valores precários das tensões de leitura (TL) em relação à TN	Faixa de valores críticos das tensões de leitura (TL) em relação à TN
Ligação	Volts			
	220/127	201 ≤ TL ≤ 231/ 116 ≤ TL ≤ 133	189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233 / 109 ≤ TL < 116 ou 133 < TL ≤ 140	TL < 189 ou TL > 233/ TL < 109 ou TL > 140
	380/220	348 ≤ TL ≤ 396/ 201 ≤ TL ≤ 231	327 ≤ TL < 348 ou 396 < TL ≤ 403 / 189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233	TL < 327 ou TL > 403/ TL < 189 ou TL > 233

Fonte: (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001).

2.2. Fator de potência

O valor de referência do fator de potência de sinais não-distorcidos para unidades consumidoras é de 0,92 e o valor desse fator de potência deve ser calculado a partir da equação (1).

$$f = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

Onde:

f – é o fator de potência;

P – é a potência ativa;

Q – é a potência reativa.

Quando a forma de onda sofre influência devido às distorções harmônicas, o valor do fator de potência é calculado pela equação (2) (Dugan, Mcgranaghan et al., 2002) . No entanto, essa formulação não é totalmente reconhecida pela sociedade de Engenharia Elétrica.

$$f = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \frac{V_1 I_1 \cos \theta_1 \pm \sum_{h=2}^{\infty} V_h I_h \cos \theta_h}{\sqrt{V_1^2 + \sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} \cdot \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}} \quad (2)$$

Onde:

D – é a potência de distorção;

V_1 – é a tensão fundamental medida;

I_1 – é a corrente fundamental medida;

V_h – é a tensão harmônica de ordem h ;

I_h – é a corrente harmônica de ordem h ;

h – é a ordem harmônica;

θ – é o ângulo entre tensão e corrente elétrica.

2.3. Distorção harmônica

A distorção harmônica é, normalmente, causada por dispositivos/cargas não-lineares presentes nos sistemas elétricos de potência. Um dispositivo não-linear é aquele que a corrente não é proporcional à tensão aplicada. Nesse trabalho, os equipamentos eletromédicos analisados são as cargas não-lineares. A Figura 1 ilustra essa concepção onde a tensão senoidal aplicada a uma carga não-linear resulta em uma forma de onda de corrente diferente da tensão. Enquanto a tensão aplicada é perfeitamente senoidal, a corrente resultante é distorcida.

A Figura 2 ilustra que uma forma de onda distorcida e periódica pode ser decomposta em uma soma de senóides de diferentes frequências onde a frequência de cada senóide é um múltiplo inteiro da frequência fundamental da onda distorcida. Esse múltiplo é chamado de harmônico da fundamental. Em acréscimo, as diferentes senóides resultantes são conhecidas como série de *Fourier*, nome dado devido ao matemático que descobriu esta decomposição. O conceito de série de *Fourier* é universalmente aplicado em análises de problemas sobre harmônicos.

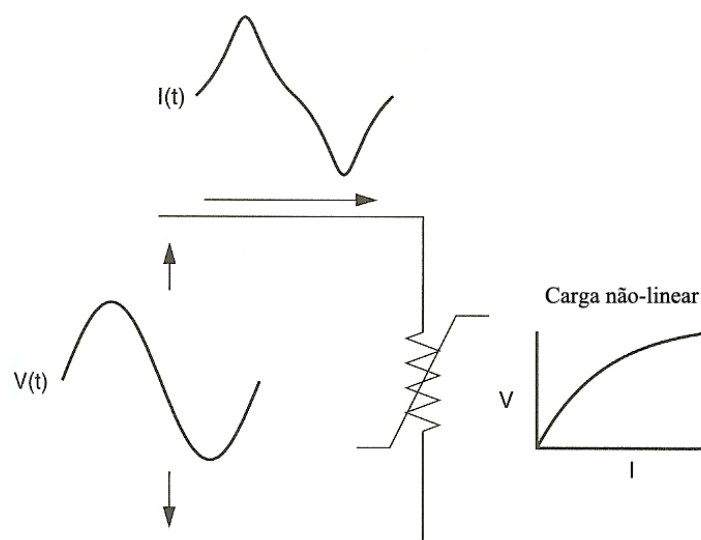


Figura 1 – Distorção de corrente causada por uma carga não-linear.
Fonte: (Baggini, 2008).

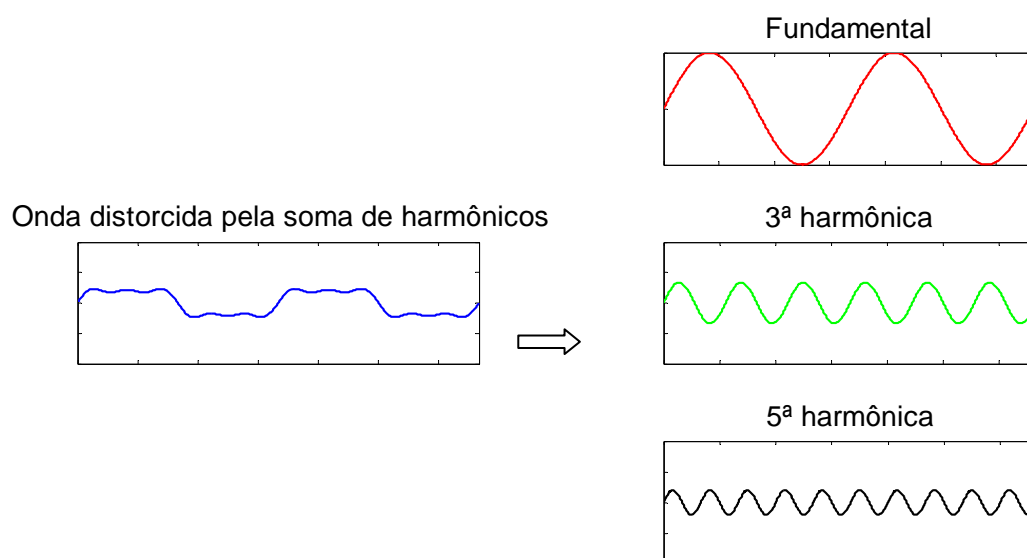


Figura 2 – Representação de uma série Fourier de uma forma de onda distorcida.

