



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

Estudo de viabilidade para correção do fator de potência de uma Indústria de plástico em João Pessoa – Paraíba

Josiane Aparecida Cardoso de Souza

Engenharia de Produção - UFMG

Priscila França Gonzaga Carneiro

Energias Renováveis - UFPB

Jessé Carneiro Santos

Engenharia Elétrica - UNINASSAU

Resumo: Este trabalho tem o objetivo de demonstrar o impacto no custo de produção gerado pelo consumo de energia reativa excedente durante o período de um ano de uma indústria de plástico situado na cidade de João Pessoa-PB, além de avaliar o valor líquido presente do investimento necessário para instalação dos bancos de capacitor. Os dados desta pesquisa foram coletados através das faturas de energia elétrica da empresa. Os dados foram tabulados em uma planilha e tratados estatisticamente pelo método do desvio padrão, média ponderada, porcentagem. Com base nos dados foram realizado o estudo da viabilidade financeira para a correção do fator de potência, através dos indicadores Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e o Playback. Conclui-se com o trabalho realizado que, se implementar a correção do fator potência para um valor acima de 0,92, haveria uma redução no custo de produção da empresa de aproximadamente 1,55%, pois dispensaria a aquisição de energia reativa excedente no valor mensal de R\$ 556,28, chegando ao valor R\$ 6.675,41 ao ano. O resultado apurado com os indicadores financeiros, o VPL foi de R\$ 12.351,83, uma TIR de 32,38% demonstrando a viabilidade positiva do investimento.

Palavras-chave: Energia Reativa Excedente, Banco de Capacitor, Conta de Energia.

Feasibility study for correction of the power factor of a plastic industry in João Pessoa - Paraíba

Abstract: This paper we seek to show the impact on the production cost used by the reactive energy consumption exceeded during the period of one year in a plastic industry located in the city of João Pessoa-PB, in addition to evaluating the net value present in the investment necessary for the installation of capacitor banks. The data for this research was collected through the company's electricity bills. The data were tabulated in a spreadsheet and statistically defined by the standard deviation method, weighted average, percentage. Based on the data that were executed or on the financial feasibility study to correct the power factor, through the indicators Net Present Value, Internal Rate of Return and Reproduction. Conclude with the work done that, if a power factor correction is implemented to a value above 0.92, there will be a reduction in the company's production cost of approximately 1.55%, as it will not require the acquisition of excess reactive energy in the monthly

amount of R\$ 556.28, reaching the amount of R\$ 6,675.41 per year. The result obtained with financial indicators, or NPV was R\$ 12,351.83, an IRR of 32.38% demonstrating the positive viability of the investment.

Keywords: Reactive Surplus Energy, Capacitor Bank, Energy Bill.

1. Introdução

Segundo Smedley (2005), nas últimas décadas houve um aumento no consumo por energia elétrica a nível mundial, esse fator levou as empresas e órgãos responsáveis pela geração, distribuição e fiscalização a realizar grandes investimentos no setor para evitar um colapso do sistema energético, buscando sempre a priorização de produção de energia limpa e sustentável. Já os fabricantes com o objetivo de buscar aumentar o rendimento dos equipamentos elétricos, deste de meados da década de 1970, iniciaram a introdução das fontes chaveadas, porém os equipamentos apresentam um comportamento fortemente não-lineares frente à rede de distribuição de energia elétrica, provocando desequilíbrio do fator de potência (AKAGI, 1996).

Para Garcia (2001), grande parte das cargas eletrônicas recebe energia da rede por meio de um retificador não-controlado a diodo e capacitor, que produz pulsos intensos de corrente na rede, porém as lâmpadas as máquinas elétricas rotativas, que consomem maior parcela da energia elétrica, apresentam características fortemente indutivas. As cargas não-lineares em conjunto com as cargas indutivas geram harmônicos de corrente, produzindo neste caso, baixos fatores de potência, distorção na tensão e redução da capacidade de utilização e perda de eficiência (QIAO, 2003). As fontes de alimentação, os motores e diversos outros equipamentos que operam em altas potências requerem fontes de alimentação trifásicas com acoplamento de um banco de capacitor para a correção fator de potência (KOLAR; FRIEDLI, 2013).

Neste cenário, as agências reguladoras impõem restrições ao setor em função do fator de potência da rede elétrica. No Brasil, A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que é um órgão brasileiro que controla a distribuição de energia elétrica no Brasil através da Resolução Nº 414 de 2010, estabelece no seu artigo Art. 76, que o fator de potência, deve ser apurado pela distribuidora por meio de medição constante e obrigatória, sendo o valor mínimo permitido para o fator de potência indutivo ou capacitivo seja maior ou igual a 0,92 (RESOLUÇÃO 414, 2010). Devido a essas restrições, houve um crescimento no número pesquisa voltadas para a qualidade de energia e a correção do fator de potência. A correção do fator de potência pode ser alcançada a partir da instalação de banco de instalados na rede para um único equipamento, um grupo de equipamentos ou um circuito, que é amplamente utilizado em aplicações industriais (AKAGI, 1996).

