

ANÁLISE COMPUTACIONAL DOS IMPACTOS DE MÁQUINAS DE SOLDA NAS REDES ELÉTRICAS DE DISTRIBUIÇÃO

Hemerson Brito Ribeiro*, Arthur Costa de Souza**, Carlos Eduardo Tavares**
Fabrício Parra Santílio***

Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Faculdade de Engenharia Elétrica

*Núcleo de Máquinas e Aterramentos Elétricos

**Núcleo de Qualidade de Energia Elétrica

***Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT, Departamento de Engenharia Elétrica

hemersonbrito@yahoo.com.br, arthur_costasouza@hotmail.com, cetavares@ufu.br, parra@ufmt.br

Resumo - Este trabalho apresenta uma proposta na área de qualidade da energia elétrica, com o objetivo de investigar e mitigar as perturbações provocadas por máquinas de solda nas redes de distribuição de energia elétrica, tais como distorções harmônicas, desequilíbrio, Flicker, fator de potência, entre outros. Por meio do aplicativo computacional PQA (Power Quality Analyzer) são realizadas simulações com soluções sugeridas e aplicadas pelas concessionárias de energia elétrica. São apresentados os resultados e avaliados em comparação com os limites recomendados pelo PRODIST para cada solução proposta.

Palavras-Chave – Aplicativo PQA, máquina de solda, Qualidade da energia elétrica, Simulação computacional.

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF WELDING MACHINERY IMPACTS IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK

Abstract - This paper presents a proposal in the power quality area, in order to investigate and mitigate the disturbance caused by welding machines in the electricity distribution networks, such as harmonic distortion, unbalance, flicker, power factor, among others. Through the computer application PQA (Power Quality Analyzer) simulations were performed with suggested solutions and implemented by electric utilities. The results have presented and compared with the limits recommended by PRODIST for each proposed solution.

Keywords – PQA computer application, welding machine, Power Quality.

I. INTRODUÇÃO

As distorções na onda de tensão impactam diretamente na qualidade da energia elétrica, em que os agentes distribuidores devem fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. Entretanto, o fornecimento de energia a

determinados consumidores que causam deformações no sistema supridor, fundamentalmente pela presença de cargas não lineares, prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados ao mesmo barramento. Estas cargas são conhecidas como cargas perturbadoras [1]. Alguns equipamentos quando são colocados indiscriminadamente nos ramais das redes de energia, provocam alterações na tensão da rede, assim causando prejuízos para os equipamentos mais sensíveis.

A fiscalização da inserção destes tipos de equipamentos é muito difícil por parte das distribuidoras de energia elétrica, principalmente nas redes de baixa tensão, impossibilitando um estudo preliminar para evitar os possíveis problemas associados.

Com o advento do PRODIST - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica Nacional [2], estas preocupações suscitam a necessidade do desenvolvimento de ferramentas para simular a operação das cargas perturbadoras e estimar os seus impactos nas redes de distribuição de forma a se estabelecer ações preventivas, para que o sistema elétrico continue operando dentro dos limites admissíveis [3].

A norma do PRODIST é uma resolução que vem a estabelecer a manutenção dos níveis de tensão necessária para o consumidor, não lhes causando perdas ou prejuízos. Neste sentido, algumas concessionárias de energia têm adotado normas internas específicas para tratar sobre a inserção de equipamentos perturbadores nas redes elétricas.

Dentre as várias cargas perturbadoras existentes, a máquina de solda elétrica transformadora tem sido uma grande fonte de preocupação dada sua elevada potência e baixo fator de potência, associados ao comportamento elétrico perturbador intrínseco à sua operação. [1]

Logo esse trabalho tem como finalidade estudar os impactos ocasionados pela operação de cargas comerciais perturbadoras conectadas às redes elétricas de distribuição, com destaque para a máquina de solda elétrica, e encontrar meios para mitigar estes efeitos indesejados. Será abordada apenas a qualidade do produto como objetivo de estudo. Dessa forma, a Seção 8.1 do módulo 8 do PRODIST define os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitem à ANEEL fixar padrões para os indicadores da QEE (Qualidade da Energia Elétrica). Para os estudos computacionais, será utilizado o aplicativo computacional PQA [4].