As expressões para o cálculo da distorção harmônica individual de tensão de ordem h e da distorção harmônica total são dadas respectivamente pela equação (3) e equação (4).

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$DIT_h \%$ – é a distorção harmônica individual de tensão de ordem h ;

h – é a ordem harmônica;

V_h – é a tensão harmônica de ordem h;

V_1 – é a tensão fundamental medida.

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

$DTT\%$ – é a distorção harmônica total de tensão;

h – é a ordem harmônica;

$hmáx$ – é a ordem harmônica máxima;

V_h – é a tensão harmônica de ordem n;

V_1 – é a tensão fundamental medida.

Para os sistemas elétricos trifásicos, as medições de distorção harmônica devem ser feitas através das tensões fase-neutro para sistemas estrela aterrada e fase-fase para as demais configurações.

Os valores de referência para as distorções harmônicas totais devem seguir os valores da Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de referência para distorção harmônica total.

Tensão nominal do barramento	Distorção harmônica total de tensão (DTT) [%]
$V_N \leq 1kV$	10
$1kV < V_N \leq 13,8kV$	8
$13,8kV < V_N \leq 69kV$	6
$69kV < V_N \leq 138kV$	3

Fonte: (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010).

3. EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS ANALISADOS NO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UFU

Os equipamentos eletromédicos, também chamados como equipamentos médico-hospitalares, devem possuir um sistema de gerenciamento eficaz, para que não deixe a população sem os seus benefícios por mau funcionamento. Dessa maneira, é importante, para os gestores do estabelecimento de assistência à saúde conhecer a história do equipamento, a que grupo ou família de equipamentos ele pertence, enfim, tudo o que se refira ao equipamento e que possa, de alguma forma, auxiliar o serviço de manutenção, visando obter segurança e sucesso no resultado do trabalho. Todos esses dados contribuem para o estabelecimento de uma rotina de manutenção preventiva e na obtenção do nível de confiabilidade exigido, já que uma manutenção inadequada poderá colocar risco a vida do paciente.

Percebe-se que a manutenção é fundamental para o funcionamento adequado do hospital. Para isso, torna-se imprescindível conhecer as instalações elétricas, bem como o comportamento dos equipamentos eletromédicos no momento de sua operação.

Os equipamentos analisados individualmente no HC da UFU foram o aparelho de raios-X convencional (Figura 3) e o tomógrafo computadorizado (Figura 4). Tais equipamentos foram escolhidos para o estudo desse trabalho, pois eles possuíam potências significativas e sua tensão de alimentação era de 380 V rms fase-fase ou 220 V rms fase-neutro, assim sendo, exigia uma elevada corrente elétrica para o seu funcionamento. Devido a isso, esses teriam enorme probabilidade de influenciar nos distúrbios da qualidade de energia do hospital.

4. INSTRUMENTOS PARA MONITORAMENTO

A fim de realizar-se uma análise sobre qualidade de energia elétrica foi necessária a monitoração do sistema, pois além de conhecer os fenômenos e seus efeitos, seria de extrema importância quantificar a amplitude do problema e o tempo de ocorrência. Durante esta monitoração o equipamento deveria garantir a confiabilidade e a repetibilidade nas medições para permanecer nas mesmas bases dos parâmetros definidos como aceitáveis pela sociedade técnica (Júnior e Matana, 2008).

Para que essa pesquisa fosse executada, os qualímetros digitais RMS MARH-21 e o Embrasul RE6000, também chamados de medidores, registradores ou analisadores de energia, e seus respectivos *softwares* para a análise de dados foram utilizados.



Figura 3 – Aparelhos de raios-X convencional.



Figura 4 – Tomógrafo computadorizado helicoidal do HC da UFU. O *gantry* é a abertura no centro do equipamento onde o paciente é colocado.

O *MARH-21* é um medidor e registrador de grandezas em tempo real para sistemas elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos em baixa, média e alta tensão. Possui três canais de entrada para sinais de tensão, três canais de entrada para sinais de corrente e ainda três canais de entrada para grandezas auxiliares definidas pelo usuário (Figura 5) (RMS Sistemas Elétricos. Manual operacional do medidor/registrator MARH-21, 2008a).



Figura 5 – Qualímetro RMS MARH-21.

A vista superior do Embrasul RE6000 é visto na Figura 6. Ele possui um visor gráfico de 128 por 128 pixels, com *dot size* de 0,5 mm, com *backlight*, que confere uma área útil de visualização de 70 por 70 mm (Barros, 2004).

5. ESQUEMA DE LIGAÇÃO NOS BARRAMENTOS

O setor do HC da UFU onde os equipamentos eletromédicos (aparelhos de raios-X e tomografia computadorizada) estavam lotados era alimentado com tensão de 380/220 V, estrela aterrado. Dessa maneira, os conectores de sinal de tensão e sensores de corrente dos qualímetros RMS MARH-21 e Embrasul RE6000 foram instalados no barramento conforme a Figura 7 e a Figura 8. As fases A, B e C foram conectadas aos dispositivos e o neutro foi conectado ao comum e serviu como referência para as três fases.

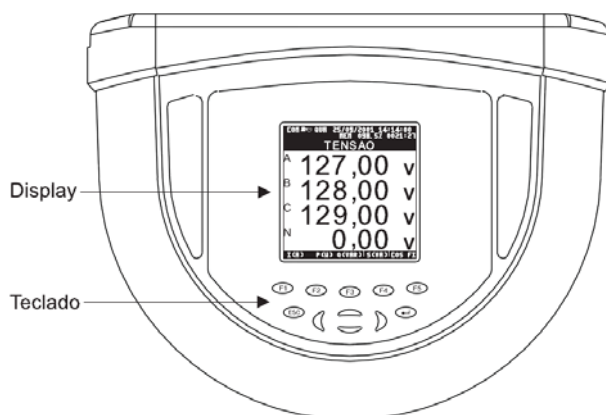


Figura 6 – Vista superior do Embrasul RE6000.
Fonte: Barros (2004).

