

Aspectos legais e contratuais referentes ao Impacto da QEE no Sistema Elétrico

Guilherme A. D. Dias, *IMPULSE Engenharia*, Darcy Casa, *DICEL Engenharia*,
Marco Telló, *Companhia Estadual de Energia Elétrica*

Resumo--Este artigo tem por objetivo descrever a relação existente entre Concessionária – Consumidor, no que tange aos aspectos legais e contratuais, no que se refere a qualidade da energia elétrica para os demais consumidores ligados ao sistema elétrico. No presente caso, a CONCESSIONÁRIA define esta relação em um documento chamado de RELATÓRIO - Relatório de Impacto no Sistema Elétrico, onde constam os requisitos de qualidade da energia elétrica que devem ser atendidas pelas cargas a serem ligadas ao sistema da CONCESSIONÁRIA.

Palavras Chave—Qualidade da energia elétrica (QEE), Impacto no sistema elétrico, harmônicas.

I. INTRODUÇÃO

Na atualidade, quando da ocorrência da perda de qualidade da energia elétrica nos sistemas elétricos das Concessionárias de Energia Elétrica, seja pelo motivo que for, os Clientes de tal Concessionária tem apresentado reclamações formais à Concessionária, às Agências Reguladoras Estaduais, à ANEEL e não raras vezes, apresentado demandas judiciais.

Para evitar/minimizar tais problemas, as Concessionárias tem editado Normas e Orientações Técnicas [2] que devem ser observadas pelos Consumidores para que nenhum dos intervenientes produza problema para os outros.

II. A VISÃO E POSTURA DA CONCESSIONÁRIA

A visão e postura da Concessionária quando da ligação de cargas no seu sistema elétrico, sejam novas cargas ou sejam expansões industriais, é de evitar que os consumidores introduzam cargas não lineares de forma descontrolada.

Sabedora que, muitas vezes o Consumidor não dispõe de Corpo Técnico de Engenharia, devido ao alto custo frente ao porte da Empresa, com conhecimento adequado dos aspectos que envolvem a Qualidade da Energia Elétrica, notadamente as harmônicas em sistemas industriais, pode indicar informação básica sobre tal assunto [1], apresentado os seguintes tópicos principais:

- Histórico sobre harmônicas
- Conceituação teórica
- Surgimento das harmônicas
- Quantificação das harmônicas
- Componentes harmônicas no sistema trifásico
- Ressonância série e paralela
- Equipamentos não lineares

- Modelagem dos componentes
- Efeito das harmônicas
- Fator de potência real e de deslocamento
- Medição das componentes harmônicas
- Medidas corretivas
- Legislação e normalização nacional e internacional
- Procedimentos para atendimento de cargas não lineares

Tal informação visa esclarecer o Consumidor da necessidade de evitar a poluição do sistema elétrico, atitude nociva para os demais Consumidores e quando produzida por terceiros, nociva ao próprio Consumidor.

Apesar da precaução das Concessionárias em esclarecer os Consumidores, estes, usualmente, não dão o devido valor a tais informações, assim sendo, são solicitadas, preliminarmente, antes da ligação das novas cargas ou implantação de Empresa com cargas não lineares, informações com o maior detalhamento possível. Tais informações, resumidamente, são as seguintes:

- Informações de ordem geral sobre o Consumidor (tipo de ligação, razão social, endereço, regime de trabalho, geração própria, demanda contratada, previsão de demanda, etc.)
- Informações técnicas sobre equipamentos (motores, fornos, máquinas de solda, etc.)

Observe-se que tal fornecimento de informações é relativamente simples para instalações novas, onde os equipamentos estão em fase de aquisição e usualmente estão disponíveis Especificações Técnicas para aquisição ou Folhas de Dados fornecidas pelos fabricantes, onde constam todas ou quase todas as informações desejadas pela Concessionária.

