



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04
de dezembro 2020

O impacto da qualidade de energia elétrica na Produção Industrial: Um estudo introdutório

Jairo Rodrigo Corrêa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: A qualidade de energia elétrica compreende o papel da concessionária de energia elétrica no que diz respeito à qualidade do produto, do serviço prestado e ainda do tratamento das reclamações provenientes das duas anteriores. No que se refere ao produto, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) caracteriza os fenômenos elétricos e estabelece valores de referência bem como a metodologia para o levantamento destes valores no cliente. Quanto à qualidade do fornecimento de energia elétrica, a ANEEL possui uma metodologia para a apuração dos indicadores de continuidade, com a definição de padrões e responsabilidades. Por fim, quanto à qualidade de tratamento de reclamações, a ANEEL também estabelece uma metodologia de cálculo dos limites do indicador de qualidade comercial. Neste trabalho serão abordados conceitos gerais sobre o impacto da qualidade de energia elétrica (qualidade do produto e qualidade do fornecimento) na produção industrial, com exemplos de alternativas para minimizar estes impactos.

Palavras-chave: Qualidade de Energia Elétrica, Produção Industrial, Custo de Interrupção.

The impact of electricity quality on Industrial Production

Abstract: The quality of electric energy comprises the role of the electric power concessionaire with regard to the quality of the product, the service provided and also the handling of complaints arising from the previous two. With regard to the product, the National Electric Energy Agency (ANEEL) characterizes electrical phenomena and establishes reference values as well as the methodology for collecting these values at the customer. As for the quality of electricity supply, ANEEL has a methodology for calculating continuity indicators, with the definition of standards and responsibilities. Finally, regarding the quality of handling complaints, ANEEL also establishes a methodology for calculating the limits of the commercial quality indicator. In this work, general concepts about the impact of the quality of electricity (product quality and supply quality) on industrial production will be addressed, with examples of alternatives to minimize these impacts.

Keywords: Electric Power Quality, Industrial Production, Interruption Cost.

1. Introdução

No setor industrial é fundamental a atuação sobre os processos no que se refere às “paradas não programadas” na produção. Estas paradas durante a produção trarão como principais problemas:

- a) Aumento na utilização de insumos devido aos constantes reinícios;
- b) Desperdício de energia elétrica (processo perdido);
- c) Redução na vida útil dos equipamentos;
- d) Ociosidade ou retrabalho pelas equipes de produção;
- e) Prejuízos na produção que afetam o custo final e conseqüentemente à competitividade dos produtos ou serviços.

É uma das atribuições da gestão industrial identificar e minimizar as perdas na produção. Assim, deverá focar na melhoria de qualidade na produção analisando as causas das perdas e o impacto destas na qualidade final do produto.

Estas ocorrências como as “paradas não programadas” reduzirão a produtividade, o comprometendo da qualidade de produtos e dos serviços, enfim, prejuízos variados para toda a empresa e comprometimento de indicadores da empresa.

Considera-se, portanto, imprescindível o acompanhamento da qualidade de energia elétrica, tanto no ponto de entrega da concessionária de energia elétrica, quanto nas próprias instalações elétricas internas da planta, com a finalidade de apurar e eliminar (ou minimizar) as causas por conta de surtos ou interrupções de energia elétrica.

A qualidade de energia elétrica compreende o papel da concessionária de energia elétrica no que diz respeito à qualidade do produto, do serviço prestado e ainda do tratamento de reclamações.

Neste ponto cabe ressaltar que uma interrupção na produção industrial pode ter como causa direta uma interrupção no fornecimento de energia elétrica. Uma anomalia na qualidade de energia elétrica pode impactar na qualidade do produto ou serviço produzido pela indústria, daí então, percebe-se uma relação direta entre estes elementos.

Com relação à qualidade, a Agência Nacional de Energia Elétrica define:

Produto: são caracterizados os fenômenos elétricos, estabelece valores de referência bem como a metodologia para o levantamento destes valores no cliente.

Fornecimento de energia elétrica: possui uma metodologia para a apuração dos indicadores de continuidade, com a definição de padrões e responsabilidades.

Tratamento de reclamações: estabelece uma metodologia de cálculo dos limites do indicador de qualidade comercial.

Neste trabalho serão abordados conceitos gerais sobre o custo de interrupção proveniente das não conformidades na qualidade do produto e na qualidade do fornecimento de energia elétrica, e ainda exemplos de formas de minimizar estes impactos.