Ching-Tzong (2001), em seu estudo apresenta um enfoque integrado que compreende a instalação de banco de capacitores para obter redução de perdas e a melhoria do perfil de tensão em circuitos alimentados por energia elétrica, como o sistema de distribuição. Souza (2004), demonstra em sua pesquisa que é necessário a presença de banco de capacitores instalados próximos as cargas, permitindo assim gerar uma economia quando se compara a melhoria da qualidade e a redução de perdas de energia em comparação com os gastos para aquisição e instalação dos capacitores. Mendes (2005), afirma que é possível uma economia com a redução de perdas com baixo investimento em capacitores e manutenção. Ele apresenta um estudo para otimizar e aperfeiçoar o perfil de tensão e diminuição de custo em um sistema de distribuição com a instalação de bancos de capacitores.

Khodr (2008), sugere uma metodologia eficiente para a seleção do tamanho do banco de capacitores, a característica de operação e a localização, buscando obter economia com

a redução em perdas e evitar custos de investimentos na expansão e recondução de redes existentes. Park (2009), buscando minimizar as perdas de energia em circuitos elétricos, ele desenvolve um método baseado em algoritmo para determinar o local de instalação de bancos de capacitores em sistemas de distribuição, avaliando também, o método que considera as operações de liga/desliga que provoca a redução da vida útil dos bancos de capacitores. Junpeng Ji (2012) apresenta outra aplicação composta por três funções a minimizar: o custo dos filtros, a perda de potência reativa em relação à frequência fundamental e a soma ponderada das distorções totais de tensão e corrente.

Diante da relevância do tema apresentado pelos autores acima, a proposta dessa pesquisa foi demonstrar a viabilidade para instalação de bancos de capacitores com o objetivo de corrigir o fator de potência da indústria de plástico na cidade de João Pessoa PB, onde o mesmo apresentou durante os últimos 12 meses consumo de energia reativa excedente, em função do baixo fator de potência praticado mensalmente pela indústria de plástico em suas instalações elétricas.

2. Referencial teórico

2.1 Potência Ativa e Reativa

Segundo Mamede (2017), a maior parte das cargas consome energia reativa indutiva, como motores, transformadores, reatores, fornos de indução, e etc., essas cargas indutivas precisam de campo eletromagnético para seu funcionamento, sendo necessário dois tipos de potência, a Potência Ativa, a que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, que é medida em kW e a Potência Reativa, utilizada somente para criar e sustentar os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, medida em KVAR. Enquanto a potência ativa é consumida na geração de trabalho, a potência reativa fica circula entre a carga e a fonte, neste caso, ocupando um espaço no sistema elétrico sem não produzir trabalho, reduzindo o espaço que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa a carga.

2.2 Fator de Potência

O fator de potência é a razão entre a potência ativa e a potência aparente, ele indica a eficiência do uso da energia, onde um alto fator de potência indica uma eficiência alta e um baixo fator de potência indica baixa eficiência energética e evidenciam seu mau aproveitamento além de representar uma sobrecarga para todo o sistema elétrico. O fator de potência indica a proporção da potência total fornecida a a efetivamente utilizada como potência ativa medida (VIEIRA,1989). Segundo Mamede (2017), ao trabalhar com um baixo fator de potência, aumenta-se a perda de energia elétrica que ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente, com o excesso de energia a corrente cresce, havendo uma relação entre o aumento de perdas e o baixo fator de potência. Além disso, o baixo fator de potência impacta no aumento da corrente e queda acentuada da tensão, podendo provocar interrupção, sobrecarga, diminuição da luminosidade das lâmpadas e aumento da corrente nos motores. Ao sobrecarregar a instalação elétrica aumenta-se a subutilização da capacidade instalada e inviabiliza sua plena utilização, provocando a necessidade de correção do fator de potência.

Para Souza (2014), a capacidade de realizar trabalho de uma máquina elétrica depende potência ativa, que efetivamente faz uso da energia aplicada, transformando-a no resultado que se espera do equipamento. Por outro lado, equipamentos indutivos como motores, geradores ou transformadores perdem parte da energia, transformando-a em potência reativa, que não realiza trabalho, mas cria o campo magnético que viabiliza o seu funcionamento. Em um circuito além dessas duas potências, surge uma terceira que é conhecida como potência aparente. A potência aparente é o quanto de potência total o equipamento está consumindo, considerando o trabalho gerado e as perdas no

processo. O fator de potência é a relação existente entre a potência ativa e a potência aparente, seu valor varia de 0 a 1, sendo representado pela expressão $FP = kW / kVAr$. Isso significa que o fator de potência é um indicador da eficiência da energia de um equipamento, circuito ou rede de energia elétrica.