Um documento considerado muito importante para a Concessionária [2] é aquele que define os requisitos de acesso ao seu sistema elétrico, o qual apresenta em linhas gerais os seguintes aspectos:

- Finalidade
- Âmbito de aplicação
- Documentos complementares
- Conceitos básicos
- Requisitos gerais
- Procedimentos específicos
- Limites especificados
 - Tensão em Regime Permanente
 - Cintilação (*flicker*)
 - Distorção Harmônica
 - Interferência telefônica

- Desequilíbrios
- Cargas potencialmente perturbadoras

Os principais aspectos deste documento correspondem ao regramento das ações a serem desenvolvidas pelo Consumidor, de subtransmissão ou distribuição, a saber: O interessado na conexão deverá elaborar às suas expensas e apresentar à Concessionária um Relatório de Impacto das Harmônicas e outras perturbações. Em tal Relatório deverão ser demonstrados quais serão os impactos causados no ponto de conexão pelas cargas previstas no processo produtivo, qualquer que seja o regime operativo utilizado, bem como demonstrando quais serão as medidas de compensação adotadas para prevenir o surgimento de tais perturbações. Deve conter, também, de forma tabelada e perfeitamente compreensível, um conjunto de resultados da operação em regime da instalação do acessante medindo ou simulando a inexistência de qualquer medida compensatória (filtros de harmônicas, etc.), apresentando a magnitude e extensão da perturbação que ocorreria no ponto de conexão com a Concessionária. Deverá conter, ainda, consecutivamente, um segundo conjunto de resultados da operação em regime, medindo ou simulando, agora, a introdução dos dispositivos e equipamentos de compensação (filtros de harmônicas, etc.).

Tal relatório deverá conter um diagrama unifilar que ilustre as duas situações de simulação acima requeridas, com todas as referências para sua perfeita compreensão. A Concessionária procederá a análise do Relatório e a qualquer tempo poderá solicitar esclarecimentos ou a introdução de detalhes que elucidem possíveis dúvidas quanto à eficácia ou o desempenho do sistema ou metodologia proposta para a compensação ou eliminação das perturbações no ponto de conexão do acesso. A estrutura sugerida (sumário) para o Relatório [2] é a seguinte:

- Objetivos
- Informações básicas (diagrama unifilar, etc.)
- Critérios de cálculo ou medição adotados
- Metodologia de cálculo ou medição
- (particularização do memorial)
- Conclusões e recomendações
- Referências (bibliografia)
- Anexos

Para definição dos valores máximos permitidos para as perturbações ao seu sistema elétrico, a Concessionária utilizou em nível nacional, os critérios do ONS [6] para a subtransmissão, da ANEEL [7] para a distribuição e os limites internacionais da ANSI/IEEE [4] e IEC [5], entre outros.

Considerando-se o que é apresentado no Relatório, verifica-se que para instalações novas, ainda não existentes, são solicitadas simulações das cargas não lineares integradas ao sistema elétrico da Concessionária com o emprego de *softwares* e das características presumidas das cargas para avaliação da Concessionária, sendo após realizadas medições para avaliação e confirmação das simulações.

Já para instalações existentes, que usualmente são expandidas de acordo com a necessidade de aumento da produção, o controle dos equipamentos, no detalhamento desejado pela Concessionária, é precário. Normalmente será necessário realizar um “pente fino” na instalação, o que via de

regra depende de paradas de máquinas ou mesmo de toda a instalação, o que no setor industrial apresenta, não raras vezes, valores expressivos com a respectiva má vontade para realizar os desligamentos necessários para a inspeção.

Para contornar tais problemas, a Concessionária permite que sejam utilizadas outras formas para solucionar o problema, o que envolve medições de qualidade da energia elétrica.

As medições de qualidade da energia elétrica são usualmente conduzidas da seguinte forma:

- Previamente a introdução de novas cargas não lineares para verificar o sistema elétrico sem a nova carga, realizando medições de tensão com a carga desligada e medições de corrente e tensão com a carga existente ligada;
- Posteriormente, com a nova carga não linear ligada são realizadas outras medições de corrente e tensão.