2. Os custos das paradas no processo produtivo

Uma das formas para estimarem-se os custos de uma interrupção na produção industrial um modelo conceitual para apurar os elementos de custos.

Dentre os inúmeros custos relacionados à falha ou interrupção de energia elétrica podemos destacar:

- a) Manutenção: diversos tipos de equipamentos considerados nesta pesquisa estão sujeitos a danos por problemas de interrupção e variação de tensão e, envolve tanto o reparo quanto a substituição (ex: queima de fonte);
- b) Produtos durante o processo: perda de insumos durante o processo de fabricação (ex: falha em esteira);
- c) Produtos após o processo: perda de produtos prontos (ex: falha no sistema de refrigeração);
- d) Matéria prima: custos relacionados com a perda de matéria-prima estocada (ex: perecíveis).
- e) Vendas não-realizadas: vendas não realizadas devido a não disponibilidade de produtos em estoque.
- f) Perdas de Informações: falha de equipamentos de Tecnologia da Informação com dados relevantes.
- g) Horas-extras: pagamento a força de trabalho horas extras de atuação para compensar a produção que foi perdida.
- h) Reinício da produção: providências necessárias para o reinício das atividades de relacionados à produção industrial. Abrange o preparo dos equipamentos, a remoção dos de resíduos, preparação de ferramentas, aferição de instrumentos dentre outros.
- i) Análise e proteção: gastos com análises, proteção e prováveis melhorias de modo a minimizar as interrupções.
- j) Geração própria: suprir com energia por meio de geradores, baterias, dentre outras maneiras durante uma interrupção no processo. Este custo é subdividido em duas categorias: custo de capital dos equipamentos e custo da utilização dos equipamentos de geração.

Os clientes industriais com o fornecimento de tensão em média ou alta tensão, a legislação não prevê o pagamento de ressarcimento de danos por considerar que as proteções devem ser atuantes. Entretanto os indicadores previstos do PRODIST da ANEEL são vigentes e geram compensações no caso de violações.

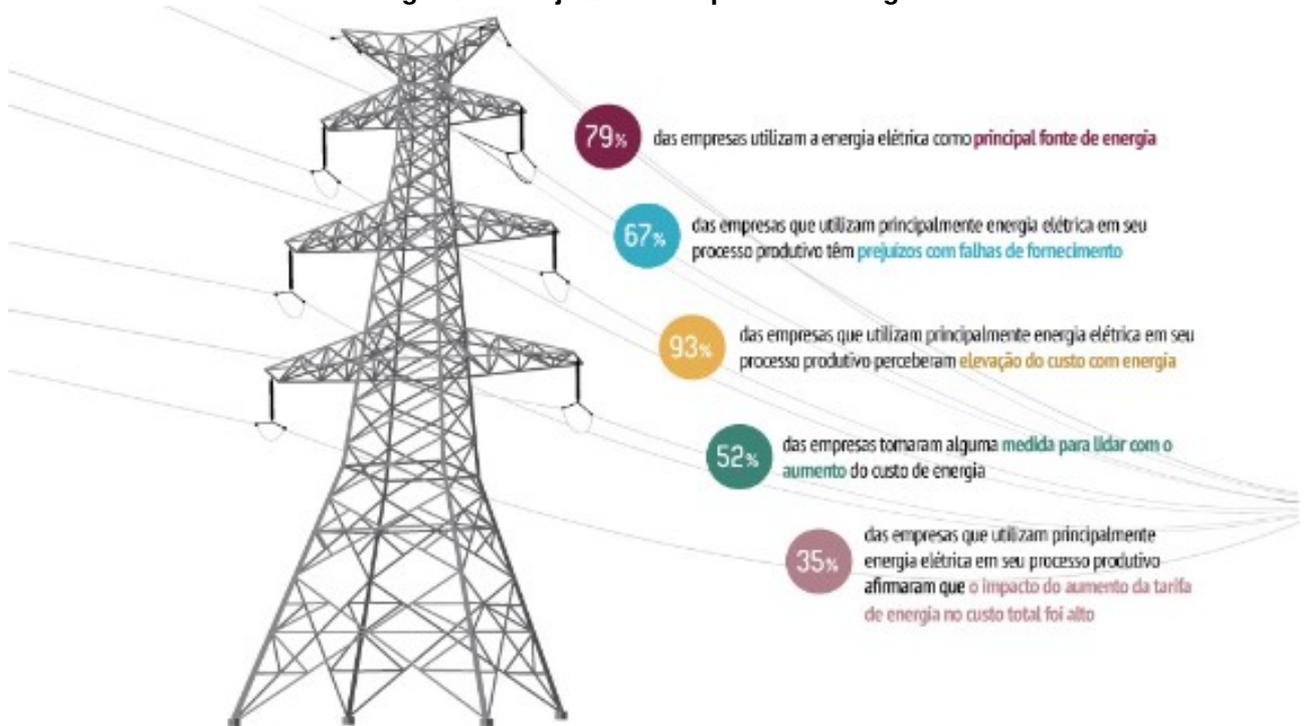
Entretanto considera-se que em várias situações as compensações indenizatórias não são suficientes para suprir todos os custos provenientes das quedas ou falhas ocorridas no fornecimento de energia elétrica.