2.3 Características de baixo fator de Potência

Para Andreoli (2005), além do impacto no faturamento, o baixo fator de potência produz vários efeitos indesejáveis na instalação, como a elevação na corrente nos circuitos, o aumento de perdas por efeito Joule e a redução na capacidade nominal dos circuitos elétricos. Para minimizar esse efeito, deve ser adotado o emprego de técnicas para correção do fator de potência de modo a produzir a eliminação de grande parte dos problemas e elevando a eficiência do sistema elétrico. O baixo fator de potência indutivo produz o aumento na corrente do sistema, elevando as perdas por efeito Joule e prejudicando a operação dos equipamentos instalados, por efeito do abaixamento da tensão de alimentação, neste caso, ao projetar um circuito deve ser levado em consideração o fator de potência, produzindo influência na determinação da seção transversal dos condutores utilizados nas instalações, quanto menor for o fator de potência maior será sua corrente de projeto e maior será a exigência no condutor (ANDREOLI, 2005).

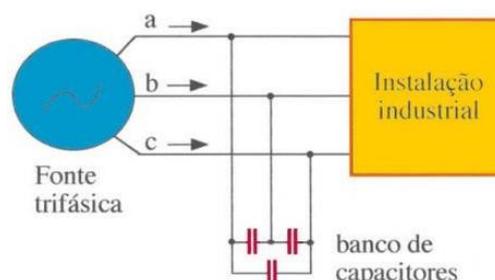
Segundo Toader (2001), o baixo fator de potência pode introduzir distúrbios nas instalações de energia elétrica que vão desde sobretensões a interferências ressonantes com circuitos indutivos, podendo em casos mais severos, levar à destruição dos equipamentos por danos aos componentes isolantes. Provoca sobretensões nos sistemas de distribuição, em proporções capazes de afetar a segurança e a confiabilidade do sistema como um todo. Mamede (2017), afirma que o capacitor tem como função suprir potência reativa ao sistema ao qual está ligado, a fim de, limitar o fluxo de energia reativa e promover a correção do fator de potência de um circuito que pode estar apresentando os seguintes problemas em função do baixo fator de potência:

- a) Motores de indução trabalhando a vazio;
- b) Motores superdimensionados;
- c) Transformadores em operação com pouca carga;
- d) Grande número de reatores de baixo fator de potência;
- e) Fornos a arco ou fornos de indução eletromagnética;
- f) Máquinas de solda a transformador e Equipamentos eletrônicos.

2.4 Bancos de Capacitores.

Para Mamede (2017) os bancos de capacitores são dispositivos dedicados à correção do fator de potência em instalações elétricas, eles são construídos a partir da associação de um conjunto de unidades capacitivas, ainda complementa que os bancos devem ser dimensionados de acordo com as características e necessidades das cargas. A Figura 1 demonstra um esquema de ligação de um banco de capacitores que tem o efeito de contrabalançar o atraso da corrente em relação à tensão, ocasionado pelo caráter indutivo da carga, através do fornecimento de corrente adiantada em relação à tensão.

Figura 01: Ligação de Banco de Capacitores



Fonte: Azevedo (2014)

Segundo Azevedo (2014), o banco de capacitor é um equipamento utilizado para corrigir o baixo fator de potência quando dimensionado corretamente elimina as multas decorrentes de reativos excedentes cobradas nas faturas de energia elétrica. Existem três tipos mais comuns de bancos de capacitores, são eles:

- Banco de capacitores fixos: esses bancos têm o valor da sua capacitância fixo, normalmente são dedicados a um circuito para correção do fator de potência em uma condição singular.
- Banco de capacitores programáveis: os bancos programáveis recebem a instrução via software para atuar em determinado horário.
- Bancos de capacitores automáticos: conseguem acompanhar e corrigir a oscilação do fator de potência da carga.