No interregno, entre as duas medições e com as harmônicas características presumidas da nova carga, fornecidas pelo fabricante da mesma, são realizadas simulações do impacto da mesma sobre o sistema elétrico da Concessionária, expressas no Relatório.

Após a análise do correspondente Relatório, é permitida a operação da instalação e solicitado que seja apurado o impacto no sistema elétrico, através de medições.

A execução dessas medições no campo objetiva comprovar o acerto das medidas compensatórias propostas pelo acessante e, em princípio, aprovadas pela Concessionária, ao demonstrar que as magnitudes das eventuais perturbações que surgirem ficarão dentro dos limites estabelecidos por esta Concessionária e/ou pelos órgãos normativos do Poder Concedente.

Se ficar constatada a inadequação ou insuficiência do esquema de compensação, mesmo que a Concessionária tenha aprovado o correspondente Relatório, o acessante estará obrigado, sob sua total responsabilidade e ônus, a rever a solução proposta e adotada, devendo imediatamente modificar, substituir ou tomar qualquer outra providência necessária à readequação das medidas compensatórias. O acessante deverá, ainda, providenciar a revisão do Relatório e submetê-lo novamente à aprovação da Concessionária e a nova vistoria das instalações, para comprovar a execução das modificações adotadas.

A Concessionária poderá, ainda, interromper o fornecimento de energia caso o nível de perturbação apurado possa prejudicar outras unidades consumidoras e/ou o seu sistema elétrico.

O processo acima descrito repetir-se-á até que não restem mais dúvidas sobre a eficácia das medidas compensatórias. Quando isso ocorrer, o acessante poderá, então, receber a autorização definitiva para operação de suas instalações o que não exime o acessante de cumprir outras obrigações previstas em outros procedimentos estabelecidos pela Concessionária ou outro organismo legalmente constituído com vistas ao uso da energia elétrica.

III. A VISÃO E POSTURA DO CONSUMIDOR

No Brasil, na grande maioria dos casos as indústrias são de pequeno e médio porte, alimentadas em tensão de distribuição. Da mesma forma, estas dificilmente dispõem de equipes de manutenção e de engenheiro eletricista dedicadas, que quando são necessárias são convocadas com urgência para resolver os problemas que surgem na unidade fabril. Por estes motivos, o Consumidor não é advertido sobre o que pode acontecer em termos da qualidade de energia no seu processo de fabricação, desconhecendo os mesmos e necessitando orientação segura, o que é obtido através de contratação de *expert* (Consultor) para solucionar tais problemas.

O Consumidor, via de regra, está preocupado com o seu sistema produtivo, sendo a energia elétrica considerada unicamente um insumo necessário à produção.

Assim sendo, “exige” da Concessionária um insumo de excelente qualidade e que não perturbe o seu sistema produtivo.

Hoje em dia, com a massificação das cargas não lineares, não raras vezes o próprio Consumidor reclamante é o causador dos problemas, mormente em se considerando as harmônicas produzidas nos sistemas industriais.

Outro aspecto importante se refere ao tratamento das cargas não lineares pelos Consumidores que usualmente, “por economia” não adquirem os equipamentos com os dispositivos (filtros, etc.) que minimizem ou mesmo eliminem a perturbação da rede elétrica.

Assim sendo, quando a Concessionária requisita do Consumidor um Relatório, este encara a elaboração deste estudo/documento, como mais um custo a ser diluído no seu processo produtivo, não se colocando no “lugar dos outros Consumidores” que poderão ser prejudicados pelas suas ações.

Consumidores industriais de maior porte dispõem de um corpo de Engenheiros de todas as formações, inclusive Engenheiros Eletricistas, o que facilita e muitas vezes contribui para a realização de um Relatório com todas as informações e esclarecimentos necessários.

