

# QUALIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A CONSUMIDOR DO GRUPO A

## *ENERGY QUALITY AND EFFICIENCY APPLIED TO A GROUP A CONSUMER*

SILVA, Alex de Lima<sup>1</sup>

IBAROLA, Douglas<sup>2</sup>

NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da<sup>3</sup>

MARTINS, Fabiano Battemarco da Silva<sup>4</sup>

**Resumo:** Este trabalho visa discutir a importância do uso consciente da energia elétrica, em razão da limitação de recursos e dos impactos ambientais causados pela geração de energia, e também a relação direta entre eficiência energética e qualidade de energia. Equipamentos modernos, que demandam menos energia, mas que possuem um comportamento não linear, e cargas de natureza indutiva, como transformadores e motores elétricos, afetam a qualidade da energia, causando problemas como distorções harmônicas e diminuição do fator de potência. Como esses problemas se propagam pela rede de distribuição, afetando outros consumidores, assim como a própria rede, a ANEEL estabelece parâmetros mínimos de qualidade de energia que precisam ser atendidos por consumidores de média e alta tensão. Para solucionar, ou ao menos mitigar esses problemas, duas possibilidades são apresentadas: bancos de capacitores para correção do fator de potência e filtros passivos ou ativos, para anular as distorções harmônicas. O estudo de caso apresentado descreve a análise da qualidade de energia de um consumidor do grupo A, relatando o problema de baixo fator de potência identificado e as medidas adotadas para resolver o problema. Também descreve o projeto de eficiência energética elaborado em parceria com uma ESCO, que foi aprovado e será financiado pelo Programa de Eficiência Energética da concessionária Light.

**Palavras-chaves:** eficiência energética; qualidade de energia; fator de potência; distorção harmônica.

**Abstract:** This paper aims to discuss the importance of the conscious use of electric energy, because of the limitation of resources and the environmental impacts caused by energy generation, and the direct relation between energy efficiency and energy quality. Modern equipment, which demands less energy, but have a nonlinear behavior, and inductive nature charges, such as transformer and electric motors, affect the quality of the energy, causing problems like harmonic distortions and decrease of the power factor. As these problems spread to the power grid, affecting other consumers, as the grid itself, the ANEEL establishes minimum quality parameters that must be attained by medium and high voltage consumers. To solve, or at least mitigate these problems, two possibilities are presented: capacitor banks to correct the power factor, and passive or active filters, to cancel the harmonic distortion. The case study presented describes the analysis of the energy quality of a group A consumer, reporting the problem with the low power factor identified and the adopted measures to address the problem. It also describes the energy efficiency project elaborated in partnership with an ESCO, which was approved and will be financed by the local power company's Energy Efficiency Program.

**Keywords:** energy efficiency; energy quality, power factor; harmonic distortion

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Elétrica - Professor da Universidade Santa Úrsula (USU) – prof.alexdelima@gmail.com

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Elétrica - Universidade Santa Úrsula (USU) – douglasibarrola@gmail.com

<sup>3</sup> Pós-Doutor em Engenharia Civil - Professor da Universidade Santa Úrsula (USU) - [engmarcelocefet@terra.com.br](mailto:engmarcelocefet@terra.com.br)

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental - Professor da Universidade Santa Úrsula (USU) - fabianobattemarco@gmail.com

## **1 INTRODUÇÃO**

Com a demanda cada vez maior por energia e com a necessidade de preservação e de uso sustentável dos recursos naturais, o campo da eficiência energética tem se tornado um importante foco de discussão entre especialistas, uma vez que as principais formas de geração de energia elétrica causam grande impacto ao meio ambiente.

Desta forma, o uso responsável da energia elétrica é fundamental, evitando-se o desperdício e aumentando a eficiência na sua utilização, com desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitam que uma mesma atividade seja realizada de forma mais eficiente, e utilizando uma fração da energia anteriormente necessária.

Entretanto, muitas dessas novas tecnologias utilizadas nos processos de eficiência energética, têm como consequência uma piora na qualidade da energia, introduzindo ruídos harmônicos, oscilações de tensão elétrica, dentre outros problemas.

O tema da qualidade, associada à eficiência energética, em função do potencial de economia de energia e, conseqüentemente, diminuição de custos, vem despertando bastante interesse, especialmente nas áreas comerciais e industriais, e, mais recentemente, no setor público.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Eficiência Energética**

Com a Crise do Petróleo, que teve seu auge no início da década de 1970, quando os países fundadores da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) decidiram criar um embargo à distribuição de petróleo, visando lutar contra o achatamento de preços forçado pelo cartel das grandes empresas petrolíferas do ocidente, o preço do barril de petróleo chegou a subir mais de 400% em questão de alguns meses, causando um grande impacto nas principais economias do ocidente.

Neste contexto, tanto governantes quanto a sociedade como um todo começaram a se conscientizar da necessidade de se combater o desperdício de energia. No Brasil, os Ministérios das Minas e Energia e da Indústria e Comércio instituíram o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 1985, com o objetivo de coordenar iniciativas de conservação de energia já existentes na época, por parte de organizações públicas e privadas (MAMEDE FILHO, 2017).

Atualmente, o PROCEL possui programas voltados para diversos segmentos, como construção civil, indústria e comércio, iluminação pública, poder público e difusão de conhecimento na área de eficiência energética. Além disso, o Selo PROCEL ajuda os consumidores a identificar equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, estimulando o aprimoramento tecnológico da indústria nacional.

## **2.2 Projetos de Eficientização Energética**

A definição de eficiência energética, muitas vezes, contempla apenas a redução do consumo de energia. Entretanto, este conceito deve ser abordado de maneira mais abrangente, considerando não apenas a redução do consumo de energia, como também a diminuição de perdas no processo produtivo, redução nos tempos de parada, desperdício de matéria-prima, mau funcionamento de equipamentos, processos de manutenção e perdas associadas à má qualidade da energia elétrica. A efficientização energética visa aproveitar a energia que seria perdida para algum fim útil (OLIVEIRA, 2011).

Atualmente, existem diversas formas de se melhorar a eficiência energética de uma unidade consumidora. Desde medidas simples, como programas de conscientização dos usuários de uma instalação, substituição de lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED, utilização de equipamentos que realizam mais trabalho com menos energia, uso racional de elevadores, dentre outros, até medidas mais complexas, como a utilização de sistemas de condicionamento ambiental mais eficientes, sistemas de monitoramento e operação automático das instalações elétricas, capazes de controlar o funcionamento de sistemas de iluminação, ou de monitorar a demanda de energia da unidade consumidora, fornecendo ao gestor, ferramentas para identificar problemas de desperdício e atuar diretamente na causa do problema.