Assim, torna-se fundamental o investimento da própria empresa em meios como: proteção, geração de energia paralela, armazenamento de energia dentre outros, com a finalidade de obter maior controle sobre os custos totais de interrupções durante o processo de produção industrial.

As falhas no fornecimento de energia elétrica têm causado prejuízos para a indústria brasileira. Segundo pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) levantou-se que 67% das empresas que utilizam a eletricidade como principal fonte em seu processo produtivo são impactadas de forma significativa em razão das interrupções no serviço (citar link CNI).

Segundo especialistas da CNI, na indústria, o maior problema da queda de energia aponta para a paralisação da produção, pois de acordo com o tipo de empresa e da linha de produção os prejuízos são consideráveis.

Figura 1 – Prejuízos com queda de energia



Fonte: https://s3.amazonaws.com/bucket-gw-cni-static-cms-si/portaldaindustria/noticias/media/imagem_plugin/sondagemenergia_RliuBDV.jpg

3. A energia elétrica

A energia elétrica possui características a distingue de outros produtos. Dentre elas destacam-se:

- a) Dificuldade de armazenamento tanto no que diz respeito ao aspecto técnico quanto ao econômico;
- b) Variação sazonal da demanda (a energia elétrica deve ser gerada em tempo real de acordo com a previsão de carga para o correto dimensionamento da geração de energia).
- c) Complexidade nos tipos de falhas às quais o fornecimento de energia elétrica está sujeito.

Esses atributos fazem com que haja uma simultaneidade do atendimento de produção e consumo. É possível constatar ainda que devido à distância entre as subestações e os consumidores exige um sistema extremamente confiável de distribuição, que depende de instalações e equipamentos específicos.

Modos de falhas em sistemas de distribuição de energia podem ser classificados genericamente em elétricos, mecânicos, aleatórios, humanos ou provocadas por agentes naturais.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estipula que as interrupções de fornecimento de energia elétrica acarretam perdas de faturamento para a concessionária de energia elétrica decorrente de processos de ressarcimento de danos causados a consumidores, multas por violação de indicadores e o pagamento de compensações indenizatórias aos clientes.

Para tratar da qualidade do produto, a ANEEL define os seguintes fenômenos em regime permanente ou transitório:

Fenômeno permanente:

- a) Tensão em regime permanente;
- b) Fator de potência;
- c) Harmônicos;
- d) Desequilíbrio de tensão;
- e) Flutuação de tensão;
- f) Variação de frequência.

Fenômeno transitório:

- a) Variações de tensão de curta duração – VTCD;

A partir destes fenômenos da qualidade do produto então ficaram estabelecidos os seus indicadores e valores de referência (limites).

Para efetuar a medição destes fenômenos da qualidade do produto são utilizados instrumentos denominados "qualímetros" com uma metodologia de instalação, especificações, necessidades de aferição, todos pré-estabelecidos.

A tensão em regime permanente está relacionada com a tensão de fornecimento de energia elétrica e tem os limites estabelecidos como adequado, precário ou crítico. Podem ser classificados como individuais ou coletivos, possuem critérios para a medição, o registro dos resultados e os prazos para resposta e compensação ao consumidor, sendo este último para o caso de valores inadequados. A figura 2 ilustra esses limites:

Figura 2 – Níveis de tensão

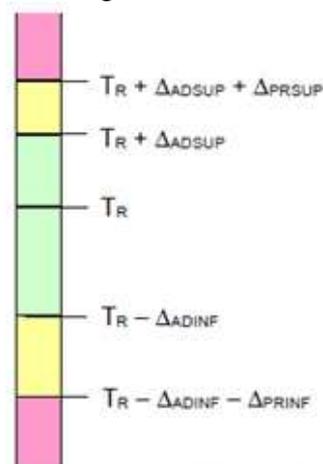


Figura 1– Faixas de Tensão em Relação à de Referência

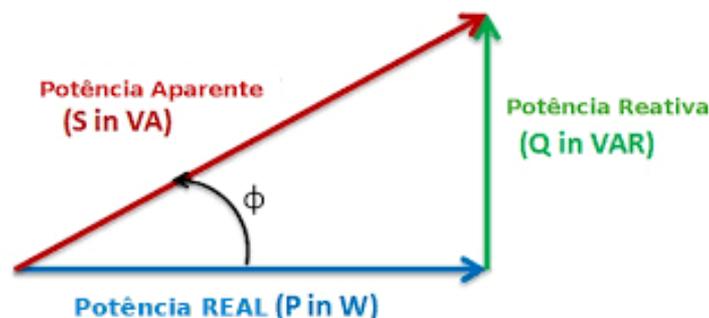
sendo:

- a) Tensão de Referência (T_R);
- b) Faixa Adequada de Tensão ($T_R - \Delta_{ADINF}$, $T_R + \Delta_{ADSUP}$);
- c) Faixas Precárias de Tensão ($T_R + \Delta_{ADSUP}$, $T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$ OU $T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$, $T_R - \Delta_{ADINF}$);
- d) Faixas Críticas de Tensão ($>T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$ OU $<T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$).

Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>

O fator de potência é calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa (P, Q) com as energias ativa e reativa, respectivamente (EA, ER). O controle do fator de potência deve ser efetuado por meio de medição permanente e obrigatória no caso de unidades consumidoras atendidas em média e alta tensão. Os valores de referência para uma unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 (indutivo) ou 1,00 e 0,92 (capacitivo).

Figura 3 – Fator de potência



Disponível em:<<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2018/09/triangulo-png-1.png>>

Os harmônicos também denominados de distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões ou correntes no que se refere à onda senoidal (frequência fundamental). Os valores de referência são apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Limites das distorções harmônicas.

Tensão Nominal		
Vn ≤ 1,0 kV	1,0 kV < Vn < 69 kV	69 kV ≤ Vn < 230kV
10,0%	8,0%	5,0%
2,5%	2,0%	1,0%
7,5%	6,0%	4,0%
6,5%	5,0%	3,0%

Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>

O desequilíbrio de tensão caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um sistema trifásico. Os valores de referência são apresentados na tabela 2:

Tabela 2 – Limites para os desequilíbrios de tensão.

Tensão Nominal		
Indicador	Vn ≤ 1,0 kV	1 kV < Vn < 230kV
FD95%	3,0%	2,0%

Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>

A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, periódica ou não no valor de pico da tensão instantânea. Os valores de referência são apresentados na tabela 3:

Tabela 3 – Limites para flutuação de tensão.

Tensão Nominal		
Vn ≤ 1,0kV	1,0kV < Vn < 69kV	69kV ≤ Vn < 230kV
1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>

Com relação à variação de frequência, o sistema de distribuição e as instalações devem, em condições normais de operação e em regime permanente operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. De forma geral não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas.

A variação de tensão de curta duração (VTCD) é comumente confundida com a falta de energia e se trata de desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos. Os valores de referência são apresentados na tabela 4:

Tabela 4 – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual há três segundos	Inferior a 0,1 p.u
Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual há três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual há três segundos	Superior a 1,1 p.u
Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>

4. Principais anomalias e maneiras de minimizar

De acordo com o capítulo anterior verificou-se como as anomalias no sistema elétrico, sejam nas instalações da concessionária de energia elétrica ou nas instalações da empresa que é atendida, têm a capacidade de causar grandes prejuízos à produção industrial.

Na prática muitas vezes tratam-se de problemas complexos e de difícil resolução, mas neste capítulo procurou-se enumerar as principais causas e possíveis formas de solucionar, ou ainda minimizar os impactos nos processos.

Tensão em regime permanente: quando apurados valores adequados pela concessionária, sem subtensão ou sobretensão, nas instalações deve-se utilizar também qualímetros nas instalações elétricas internas a empresa. Se os valores apurados apontarem para subtensão ou sobretensão pode-se verificar os ajustes de tensão nos transformadores particulares a fim de adequar à tensão fornecida. Também é possível que exista queda de tensão nos circuitos de força desde o ponto de entrega até os centros de carga, o que deverá ser verificado. Por fim, também é importante verificar as conexões, especialmente do condutor neutro, pois no caso de falha elevará os valores de tensão.