IV. A VISÃO E POSTURA DO CONSULTOR

Neste item, serão apresentados os resultados de anos de vivência na área da qualidade de energia elétrica, sendo relatados fatos corriqueiros para quem labuta em tal área e sugeridos procedimentos adequados que levem à bom termo as ações da pessoa que realiza consultoria na área.

Tem se verificado que muitas vezes, pessoas ou empresas tem acessado problemas de qualidade de energia sem o mínimo conhecimento do assunto, realizando procedimentos usuais para a compensação de cargas lineares e desta forma aumentando ainda mais o problema. Exemplos disto existem as centenas, onde a aplicação de bancos de capacitores tem sido realizada baseada unicamente no fator de potência de deslocamento, desconsiderando as harmônicas, com conseqüências desastrosas (explosões, incêndios, etc.).

Na Fig. 1 são apresentadas fotos [8] - [9] que corroboram o que foi escrito no parágrafo anterior.



Fig. 1. Aplicação incorreta de equipamentos.

Outro aspecto de importância se refere as medições contratadas pelo Consumidor, sem Especificação Técnica adequada, o que resulta na entrega pelo “Consultor” de listagens de valores medidos, sem interesse prático ou relatórios não conclusivos e que não tem utilidade.

O Consumidor ao contratar as medições deverá expor as suas necessidades de forma clara ao Consultor e não simplesmente requisitar “medições de harmônicas”.

Uma forma adequada de requisitar tais medições de harmônicas, e que pode ser cobrada a posteriori, é a seguinte:

- Fornecimento de diagrama unifilar da planta industrial com indicação da localização do ponto de medição;
- Solicitar visita inicial do Consultor à Empresa para elucidar dúvidas do Consumidor e do próprio Consultor;
- Solicitar que as medições sejam representativas de um ciclo de operação da planta industrial;
- Solicitar relatório das medições contendo, no mínimo:
 - Mídia eletrônica com todos os dados medidos;
 - Síntese dos valores medidos: máximo, médio, mínimo;
 - Representação gráfica e formas de onda dos dados medidos;
 - Análise;
 - Constatações;
 - Conclusões;
 - Recomendações;
- Solicitar visita final do Consultor à Empresa para elucidar dúvidas do Consumidor sobre as medições e apresentação das recomendações sobre os procedimentos a serem adotados pelo Consumidor.

Aspectos similares servem para a contratação de estudos de harmônicas previamente a instalação de uma unidade fabril, devendo o Consultor se responsabilizar pela emissão do Relatório, orientando o Consumidor e municiando a Concessionária para a tomada de decisão correta.

V. ESTUDO DE CASO

Para ilustrar as etapas que envolvem o Relatório, será apresentado a seguir um estudo de caso real realizado na Área de Concessão da Concessionária. Tal caso é referente a uma Empresa já existente, alimentada em 13,8 kV, corrente de curto-circuito de 5.430 A, cujo processo produtivo envolve Fundição e Mecânica de Precisão, empregando equipamentos industriais do tipo CNC, CLPs e PCs industriais, Fornos de

indução, Fornos de tempera, Retificadores, Soldas, conforme resumo a seguir.

Total da carga	10.650 kVA
Fator de potência (aproximadamente)	96 %
Fornos de indução (total)	67 %
Motores acionados por inversores/retificadores	30 %
Outras cargas não lineares (aproximadamente)	1 %
Cargas lineares (aproximadamente)	2 %

O Diagrama unifilar simplificado da Indústria, com indicação do ponto de medição (TC e TPs indicados) está apresentado na Fig. 2