2.5 Considerações básicas sobre a legislação do fator de potência

A Resolução 414 (2010) estabelece as condições mínimas para medição e faturamento de energia reativa excedente, e define as regras abaixo:

- Fator de potência com a 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.
- O fator de potência de uma unidade consumidora, deve ser verificado pela distribuidora por meio de medição permanente e obrigatória para o grupo A, de modo a permitir a cobrança do Excedente de Energia Reativa.
- As unidades consumidoras do grupo B não podem ser cobradas pelo excedente de reativos devido ao baixo fator de potência.
- O fator de potência tem como limite mínimo permitido 0,92 indutivo ou capacitivo, e devem ser aplicados nas unidades consumidoras do grupo A, ou seja, empresas atendidas média ou alta tensão.
- A distribuidora deve definir um período de seis horas consecutivas, compreendido, entre 23h 30min e 6h 30min, para cobrança do fator de potência inferior a 0,92 capacitivo, medidos a cada intervalo de uma hora.
- O restante do período diário complementar, a cobrança deve ser aplicada apenas para o fator de potência inferior a 0,92 indutivo, verificados em cada intervalo de uma hora.
- A distribuidora deve conceder um período de ajustes para adequação do fator de potência para unidades consumidoras, com duração de 3 (três) ciclos consecutivos ao início do fornecimento de energia elétrica.
- As informações relativas aos sistemas de medição de demandas de potência e de consumos de energia elétrica ativa e reativa, de fator de potência, devem ser informadas mensalmente nas faturas de energia.

Na Resolução 414 (2010), tanto a energia reativa indutiva como a energia reativa capacitiva excedentes devem ser medidas e faturadas. O ajuste por baixo fator de potência será feito através do faturamento energia reativa indutiva excedente consumida pela instalação e pela energia reativa capacitiva excedente fornecida à rede da concessionária pelo usuário.

3. Metodologia

De forma intencional, a amostra desta pesquisa foi definida pelo processo não probabilístico, conforme Marconi e Lakotos (2000). Para este estudo de caso, foi escolhido uma indústria de plástico situada na cidade de João Pessoa-PB. Para Rudio (1996), a seleção da amostra deve ser justificada pelo motivo da escolha e os atributos da amostra. A amostra deste estudo se justifica pela razão por praticar o consumo de excedente de energia reativa acima do permitido pelo artigo 76 (RESOLUÇÃO 414, 2010).

3.1 Área de estudo e coleta de informações

A pesquisa aplicada ocorreu em uma indústria de plástico situada na Av. Dr. Walter Belian, 216 - Distrito Industrial, João Pessoa - PB, 58082-005. Os dados desse estudo foram coletados através das informações contidas nas faturas de energia entregues pela empresa de energia elétrica, foram analisadas as últimas 12 faturas, compreendendo entre julho de 2019 a junho de 2020. A fim de obter o valor do investimento necessário a correção do fator de potência, solicitou-se orçamento no mês de agosto de 2020 a três empresas distintas que oferecem o serviço de instalação e manutenção de banco de capacitor na cidade de João Pessoa, contendo o custo dos equipamentos, materiais e o serviço de mão de obra.

3.2 Análise das Informações

Os dados coletados foram inseridos em uma planilha da ferramenta Excel do Microsoft 365 e tratado estatisticamente pelo método do desvio padrão, média ponderada, porcentagem, onde permitiu demonstrar graficamente os resultados apurados na pesquisa. Os dados coletados devem ser de forma real, tratados sem distorções da realidade durante todo o período da pesquisa (MAXWEL, 1997). Utilizando as informações coletadas, foram realizados estudos e análises com o objetivo de demonstrar graficamente a relação entre o valor gasto com a compra de energia reativa excedente e o investimento necessário para corrigi-la. Este estudo pode ser aplicado em qualquer região do país, basta coletar os dados da empresa desejada onde existe a presença de consumo excedente de energia reativa, e fazer a análise da viabilidade econômico e financeira do investimento necessário para realizar a correção do fator de potência, através dos indicadores VPL, TIR e Payback, os quais serão apresentados a seguir.

3.2.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é a diferença entre o valor presente do fluxo de caixa de entrada (C_1, C_2, \dots, C_n) e o custo inicial de investimento de um projeto, considerado pelos autores como “taxa de desconto” e “custo de capital” e têm o mesmo significado e peso na equação do VPL, trata-se de uma variável utilizada pelo investidor para avaliar o resultado esperado de um projeto, basicamente é a soma de todos fluxos de pagamentos que qualquer investimento possui (TAO E FINENKO, 2016), conforme representado na Equação 1 a seguir.

$$VPL = -C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Onde: C_0 é o Investimento Inicial; C_1, C_2, \dots, C_n são os fluxos de caixa; n é o número de períodos; r é o Custo de Capital.