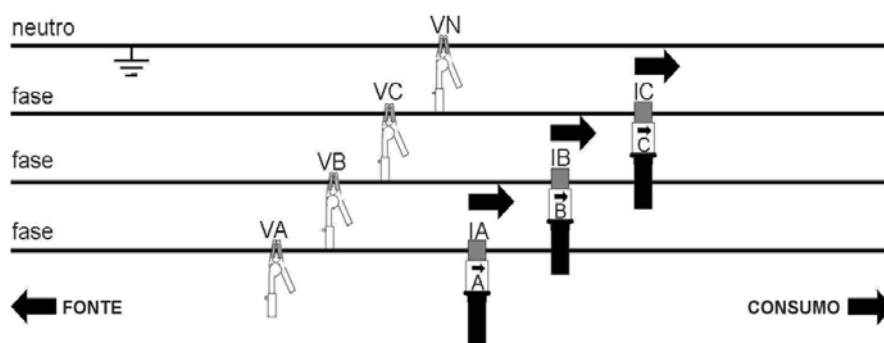


Figura 7 - Esquema de ligação do MARH-21 no sistema elétrico trifásico com neutro aterrado.
Fonte: RMS Sistemas Elétricos, 2008a.

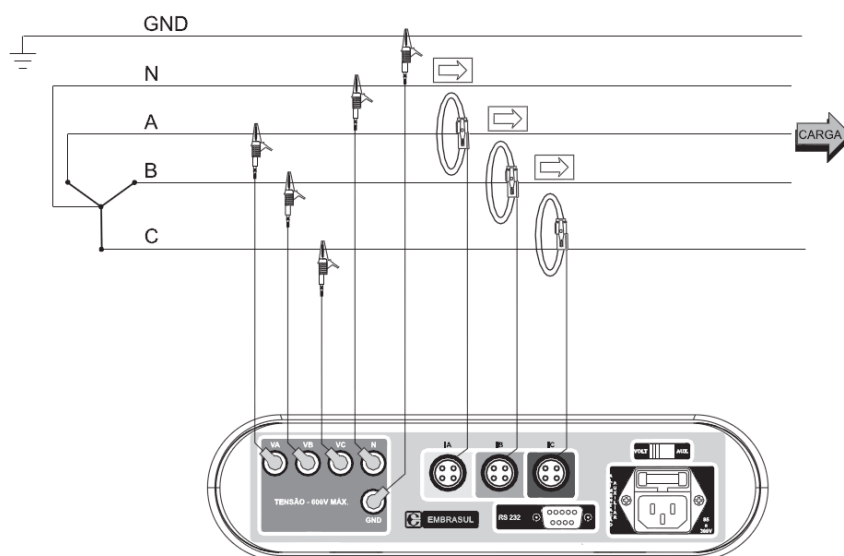


Figura 8 – Esquema de ligação em instalação trifásico estrela. Ainda, esse equipamento possuía um conector para entrada do terra. No HC da UFU, o neutro era aterrado. Dessa forma, os cabos de tensão do neutro e terra foram conectados juntos.
Fonte: Barros (2004).

As medições elétricas realizada na cabine elétrica n.º 2 que alimentava todos os equipamentos eletromédicos de interesse ao mesmo tempo e outros equipamentos com potência desconsiderável foram realizadas entre os dias 08 de setembro a 29 de setembro de 2010, durante três semanas ininterruptas. As conexões foram realizadas no lado secundário do transformador n.º 3 (Figura 9, Figura 10 e Figura 11). Este procedimento objetivou a verificação da variação de energia e possíveis distúrbios que ocorriam nesse setor (subsolo do HC da UFU) durante todo o período (horário comercial, noite, madrugada e finais de semana). Para tal, foram empregados os dois qualímetros e um computador portátil com porta serial (RS-232).



Figura 9 – Transformador n.º 3 de 500 kVA – 13,8 / 0,38 – 0,22 kV, responsável pela entrega de energia no setor dos equipamentos eletromédicos analisados.



Figura 10 – Parametrização dos qualímetros RMS ANAWIN e Embrasul RE6000.

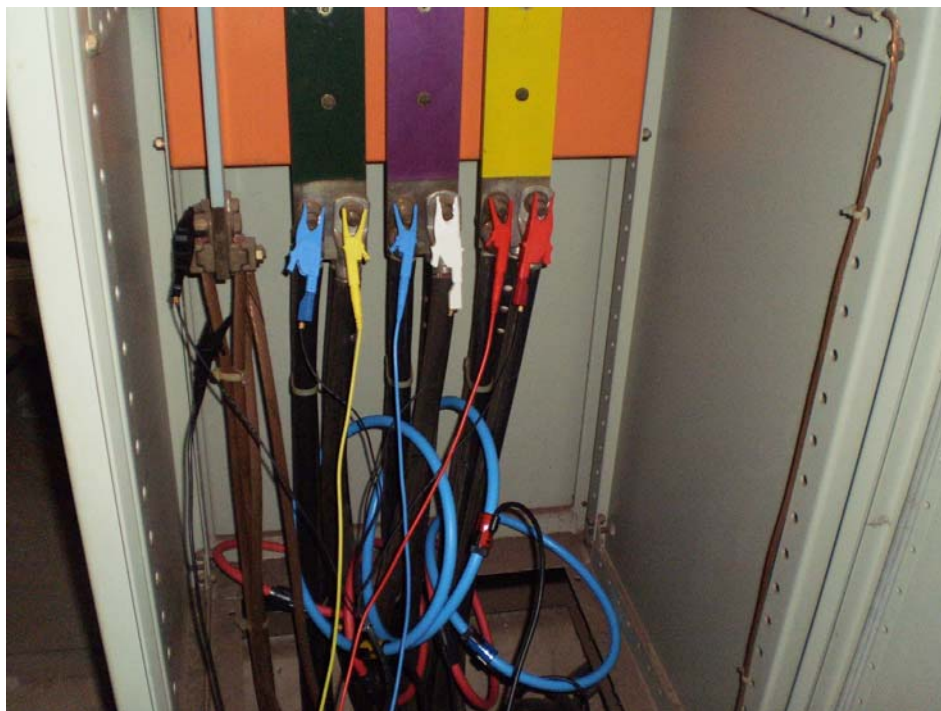


Figura 11 – Conectores do sinal de tensão e sensores de sinal de corrente no barramento do lado secundário do transformador n.º 3 da cabine elétrica n.º 2.