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

II. MÁQUINA DE SOLDA

A soldagem é uma área essencial para diversos setores industriais, tais como automobilístico, aeronáutico, naval, construção civil, mineração, dentre outros. “É um processo de fabricação mecânico-metalúrgico que, através de uma fonte de calor adequada, promove a coalescência e a união de duas ou mais peças e assegura a junta sua continuidade física e/ou química” [5].

As máquinas de solda permitem a obtenção do arco elétrico em baixas tensões (10 a 50 V) e altas correntes (40 a 500 A), sendo utilizada em soldagem nos processos Eletrodo Revestido, MIG/MAG, TIG, Arco Submerso, Plasma e Electroescória. São alimentadas pela rede elétrica em conexão mono, bi ou trifásica, em tensões nominais de 127, 220, 380 ou 440 V. Qualquer que seja a alimentação, a tensão de saída nos bornes da máquina deverá estar entre 10 a 50V, e o tipo de corrente poderá ser alternada ou contínua e o fator de potência apresentado é em torno de 65% para uma frequência de 60Hz.

III. METODOLOGIA

O trabalho teve sua metodologia baseada no software PQA (Power Quality Analyzer – Analisador da Qualidade de Energia), desenvolvido pelo grupo de Qualidade de Energia Elétrica – QEE da Universidade Federal de Uberlândia, o qual possibilita avaliar os impactos dos distúrbios da qualidade da energia elétrica causados por cargas perturbadoras nas redes de distribuição [4]. A interface gráfica do software pode ser visualizada na Fig. 1.

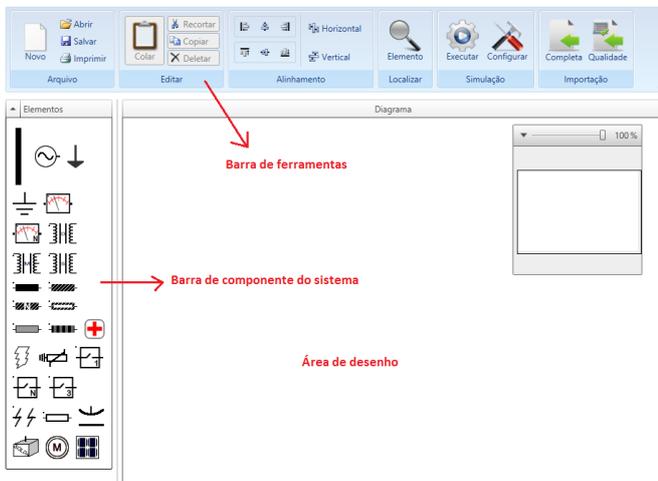


Fig. 1. Interface gráfica do PQA

A Fig. 2 mostra o circuito equivalente da rede de distribuição utilizada para os estudos. Esta é composta basicamente por uma fonte de tensão de 13,8kV, 60Hz e um cabo de media tensão de 300m, um transformador de distribuição de 30kVA, 13,8/0,22kV, uma carga equivalente representando os consumidores com $P=20\text{kW}$ e $Q=8\text{kVar}$, um cabo de baixa tensão de 200m, um medidor de qualidade de energia na parte de baixa tensão onde são coletados todos os dados que serão aqui analisados e, por fim, uma máquina de solda com potência de 20kVA, 220V conectada nas fases A e B.

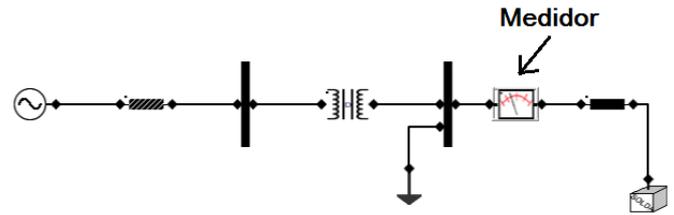


Fig. 2. Rede de distribuição utilizada nos estudos.

A seguir são apresentados os estudos de caso para análise dos impactos da operação da máquina de solda e as possíveis soluções mitigadoras a serem empregadas.

A. Caso 1: Circuito em condições nominais antes da instalação da Máquina de Solda

Nessa primeira análise do circuito, faz-se uma avaliação do comportamento da rede elétrica em suas condições originalmente apresentadas, contudo sem a operação da máquina de solda, conforme indicado na Fig. 3. Esta topologia será considerada como a condição atual e nominal da rede para verificação dos impactos da instalação da máquina de solda, bem como das possíveis soluções mitigadoras.