Para se realizar um estudo de eficiência energética em uma unidade consumidora, o gestor precisa analisar a carga instalada e identificar onde possivelmente estão ocorrendo desperdícios. Além disso, programas de conscientização visando racionalizar o uso de energia elétrica (MAMEDE FILHO, 2017).

Basicamente, os programas de efficientização energética são divididos em três pontos principais: gestão da energia, utilização de equipamentos mais eficientes e também mudança de processos para torná-los mais eficientes e, por último, a conscientização das pessoas com a consequente mudança de hábitos. Esses três segmentos formam a base de um projeto de efficientização energética e todos são importantes para que os resultados pretendidos sejam alcançados (OLIVEIRA, 2011).

## **2.3 Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da ANEEL**

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através de sua Resolução Normativa nº 556, de 18 de junho de 2013, estabelece que as concessionárias de energia elétrica devem disponibilizar 0,5% da sua receita operacional líquida para o financiamento de projetos de efficientização energética nos setores público, privado e de clientes de baixa renda.

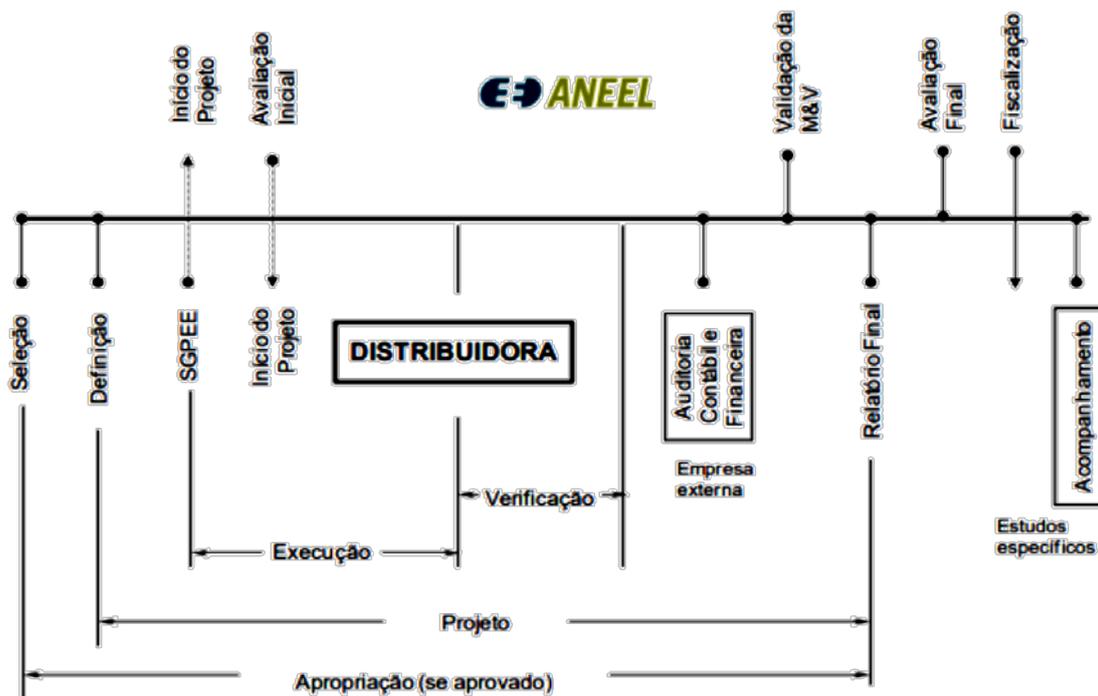
O programa visa incentivar o uso eficiente e racional da energia elétrica em diferentes segmentos, através do financiamento de projetos de efficientização energética que se demonstrem

relevantes no combate ao desperdício de energia, aplicação de novas tecnologias, substituição de equipamentos obsoletos e melhoria de processos e usos finais da energia elétrica (ANEEL/PROPEE, 2018).

Para tanto, as concessionárias realizam chamadas públicas de projetos, que são classificados de acordo com os parâmetros estabelecidos nos editais de convocação, que se baseiam nas regras determinadas pelos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da ANEEL. Os projetos mais bem classificados recebem da concessionária o investimento necessário para sua implantação.

Na Figura 1 é visto o diagrama esquemático do sistema de avaliação de projetos estabelecido pelo PROPEE da ANEEL.

Figura 1: Diagrama esquemático do sistema de avaliação de projetos estabelecido pelo PROPEE da ANEEL.



Fonte: PROPEE/ANEEL (2018).

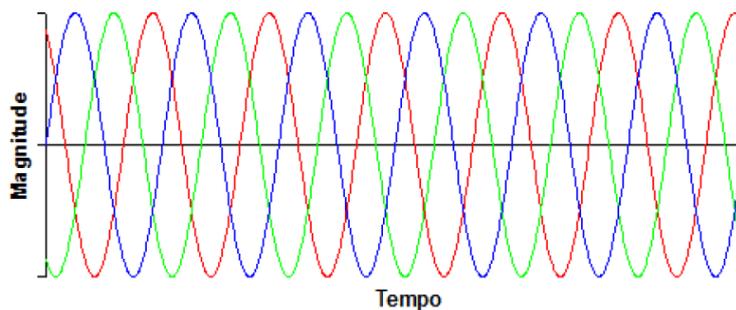
Existem no mercado empresas denominadas ESCOs, que são empresas especializadas em serviços de conservação de energia. Estas empresas possuem um *know-how* técnico específico na área de eficiência energética. Os consumidores interessados em elaborar um projeto de eficiência energética para submetê-lo a uma chamada pública de projetos podem se associar a uma ESCO, que realiza toda a parte de diagnóstico, elaboração do projeto, medição e verificação e análise econômica, além de executarem o projeto proposto, em caso de aprovação pela concessionária.

## 2.4 Qualidade de Energia

Em um circuito elétrico ideal, perfeitamente equilibrado, podemos considerar que as formas de onda de tensão e corrente são perfeitamente senoidais, sem variações de amplitude e frequência (OLIVEIRA, 2011).

Na Figura 2 temos a representação de Sistema elétrico trifásico ideal, sem variações de amplitude, frequência e defasagem, e com a potência igualmente distribuída entre as fases.

Figura 2: Sistema elétrico trifásico ideal.



Fonte: Oliveira (2009).

Entretanto, em um sistema real, tensões e correntes sofrem variações, por diversos motivos, desde pequenos desequilíbrios de carga em cada fase, até perdas por aquecimento em cabos e conexões.

Porém, quando estas variações ultrapassam limites predefinidos, podemos dizer que há perda da qualidade de energia elétrica.

