

Impacto Da Qualidade Da Energia Elétrica No Resultado De Uma Indústria De Geração Termoelétrica: Estudo De Caso

Elton Soares
UNIFACS
Salvador, Brasil
elton.borgir@gmail.com

Daniel Barbosa
UNIFACS / UFBA
Salvador, Brasil
daniel.barbosa@pro.unifacs.br

Kleber Freire da Silva
UNIFACS / UFBA
Salvador, Brasil
kfreire@unifacs.br

Resumo-- Este artigo tem como objetivo avaliar os impactos da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) da geração, com foco no Fator de Potência, nos resultados de uma usina termoelétrica no estado da Bahia. São propostos pontos de melhoria no Fator de Potência, visto que este impacta direta e indiretamente na eficiência energética deste empreendimento. São observadas também as sanções financeiras regulatórias e contratuais, que são aplicadas caso o balanço energético seja desfavorável ao despacho solicitado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Um comparativo destes resultados antes e depois das melhorias propostas é apresentado.

Palavras-chave-- Qualidade da Energia Elétrica, resultados operacionais e financeiros, usinas termoelétricas.

I. INTRODUÇÃO

Algumas usinas termoelétricas que operam em caráter de emergência cresceram em participação no suprimento energético nacional desde outubro de 2012, quando os níveis dos reservatórios das usinas hidroelétricas (UHE) em alguns subsistemas atingiram níveis preocupantes para a segurança energética nacional, aproximando-se do cenário de racionamento de energia ocorrido em 2001. Desta forma, visando garantir não distanciar-se da meta de segurança destes níveis hidrológicos, foram acionados 2.100MW de geração emergencial por meio de usinas termoelétricas (UTE) [1].

Estas usinas caracterizam-se pela geração de energia elétrica por meio da utilização do calor, cujas principais fontes são provenientes da queima de combustíveis derivados de petróleo. Esses insumos, todavia, possuem um custo elevado e incidem diretamente no valor pago à energia gerada por estes empreendimentos. Devido ao alto valor agregado à geração de energia através das termoelétricas, os resultados

operacionais e financeiros são altamente sensíveis à eficiência energética destas usinas, onde a correção adequada do fator de potência representa uma grande economia [9].

Ressalta-se assim o caso da indústria da geração de energia, na qual o balanço energético é diretamente proporcional aos seus ganhos de produção e a ocorrência de distúrbios nos seus sistemas elétricos, como os problemas relacionados à Qualidade de Energia Elétrica (QEE), são nocivos à eficiência do processo e, consequentemente, ao valor agregado ao Megawatt produzido.

Em face a essa situação, na qual os problemas de QEE afetam o processo produtivo, os pesquisadores, em [2], discutiram a importância do ponto de referência para monitoramento da QEE, abordando os erros que podem incorrer na medição de circuitos trifásicos com condutor de retorno caso fosse escolhido um ponto de referência erroneamente. Por meio de duas abordagens (referência virtual e condutor de retorno), os autores programaram uma simulação em campo e comprovaram a influência do referencial de tensão na distorção harmônica total, o que poderia causar uma avaliação equivocada de um afundamento de tensão. Este evento, uma vez mal interpretado, pode ser um problema para um processo industrial químico por inteiro.

Em outro relato [11], foram avaliados os custos associados à QEE na indústria Portuguesa dentre diferentes setores produtivo sob o foco de distúrbios que causavam interrupções de tensão. Estes custos foram avaliados com base no tempo de indisponibilidade da produção destas indústrias, comparando períodos de 01 segundo, 03 segundos, 1 hora e 04 horas de interrupção, levando a valores totais anuais de custos associados à QEE. Concluíram que existem poucos mecanismos de avaliação de tais valores, dificultando a assertividade dos custos por perdas produtivas oriundas de problemas com a QEE, consequentemente tornando complexa

qualquer análise de investimento e seu custo benefício.