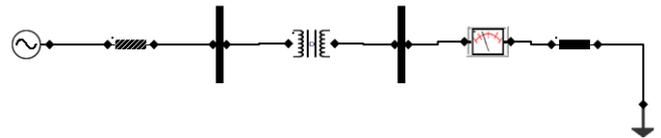


Fig. 3. Circuito sem a máquina de solda.

Os oscilogramas de tensão e da corrente obtidos pelo medidor são apresentados, respectivamente nas Figs. 4 e 5.

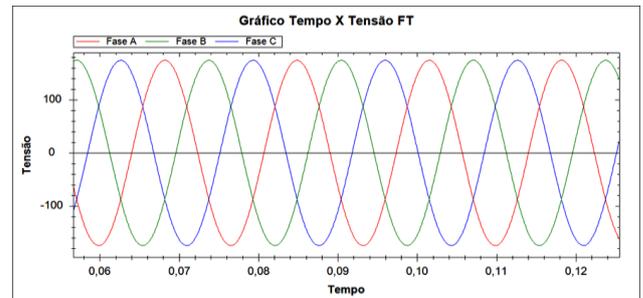


Fig. 4. Gráfico Tempo X Tensão

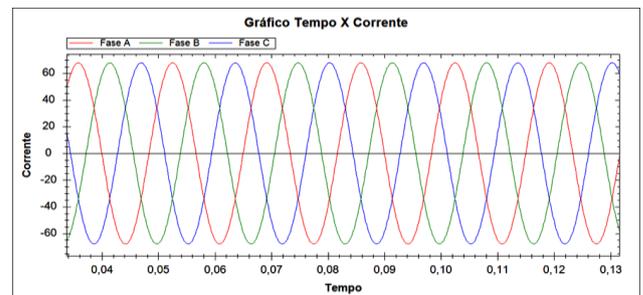


Fig. 5. Gráfico Tempo X Corrente

Por se tratar de uma carga expressiva para o sistema analisado, também foi considerada uma variação típica da

carga ao longo das 24 horas do dia para análise da tensão em regime permanente. A Fig. 6 apresenta o perfil de tensão eficaz ao longo deste período. Como esperado, percebe-se que a tensão sofre uma leve queda no horário de ponta e depois volta ao valor inicial. Também pode ser visto na figura que o PQA apresenta regiões que classificam o nível de tensão em regime permanente [2]. A região verde é a qual a tensão encontra-se adequada, enquanto que a amarela indica níveis precários e a vermelha críticos. Como pode ser visto, também para este indicador o sistema apresenta-se como adequado para a atual condição operacional.

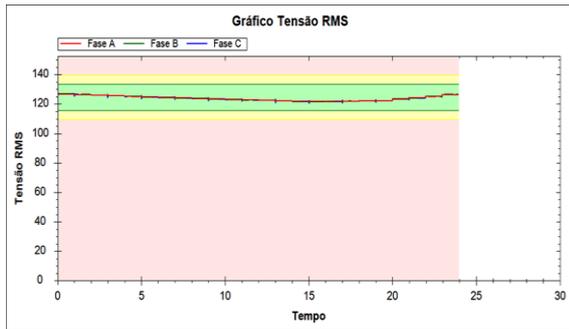


Fig. 6. Tensão eficaz ao longo de 24h.

Neste caso, com o sistema elétrico composto apenas por cargas representadas por consumidores não perturbadores, percebe-se que não há violação nas características da tensão. A seguir são apresentados os resultados dos impactos ocasionados pela inserção de uma máquina de solda e a aplicação de possíveis soluções mitigadoras.

B. Caso 2: Circuito com Máquina de Solda Instalada

Neste estudo de caso é feita uma análise dos impactos causados na rede de distribuição, pela inserção arbitrária de uma máquina de solda. O sistema elétrico é o mesmo do caso 1, contudo com a inserção de uma máquina de solda, conforme indicado na Fig. 2.

De forma a mostrar a operação dinâmica da máquina de solda optou-se em energizá-la nos primeiros instantes da simulação e no instante 0,5s ocorre o processo de soldagem propriamente dito, quando o eletrodo encosta na peça a ser soldada. As Figs. 7 e 8 exibem os oscilogramas da tensão e corrente, respectivamente, no ponto de conexão da máquina de solda com a rede elétrica.