3.2.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), é utilizada para fazer a análise de investimentos, ela é considerada um complemento ao VPL, uma vez que representa a taxa de desconto que equipara seu valor a zero, fazendo com que as entradas sejam iguais às saídas e refletindo os ganhos reais do projeto, é utilizada como a taxa de juros ou custo de capital,

mais indicada para quando ocorre mais de um pagamento ou recebimento. A TIR é uma forma de verificar a viabilidade de um investimento produtivo, um importante balizador para responder à pergunta de se vale ou não a pena fazer determinado investimento. O cálculo da TIR é feito igualando-se o VPL a zero (HAWAWINI, 2009), como pode ser visto na Equação 2.

$$\sum \frac{C_n}{(1 + TIR)^n} = C_0 \quad (2)$$

3.2.3 Payback

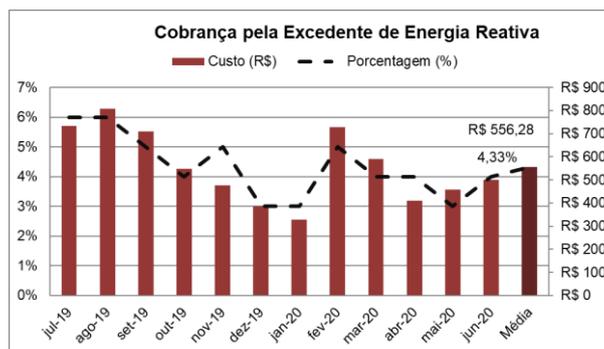
O *PayBack* é um termo muito comum dentro do mundo empresarial e a abrangência de uso vai muito além do mercado financeiro, ele pode ser utilizado tanto por analistas de investimento quanto gestores de empresas, empreendedores e profissionais de variadas áreas da economia, trata-se de um indicador do tempo de retorno de um investimento, utilizando a mesma taxa de desconto do VPL, ele determina o prazo necessário para o investimento recupera o valor inicial, neste caso, o PBD será o ano em que o somatório dos fluxos de caixas, descontados por uma taxa de retorno, se torna maior do que o investimento inicial, o Payback basicamente, mostra o período que a empresa irá levar para devolver aos seus cofres o dinheiro aplicado em um novo projeto ou investimento (TAO e FINENKO, 2016), conforme a Equação 3, onde “n” é o ano em que se alcança o Payback.

$$C_0 \leq_{min} \sum \frac{C_n}{(1 + r)^n} \quad (3)$$

4. Resultados e discussão

Pode ser verificado na Figura 3, o custo em reais gasto a mais com o consumo de energia reativa excedente juntamente com o percentual deste valor em relação ao valor total da fatura, durante o período de doze meses, compreendidos de julho de 2019 a junho de 2020.

Figura 03: Custo da energia reativa excedente



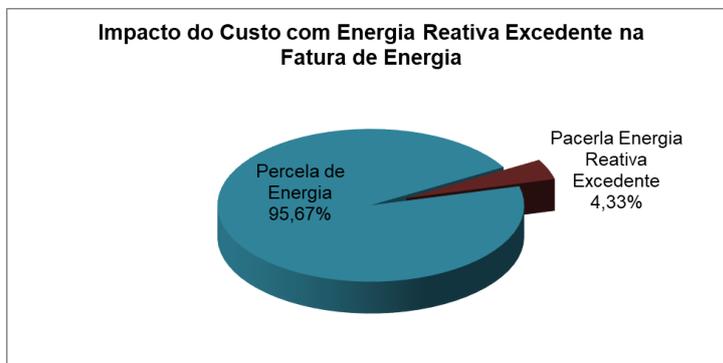
Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

O custo adicional com a compra de energia reativa excedente que a empresa teve ao longo de um ano pode ser verificado na Figura 3. Verifica-se que a empresa teve um custo médio de 4,33% a mais na fatura de energia, uma média de R\$ 556,28 mensais. Ao longo dos doze meses o valor total gasto com a compra de energia reativa excedente foi de R\$ 6.975,80, valor justificado em função da empresa está operando suas instalações elétricas com um fator de potência horário oscilando abaixo de 0,92, que é o valor mínimo permitido (RESOLUÇÃO 414, 2010).

Seyed (2011), em sua pesquisa ele demonstra o impacto provocado pelo baixo fator de potência e apresenta um algoritmo de otimização para a melhoria simultânea da

qualidade da energia, seleção e localização ótima de bancos de capacitores, o objetivo é reduzir o custo das perdas pelo baixo fator de potência, seu trabalho vai de encontro ao impacto apresentado acima. A Figura 4 traz o percentual do valor da fatura de energia destinado a compra de energia reativa excedente ao longo dos 12 meses da pesquisa.