Neste sentido, se faz necessário envidar todos os esforços na mitigação destas ocorrências, principalmente àquelas relacionadas com a QEE, particularmente a questão do Fator de Potência (FP). O baixo fator de potência traz uma série de consequências às instalações elétricas, tais como, aumento nas perdas na instalação, quedas de tensão excessivas, subutilização da capacidade instalada, dentre outros [4].

Todavia, existem várias propostas para o cálculo do fator de potência, cujas variações implicam diretamente na complexidade e nos valores de ressarcimento das usinas. Desta forma, os autores em [5] propuseram um algoritmo simples para calcular o fator de potência via diferença de fases, reduzindo significativamente algumas equações matemáticas para tal finalidade. Assim, para comprovar a eficiência de tal proposta, foram realizadas simulações em diversos cenários de sistemas de potência com distorções em seu balanço de energia.

Outra proposta a ser salientada está relacionada com o projeto de um transformador de estado sólido para maximização dos ganhos dos conversores AC/DC e DC/AC. Este processo ocorreu colocando estes conversores em um conversor matricial, o que proporcionou uma melhora no fator de potência e uma redução na sobretensão e subtensão, adicionadas com algumas funcionalidades em caso de faltas de energia. Ao simular a referida proposta, traçou-se a curva de desempenho e apresentaram-se algumas funcionalidades deste transformador [6].

Com proposta similar ao relato supracitado, o controle de reativos foi a escolha dos pesquisadores, em [10], para melhorar a eficiência da rede de distribuição de uma determina subestação estudo de caso. A instalação de um banco de capacitores reduziu as perdas por energia reativa, onde apurou-se um *payback* de 4 anos e 7 meses.

Diante da importância do FP nos resultados operacionais de um empreendimento, em particular, nas unidades de geração de energia elétrica, este artigo compara os resultados financeiros de uma UTE quando da aplicação do controle adequado do fator de potência. Tal comparativo propõe detalhar a influência da QEE no processo de geração de energia e as consequências das ações de correção do fator de potência em seus aspectos técnicos e resultados financeiros.

II. RESSARCIMENTO ÀS DISTRIBUIDORAS EM USINAS POR DISPONIBILIDADE

Um dos impactos da QEE em unidades geradoras mais significativo está relacionado com a energia líquida entregue ao Sistema Interligado Nacional (SIN), pois estas unidades precisam dispor parte de sua energia bruta para suprir as cargas auxiliares que são necessárias para o processo produtivo. Neste contexto, esta geração líquida está associada à obrigatoriedade de entrega dos Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) das usinas por disponibilidade, categoria a qual a usina deste estudo de caso se enquadra. Assim, esta apuração

de geração líquida é tratada para avaliação da capacidade de entrega de uma UTE [3].

Quando uma usina está com o Custo Variável Unitário (CVU) abaixo do valor do Custo Marginal de Operação (CMO) do subsistema, entende-se que o sistema precisa daquela usina em sua capacidade máxima, ou seja, esta usina está sob despacho de ordem de mérito. Diante desse fato, a Câmara de Comercialização da Energia Elétrica (CCEE), de posse das apurações destas gerações térmicas realizada pelo ONS, aplica a regra do ressarcimento para aquelas usinas que não entregaram toda a potência demandada [3].

Este ressarcimento é apurado mensalmente e é definido pela energia não entregue pelas usinas no centro de gravidade (após aplicação dos devidos fatores de ajuste) multiplicada pela diferença entre o preço da energia no mercado de curto prazo (PLD) e o seu CVU. A regra aplicada pela CCEE baseia-se diretamente na produção não entregue do ponto de vista do contrato, incorrendo em aplicação das penalidades a estes agentes de geração causando déficits de receita, que, a depender do valor do CVU, podem ser severos a ponto de não tornar a manutenção viável para aquele momento.