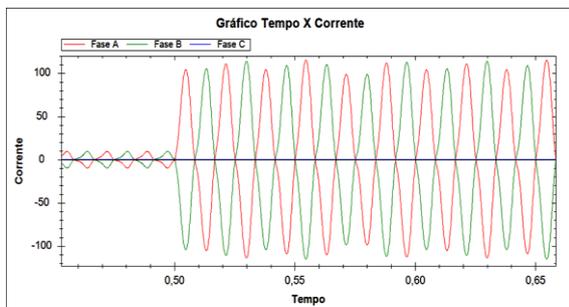


Fig. 7. Gráfico Tempo X Corrente

Observa-se na Fig. 7 que, a partir do instante 0,5s ocorre uma elevação súbita de corrente pelo fato da máquina de

solda entrar em operação, ocasionando um desequilíbrio e uma leve distorção na forma de onda da tensão, conforme indicado na Fig. 8.

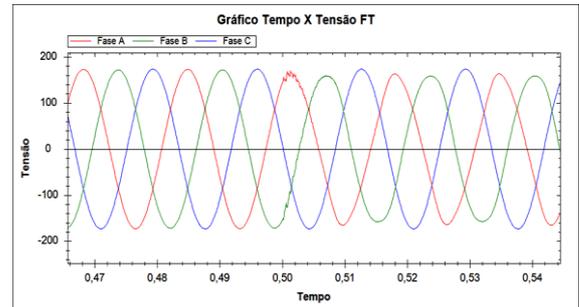


Fig. 8. Gráfico Tempo X Tensão

A Fig. 9 ilustra o detalhe da tensão eficaz antes e depois dos 0,5s, quando a máquina de solda entra em operação. Percebe-se que as tensões não permaneceram na faixa adequada (faixa verde) tendo as tensões das fases A e B localizadas na faixa precária (amarela) após o início da operação da máquina.

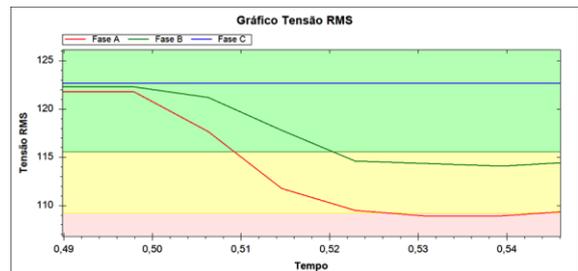


Fig. 9. Detalhe da tensão eficaz no momento de operação da máquina de solda.

As Figs. 10 e 11 demonstram a transformada de Fourier da tensão e da corrente, respectivamente, indicando a distorção harmônica total e individual presente no ponto de conexão do equipamento em relação à fundamental. Para fins de comparação, o PQA apresenta, na cor amarela, os limites máximos de distorção harmônica de tensão recomendados pelo PRODIST.

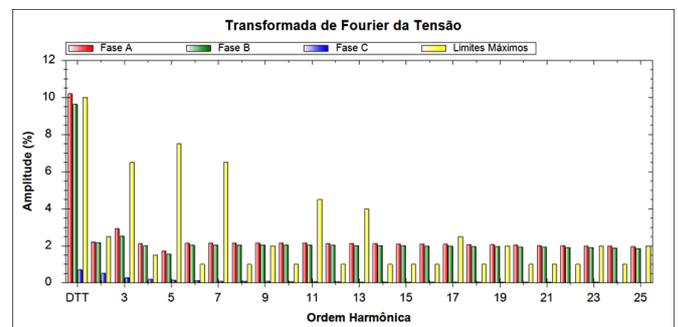


Fig. 10. Espectro harmônico de tensão

Percebe-se pela Fig 10 que apenas distorção harmônica total de tensão a fase A violou o limite recomendado pelo PRODIST. Já para as distorções harmônicas de corrente, conforme visualizado na Fig. 11, não foram considerados

valores de referência, mas ressalta-se que a terceira harmônica é predominante, atingindo o valor de 14,5%.