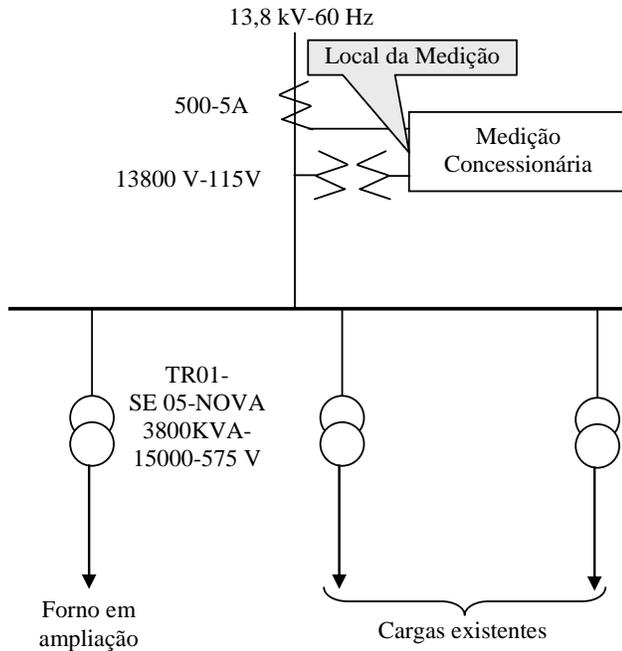


Fig. 2. Diagrama unifilar simplificado da Indústria.

A nova carga a ser introduzida no sistema é a correspondente a um forno de indução, conforme TABELA 1 que apresenta também o forno de aquecimento existente.

TABELA I
FORNOS DE INDUÇÃO E FORNOS DE AQUECIMENTO

Dados do retificador AC/DC do forno			
Forno	U (V)	P (kW)	Pulsos
Aquecimento	480	3750	6
Indução	550	3000	12
Potência total		6750	

Apresentar-se-á um resumo do *Primeiro Relatório*, antes da instalação do Forno de Indução e do *Segundo Relatório*, após a instalação do Forno de Indução.

A. Primeiro Relatório

Antes de instalado o forno de indução, foi realizada avaliação da forma de onda de corrente e sua distorção (Fig. 3), a qual está acompanhada do respectivo espectro de frequência.

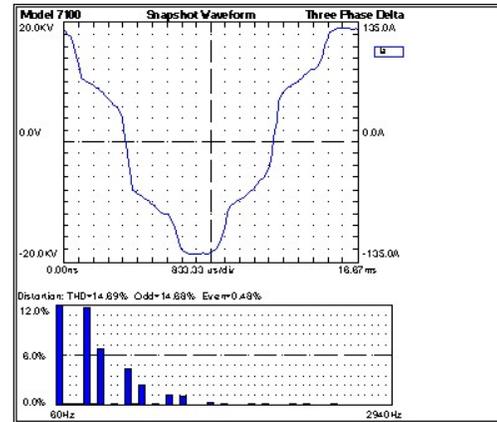


Fig. 3. Forma de onda da corrente e espectro de frequência correspondente.

Da mesma forma, foi medida a máxima distorção e forma de onda da tensão (Fig. 4), a qual também está acompanhada do respectivo espectro de frequência.

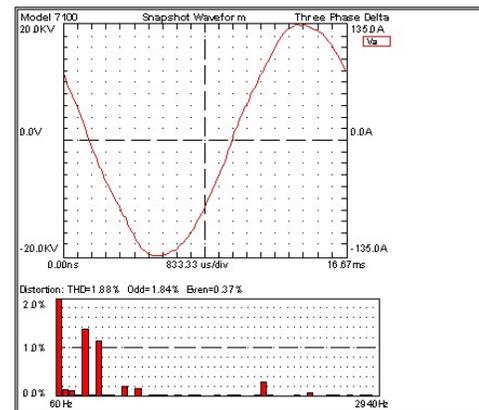


Fig. 4. Forma de onda da tensão e espectro de frequência correspondente.

B. Segundo Relatório

Após instalado o forno de indução, foi realizada avaliação da forma de onda de corrente e sua distorção (Fig. 5), a qual está acompanhada do respectivo espectro de frequência.