Além disso, as medições também foram feitas nos quadros elétricos de cada equipamento eletromédico analisado, ou seja, próximo a esses equipamentos. Por exemplo, as conexões do qualímetro no quadro do tomógrafo convencional são mostradas na Figura 12.



Figura 12 – Conexão do qualímetro no quadro elétrico do tomógrafo convencional.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições realizadas do lado secundário do transformador n.º 3 da cabine elétrica n.º 2, que levava energia elétrica para o bloco 4D onde estavam localizados todos os equipamentos eletromédicos analisados serão mostradas a seguir.

A Figura 13 mostra o gráfico de tensão e corrente realizada na primeira semana de medição, entre os dias 08 de setembro de 2010 (à partir de 11:27 da manhã) até 16 de setembro de 2010 (14:35 da tarde), sendo o intervalo de integração de três minutos. A tensão nominal fase-neutro foi de 220 V, sendo a tensão precária entre 200,2 V e 228,8 V e a tensão crítica entre 189,2 V e 233,2 V.

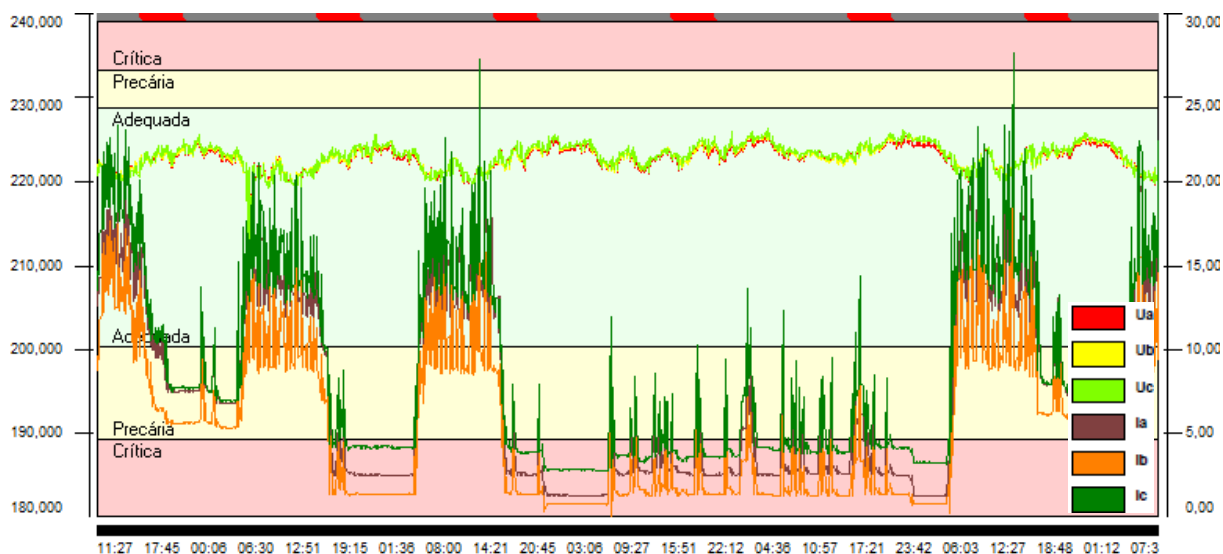


Figura 13 - Gráfico de tensão e corrente. A corrente alcança valores de aproximadamente 30 A rms.

A potência aparente, ativa e reativa total e por fases (A, B e C) são mostradas na Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17. O maior valor foi deparado na fase C e alcançou uma potência aparente de 7 kVA nessa fase. Já a potência aparente total foi de quase 19 kVA.

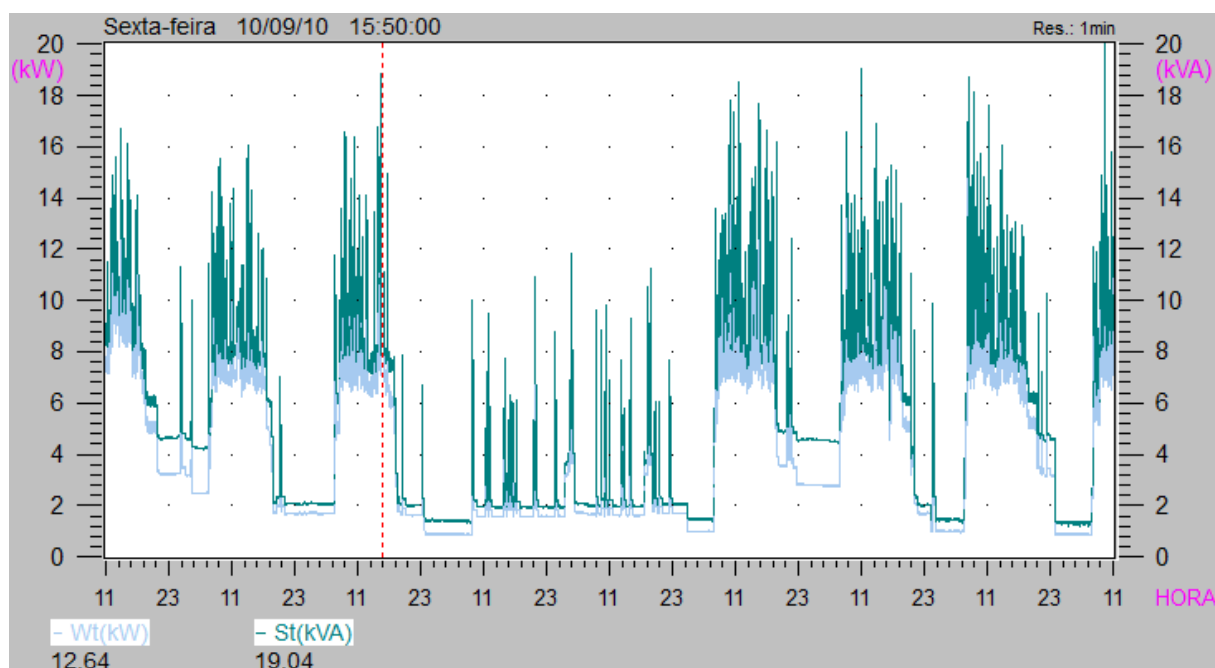


Figura 14 - Potência aparente total e potência ativa total.