É factível salientar que a energia entregue no ponto de conexão, e contabilizada pela CCEE, é a ativa. Desta forma, quando a usina está operando com baixo FP, implica que parte da potência aparente total está sendo utilizada para suprir o reativo dos sistemas auxiliares em função do baixo rendimento e baixo fator de potência de seus 360 motores responsáveis pelo sistema de arrefecimento de água e dos 60 motores de insuflação de ar externo para a área interna de cada casa de máquinas. Estes dois sistemas são fundamentais à operação desta UTE, permanecendo ligados por todo o período de produção de energia elétrica. Caracterizam-se como Consumo Interno, pois a energia elétrica requerida para acionar estas máquinas elétricas provém do mesmo barramento do Cubículo de Manobra o qual conecta as unidades geradoras aos transformadores de elevação e saída da subestação.

III. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado nesse trabalho refere-se a uma usina termoelétrica implantada na Bahia, na qual existe a possibilidade de melhorias no aspecto da QEE, tendo sido escolhido o quesito fator de potência. Esta implementação teve como objetivo diminuir as perdas por energia reativa e avaliar o custo da implantação face ao valor do ganho financeiro após redução de tais perdas.

A UTE é composta por unidades motogeradoras movidas a óleo combustível com potência total de 300 MW. Estas máquinas térmicas possuem uma série de sistemas auxiliares necessários à sua partida e operação continuada. Neste sentido, todo o balanço energético do seu sistema produtivo impacta diretamente em seu resultado global, uma vez que estes sistemas possuem uma demanda energética que é diretamente subtraída de sua geração de energia elétrica, conforme Fig. 1.



Figura 1. Balanço Energético da usina estudo de caso.

Assim, afim de minimizar esse déficit de energia e de maximizar o fornecimento ao SIN, Avaliou-se o sistema auxiliar de controle de temperatura da água de arrefecimento, visto que este é o componente responsável por manter o motogerador operando dentro dos níveis estabelecidos pelo seu fabricante. Após a análise dos dados de operação e manutenção do sistema supracitado, foi abordado que uma fonte de melhoria para o sistema seria a correção do fator de potência dos motores elétricos utilizados nos ventiladores do sistema do radiador.

Tal fato foi constatado pois verificou-se, após uma medição da QEE na alimentação dos motores, que o fator de potência médio era inferior a 0,70 indutivo, valor este que provocava uma considerável redução da eficiência geral da planta.

É importante salientar que a significância deste resultado é função da quantidade de dispositivos envolvidos, pois cada sistema de arrefecimento divide-se em 03 unidades para cada unidade geradora, compondo um parque total de 360 motores elétricos dispostos eletricamente em 16 painéis, estes denominados DAS (*Diesel Auxiliary System*), contidos no Cubículo de Distribuição de Cargas (CDC).

Desta forma, em função dos resultados obtidos pela medição da QEE e da necessidade de garantir o despacho de ordem de mérito da usina, realizou-se um estudo de dimensionamento de bancos de capacitores e a sua posterior instalação nos referidos painéis dentro da sala de alimentação, próximo às cargas dos radiadores.

Adicionalmente ao supracitado e à medição de QEE, uma verificação preliminar à implantação foi realizada de modo a entender o impacto causado pelas cargas dos DAS na QEE e nos resultados do balanço energético da referida usina. Diante dos índices obtidos, chegou-se a um banco de capacitores de 300kVAr por painel, como será demonstrado no tópico específico adiante.

É factível compreender que tal estudo foi motivado em face à importância das cargas analisadas para o balanço energético da planta de geração e o impacto deste no seu resultado financeiro, uma vez que os painéis DAS, por convenção, abrigam todos os sistemas auxiliares necessários à operação de geração de energia elétrica. Cada DAS atende a alguns sistemas básicos para partida e operação dos motogeradores, a saber:

- i) Sistema de radiadores: grupo de motores elétricos acoplados em um sistema de troca térmica da água de arrefecimento dos motogeradores. Cada DAS atende a 24 unidades destes motores.

- ii) Bombas de alimentação dos motogeradores: sistema de bombas elétricas para envio de combustível às máquinas.
- iii) Bombas de pré-lub: sistemas de bombas elétricas que realizam a lubrificação inicial dos motogeradores antes da bomba principal assumir com base na auto-geração das máquinas.
- iv) Insufladores: sistema com 30 motores elétricos que insuflam ar externo dentro da praça de máquinas, proporcionando um ar de carga para as turbinas de compressão de ar com menor temperatura do que o calor na área interna da praça.