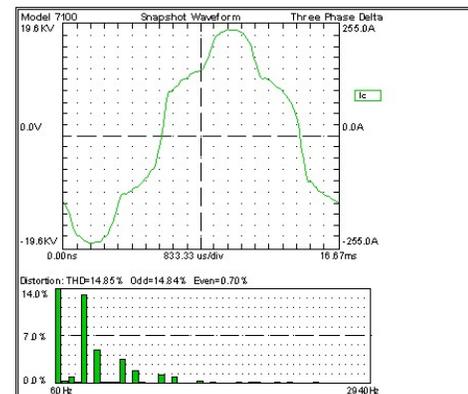


Fig. 5. Forma de onda da corrente e espectro de frequência correspondente.

Da mesma forma, foi medida a máxima distorção e forma de onda da tensão (Fig. 6), a qual também está acompanhada do respectivo espectro de frequência.

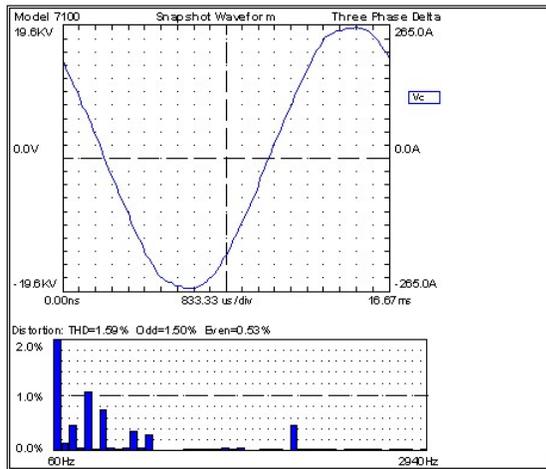


Fig. 6. Forma de onda da tensão e espectro de frequência correspondente.

Da análise das piores distorções de corrente e tensão (Fig. 5 e 6) verifica-se que houve melhora do desempenho do sistema após a instalação do forno de indução, o que pode ser avaliado na Tabelas 2 e 3.

C. Recomendações do Primeiro e Segundo Relatório

Para consolidar os resultados do *Primeiro e Segundo Relatório*, foram elaboradas as Tabelas 2 e 3, sendo a Tabela 2, referente aos resultados das harmônicas e distorção da tensão, onde M1 significa Primeira Medição, **sem** o Forno novo e M2 significa Segunda Medição, **com** o Forno novo.

TABELA II
HARMÔNICAS E DISTORÇÃO DA TENSÃO

Tabela - 2		Distorção harmônica de tensão								
Harm	Harmônicas ímpares (%)									
	5h	7h	11h	13h	17h	19h	23h	25h	29h	DHT
M1	1,39	1,15	0,23	0,18	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	1,84
M2	1,09	0,74	0,39	0,30	0,01	0,02	0,07	0,07	0,03	1,59

A Tabela 3 se refere aos resultados das harmônicas e distorção da corrente.

TABELA III
HARMÔNICAS E DISTORÇÃO DA CORRENTE

Tabela - 1 Icc/Io = 22,7		Distorção harmônica de corrente								
Harm	Harmônicas ímpares (%)									
	5h	7h	11h	13h	17h	19h	23h	25h	29h	DHT
M1	11,76	6,81	4,44	2,60	1,48	1,21	0,50	0,34	0,23	14,69
M2	6,00	3,22	4,48	2,43	0,56	0,26	0,87	0,49	0,14	8,68
IEEE 519	7	7	3,5	3,5	2,5	2,5	1	1	1	8,00

A partir dos resultados das medições realizadas, foram realizadas as seguintes conclusões do *Relatório*:

1. Após a energização do Forno, continua normal o desempenho da Planta Elétrica, com o fator de potência de aproximadamente 0,96;
2. Não foi constatada nenhuma irregularidade no funcionamento dos demais equipamentos industriais;
3. Houve uma queda dos níveis de Distorção Harmônica.
4. Com base no resultado das medições, apresentar o *Segundo Relatório* à Concessionária e, solicitar a Operação da indústria por tempo indeterminado.