Figura 04: Percentual do custo da energia reativa excedente

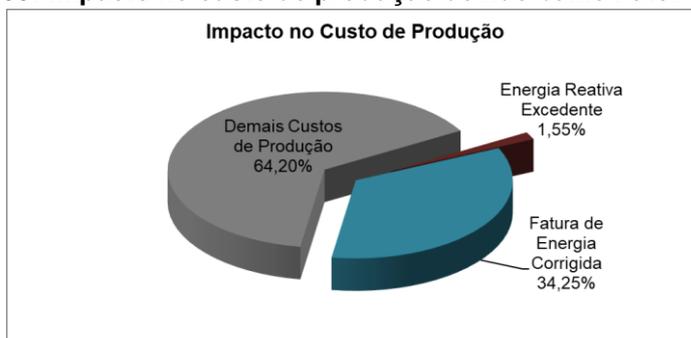


Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

Conforme verificado na figura 4, o custo de R\$ 556,28 gasto com a compra de energia reativa excedente corresponde a 4,33% do valor gastos com energia elétrica, chegando a R\$ 6.675,41 ao ano, este valor representa um impacto considerável ao caixa da empresa, demonstrando a necessidade de instalação de bancos de capacitores para a correção da perda gerada pelo baixo fator de potência. Os resultados demonstrados acima vão de encontro à pesquisa de (LEITE, 2009), que demonstra o impacto provocado pelo baixo fator de potência e apresenta que a correção de fator de potência pode ser realizada com a instalação de capacitores na rede ou próximo as cargas indutivas, para que o mesmo possa corrigir o fator de potência para os limites estabelecidos, neste caso, deixando de gerar consumo reativo excedente e redução das multas na fatura de energia.

A solução mais adequada para a correção do fator de potência pode ser feita com a instalação de bancos de capacitores de modo a aumentar a potência reativa próximas as cargas reduzindo as cobranças impostas pela concessionária de energia elétrica, diminuição de perdas nos circuitos, além do aumento da capacidade do sistema e redução nos custos de investimentos em infraestrutura para ampliação ou recondutoramento de rede (SHWEHDI, 2000). A Figura 5 traz o percentual do valor da fatura de energia destinado a compra de energia reativa excedente ao longo dos 12 meses da pesquisa.

Figura 05: Impacto no custo de produção devido baixo Fator de Potência.



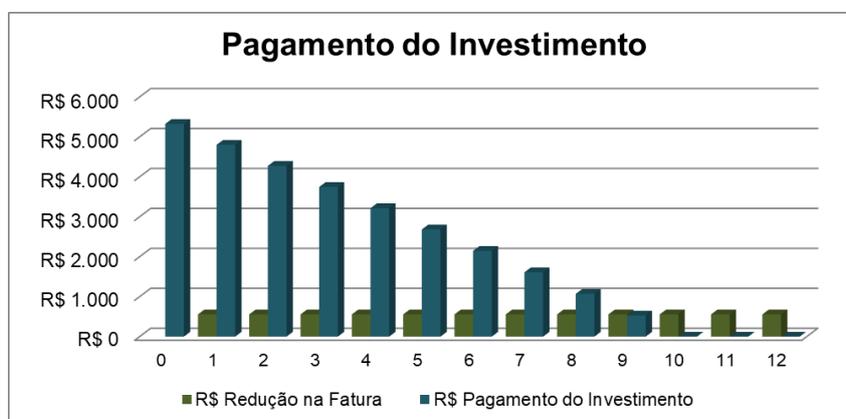
Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

Segundo a empresa, o custo com a energia elétrica gira em torno de 35,80% do custo de produção, neste caso, ao implementar a correção do fator de potência com a instalação

do banco de capacitores o valor da fatura reduziria em média R\$ 556,28 por mês, essa economia representaria uma redução no custo total de produção da empresa em 1,55%, neste caso, o valor ajudaria a aumentar o lucro. Neste cenário, a empresa deve implantar a correção do fator de potência através de m investimento na instalação de bancos de capacitores fixos largamente utilizados em indústrias devido ao seu baixo custo de implantação, a fim de evitar cobrança do da empresa por fator de potência inferior a 0,92, (NAKAMURA, 2011).

Para a correção do fator de potência, seria necessário um investimento na instalação de bancos de capacitores para manter o fator de potência acima de 0,92, neste caso, considerando o menor valor dos três orçamentos realizados, o investimento necessário seria o valor total de R\$ 5.325,15, sendo R\$ 2.305,00 destinado a compra de um banco de capacitor fixo trifásico, R\$ 1.266,40 com materiais diversos necessário a instalação do banco como condutor, suporte e conectores e R\$ 1.753,75 destinado ao serviço de mão de obra para a instalação do banco de capacitor. Pode ser verificado na Figura 6, que Playback do investimento é alcançado em dez meses.

Figura 06: Playback do investimento.