Estes painéis estão conectados de 02 em 02 para cada transformador de serviços auxiliares (TSA), cujo objetivo é reduzir o nível de tensão proveniente da geração dos motogeradores (13,8kV) para o nível de alimentação das cargas internas da usina (480V), conforme Fig. 2.

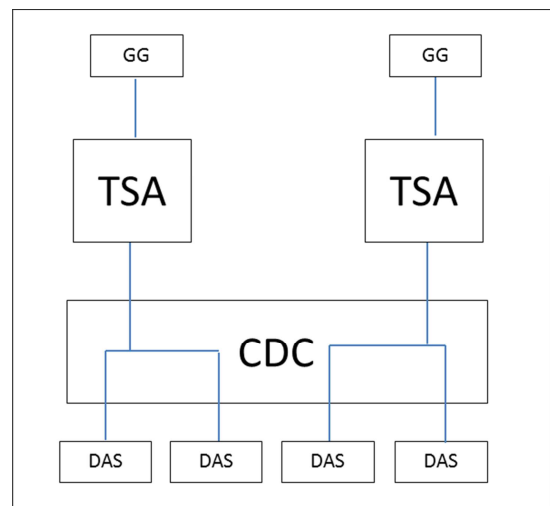


Figura 2. Diagrama unifilar do CDC-A contendo seus DAS.

Considerando que os motores elétricos instalados nos radiadores representam a maior parte do consumo interno da usina e que, além disso, possuem o menor fator de potência dos grupos listados anteriormente, utilizou-se esta premissa como fator determinante de qual sistema sofreria a intervenção para melhoria do fator de potência.

Para melhor entendimento em termos de fluxo de potência, a Fig. 3 mostra a origem da geração da usina (G), o ponto de entrega e os seus respectivos sistemas auxiliares (DAS) através do transformador de serviços auxiliares (TSA) em diagrama unifilar simplificado.

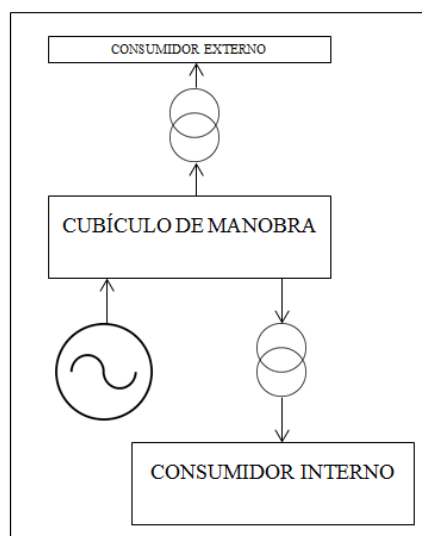


Figura 3. Diagrama de blocos da geração e consumo.

Por meio da Fig. 3 é possível entender que as disposições das cargas abatem da geração bruta dos motogeradores a energia necessária para o funcionamento dos sistemas auxiliares. Os painéis objeto de estudo atendem a 02 ilhas de motogeradores, agrupando 04 motogeradores por vez totalizando 30 ilhas (de um parque de 120 máquinas), relacionados entre si conforme a Tab. I.

TABELA I. RELAÇÃO DE ILHAS DE MOTOGERADORES COM PAINÉIS DAS.

Nomenclatura	Ilhas de motogeradores
DAS-I-1	#01 e #02
DAS-I-2	#03 e #04
DAS-I-3	#05 e #06
DAS-I-4	#07
DAS-I-5	#08 e #09
DAS-I-6	#10 e #11
DAS-I-7	#12 e #13
DAS-I-8	#14 e #15
DAS-II-1	#16 e #17
DAS-II-2	#18 e #19
DAS-II-3	#20 e #21
DAS-II-4	#22 e #23
DAS-II-5	#24 e #25
DAS-II-6	#26 e #27
DAS-II-7	#28 e #29
DAS-II-8	#30

Vale ressaltar que os DAS-I-4 e DAS-II-08 possuem uma ilha a menos por simples configuração interna da usina para futuras ampliações.