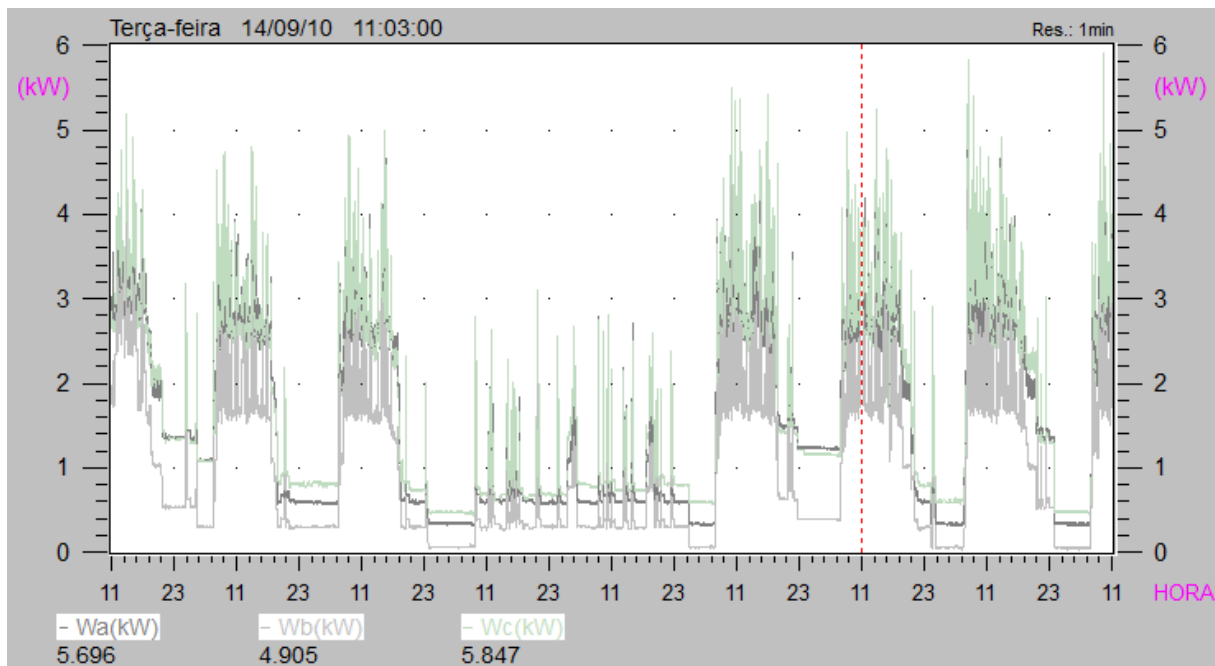


Figura 15 – Potência ativa nas fases A, B e C (em watts).

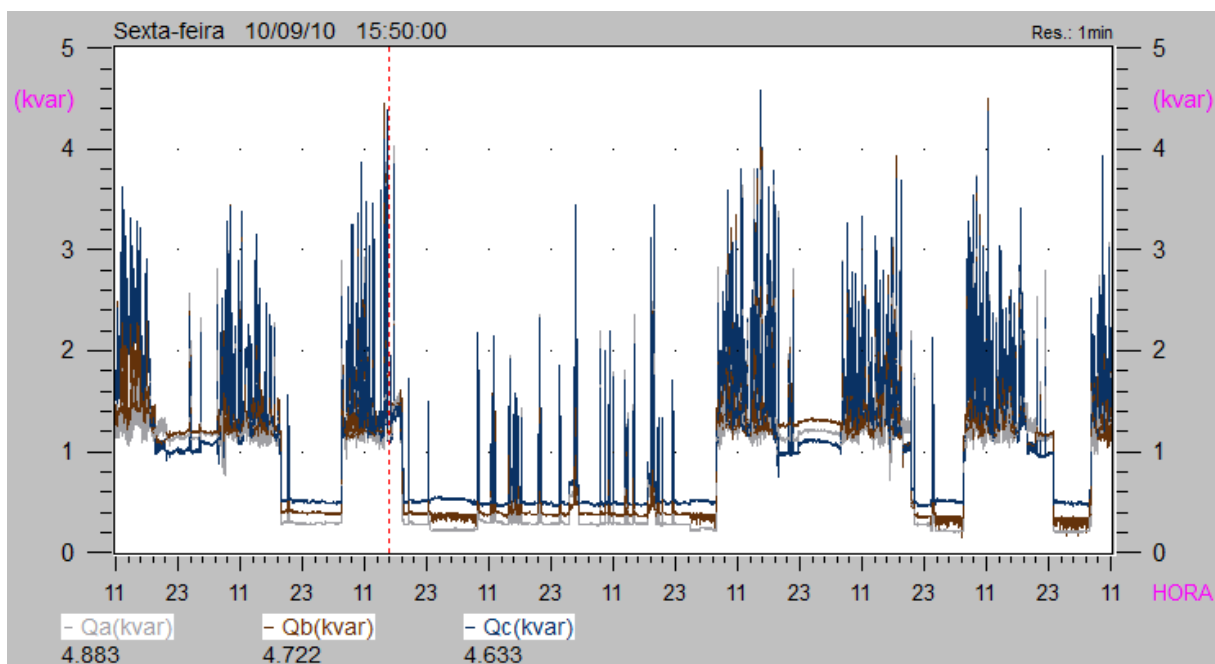


Figura 16 - Potência reativa nas fases A, B e C (em VAr).