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

Utilizando metodologia apresentada acima, realizou-se o cálculo do VLP, TIR e PBD. Para calcular o VPL, considerou o investimento necessário de R\$ 5.325,15, uma redução média mensal de R\$ 556,28 na fatura de energia durante um período de 3 anos, com uma taxa de retorno de 10% ao ano, como resultado, o VPL foi de R\$ 12.351,83. Adotando os mesmos valores do VPL para o cálculo da TIR, o resultado verificado com a TIR foi de 32,38%, sendo viável. Com relação ao Playback, obteve-se o resultado de 10,22 meses, conforme pode ser verificado na Figura 6, neste caso, o investimento retorna em menos de ano ao caixa da empresa.

Kikuchi (2015), afirma que é fundamental manter o fator de potência elétrico dentro do valor indicado pela legislação, em sua pesquisa sobre banco de capacitores para correção de fator de potência em indústria, ele chegou a um Playback de 9,4 para o retorno do investimento, verificando-se que o custo benefício é satisfatório. O resultado do estudo foi apresentado e deixado a critério da empresa sua implantação, neste caso, quanto mais rápido realizar o investimento menor será a perda no caixa, pois a redução é significativa no valor da fatura, o valor economizado poderia ser utilizado para investimentos em outras áreas da empresa.

5. Conclusão

A correção do fator de potência pode ser realizada pela empresa através da instalação de um banco de capacitores trifásico fixo, com vida útil de dez (10) anos. A correção do fator potência atual para um valor que fique acima do mínimo permitido de 0,92,

dispensaria a compra de energia reativa excedente, que representa um custo médio mensal de R\$ 556,28, em torno de 4,33% do valor gastos com energia elétrica, chegando a R\$ 6.675,41 ao ano.

Realizando o investimento com na instalação do banco de capacitor, a fatura de energia pode ser reduzida em média de R\$ 556,28 por mês, essa economia representa uma redução no custo de produção da empresa de aproximadamente 1,55%. O resultado apurado com os indicadores financeiros, foi um VPL de R\$ 12.351,83, uma TIR foi de 32,38% e o Playback de 10,22 meses, demonstrando que o investimento é viável e que o valor do investimento retorna ao caixa da empresa em menos de ano.

A correção proposta nessa pesquisa com a instalação de banco de capacitores, pode ser realizada por qualquer empresa do país que se enquadrem nos critérios da (Resolução 414, 2010). Porém antes do investimento, cabe uma avaliação individual da situação atual do fator de potência da empresa, o percentual de redução do custo de energia poderá ser maior ou menor, pois cada indústria possui características diferentes em função da composição de sua carga instalada. Para a avaliação da fatura de energia e comportamento da carga, deve-se contratar uma empresa especializada no assunto. Os valores obtidos nessa pesquisa foram obtidos considerando a resolução atualmente em vigor, futura mudança na legislação como a alterações nos limites ou nas regras de cobrança de energia reativa excedente mudará os resultados obtidos para maior ou menor, sendo necessárias novas análises.

A implantação dos bancos de capacitores sugerida neste trabalho fica a critério da empresa, podendo a instalação ser realizada a qualquer momento, sendo que, quanto mais rápido foi realizada, mais rápido a empresa deixará de pagar os custos adicionais na fatura de energia. Para a instalação, basta realizar a contratação de uma empresa especializada em realizar instalação dos capacitores e correção do fator de potência.

Referências

AKAGI, H. **New Trends In Active Power Filter For Power Conditioning**. IEEE Trans. on Ind. Applications, vol. 32, p. 1312-1322. 1996.

ANDREOLI, ANDRÉ LUIZ. **Controlador De Demanda E Fator De Potência De Baixo Custo Para Unidades Consumidoras De Energia Elétrica**. UNESP. BAURU-SP. 2005

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução ANEEL Nº 414 de 09 de setembro de 2010. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica**. Disponível link: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2020.

AZEVEDO MANOEL S. S. **Otimização Multiobjetivo da Compensação de Potência Reativa em Redes de Distribuição Considerando Restrições de Distorção Harmônica**. UFPA. BELÉM, PARÁ, 2014.

CHING-TZONG SU, CHU-SHENG LEE. **Feeder reconfiguration and capacitor setting for loss reduction of distribution systems**. Electric Power Systems Research 58, p. 97– 102. 2001.

DEBASISH DAS. **Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a FuzzyGA method**. Elsevier Electrical Power and Energy Systems, Vol 30 p. 361–367. 2008.

GARCIA, O.; COBOS, J.A.; PRIETO, R.; ALOU, P.; UCEDA, J. **Single-phase Power Factor Correction: A Survey**. In proc. of IEEE PESC, p. 8-13. 2001.