Podemos definir qualidade de energia elétrica como a frequência e intensidade das distorções nas formas de onda de tensão e corrente, que prejudique o funcionamento de qualquer equipamento ligado à rede.

Antigamente, a qualidade da energia elétrica fornecida não era um tema de grande relevância, visto que os equipamentos da época eram pouco sensíveis aos distúrbios de tensão e corrente. Entretanto, com o desenvolvimento da tecnologia, especialmente na área da eletrônica, a qualidade da energia elétrica se tornou um importante tópico de debate entre especialistas, visto que os equipamentos passaram a ser cada vez mais afetados por pequenas variações de tensão e corrente.

## 2.5 Eficiência Energética e Qualidade de Energia

Atualmente, os modernos equipamentos eletrônicos não são apenas afetados por uma energia de má qualidade como também são, na maioria das vezes, os geradores dos distúrbios elétricos (OLIVEIRA, 2011).

A substituição gradativa de cargas lineares ou praticamente lineares, que possuem um alto consumo de energia, por equipamentos mais modernos, com baixo consumo de energia, apesar de atenderem aos requisitos da efficientização energética, causam prejuízo à qualidade da energia, por se tratarem, primordialmente, de cargas não lineares, como transformadores e motores, sujeitos ao efeito de saturação do núcleo ferromagnético e equipamentos eletrônicos, compostos por semicondutores, microprocessadores e microcontroladores, além de fontes chaveadas.

A distorção causada pela saturação magnética é resultado da soma da corrente de carga com a corrente de magnetização do núcleo, cuja forma de onda não linear é uma característica própria de cada núcleo (DECKMANN & POMILIO, 2018).

Os circuitos eletrônicos também são considerados como elementos não lineares, visto que seus gráficos de tensão x corrente apresentam descontinuidades para valores de tensão específicos. Como resultado, as correntes geradas por uma tensão de forma de onda senoidal, são compostas pelo somatório da onda de frequência fundamental e de diversos harmônicos, distorcendo a forma de onda da corrente.

Uma característica intrínseca do sistema elétrico, é que a distorção se propaga tanto à jusante, como à montante, isto é, a utilização de cargas não lineares não prejudica a qualidade da energia apenas do próprio consumidor, afetando também a rede de distribuição das concessionárias. Como explicam Fernandes et al. (2010), a soma das distorções harmônicas geradas pelos consumidores de baixa tensão com as distorções geradas por consumidores de maior porte pode gerar um grande impacto sobre os alimentadores, causando diversos problemas de qualidade de energia, como mau funcionamento de equipamentos, baixo fator de potência, distorções nas formas de onda de tensão e/ou corrente, aquecimento de cabos, dentre outros (DUGAN et al., 2004).

Desta forma, a ANEEL determina, através de suas resoluções normativas, que, assim como as unidades geradores de energia, redes de transmissão e distribuição, grandes consumidores, alimentados em média e alta tensão, são obrigados a atender a certos parâmetros de qualidade de energia, como, por exemplo, o nível do fator de potência.

## **2.6 Análise da Qualidade de Energia**

Geralmente, a questão da qualidade de energia elétrica de um consumidor surge apenas quando se verifica o mau funcionamento de algum equipamento ligado à rede. Porém, para identificar o problema que está causando a perda da qualidade de energia, é necessário conhecer os possíveis problemas que podem afetar a qualidade de energia, suas causas, as condições em que cada problema se manifesta e suas consequências sobre a qualidade da energia.

No passado, identificar e mensurar alguns dos fenômenos que afetam a qualidade de energia era uma tarefa complexa, e apenas valores eficazes de tensão, frequência e longas interrupções

podiam ser medidas em larga escala. Porém, com o avanço tecnológico, foi possível o desenvolvimento de equipamentos específicos para esta finalidade, como analisadores de energia, que são capazes de medir e mostrar com precisão e detalhamento, formas de onda de tensão e corrente, facilitando a identificação de distúrbios na rede elétrica (OLIVEIRA, 2011).

## 2.7 Problemas de Qualidade de Energia

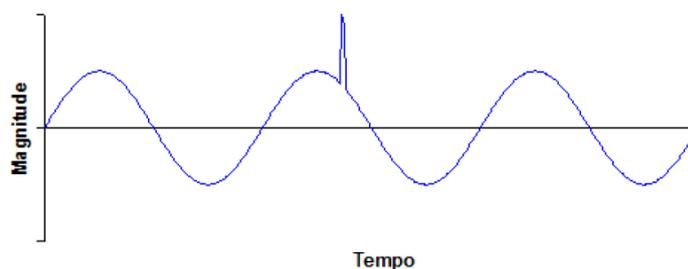
Os principais problemas que afetam a qualidade de energia de um sistema elétrico podem ser divididos entre variações na amplitude de tensão e distorções na forma de onda senoidal. Os fenômenos de variação de amplitude também podem ser classificados, de acordo com sua duração, em transitórios, variações de curta duração e variações de longa duração.

### 2.7.1 Transitórios

Os transitórios são distúrbios causados por fenômenos abruptos que afetam as condições de regime permanente da rede. Apesar de terem a duração de, no máximo, poucos milissegundos, são distúrbios de grande magnitude, que podem danificar equipamentos ligados à rede elétrica sem as devidas proteções.

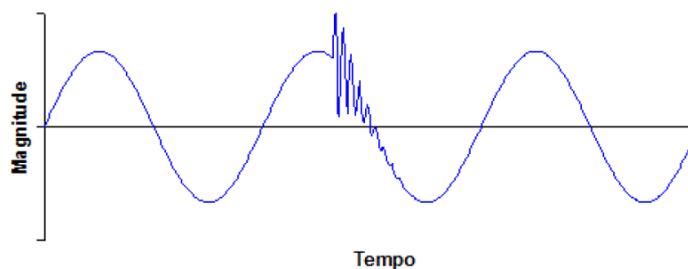
Os transitórios podem ser de caráter impulsivo, quando o distúrbio ocorre apenas em um único sentido, positivo ou negativo, sendo geralmente causados por descargas atmosféricas próximas ou diretamente sobre a rede elétrica, ou de caráter oscilatório, quando o distúrbio varia em um curto espaço de tempo a sua polaridade entre positivo e negativo. Transitórios oscilatórios são geralmente causados pela energização de um alimentador ou linha de transmissão após um período de interrupção ou pelo chaveamento de transformadores e bancos de capacitores. Na Figura 3, temos um sinal transitório Impulsivo e na Figura 4 um sinal transitório oscilatório.

Figura 3: Transitório Impulsivo.



Fonte: Oliveira (2009).