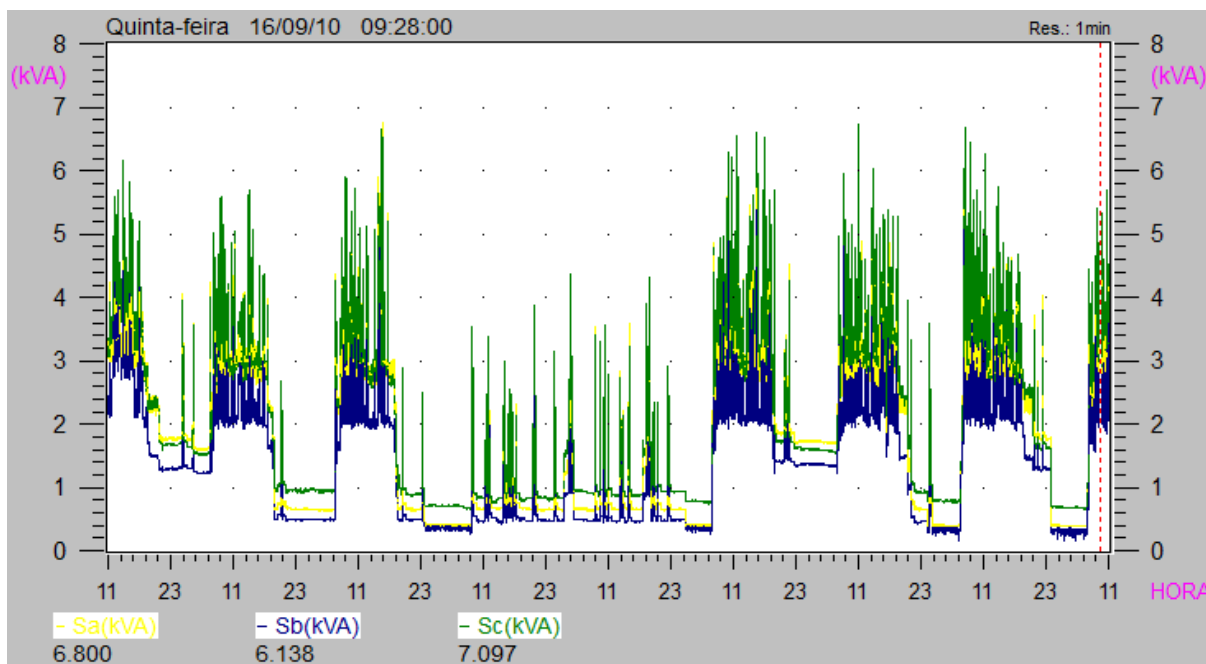


Figura 17 - Potência aparente nas fases A, B e C (em volt-ampère).

O desequilíbrio de tensão segundo NEMA e IEC em porcentagem é mostrado na Figura 18. Conforme a norma IEC, o desequilíbrio de tensão máximo foi de 0,45 %. Já a distorção harmônica total de tensão é mostrada na Figura 19. Ao analisar o DHT de tensão por fase, o maior valor foi na fase B, 2,5 %. O DHT de tensão máximo é de 10 % para tensões menores que 1 kV, conforme Tabela 2. Dessa forma, o DHT de tensão não foi extrapolado.

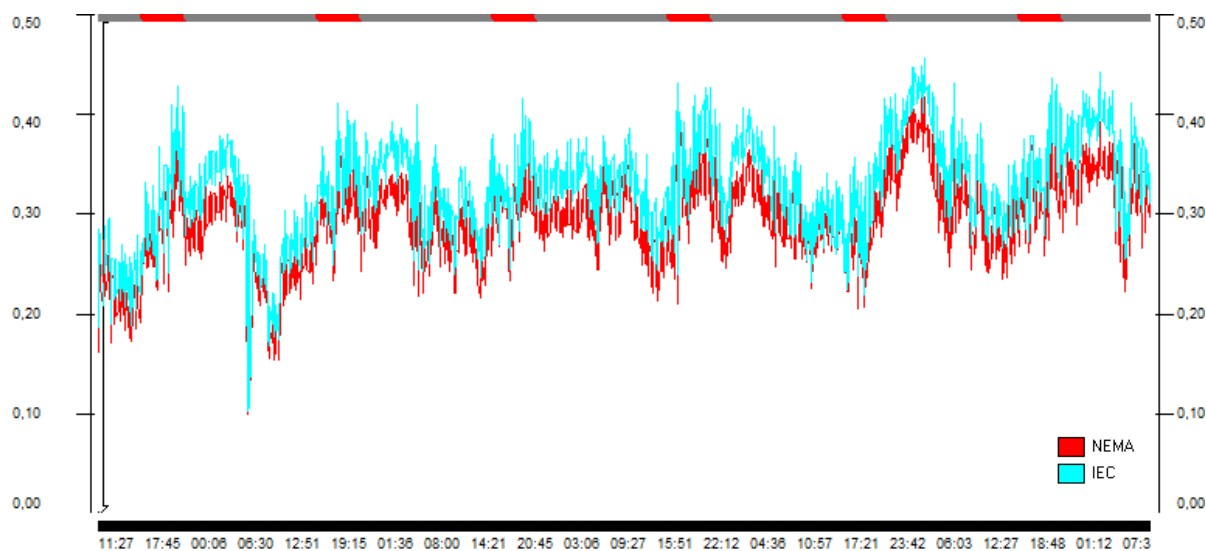


Figura 18 - Desequilíbrio de tensão (%).