Diante de um parque com 16 painéis DAS, a Fig. 5 apresenta os fatores de potência medidos no DAS-I-I no período de 08 a 09 de junho de 2013 visando identificar a eficiência destes motores quando em operação, conforme

resumo apresentado na Fig. 4. São relacionados o número de eventos com o fator de potência medido, considerando registros realizados em intervalos de 30 segundos.

Resumo da medição	
Topologia de medição	Modo 3Ø em estrela
Modo de aplicação	N/A
Primeiro registro	08/06/2013 12:21:09
Último registro	09/06/2013 16:12:09
Intervalo de registro	0h 0m 30s 0msec
Tensão Nominal	230 V
Corrente Nominal	1 A
Frequência Nominal	60 Hz

Figura 4. Quadro resumo das medições de fator de potência nos painéis DAS.

É possível observar nos resultados dispostos nas Fig. 4 e 5 que o fator de potência apresenta uma frequência de ocorrência maior em torno de 0,60 indutivo, podendo ser mais baixo em algumas ocorrências. Esse resultado pode ser explicado por um maior carregamento de cargas indutivas que são acionadas em determinados momentos em função de necessidades operacionais, a exemplo de acionamento de insufladores adicionais para redução da temperatura ambiente.

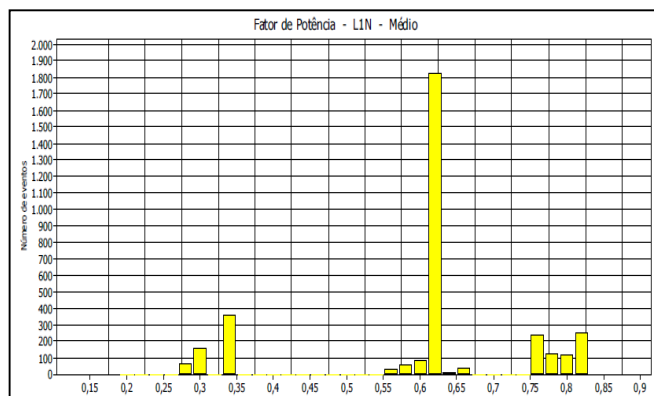


Figura 5. Fator de potência na fase L1N do painel DAS-I-1.

Apesar da existência de diversas cargas intrínsecas aos sistemas de suporte à geração dos motogeradores, pode-se verificar a importância dos painéis DAS, com grande relevância no impacto do balanço energético da usina. Desta forma, todo sistema auxiliar está conectado aos TSAs de cada grupo gerador, e como é possível observar na Tab. II, o TSA 1 está com fator de potência similar aos painéis DAS a ele conectados.

TABELA II. RELAÇÃO DOS F.P. DOS PAINÉIS DAS E TSA 1.

Nomenclatura	Fator de potência (cos Ø)
TSA 1	0,62
DAS-I-1	0,62

DAS-I-2	0,61
DAS-I-3	0,62
DAS-I-4	0,56

Considerando que este comportamento foi verificado nos oito TSAs dispostos na usina, as alocações dos bancos de capacitores, para correção do fator de potência, foram realizadas diretamente no barramento dos painéis DAS, após constatação de que representam praticamente 100% das cargas indutivas do sistema auxiliar conectado aos TSAs.

IV. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES

Com a conclusão do levantamento das cargas e da identificação do local de inserção do banco de capacitores, foi realizado o dimensionamento, cujo resultado foi de 300kVAr por painel, como citado anteriormente. O cálculo realizado para dimensionamento do banco de capacitores para todos os painéis DAS utilizados na usina levou em consideração as seguintes premissas:

- Foi utilizado o TSA 1 como elemento de cálculo por se tratar do transformador com menor fator de potência. O banco calculado para o mesmo foi replicado comercialmente para os sete painéis restantes;
- Foi utilizada uma tabela de relação como base para cálculo do fator k (Ft_k), que representa o valor de compensação que deve ser aplicado para que se atinja o valor de correção esperado.
- Calculou-se o fator k com base em medições horárias do fator de potência do TSA 1, considerando o menor valor apurado em um dia de medição.
- Desequilíbrio de 0,5% com base na maioria dos fabricantes destes equipamentos [8].