Figura 4: Transitório Oscilatório.



Fonte: Oliveira (2009).

### 2.7.2 Variações de Tensão de Curta Duração

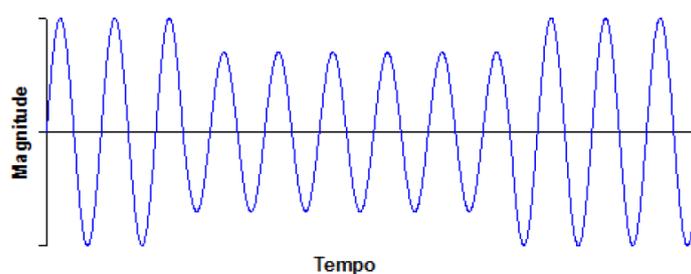
As variações de tensão de curta duração (VTCD), segundo Rocha (2016), são desvios significativos do valor eficaz da tensão, com duração de até 3 minutos. Estas variações podem ser classificadas como instantâneas, com duração de até 0,5 segundo, momentâneas, com duração de até 3 segundos, ou temporárias, com duração de até 3 minutos. Existem três tipos de variações de tensão de curta duração.

#### Afundamento de Tensão

Os afundamentos de tensão, também conhecidos como SAGs, são caracterizados pela redução do valor eficaz de tensão superior a 10% do valor de referência, e geralmente são causados por curto-circuitos na rede elétrica ou pela partida de grandes motores, sem que haja atenuação da corrente de partida.

Cargas como controladores lógico-programáveis e variadores de frequência são particularmente sensíveis a afundamentos de tensão. Na Figura 5 observamos uma onda senoidal com afundamento de tensão.

Figura 5: Afundamento de Tensão.

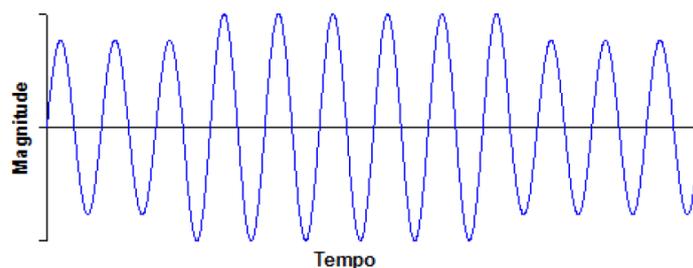


Fonte: Oliveira (2009).

## Elevação de Tensão

As elevações de tensão, também conhecidas como *SWELLS*, são caracterizadas pelo aumento do valor eficaz de tensão superior a 10% do valor de referência, e são menos comuns que os afundamentos de tensão. Segundo Rocha (2016), são causadas por curto-circuitos em uma das fases de um sistema trifásico, quando a tensão da fase em curto cai, causando a elevação da tensão nas outras duas fases. Podem também ser causadas pelo chaveamento ou desligamento de grandes cargas. Na Figura 6 tem-se um sinal senoidal com elevação de tensão.

Figura 6: Elevação de Tensão.

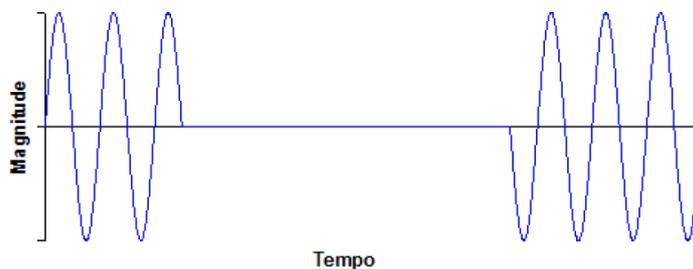


Fonte: Oliveira (2009).

## Interrupções

As interrupções de tensão são caracterizadas pela queda dos valores de tensão até próximo de zero, e podem ser causadas por eventos climáticos, desarme de proteções do sistema elétrico, operação manual de alimentadores, falhas em equipamentos ou na própria rede elétrica. Na Figura 7 temos um sinal com queda total da amplitude da tensão elétrica.

Figura 7: Interrupção.



Fonte: Oliveira (2009).

### 2.7.3 Variações de Tensão de Longa Duração

As variações de tensão de longa duração (VTLD) possuem as mesmas características dos eventos de curta duração, porém afetam a qualidade da energia em regime permanente, por se

tratarem de eventos com duração superior a 3 minutos. Estes eventos de longa duração são denominados de Subtensão, Sobretensão e Interrupção Sustentada.

#### 2.7.4 Desequilíbrios de Tensão

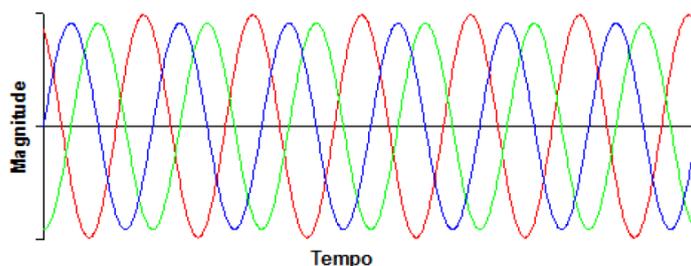
Os desequilíbrios de tensão são caracterizados pela diferença de valor eficaz ou por desvios no ângulo de defasagem entre as três fases. Os desequilíbrios de tensão são causados pelo desbalanceamento na distribuição das cargas monofásicas em um sistema trifásico, gerando correntes com valores significativamente diferentes e, conseqüentemente, diferentes valores de queda de tensão em cada fase.

Outras causas para o desequilíbrio de tensão são a distribuição geométrica dos condutores em linhas de transmissão aéreas, visto que o efeito capacitivo gerado entre os condutores geram quedas de tensão diferentes em cada fase, assim como a micro geração distribuída monofásica ou bifásica (ROCHA, 2016).

O mau funcionamento de motores elétricos ou de bancos de capacitores e problemas de conexão em sistemas alimentadores também podem causar desequilíbrios de tensão (OLIVEIRA, 2011).

Os desequilíbrios de tensão resultam em desperdício de energia por Efeito Joule em condutores e equipamentos, além de prejudicar o funcionamento de motores de indução. A figura 8 registra problemas de formas de ondas com desequilíbrios de tensão elétrica.

Figura 8: Desequilíbrio de Tensão.



Fonte: Oliveira (2009).

#### 2.7.5 Flutuações de Tensão

As flutuações de tensão são sequências de eventos de elevação e afundamento de tensão, que podem ocorrer esporadicamente ou de forma sustentada, em regime permanente. Geralmente são causadas pelo regime de funcionamento de grandes cargas industriais, como fornos a arco, ou de outras cargas com grande variação de corrente, como elevadores, compressores de sistemas de refrigeração, bombas, dentre outras.