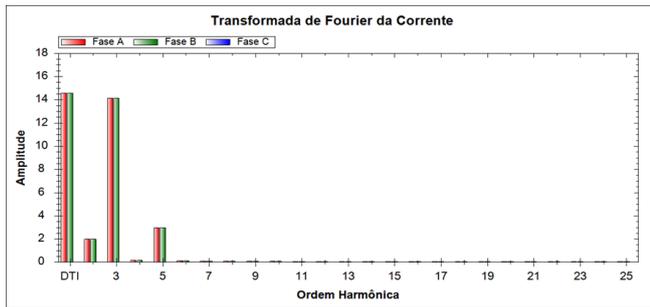


Fig. 11. Espectro harmônico de corrente

Com relação ao fator de potência exibido Fig. 12, a máquina de solda apresenta um valor de 0,38 indutivo, sendo muito abaixo do valor recomendado de 0,92. Vale ressaltar que o seu baixo valor é uma característica intrínseca, devido ao seu princípio construtivo/operacional.

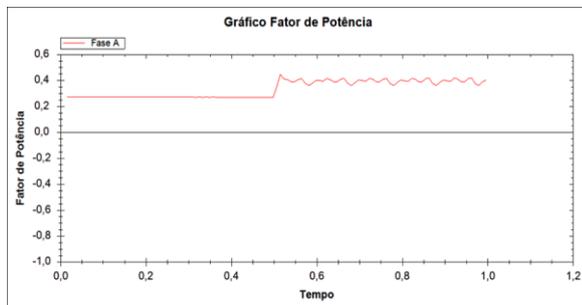


Fig. 12. Fator de Potência da máquina de solda.

Com relação ao desequilíbrio de tensão, ainda não há limite recomendado para o nível de 220V, porém é considerado que valores acima de 2% já possam ocasionar problemas de aquecimento e vibração em motores, por exemplo. Percebe-se, pela análise da Fig. 13 que no instante em que a máquina de solda entra em operação, o desequilíbrio atinge valores em torno dos 6%, sendo este o dobro do valor a ser adotado pelo PRODIST como limite de referência em nível de 220V a partir de janeiro do ano de 2017.



Fig. 13. Desequilíbrio

Com relação ao efeito *Flicker*, a simulação detectou o valor do PST (Severidade de Curta Duração) na Fase A de 1,38 pu estando acima do valor recomendado de 1,0 pu, e na Fase B de 0,95 pu, enquanto que na Fase C o valor é do PST é praticamente nulo, uma vez que a máquina de solda foi conectada entre as fases A e B.

Na Fig. 14 são apresentados os valores da tensão eficaz ao longo das 24h do dia, cujo comportamento dinâmico da carga foi o mesmo utilizado no Caso 1.

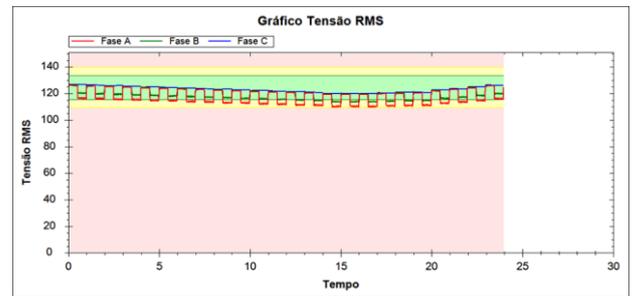


Fig. 14. Gráfico da Tensão RMS

Ao longo das 24 horas é visto que no horário de pico, localizado entre as 18:00 e 20:00 horas, a tensão eficaz passou pelas regiões precária e crítica. Desta forma, o PQA apresenta uma estimativa do DRP (Duração relativa da transgressão de tensão precária) e do DRC (Duração relativa de transgressão de tensão crítica) sob tais condições operacionais da rede, conforme Fig. 15.

Para simulação durante 24 horas			
	Fase A	Fase B	Fase C
DRP Estimado (%)	87,00	33,00	0,00
DRC Estimado (%)	0,00	0,00	0,00

Fig. 15. DRP e DRC

Os valores de DRP de 87% na fase A e de 33% na fase B, ultrapassaram consideravelmente o valor recomendado pelo PRODIST de 3%, portanto, caso não seja tomada uma providência, a concessionária será multada pelos prejuízos acarretados aos consumidores que estiverem conectados no mesmo barramento, como estabelecido na norma. Logo, como pode ser visto, a inserção da máquina de solda nos moldes apresentados neste trabalho poderá causar grandes impactos na qualidade da energia da rede elétrica em que foi conectada.