Observe-se que se fossem necessárias quaisquer medidas compensatórias (filtros de harmônicas, etc.), estas deveriam estar claramente apresentadas no Relatório para conhecimento da Concessionária e do Consumidor. Isto acontecendo, um *Terceiro Relatório* deveria ser apresentado evidenciando os resultados adequados da aplicação das medidas compensatórias.

VI. CONCLUSÕES

No presente artigo técnico foram apresentados os requisitos das Concessionárias, a visão dos Consumidores e o que os Consultores podem fazer no sentido de apoiar tanto a Concessionária tanto como os Consumidores.

No estudo de caso apresentado, não foi necessário o emprego de soluções adicionais para resolver eventuais problemas de qualidade da energia elétrica, como o emprego de filtros de harmônicas, seja sintonizado ou desintonizado, como o apresentado na Fig. 6.



Fig. 6. Exemplo de filtro de harmônicas desintonizado em baixa tensão.

VII. REFERÊNCIAS

Livros:

- [1] G. A. D. Dias, *Harmônicas e Sistemas Industriais*, Segunda Edição, EDIPUCRS, 2002., p.284.

Relatórios Técnicos:

- [2] Companhia Estadual de Energia Elétrica, *Requisitos Mínimos para Projetos de Subestações Particulares a serem conectadas ao Sistema Elétrico da CEEE - Área de Distribuição (CEEE/AD)*, Versão 2005.
- [3] Darcy Casa, *Relatório elaborado pela DICEL Engenharia para Consumidor*.

Normas:

- [4] Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, *ANSI/IEEE Standard 519-1992*.
- [5] Wind Turbine Generator Systems-Part 21:Measurement and assessment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines, *International Standard IEC 61400-21, First Edition 2001*.
- [6] Submódulo 2.2, *Padrões de Desempenho da Rede Básica, ONS-Operador Nacional do Sistema Elétrico*.
- [7] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, *Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL*.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [8] G. A. D. Dias and A. Tamagna, "A Case Study of Transformer Saturation in Distribution Systems". In *Proc. 9th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Orlando, USA, 2000*.
- [9] G. A. D. Dias, M. Telló, F. V. Sonálio, F. K. Behle, B. Santana And D. Casa, "Harmonic Filtering and Power Factor Improvement on Illumination Systems". In: *Proc. International Conference on Harmonics and Quality Power, 2004, Lake Placid, NY, USA. International Conference on Harmonics and Quality Power, 2004. v. 1*.

Biografias



Guilherme Alfredo Dentzien Dias nasceu em Porto Alegre, RS, em 28 de abril de 1950. Graduado em Engenharia Elétrica em 1975 pela Universidade federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia (1996) e Doutor em Engenharia pela Universidade federal do Rio Grande do Sul, com a Tese ANÁLISE DE WAVELET – APLICAÇÃO EM QUALIDADE DA ENERGIA (2000). Professor da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul de 1976 até 2006. Engenheiro Eletricista da CEEE de 1975 até 1997, tendo exercido diversos cargos de chefia, atuando em Manutenção, projeto e planejamento. Desde 2006, Responsável Técnico da IMPULSE Engenharia Ltda. Engenheiro de Segurança. Escreveu o livro *Harmônicas em Sistemas Industriais*.



Darcy Casa nasceu em Galópolis, RS, em 1936. Graduado em Engenharia Eletrônica na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul em 1978. Pontifícia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul de 1979 até 1994. Atualmente, leciona a disciplina de Qualidade da Energia no Curso de Especialização em Eficiência Energética, Ensino a distância EAD, da mesma Universidade Tem realizado consultorias, medições e diversas pesquisas na área de Qualidade da Energia Elétrica. Diretor da Dicel Engenharia.



Marcos Telló nasceu em Ijuí, RS, em 25 de novembro de 1956. Graduado em Engenharia Elétrica em 1981 pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Mestre em Engenharia em 1991, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 2000. Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), desde 1984; Engenheiro da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), desde 1982, e Membro do Grupo de Compatibilidade Eletromagnética (GCEM), da PUCRS, desde 1993.