Estas flutuações prejudicam o funcionamento de diversos tipos de equipamentos, interferem no funcionamento de sistemas de proteção, além de causarem cintilação luminosa, também chamada de Efeito Flicker, que é a variação intermitente no nível de iluminação de lâmpadas, que pode causar bastante desconforto ao ser humano.

### 2.7.6 Distorções da Forma de Onda

As distorções de forma de onda são deformações das formas de onda senoidais de tensão e corrente em regime permanente, causadas pela somatória de componentes relevantes do espectro de frequência fundamental, que são resultado do comportamento de cargas não lineares. Existem diferentes tipos de distorção, como harmônicos, interharmônicos, notching e ruídos.

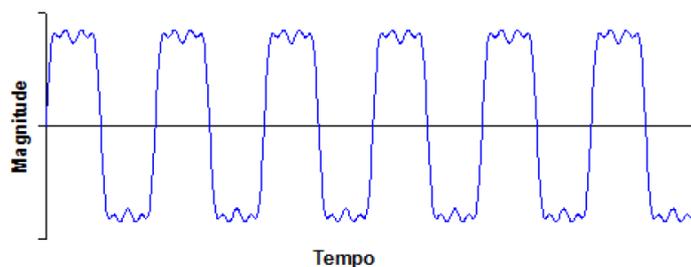
#### Harmônicos

Harmônicos são componentes de tensões e correntes com frequência múltipla inteira da frequência fundamental que, quando somadas, distorcem as formas de onda senoidal. Em um sistema elétrico, são consideradas relevantes as componentes múltiplas da frequência fundamental de sequência ímpar ( $h=3$ ,  $h=5$ ,  $h=7$  etc.).

Exemplos de cargas não lineares que geram correntes harmônicas são equipamentos eletrônicos, em função do comportamento de fontes chaveadas, transformadores operando na faixa de saturação magnética, sistemas de fornecimento ininterrupto de energia (UPS), variadores de frequência para acionamento de motores, fornos a arco, dentre outros.

Dentre os prejuízos causados pelos harmônicos, estão o aquecimento de condutores, a diminuição da capacidade de transporte de energia pela rede elétrica, desarme de proteções elétricas, sobrecarga dos condutores de neutro e perdas por histerese magnética e correntes de Foucault nos núcleos de transformadores e outras máquinas elétricas (OLIVEIRA, 2009). A figura 9 ilustra uma forma de onda com ruídos harmônicos.

Figura 9: Formas de Onda Distorcidas por Frequências Harmônicas.



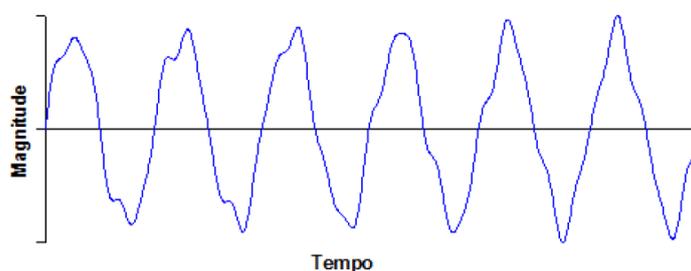
Fonte: Oliveira (2009).

## Interharmônicos

Interharmônicos são componentes de tensões e correntes com frequência inteira não múltipla da frequência fundamental. Na maior parte das vezes, o valor das componentes interharmônicas é muito baixo para causar problemas para o sistema elétrico. Entretanto, podem causar ressonâncias entre indutores de transformadores e bancos de capacitores.

Os interharmônicos podem ser causados por sistemas de dupla conversão em turbinas eólicas, cicloconvertidores, sistemas de refrigeração central, motores de indução, variadores de frequência, fornos a arco, máquinas de solda, dentre outros (OLIVEIRA, 2011). Na Figura 10 podemos observar uma forma de onda distorcida por interharmônicos.

Figura 10: Formas de Onda Distorcidas por Interharmônicas.



Fonte: Oliveira (2009).

## 2.8 Normas e Recomendações

Atualmente existem diversas Normas e Recomendações técnicas no que concerne à qualidade de energia. O IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, e o IEC - *International Electrotechnical Commission*, apresentam várias recomendações técnicas e especificações relacionadas ao tema.

No Brasil, PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, aprovado através da Resolução 345/2008 pela ANEEL, estabelece em seu módulo 8, os parâmetros e valores de referência relativos à qualidade da energia elétrica, que devem ser respeitados, desde à geração, transmissão e distribuição, até as unidades consumidoras, em especial, as do grupo A.

## 2.9 Energia Ativa x Energia Reativa

O fator de potência de uma unidade consumidora é definido pela Resolução Normativa nº 414 da ANEEL, de 9 de setembro de 2010, como: “razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado.”

Pode-se definir que a energia ativa é a energia utilizada na realização de trabalho, enquanto que a energia reativa é uma energia magnetizante, ou seja, é responsável por criar os campos eletromagnéticos em cargas indutivas, como motores, transformadores e reatores, por exemplo. Para que uma carga indutiva possa transformar energia ativa em trabalho, ela precisa utilizar a energia reativa para sua magnetização.

Entretanto, diferentemente da energia ativa, a energia reativa não é consumida pela carga, ela é constantemente trocada entre a unidade consumidora e a rede de distribuição. E mesmo sendo transportada pela rede de distribuição da mesma forma que a energia ativa, a energia reativa não é faturada pelas concessionárias. Desta forma, quanto maior for o uso de energia reativa por parte das unidades consumidoras, menor é a capacidade da rede de distribuição de transportar e fornecer energia ativa (OLIVEIRA, 2011).

A energia reativa causa uma defasagem entre tensão e corrente. O fator de potência pode ser compreendido como o cosseno do ângulo desta defasagem. Assim, um fator de potência igual a 1,00 significa que tensão e corrente estão em fase, e não há utilização de energia reativa.

Para que não haja um desequilíbrio na relação entre fornecedor e consumidor, o PRODIST, em seu Módulo 8, que versa sobre qualidade da energia elétrica, determina no item 3.2.1 que o fator de potência, para os consumidores do grupo A (média e alta tensão) “deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo.”

Desta maneira, caso um consumidor demande energia reativa em excesso da rede de distribuição, possuindo um fator de potência inferior a 0,92, ele será tarifado pela concessionária pelos excedentes de energia reativa.