Fator de potência: Quando o fator de potência está fora dos valores de referência o cliente industrial provavelmente já haverá percebido por meio de multas em sua fatura. A correção é feita com bancos de capacitores que devem ter os valores e horários ajustados para entrarem com a carga, pois do contrário também ocasionará multas.

Harmônicos: Normalmente este tipo de distorção causada por distorções no formato de onda é percebido mais facilmente por equipamentos sensíveis, como por exemplo, computadores, controladores, etc. A utilização de no-break deve minimizar os efeitos.

Desequilíbrio de tensão: Deve iniciar a investigação de forma semelhante às sugestões da “tensão em regime permanente” para verificar se o desequilíbrio de tensão já vem da concessionária ou ocorre somente na planta. Caso seja deve-se verificar se as três fases do transformador de força estão igualmente ajustadas. Embora normalmente a carga industrial seja basicamente trifásica, deve-se verificar se os circuitos de corrente estão balanceados, realizar quando possível transposição de fases e verificar todas as conexões também.

Flutuação de tensão: Um dos sintomas de flutuação de tensão é conhecido como “flicker” e trata-se de um cintilamento percebido por variação no fluxo luminoso das lâmpadas. Normalmente são causados por fornos de arco ou equipamentos superdimensionados para as redes nas quais estão instalados. Uma solução pode ser refazer o projeto elétrico prevendo tais cargas.

Variação de frequência: Uma das causas mais comuns é a operação irregular de geradores paralelos causando variação na frequência da rede. Deve-se verificar a existência de geradores e os respectivos ajustes. Para equipamentos mais sensíveis como microcomputadores e controladores o ideal é utilizar no-break como no caso dos harmônicos.

Variações de tensão de curta duração (VTCD): Foram inclusas recentemente no PRODIST da ANEEL e são eventos de curta duração, podendo chegar a valores de tensão nulos ou próximos de nulo. Novamente é necessário previamente contato com a concessionária para classificar se os eventos em sua maioria são externos ou internos a indústria. Quando externos, normalmente estão associados a galhos tocando nas redes

elétricas encostando casualmente, ajustes de religadores automáticos ou ainda indústrias próximas com cargas e ajustes de proteção desajustados. A utilização de no-breaks em equipamentos mais sensíveis também pode minimizar as paradas.

5. Considerações finais

Na produção industrial deve-se sempre considerar a concorrência imposta pelo mercado. Assim, a gestão deve buscar aperfeiçoar o processo produtivo, reduzindo o tempo atividade dos funcionários, dos equipamentos, evitem os desperdícios de matéria-prima.

Aumentando a maior eficiência deverá ocorrer uma redução dos custos da produção. Evitando as interrupções na produção, o que ocasionará em máquinas e funcionários ociosos e produção em menor volume do que foi planejado.

Este artigo buscou apresentar a importância do controle da produção industrial para que a empresa tenha um menor tempo de paradas, tanto dos funcionários quanto dos equipamentos visando maximizar o volume de produção para manter a competitividade no mercado.

Torna-se fundamental o investimento da própria empresa em meios como: proteção, geração de energia paralela, armazenamento de energia dentre outros, com a finalidade de obter maior controle sobre os custos totais de interrupções durante o processo de produção industrial.

Referências

AGÊNCIA CNI DE NOTÍCIAS. **Dois terços das indústrias têm prejuízos com falhas no fornecimento de energia elétrica, diz pesquisa da CNI.** Disponível em: < <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/infraestrutura/dois-tercos-das-industrias-tem-prejuizos-com-falhas-no-fornecimento-de-energia-eletrica-diz-pesquisa-da-cni/> > Acesso em: 30 JUN. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL: "**Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional**" - PRODIST, Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica".

BOWERSOX, D. J., & CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** São Paulo: Atlas. 2001.

BROWN, S., Lamming, R., Bessant, J., & Jones, P. **Administração da produção e operações: um enfoque estratégico na manufatura e nos serviços.** Rio de Janeiro: Campus. 2005

MARTINHO, Edson. **Distúrbios da Energia Elétrica.** São Paulo: Ed.ÉRICA, 2009.

TOZZI, M.; OTA, J. **Determinação do Custo de Interrupção de Energia Elétrica de Clientes Industriais AT/MT.** Anais do II CITENEL, 2003.

TECNOGERA. **Falta de energia: impactos na indústria e como evitá-los.** Disponível em: < <https://www.tecnogera.com.br/blog/falta-de-energia-impactos-na-industria-e-como-evita-los> > Acesso em: 30 JUN. 2020.