Outro aspecto a ser salientado durante o processo de dimensionamento, é que as grandezas potência ativa (P) e reativa (Q) usadas como referência no dimensionamento dos bancos de capacitores foram determinadas pela medição no dia em que a operação observou o menor fator de potência resultante, ou seja, quando o carregamento da usina abrangia todos os sistemas auxiliares e cargas que contribuam para o aumento da potência reativa. Assim, o valor obtido das potências ativa e reativa foi 0,72 MW e 0,88 MVar, respectivamente.

Com base nestas informações, obtêm-se a potência aparente (S) total, em cada painel, por meio da equação:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{0,72^2 + 0,88^2} = 1,137 MVA \quad (1)$$

Após a determinação de S , verificou-se qual o fator de potência de deslocamento (fp) observado, conforme metodologia disposta no Módulo 8 do PRODIST [7]:

$$fp = \frac{P}{S} = 0,63 \quad (2)$$

Com a definição do fator de potência de deslocamento observado no TSA da usina, associada à análise dos custos de investimento, optou-se por adquirir um banco de capacitores para atingir o fator de potência de 0,92 indutivo. O fator k de referência para o dimensionamento foi de 0,807 após relacionarmos o fator de potência atual (0,63) e o fator de potência corrigido desejado (0,92).

Após a determinação do Ft_k , foram executados os cálculos, em kVAr, do banco de capacitores necessários para que o TSA 1 tenha seu fator de potência levado de 0,63 a 0,92. Logo,

$$kVAr = P \cdot Ft_k = 720 \cdot 0,807 = 581,04 \quad (3)$$

Como cada um dos TSA conecta-se a dois painéis DAS e a carga de ambos é igualmente dividida, definiu-se instalar um painel de banco de capacitores de 300 kVAr em cada um dos painéis DAS.

V. RESULTADOS

Neste item são apresentados os principais resultados técnicos e financeiros desta implementação. Sabendo que as cargas relacionadas aos motogeradores são proporcionais ao acionamento dos mesmos, foi desenvolvida uma lógica de entrada automatizada dos bancos dividindo os 300 kVAr em 11 estágios, os quais se acionam de acordo com o acréscimo das cargas. Nas Fig. 6 e Fig. 7 são apresentados os valores de corrente antes e depois do acionamento dos estágios dos bancos de capacitores. Antes do acionamento do banco, foi verificada uma medição de 628A em um dos DAS. Após a entrada de todos os estágios do banco, apurou uma redução de corrente para o valor de 413A, para um mesmo valor de carga.



Figura 6. Corrente (em Ampères) do banco de um dos painéis sem acionamento dos estágios.



Figura 7. Corrente (em Ampères) do banco de um dos painéis com acionamento dos estágios.

A redução de corrente total deve-se diretamente à redução das perdas por excesso de reativa nos cabos, o que promove aquecimento nos mesmos. Desta forma, para verificar qual o resultado efetivo das alterações operacionais promovidas pela correção do fator de potência, considerou-se as seguintes premissas de operação:

- CVU médio de 600 R\$/MWh;
- PLD médio de 800 R\$/MWh;
- Redução de 01 MVA na potência de consumo interno da usina;
- Despacho de geração a 100% por 06 meses;
- Margem de lucro de 15% sobre o custo do combustível.

Além disso, sabe-se que o consumo interno é abatido da sua geração plena, o que impacta diretamente na redução de receita, e que se a usina estiver operando sob ordem de mérito, esta potência não entregue causará penalidade de Ressarcimento, caso impossibilite a entrega dos valores contratados [3].