Além disso, um baixo fator de potência causa diversos outros prejuízos ao consumidor, como a diminuição da potência ativa disponível na rede de distribuição, aumento de perdas por Efeito Joule, necessidade de sobredimensionamento das instalações elétricas, além de diversos problemas induzidos pelas correntes harmônicas associadas (POMILIO, 2014).

## **2.10 Controle do Fator de Potência**

### **2.10.1 Bancos de Capacitores**

Para realizar o controle do fator de potência de uma instalação, o método tradicionalmente utilizado é a instalação de um banco de capacitores, com o objetivo de compensar a defasagem da corrente em relação à tensão causada por cargas de natureza indutiva. O banco de capacitores fornece corrente adiantada em relação à tensão, anulando o atraso gerado pelas cargas indutivas (VIEIRA JÚNIOR, 2017).

Na prática, o banco de capacitores funciona como um gerador próprio de energia magnetizante, o que evita que o consumidor continue demandando energia reativa da rede de distribuição.

## **2.11 Controle de Distorções Harmônicas**

Na presença predominante de cargas não lineares, que causam distorções nas formas de onda de tensão e corrente e induzem correntes harmônicas, apenas a instalação de um banco de capacitores pode não ser suficiente para corrigir o fator de potência da instalação, sendo necessária a utilização de filtros passivos sintonizados, ou de filtros ativos, associados ao banco de capacitores. Os filtros funcionam absorvendo ou anulando as frequências harmônicas, evitando sua propagação pelas instalações elétricas.

### **2.11.1 Filtros Passivos**

Os filtros passivos são compostos por arranjos de capacitores e indutores, que podem ser sintonizados em diversas frequências, com o objetivo de absorver as correntes harmônicas nas cargas, impedindo sua propagação pela rede. Ao mesmo tempo, também funcionam como fonte de energia reativa (STAROSTA, 2011).

### **2.11.2 Filtros Ativos**

Os filtros ativos podem ser descritos como pequenos geradores eletrônicos de corrente, que inserem na rede correntes harmônicas com a defasagem necessária para anularem as correntes harmônicas geradas pelas cargas. Os filtros ativos também podem ser utilizados para equilibrar as correntes de um sistema trifásico, assim como para defasar as correntes da frequência fundamental, aumentando o fator de potência da instalação (STAROSTA, 2011).

## **3. ESTUDO DE CASO**

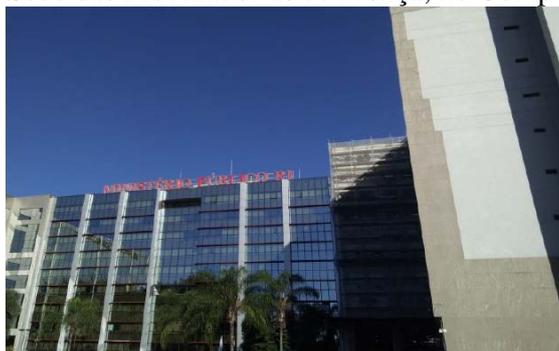
### **3.1 Objetivos**

O objetivo deste estudo de caso é apresentar a análise realizada das condições das instalações elétricas do Edifício Sede das Procuradorias de Justiça do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro, uma unidade consumidora do grupo A, subgrupo A4, visando à melhoria da qualidade de energia, e a elaboração de um projeto de eficiência energética para a edificação.

O Edifício Sede das Procuradorias de Justiça do MPRJ é uma edificação com 10 pavimentos e dois subsolos, com alimentação em média tensão e uma subestação de energia elétrica abrigada, com potência instalada de 1.500 kVA.

A Figura 11 mostra o Edifício Sede das Procuradorias de Justiça.

Figura 11: Edifício Sede das Procuradorias de Justiça, no Complexo Sede do MPRJ.



Fonte: Autor (2019).

A subestação de energia da edificação foi projetada com dois transformadores de 750 kVA, sendo um com tensão de secundário de 220V, para alimentação dos circuitos de iluminação e tomadas, e outro, também de 750 kVA, com tensão de secundário de 380V, exclusivamente para alimentação dos equipamentos que compõem o sistema de refrigeração central da edificação. Os transformadores possuem configuração triângulo estrela e não operam com paralelismo.

Na Figura 12 mostra equipamentos da subestação de energia.

Figura 12: Transformadores, painel de medição e QGBT de 220V.



Fonte: Autor(2019)

Esta configuração foi proposta na fase de projeto, visando melhorar a qualidade de energia, isolando os circuitos de iluminação e tomadas da alimentação do sistema de refrigeração central. Desta forma, cargas mais sensíveis não são afetadas diretamente por afundamentos, elevações e desequilíbrios de tensão causados pela partida de compressores, motores de fancoils e bombas de circulação de água, assim como a distorção harmônica causada por variadores de frequência e pelos microcontroladores dos sistemas de automação.

Na Figura 13, podemos observar o sistema de refrigeração central da edificação.

Figura 13: Chillers, bombas de circulação de água e fancoils do sistema de refrigeração central.



Fonte: Autor (2019).

Esta configuração foi proposta na fase de projeto, visando melhorar a qualidade de energia, isolando os circuitos de iluminação e tomadas da alimentação do sistema de refrigeração central. Desta forma, cargas mais sensíveis não são afetadas diretamente por afundamentos, elevações e desequilíbrios de tensão causados pela partida de compressores, motores de fancoils e bombas de circulação de água, assim como a distorção harmônica causada por variadores de frequência e pelos microcontroladores dos sistemas de automação.

### 3.2 Metodologia

A primeira etapa do trabalho consistiu na análise dos contratos de fornecimento de energia e das faturas de energia do consumidor em questão, visando determinar se parâmetros como demanda contratada e modalidade tarifária, estavam adequados para o perfil de consumo da edificação. Também foi verificado o consumo de energia nos horários de ponta e fora de ponta, além de ter sido possível identificar a cobrança de excedentes reativos nas faturas.

Esta primeira análise foi fundamental para determinar as ações que deveriam ser adotadas de forma imediata, como a aquisição e instalação de um banco de capacitores, e para subsidiar a elaboração de um programa de eficiência energética para a edificação.