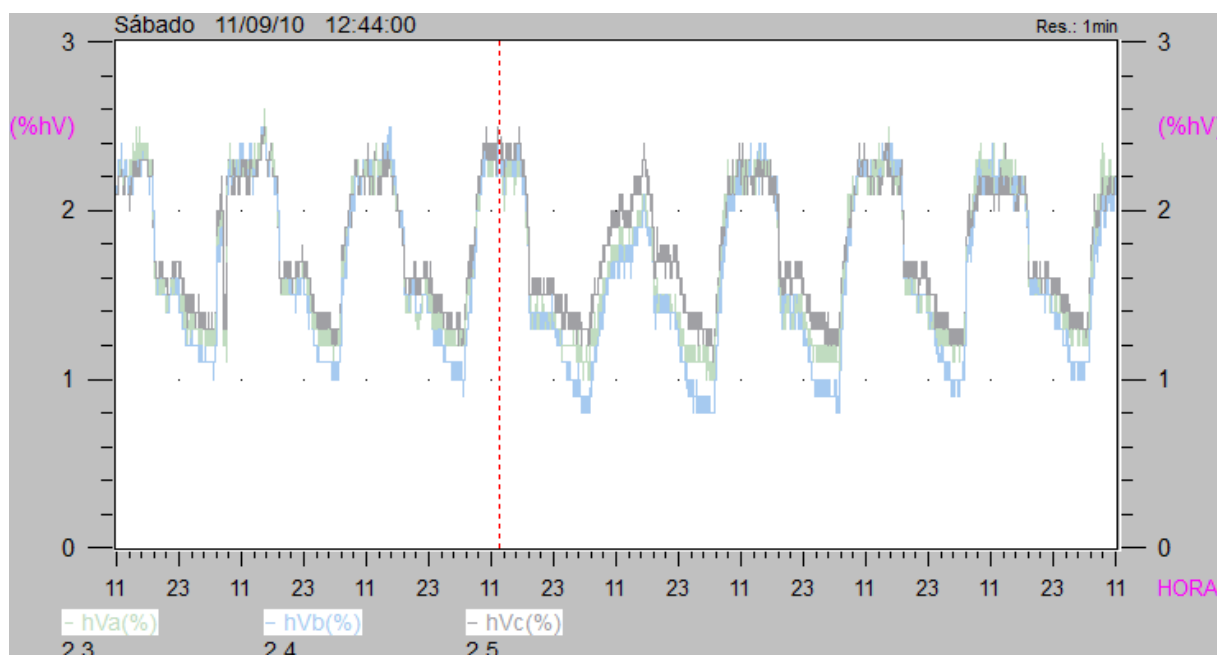


Figura 19 - Distorção harmônica total de tensão por fase.

A distorção harmônica total de tensão do tomógrafo computadorizado helicoidal é mostrada na Figura 20. O maior valor apresentado foi de 3,4 % na fase C. O DHT de tensão máximo é de 10 % para tensões menores que 1 kV, conforme Tabela 2. Dessa forma, o DHT de tensão não foi ultrapassado.

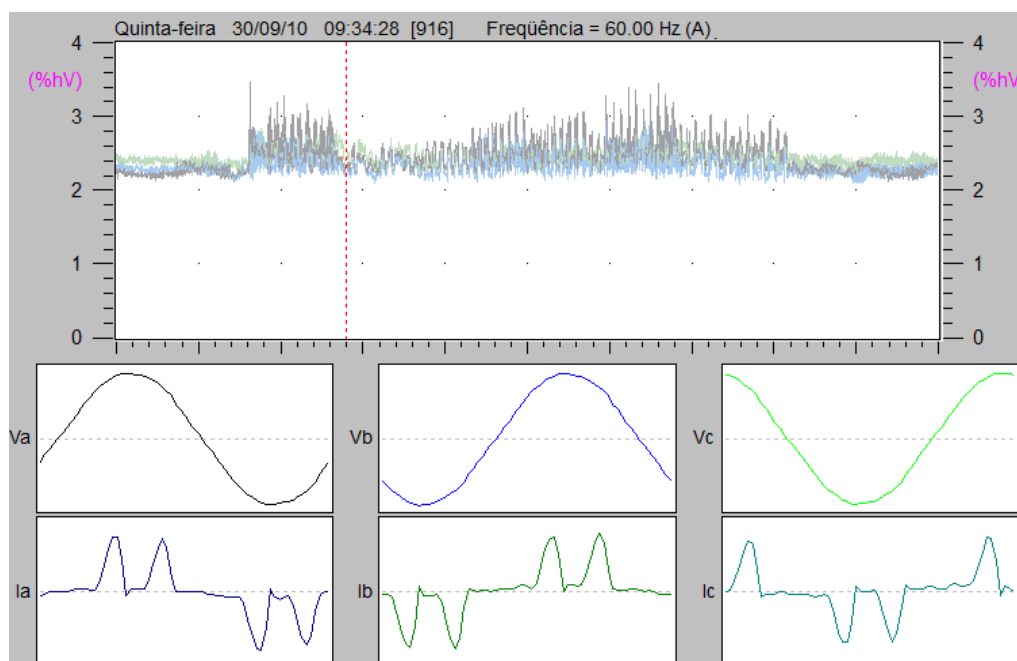


Figura 20 – Distorção harmônica de tensão nas fases A, B e C. A linha tracejada vermelha (parte superior) mostra o momento das tensões e correntes instantâneas demonstradas na parte inferior.

O gráfico da tensão e corrente quando o aparelho de raios-X convencional entrou em operação pode ser vista na Figura 21. O intervalo de funcionamento foi bastante curto, apenas um pico de corrente, que provocou um transitório.