Para este tipo de situação, as medidas mitigatórias usualmente visam reduzir a impedância da rede secundária existente podendo ser aplicadas, em função da gravidade das perturbações, uma ou mais dentre as alternativas relacionadas nos casos apresentados a seguir [6].

C. Caso 3: Aumento da Capacidade Nominal do Transformador de Distribuição.

Geralmente, a impedância interna dos transformadores de distribuição é inversamente proporcional à sua potência nominal. Logo, quanto maior a potência nominal do transformador, menor será a queda de tensão interna.

Portanto, seguindo a recomendação da concessionária, substituiu-se o Trafo 30kVA por um de 45kVA. Os resultados das simulações realizadas sob tais condições são apresentados na Fig. 16. Ao se comparar com a Fig. 14 percebe-se uma melhoria na tensão eficaz ao longo das 24 horas. A figura 17 apresenta um detalhe do horário de pico em que tensão na fase B sai da faixa precária para a faixa adequada e a tensão na fase A sai da faixa crítica para a faixa

precária, comprovando esta melhoria. Contudo, o problema ainda persiste.

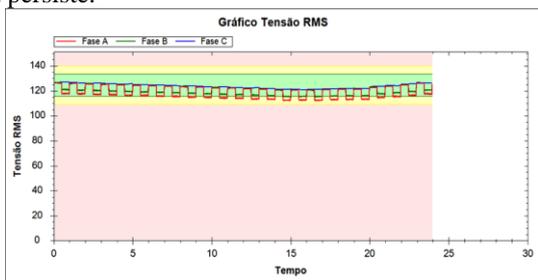


Fig. 16. Tensão eficaz ao longo de 24h com o transformador de 45kVA

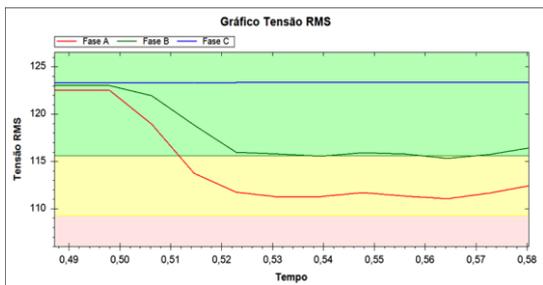


Fig. 17. Detalhe da tensão eficaz com o transformador de 45kVA no horário de pico

D. Caso 4: Aumento da Bitola dos Condutores da Rede Secundária

Segundo os documentos consultados, esta alternativa apresenta bons resultados apenas nos casos onde a distância entre o transformador e a máquina de solda não seja superior a 60 m, mesmo para as maiores bitolas padronizadas para as redes secundárias [7]. Neste caso a distância entre a máquina de solda e transformador é de 200m. Desta forma, apenas para se confirmar esta situação, a bitola do condutor foi exageradamente aumentada para a de maior valor encontrado na biblioteca do PQA, sendo esta equivalente ao Cabo de Cobre PVC 253mm². Os resultados não serão apresentados neste artigo, pois mesmo com este exagero, a simulação não apresentou nenhuma mudança significativa na melhoria dos resultados, confirmando a recomendação da concessionária para a não aplicação desta estratégia para distâncias maiores que 60 metros entre máquina e o transformador.

E. Caso 5: Redução do Comprimento da Rede Secundária de Alimentação.

O deslocamento do transformador de distribuição para as proximidades do ponto de instalação da máquina de solda oferece bons resultados, mas esse deslocamento pode tirar o transformador do centro de carga ou do planejamento, criando transtornos futuros. Ainda para reduzir o comprimento da rede secundária, pode-se optar pelo desmembramento do setor, alocando um novo transformador mais próximo da máquina de solda e, de preferência, seguindo o planejamento proposto para a área. Neste caso, haverá necessidade de recalcular o carregamento dos transformadores envolvidos e, se for o caso, substituir o existente.

Neste caso de estudo foi empregada a opção de apenas deslocar o transformador existente. Para esta representação, as cargas foram distribuídas ao longo da distância de 200m e encurtou-se a distância da máquina de solda para próximo do transformador a uma distância de 10m. As cargas foram distribuídas em duas de P=7kW e Q=3kVar e uma de P=6kW e Q=2kVar. O diagrama é representado pela Fig. 18.