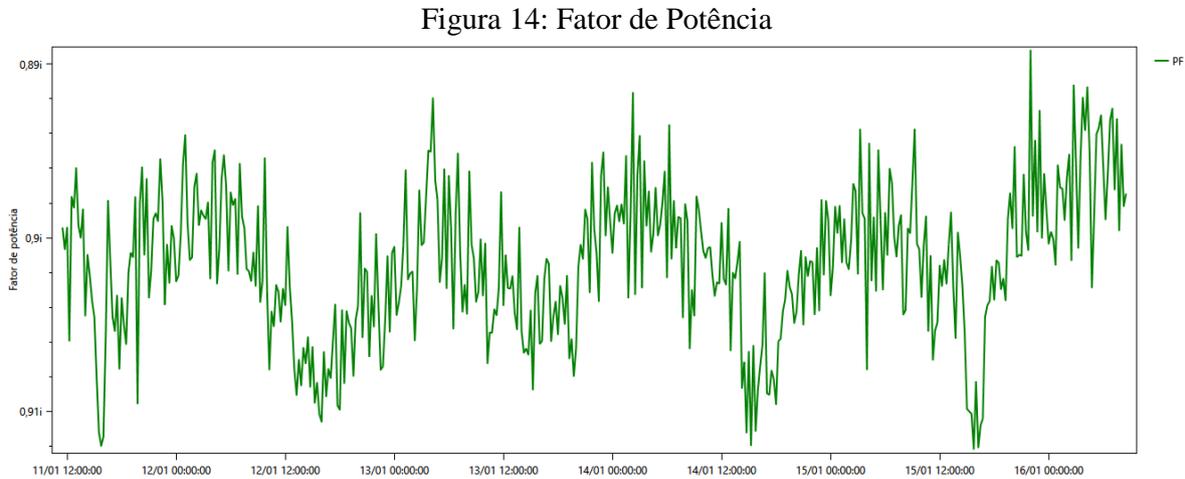
### 3.3 Controle do Fator de Potência

O primeiro problema de qualidade de energia elétrica verificado nas instalações foi o baixo fator de potência. A unidade consumidora estava sendo cobrada por excedentes reativos na fatura de energia, e o medidor de energia instalado no painel blindado indicava, no seu parâmetro 93, um fator de potência de 0,87, o que foi confirmado através de medição com um analisador de energia.

O analisador de energia é o equipamento utilizado para se medir a qualidade da energia elétrica de uma instalação. O principal diferencial de um analisador de energia é a sua capacidade de analisar os parâmetros da energia elétrica, ou seja, medir a qualidade da energia, identificando parâmetros como fator de potência, ruídos harmônicos, tensão elétrica e corrente elétrica, dentre

outros. O dispositivo pode gerar relatórios precisos sobre os eventos analisados, assim como registrar e armazenar os valores medidos.

A Figura 14 mostra a forma de onda do fator de potência, registrado nas instalações elétricas da edificação.



Fonte: Autor (2019).

Visando solucionar o problema, foi também realizado o levantamento das cargas instaladas na edificação, para determinação da potência do banco de capacitores.

Potência instalada (P): 987,45 kW

Fator de potência (FP): 0,87

$\cos(\varphi_1) = 0,87 \rightarrow \varphi_1 = 29,54^\circ$

$\cos(\varphi_2) = 0,92 \rightarrow \varphi_2 = 23,07^\circ$

$P_c = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \rightarrow P_c = 987,45 [\operatorname{tg}(29,54^\circ) - \operatorname{tg}(23,07^\circ)] \rightarrow P_c = 987,45 (0,567 - 0,426)$

**$P_c = 139,23 \text{ kVAr}$**

Diante dos valores calculados, foi realizada a aquisição e instalação de um banco de capacitores de 180 kVAr, já considerando a possibilidade de futuro aumento da carga instalada na edificação, solucionando o problema do baixo fator de potência da instalação.

O equipamento instalado possui um controlador que avalia constantemente o fator de potência da instalação, acionando apenas a quantidade necessária de células capacitivas para manter o fator de potência sempre em 0,92. Na ausência deste tipo de controle, pode ocorrer um excesso de compensação, quando as cargas indutivas não estão funcionando em sua capacidade plena ou estão desligadas, resultando em um baixo fator de potência capacitivo.

Na Figura 15 temos o banco de capacitores 180kVAr instalado no espaço interno da subestação.

Figura 15: Banco de capacitores instalado na subestação.



Fonte: Autor (2019).

Durante a análise realizada com o analisador de energia, foi possível identificar a existência de distorções harmônicas na rede elétrica, porém de intensidade baixa, insuficiente para prejudicar o funcionamento da rede elétrica. Futuramente, com a previsão de instalação de novos equipamentos e sistemas de controle automáticos, conforme projeto de eficiência energética que será apresentado a seguir, será necessária a realização de uma nova análise acerca da presença de distorções harmônicas na rede elétrica.

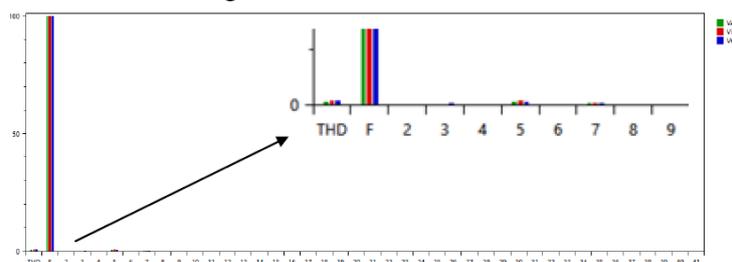
Na Figura 16 podemos verificar o analisador de energia conectado ao quadro geral de baixa tensão de 380VAc, para obtenção dos valores relativos ao fator de potência e ruído harmônico. Na Figura 17 temos o registro relativo ao ruído harmônico detectado nas instalações elétricas da edificação.

Figura 16: Analisador de Energia conectado ao quadro geral de baixa tensão.



Fonte: Autor

Figura 17: Ruído Harmônico



Fonte: Autor

### 3.4 Projeto de Eficientização Energética

Visando à elaboração de um projeto de eficiência energética para a edificação, foi estabelecida uma parceria com uma ESCO, uma empresa especializada na área de eficiência energética, para a elaboração de um projeto, que foi submetido e aprovado na 5ª Chamada Pública de Projetos da concessionária Light.

Na Figura 18 temos o resultado da 5ª chamada pública, em que a instituição foi contemplada com recursos para implantação do programa de eficiência energética.

Figura 18: Resultado da 5ª Chamada Pública de Projetos do PEE Light N° 002/2018.



---

**RESULTADO - 5ª CHAMADA PÚBLICA DE PROJETOS PEE LIGHT N° 002/2018**

**Projeto Aprovado - Nota: 81,12**

---

**Proponente:** ESCO

---

CNPJ: 14.503.818/0001-31  
Projeto: Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro  
Tipologia: Poder Público

---

**Cliente:** Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro

---

CNPJ: 28.305.936/0001-40

---

**Recursos R\$**

---

Programa de Eficiência Energética (PEE): 4.110.278,16  
Contrapartida: 1.296.903,75  
Valor Total: 5.407.181,91

---

**Dados do Projeto**

---

Relação Custo Benefício (RCB):	0,52	Legenda	
Usos Finais:	IL / CA	IL – Iluminação	SM – Sistemas Motrizes
Energia Economizada (E.E.) MWh/ano	1.604,62	CA – Condicionamento Ambiental	AS – Aquecimento Solar
Redução de Demanda na Ponta (RDP) kW	448,70	FI – Fontes Incentivadas	OU – Outros Usos

Fonte: Portal PEE Light (2019).