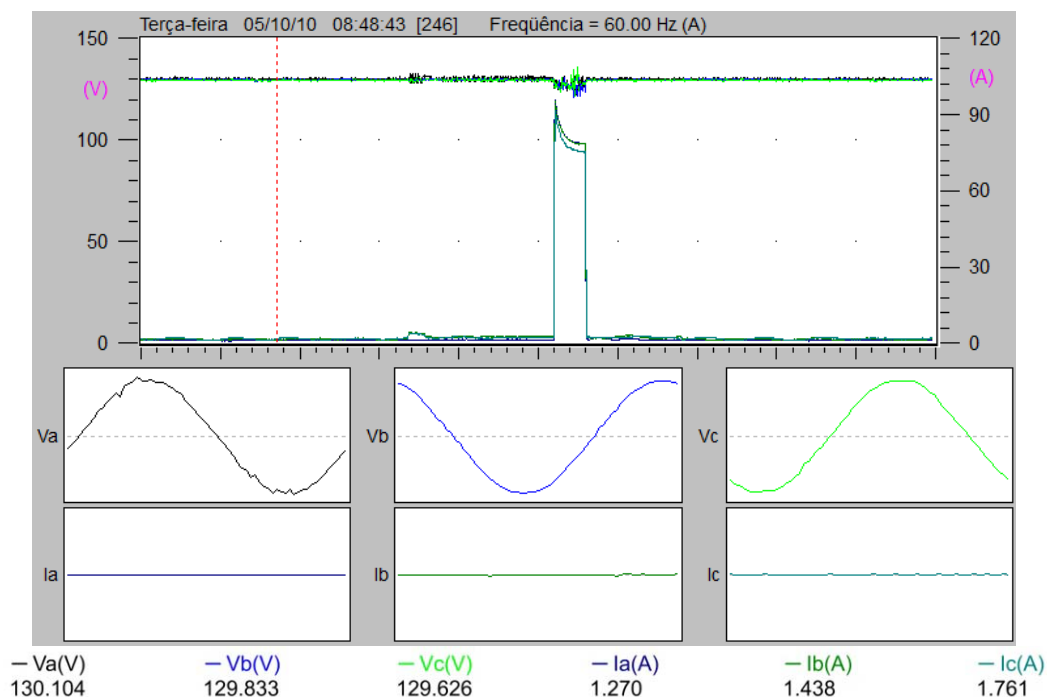


Figura 21 - Tensão e corrente integralizadas no momento da operação do aparelho de raios-X convencional. Ele foi ajustado para 70 kV e 200 mA. A linha tracejada vermelha (parte superior) mostra o momento das tensões e correntes instantâneas demonstradas na parte inferior.

7. CONCLUSÕES

Pelas análises realizadas e considerando as instalações elétricas do Hospital de Clínicas da UFU, conclui-se que os equipamentos eletromédicos não contribuíram significativamente para que ocorressem perturbações no sistema elétrico do hospital, conforme normas vigentes da ANEEL. Em adição, os equipamentos mais potentes quando em operação poderiam influenciar na qualidade da energia no hospital. Todavia, estes resultados favoráveis foram influenciados pela elevada potência do transformador em comparação com a potência das cargas/equipamentos supridos pelo mesmo.

Se os equipamentos eletromédicos estivessem desenergizados no ponto em que foram realizadas as medições, a interferência de harmônicos e desequilíbrios no sistema seria ainda menor, se comparado com a presença dos equipamentos no sistema. Diante desta conjuntura, como não foram detectados problemas quando os aparelhos estavam eletricamente

conectados, é plausível não encontrar se eles estivessem desligados, já que os distúrbios são causados sobretudo pela circulação de corrente elétrica no condutor.

Ainda, os aparelhos eletromédicos que realizavam diagnósticos por imagem eram alocados em um ramo segregado do restante de outras máquinas do hospital e antes da instalação dos mesmos no sistema, a equipe técnica juntamente com o fornecedor certificou que a energia elétrica entregue pela concessionária possuía uma qualidade adequada, já que o custo de compra foi bem elevado (aproximadamente meio milhão de reais).

Dentre as barreiras que foram vencidas, foi o fato de realizar as medições sem desligar os equipamentos, já que procedimentos e exames clínicos não poderiam ser interrompidos. Outra foi que qualquer erro acidental (curto-circuito) poderia ocasionar em uma catástrofe, caso as medições não fossem realizadas com planejamento.

Como fruto do trabalho realizado, uma *web-page* foi desenvolvida para a propagação dessa pesquisa, com diversos tópicos e redirecionamento para outras páginas de caráter comum. Seu endereço eletrônico é <http://www.eletrica.ufu.br/lefe/qualidadehc>.

Para os próximos trabalhos, é sugerido investigar demais cargas no HC da UFU, tais como motores elétricos de sistemas de ventilação, ar comprimido, refrigeração e bombeamento, tanto em nível de qualidade da energia elétrica, quanto da eficiência energética. Essa atividade seria fundamental para conhecer o consumo energético, e planejar alternativas para redução desse consumo.

8. AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois acredito que Ele seja a fonte que nos alimenta. Ao meu orientador prof. Dr. Sérgio Ferreira de Paula Silva pelos momentos de aprendizado e pela oportunidade de ser integrante do laboratório. À equipe técnica do Setor de Bioengenharia do Hospital de Clínicas, especialmente ao Djalma Donizetti T. Ribeiro, Lúcio César P. Silva, Marcos F. de Rezende e Daniel Baldoíno. Aos companheiros do Laboratório de Eficiência Energética. À Ana Aparecida S. Bernardes, ao Pedro Antônio Bernardes, Adriene M. S. Bernardes, Washington M. S. Bernardes, Joelma dos Santos e toda minha família. Enfim, também ao suporte material e financeiro fornecido através da PROPP/UFU e FAPEMIG (Projeto ENG02/2009).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente. Resolução N° 505, de 26 de nov. de 2001. v. 138, n. 226, seção 1, p. 16. Diário Oficial da União, Brasília - DF 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica. Brasil 2010.

BAGGINI, A. Handbook of power quality. University of Bergamo, Italy: Jonh Wiley & Sons, Ltd. 2008. 618 p.

BARROS, R. C. Embrasul Indústria Eletrônica Ltda. Manual de instalação e operação: analisador de energia RE6000. Porto Alegre - RS: 116 p. 2004.

BOLLEN, M. H. J. Undersanding Power Quality Problems: Voltage, Sags and Interruptions. Overview of Power Quality and Power Quality Standard. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Press Marketing, 2000. 1-25 p.

BORENSTEIN, C. R. Planejamento integrado de recursos e gestão estratégica da qualidade como instrumento de gestão no setor elétrico brasileiro. Regulação e gestão competitiva no setor elétrico brasileiro. 1. ed. Porto Alegre - RS: Sagra Luzzatto, 1999. p. 235-246. 280 p.

BORENSTEIN, C. R. e CAMARGO, C. C. B. O setor elétrico no Brasil: dos desafios do passados às alternativas do futuro. Porto Alegre - RS: Sagra Luzzatto. 1997. 318 p.

DUGAN, R. C., M. F. Mcgranaghan, *et al.* Electrical Power Systems Quality. New York: McGraw-Hill. 2002. 528 p.

JÚNIOR, A. A. O. e MATANA, G. M. Medidor de qualidade da energia elétrica utilizando conceitos de instrumentos virtuais. VII Conferência Internacional de Aplicações Industriais. Poços de Caldas - MG: 6 p. 2008.

RMS SISTEMAS ELÉTRICOS. Manual operacional do medidor/registrador MARH-21. Porto Alegre - RS: 97 p. 2008a.

SILVEIRA, M. Qualidade de Energia em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador, Salvador - Bahia, 2002. 141 p.