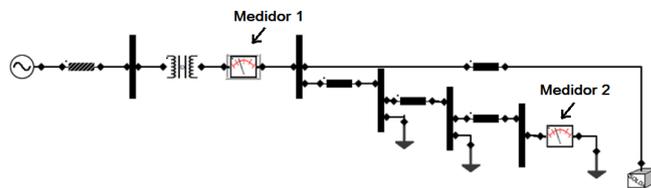


Fig. 18. Transformador deslocado próximo a máquina de solda.

Como pode ser visto na Fig. 18, um novo medidor (Medidor 2) foi alocado para a última carga do ramal distribuído no sentido de verificar os impactos para os consumidores ligados no final da rede. Os resultados para a tensão nos dois pontos de monitoramento são apresentados nas figuras 19 e 20.

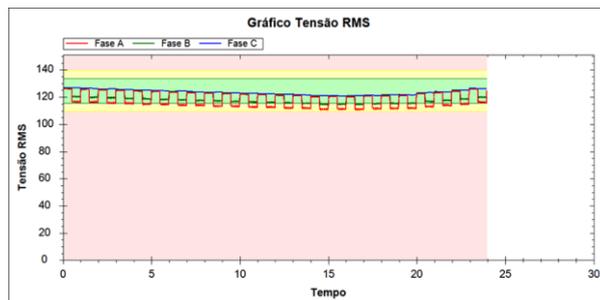


Fig. 19. Tensão eficaz ao longo de 24h no barramento mais próximo do transformador e da máquina de solda

O medidor alocado mais próximo do transformador de distribuição (Medidor 1), indica que a tensão da fase A apresenta valores fora da região adequada, principalmente nos instantes mais próximos do horário de pico, conforme evidenciado na Fig. 19. Já a Fig. 20, mostra os resultados de tensão eficaz através do medidor alocado no último barramento do ramal de consumidores (Medidor 2), os quais experimentam níveis críticos de tensão durante a maior parte do período das 24 horas.

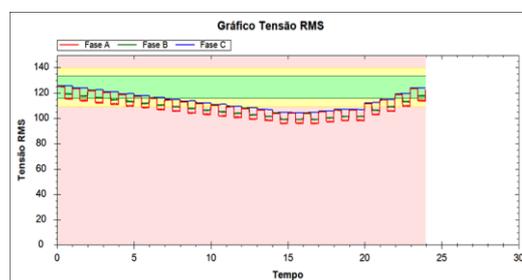


Fig. 20. Tensão eficaz ao longo de 24h para os consumidores ligados no final da rede

Percebe-se que na máquina de solda os níveis de tensão ficam mais próximos dos padrões desejados devido a sua aproximação do transformador de distribuição. Já para os

consumidores conectados no final da rede os padrões de tensão passam a ficar fora dos limites adequados por mais tempo. Portanto, o deslocamento do transformador para próximo da máquina de solda minimiza os efeitos para o barramento da máquina, mas prejudica ainda mais os níveis de tensão dos demais consumidores.

F. Caso 6: Isolar o Consumidor especial

Apesar de não ser uma solução de baixo custo, o atendimento do consumidor especial com um transformador exclusivo é uma solução bastante eficaz. Para testar esta opção, este caso apresenta a inserção de um transformador de 15 kVA exclusivo para a carga especial enfocada neste trabalho. A Fig. 21 ilustra esta nova topologia para rede em estudo.

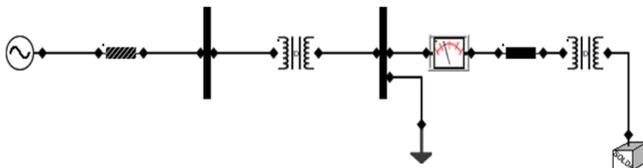


Fig. 21. Inserção de um transformador exclusivo para a carga especial.

Conforme pode ser visto na figura 22, a tensão eficaz no barramento da conexão da máquina de solda permaneceu dentro da faixa adequada ao longo das 24 horas do dia, resultando em 0% de DRP e DRC.