O projeto consiste na substituição de um dos *chillers* de 195 TR do sistema de refrigeração central da edificação, por um equipamento mais moderno e eficiente, de 400 TR, que utiliza uma fração da energia do equipamento a ser substituído. Paralelamente, serão substituídas as bombas de circulação de água do sistema e será instalado um sistema de automação para o controle do seu funcionamento.

Também serão instalados gerenciadores de energia elétrica para a medição global da energia, controle de demanda e consumo, verificação da qualidade da energia, controle do fator de potência, verificação e medição setorial do consumo. Uma das funções principais do gerenciador, no que concerne a eficiência energética, é a sua atuação no controle das cargas com maior consumo de energia elétrica. Através do monitoramento em tempo real, quando a demanda de energia se aproxima da demanda contratada, o equipamento realiza automaticamente o desligamento de cargas previamente definidas, evitando a ultrapassagem.

Como contrapartida, a Instituição será responsável pela substituição de todas as lâmpadas convencionais utilizadas na edificação por lâmpadas de LED, e está finalizando o processo de aquisição do material necessário.

Na Figura 19 é visto o Centro de Memória e Plenário dos Órgãos Colegiados do MPRJ, locais que já possuem iluminação com lâmpadas LED.

Figura 19: Centro de Memória e Plenário dos Órgãos Colegiados do MPRJ, locais que já possuem iluminação com lâmpadas LED.



Fonte: Autor

Também faz parte do programa, a elaboração de campanhas de conscientização dos usuários da edificação, inclusive com a redução do horário de funcionamento da edificação, de forma a diminuir o consumo de energia durante o horário de ponta, entre às 17h30m e 20h30m.

O projeto que contará com um aporte financeiro de R\$ 4.110.278,16 do Programa de Eficiência Energética (PEE) da concessionária Light, está em fase de elaboração do Termo de Cooperação Técnica entre a Instituição, a concessionária e a ESCO.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A necessidade de preservação de recursos naturais e o impacto causado ao meio ambiente pelos principais meios de geração de energia elétrica, ao mesmo tempo que a humanidade vem demandando cada vez mais energia com o passar do tempo, exige, cada vez mais, que usemos a energia disponível de forma consciente.

Desta forma, a efficientização energética, compreende tanto melhores práticas de gestão da energia disponível, quanto à substituição de equipamentos obsoletos por equipamentos mais modernos que utilizam menos energia.

Entretanto, componentes eletrônicos utilizados em equipamentos modernos e em sistemas de supervisão e operação automatizados, assim como transformadores e motores, por suas

características intrínsecas, prejudicam a qualidade da energia, afetando não somente ao consumidor em si, como também à rede de distribuição e aos demais consumidores a ela ligados.

Desta forma, é importante conhecer os principais problemas de qualidade de energia que podem atingir uma instalação elétrica e os métodos utilizados para mitigar, ou até mesmo eliminar esses problemas, evitando-se os desperdícios, a necessidade de sobredimensionamento das instalações, e até mesmo o mau funcionamento de equipamentos.

Em função da relevância do tema, da importância da máxima otimização dos recursos disponíveis, e da necessidade de redução dos custos associados à fatura de energia elétrica, visando ainda ao pleno atendimento de todo arcabouço regulatório da ANEEL, tal tema se mostrou de fundamental relevância técnica e motivou a elaboração e desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica.

O estudo de caso apresentado, cuja implantação do projeto se encontra em andamento, permitirá uma redução significativa do consumo de energia da unidade consumidora do grupo A, o que será benéfico para a sociedade como um todo, visto que, além dos benefícios ambientais, por se tratar de uma Instituição que faz parte do Poder Público Estadual, a redução do valor das faturas de energia resultará em economia de recursos do erário.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa nº 414: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. 9 de setembro de 2010.

— . Resolução Normativa nº 556: Aprovar os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE. 18 de junho de 2013.

— . Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Módulo 8 - Qualidade de Energia. Revisão 10, aprovada pela Resolução Normativa nº 794/2017.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica. UNICAMP/FEEC/DSE - Campinas: 2017, revisada e atualizada em 2018.

DUGAN, R. C.; McGRANAGHAM, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power System Quality*. McGraw-Hill, 2004.

FERNANDES, R. A. S.; OLESKOVICZ, M.; SILVA, I. N. da. Identificação de Cargas Lineares e Não Lineares em Sistemas Elétricos Residenciais Usando Técnicas para Seleção de Atributos e Redes Neurais Artificiais. Revista Controle & Automação, Vol. 21, julho e agosto de 2010.

OLIVEIRA, J. C. Projeto SIDAQEE (2000). Qualidade da energia elétrica: definição e análise dos itens de qualidade. Cap. II, Universidade Federal de Uberlândia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Grupo de Qualidade e Racionalização da Energia Elétrica. Uberlândia: 2000.

OLIVEIRA, A. A. N. de. Qualidade da energia em projetos de eficiência energética. Monografia submetida ao Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Certificado de Especialista em Sistemas de Energia Elétrica com ênfase em Qualidade da Energia Elétrica. Belo Horizonte: 2011.

OLIVEIRA, C. G. de. Estudo sobre conservação de energia elétrica e qualidade de energia elétrica. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Campinas: 2009.

OLIVEIRA, Stanley César de. Influência de Harmônicos no Fator de Potência. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Itatiba: 2011.

POMILIO, José Antenor. Pré-reguladores de Fator de Potência. Publicação FEE 03/95. Campinas: 2014.

ROCHA, J. E. Qualidade da Energia Elétrica. Departamento de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba: 2016

STAROSTA, José. Correntes Harmônicas em Instalações Elétricas - Parte 1 - Como e quando filtrar? Filtros passivos ou filtros ativos. Revista O Setor Elétrico, Edição 68, setembro de 2011.

VIEIRA JÚNIOR, José Carlos de Melo. Correção do Fator de Potência. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3314542/mod\\_resource/content/1/SEL0437\\_Aula06\\_CorrecaoFP\\_2017.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3314542/mod_resource/content/1/SEL0437_Aula06_CorrecaoFP_2017.pdf) - acesso em 20/03/2019.

MAMEDE FILHO, João. Instalações Elétricas Industriais, 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017