Neste sentido, e a fim de exemplificar os impactos da correção do fator de potência na usina, considerando uma redução de consumo interno no total de 01 MW, já no centro de gravidade (ponto virtual onde já consideram-se todas as perdas até o ponto de conexão e rateios de perdas da Rede Básica), e as premissas supracitadas, a usina adicionou uma receita estimada de R\$ 388.800,00 em 06 meses de operação contínua, com base no PLD acima que foi o valor praticado pelo mercado da energia no ano de 2014. Se ainda for considerado o despacho sob ordem de mérito e o ressarcimento associado a esta modalidade de despacho, a usina deixa de pagar um ressarcimento mensal por penalidade de R\$ 144.000,00. Após a contabilização dos montantes envolvidos, observa-se que a correção do fator de potência é extremamente importante para a usina, haja vista que adicionou receita e reduziu os ressarcimentos pagos pela não inserção da potência no SIN.

VI. CONCLUSÃO

Com a inserção dos bancos de capacitores para a correção do fator de potência dos motores, concluiu-se que o investimento foi válido do ponto de vista de redução da exposição às penalidades e glosa da margem sob a receita, bem como do caráter técnico de melhor aproveitamento energético. Foi apurada uma redução significativa no consumo interno de energia elétrica, redução da temperatura nos transformadores de serviços auxiliares e melhoria da Qualidade de Energia Elétrica, bem como, ganhos na segurança dos equipamentos, aspecto fundamental para um processo produtivo eficiente, eficaz, mais seguro à vida humana e financeiramente saudável.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Salvador (UNIFACS) pelo apoio disponibilizado no decorrer dos trabalhos.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] Anace, A. N. d. C. d. E. ONS aciona 2.100 MW de térmicas para manter nível de reservatórios. 2012. Disponível em: <http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/legislacao/item/1391-ons-aciona-2100-mw-de-termicas-para-manter-nivel-de-reservatorios>. Acesso em: 30 maio 2014 às 08h10m.
- [2] Marafão, F.P., Deckmann S.M. e Morales P.H.K. A Influência da Referência de Tensão na Avaliação de Indicadores de Qualidade de Energia Elétrica. IEEE, São Paulo, Brasil, I, p. 81-88, 2008.
- [3] C. d. C. d. E. CCEE, Regras de comercialização (2014). Disponível em: http://www.mae.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos?_adf.ctrl-state=6ldb41ze_4&_afLoop=1206986327527039#Vigente. Acesso em 6 julho 2014 às 12h:15m.
- [4] WEG, Manual para Correção do Fator de Potência. Disponível em: http://www.feb.unesp.br/dee/docentes/cagnon/instala_2/manual_fator_potencia.pdf. Acesso em 04 de dezembro de 2014 às 22h:01m.
- [5] Saribulut, L. A simple power factor calculation for electrical power systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 62, Novembro 2014, Páginas 66-71.
- [6] Banaci, M.R e Salary, E.. Mitigation of voltage sag, swell and power factor correction using solid-state transformer based matrix converter in output stage. Alexandria Engineering Journal, Volume 53, Setembro 2014, Páginas 563-572.
- [7] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_6_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf, São Paulo, Brasil, I, p. 81-88, 2008. Acesso: 25 janeiro 2015 às 19h25m.
- [8] Price, E. and Wolsey, R., String Current Unbalance Protection and Faulted String Identification for Grounded-Wye Fuseless Capacitor Banks. Proceedings of the 65th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta, GA, maio de 2011.
- [9] Davidson L. F., Carlos E. P. O e Erivelton G. Reflexões Sobre a Correção de Fator de Potência em Unidades Residenciais. CBEE/ABEE Minas Gerais, 2005.
- [10] Mertens, A. E., de Oliveira, A., Iwamoto, D., Vitoretto, L. C., Couto, E.C.. Redução de perdas, através da compensação dinâmica do Fator de Potência. CBQEE, 2015.
- [11] Patrão, C., Delgado, J., de Almeida, A. T., Fonseca, P.. Power Quality Costs Estimation in Portuguese Industry. IEEE, Coimbra, Portugal, 2011.