Google Mapas. Disponível link: < https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEU_pt-BRBR910BR910&tbm=lcl&sxsrf=ALeKk03F0jLhj9f7xKy14bD8KLH_lyEY9Q%3A1594900174371&ei=zj4QX> Acesso em: 15 ago. 2020.

HAWAWINI, G.; VIALLET, C. **Finance For Executives: Managing For Value Creation**. 4. ed. South- western Cengage Learning, 318-323 p. 2009.

JUNPENG, JI. Haiwa Liu, Guang Zeng, Jिंगgang Zhang. **The Multi-objective Optimization Design of Passive Power Filter Based on PSO**. Department of Electrical Engineering, Xi'na University of Technology, XUT, Xi'an, China, 2012.

KHODR H.M., F.G. OLSINA, P.M. DE OLIVEIRA-DE JESUS J.M. YUSTA. **Maximum savings approach for location and sizing of capacitors in distribution systems**. Electric Power Systems Research 78 p. 1192– 1203. 2008.

KIKUCHI GEORGE TSURUJI, REIS JÚLIO CÉSAR SILVA. **Banco de Capacitores para Correção de Fator de Potência em Industria**. São José dos Campos. Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP). 2015.

KOLAR, J. W.; FRIEDLI, T. **The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems**. 2014; Part I. IEEE Transactions on Power Electronics, ISSN 0885-8993, v. 28, p. 176-198. 2013.

LEITE, DAVI DA SILVA. **Controle de Fator de Potência no Secundário (Lado da Carga) de um Transformador Trifásico**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

MAMEDE, JOÃO FILHO. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. - Rio de Janeiro: LTC, P. 409 a 450. 2017.

MARCONI, MARINA DE ANDRADE; LAKOTOS, EVA MARIA. **Metodologia Científica: Ciência e Conhecimento; Métodos Científicos; Teoria, Hipóteses e Variáveis; Metodologia Jurídica**. São Paulo: Atlas, 2000.

MENDES A., P. M. FRANCA, C. LYRA, C. PISSARRA, AND C. CAVELLUCCI. **Capacitor placement in large-sized radial distribution networks**. Proc. IEE., Generation, Transmission and Distribution, vol. 152, pp.496–502. 2005.

NAKAMURA, ROBERTA D. R. **Instalação de capacitores de potência em redes poluídas** por harmônicos e com baixa potência de curto-circuito. Belo Horizonte. 2011.

PARK, J. Y.; SOHN, J. M.; PARK, J. K. **Optimal capacitor allocation in a distribution system considering operation costs**. IEEE Transactions Power Systems, New York, v. 24, p. 462-468. 2009.

QIAO, C.; JIN, T.; SMEDLEY, K. M. **One-Cycle Control of Three-Phase Active Power Filters With Vector Operation**. IEEE Transactions on industrial applications, vol. 51, pp. 455-463. 2004.

RUDIO, FRANZ VICTOR. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**. Petrópolis: Vozes, 1996.

SEYED ABBAS TAHER, ALI KARIMIAN, MOHAMMAD HASANI. **A New Method For Optimal Location And Sizing Of Capacitors In Distorted Distribution Networks Using Pso Algorithm Simulation Modelling Practice And Theory**. elsevier b.v., 2010.

SHWEHDI M. H. AND M. R. SULTAN. **Power Factor Correction; Essentials And Cautions**. Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE. 2000.

SMEDLEY, K. M.; JIN, T. **One-Cycle Control and Its Applications in Power Quality Control and Renewable Power Generation**. In proc. of IEEE Power Engineering Society General Meeting, vol. 3, p. 2999- 3007. 2005.

SOUSA, RAPHAELL MACIEL. **Contribuições à estratégia de controle sem detecção de harmônicos aplicada a um filtro ativo de potência paralelo**. UFRN 2014.

SOUZA, B. A, HELTON DO N. A, and HELVIO A. F. **Microgenetic Algorithms and Fuzzy Logic Applied to the Optimal Placement of Capacitor Banks in Distribution Networks**. IEEE Transactions on Power Systems, 2004.

TAO, J. Y.; FINENKO, A. **Moving Beyond Lcoe: Impact Of Various Financing Methods On Pv Profitability For Sids**. Energy Policy, 2016.

TOADER, C.; POSTOLACHE, P.; SCUTARIU, M.; SURDU, C. **Penalty Options for Over-Compensated Reactive Energy at Medium and Small Customers Level**. Power Tech Proceedings, 2001 IEEE, Porto Vol. 3. 2001.

VIEIRA, A. C.G.; **Correção de Fator de Potência**. 2ª edição. Rio de Janeiro: editora Manuais CNI, p. 155, 1989.