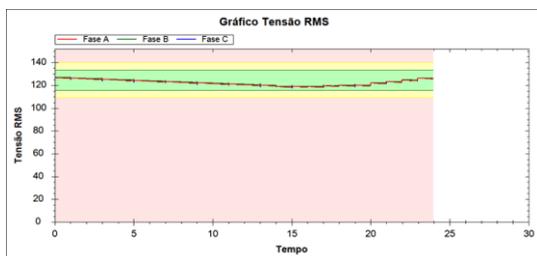


Fig. 22. Tensão eficaz ao longo de 24h

Diferentemente do apresentado na Fig. 13, o fator de desequilíbrio manteve-se abaixo dos 2%, conforme indicado na Fig. 23. A possibilidade de danos em outras máquinas na forma de aquecimento e vibrações para outros consumidores foi substancialmente reduzida.

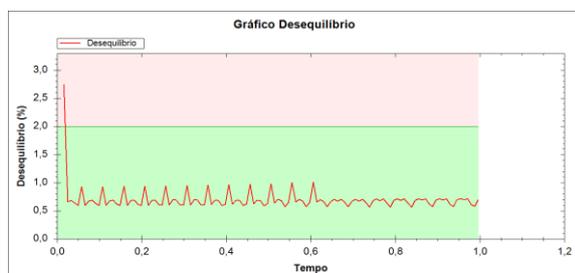


Fig. 23. Grau de desequilíbrio com um transformador exclusivo

Além disso, as distorções harmônicas de corrente reduziram substancialmente, impactando também nas distorções harmônicas de tensão. Quanto ao fenômeno flicker, este foi drasticamente mitigado.

Como pode ser observado, dentro das soluções apresentadas para mitigar os distúrbios causados pela inserção de uma máquina de solda na rede elétrica, o melhor resultado obtido foi a inserção de um transformador exclusivo para o consumidor especial. Esta afirmação é específica para as condições apresentadas neste estudo de caso. Obviamente, para cada situação particular com cada topologia específica, novas simulações devem ser realizadas.

IV. CONCLUSÕES

A simulação computacional tem se mostrado como uma grande ferramenta de auxílio para investigações e avaliações dos impactos da operação de cargas perturbadoras. Neste particular, o aplicativo PQA se mostrou uma ferramenta bastante prática, intuitiva e facilitadora para análise dos impactos de cargas perturbadoras permitindo, através do seu medidor virtual de qualidade da energia, uma avaliação prévia dos distúrbios ocasionados e sua propagação ao longo da rede, apresentando resultados dos indicadores de qualidade com seus respectivos limites recomendados pelo PRODIST. Neste trabalho apresentou-se uma síntese sobre os distúrbios causados pela máquina de solda e as respectivas recomendações propostas pelos agentes do setor para mitigação dos efeitos indesejados na rede elétrica. Com o auxílio do PQA foi possível simular e avaliar as possíveis soluções mitigadoras, contribuindo assim para tomada de decisões preventivas, para que a rede elétrica continue operando em condições consideradas como adequadas.

REFERÊNCIAS

- [1] TAVARES, C. E. ; SANTILIO, F. P. ; DIAS, F. O. ; ALVES, J. F. F. “Uma Proposta de Modelagem de Máquinas de Solda na Plataforma ATP para Estudos de Desempenho em Redes de Distribuição no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”. In: 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 2012, Fortaleza-CE.
- [2] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Modulo 8.
- [3] ARANGO, T. P. L. ; SCHMIDT, H. P. ; MEFFE, A. ; HAGE, F. S. E. “Avaliação do Impacto de Cargas Perturbadoras nas Redes de Distribuição Secundária e Primária”. In: INDUSCON 2008, 2008, Poços de Caldas. INDUSCON 2008, 2008.
- [4] ALVES, J. F. S. ; ABADIO, T. M. ; VICENTE, F. T. ; MACEDO JUNIOR, J. R. ; TAVARES, C. E. ; Gondim, Isaque Nogueira ; ROSENTINO JUNIOR, A. J. P. ; Junior, J. A. F. B. . Desenvolvimento de Software para Gerenciamento e Análise dos Distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica em Redes de Distribuição. XI Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2015, Campina Grande.
- [5] Apostila de Tecnologia da soldagem, 2011, CEFET-MG.
- [6] ND.50 Ligações de Máquinas de Solda nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica – ELEKTRO – 2013.
- [7] GED-10099 Requisitos para Conexão de Cargas Potencialmente Perturbadoras ao Sistema Elétrico da CPFL, 2012.