

A Estimação de Fasores no Contexto da Qualidade da Energia por meio de Enxame de Partículas com Adaptação do Peso de Inercia Individual

Carolina I. Golfieri, Mário Oleskovicz, André L. S. Pessoa
Universidade de São Paulo – USP
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação – SEL
golfieri@usp.br, olesk@usp.br, alsp@usp.br

Guilherme Spavieri, Ricardo A. S. Fernandes
Universidade Federal de São Carlos – UFScar
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE
guilherme.spavieri@hotmail.com, ricardo.asf@ufscar.br

Resumo—Este artigo apresenta a estimação de fasores no contexto da qualidade da energia por meio de uma meta-heurística baseada em enxame de partículas com parâmetro de inércia adaptativo (API-PSO). Dessa forma, o algoritmo faz uso de um peso de inércia, onde o desempenho da melhor e pior partículas é empregado no processo adaptativo do parâmetro de inércia. Com o intuito de validar a técnica proposta, a mesma foi aplicada em sinais sintéticos sendo, posteriormente, comparada à Transformada Discreta de Fourier. Os resultados apresentados retratam a eficiência do método e sua estabilidade com relação à frequência de amostragem para a estimação da fase do sinal em análise.

Palavras chave—Enxame de Partículas, Fasores, Qualidade da Energia Elétrica, Sistemas Elétricos de Potência, Transformada Discreta de Fourier.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema Qualidade da Energia Elétrica (QEE) tem se tornado um assunto de extrema importância. Teoricamente, o SEP deve dispor de uma rede simétrica, e operar com a forma de onda da tensão e corrente senoidal, contendo magnitude constante, e a frequência de $60 \pm 0,2 \text{ Hz}$ [1]. Porém esta situação nem sempre é encontrada, o que implica na ocorrência de distúrbios que podem ser associados à QEE [2].

Dentre os vários motivos, pode-se ressaltar os seguintes problemas que fazem com que a energia elétrica não atenda aos padrões estabelecidos: o desenvolvimento e a utilização crescente de equipamentos eletrônicos e os acionamentos de cargas com potência cada vez mais elevadas e variadas, dentre outros. [3].

Os eventos de QEE, normalmente, manifestam-se como deformidades nas formas de onda da tensão causadas por desvios das condições normais de operação do SEP [3]. São fenômenos que podem apresentar certa dificuldade em sua medição, pois as fontes podem ser dinâmicas e as amplitudes são variantes ao longo do tempo [4].

Considerando a forma de onda da tensão, pode-se encontrar vários tipos de eventos associados à QEE, dos quais destacam-se as distorções harmônicas, variações de tensão de longa e de curta duração, flutuações de tensão, transitórios oscilatórios

e impulsivos, etc. [3] [5]. Conforme observado em [6], e atrelado ao objetivo desta pesquisa, nota-se que todos esses distúrbios podem interferir na estimação precisa dos componentes fundamentais tanto da tensão, como da corrente, em um SEP.

Com o objetivo de estimar os fasores em um SEP, várias técnicas de processamento digital de sinais são usualmente empregadas [3]. Dentre as técnicas convencionais, destacam-se: o Método dos Mínimos Quadrados [7]; a Transformada de Fourier [8]; o Filtro de Kalman [9] [10]; a Transformada Wavelet [11]; entre outras. Além disso, o uso de ferramentas inteligentes também é bastante comum, podendo-se destacar: as Redes Neurais Artificiais [12] [13] [14], os Algoritmos Genéticos [15] [16] [2] e a Otimização por Enxame de Partículas [6] [4] [17].

Neste contexto, este artigo também apresentará um método inteligente para a estimação fasorial. Entretanto, será utilizado o método de enxame de partículas (PSO - *Particle Swarm Optimization*) como ferramenta para a extração fasorial. O PSO utilizado contém uma modificação que o possibilita ser mais ágil que o PSO convencional. Contudo, deve-se frisar que no contexto desta pesquisa, o PSO será utilizado como estimador, e não como otimizador. Para a verificação da eficiência da técnica proposta, será utilizada a Transformada Discreta de Fourier (TDF) para efeitos de comparação e, posteriormente, o PSO modificado será testado em um sistema com geração distribuída, frente às situações de faltas e de chaveamento de cargas simuladas.

Este artigo está dividido em seis seções, incluindo a introdução. A segunda seção descreve a metodologia aplicada, ou seja o PSO com Adaptação do Peso de Inercia (API) como estimador de fasores. A terceira seção aborda mais detalhadamente o PSO, descrevendo os parâmetros utilizados no seu algoritmo. A quarta seção contém o formulação do banco de dados empregado para a validação do algoritmo proposto. A quinta seção contém a análise dos resultados, e a sexta seção apresenta a conclusão, seguindo-se das referências bibliográficas.

II. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada nesta pesquisa, se baseia na utilização de uma API no PSO (API-PSO), destacando-se por ser uma nova proposta modificada do PSO para a extração da componente fundamental de um sinal qualquer.

A Fig. 1 apresenta o diagrama de blocos que representa uma visão geral da metodologia proposta. Nesta figura, é possível verificar que a metodologia apresenta três estágios principais de desenvolvimento e aplicação. Assim, o Estágio 1 diz respeito ao janelamento dos sinais. Neste artigo foi utilizada uma janela móvel retangular, na qual o seu tamanho depende do número de amostras utilizadas, com um deslocamento de $1ms$ de uma janela para outra. Com o deslocamento da janela, paralelamente, o Estágio 2 é executado. Neste estágio, a API-PSO realiza a extração do fasor da janela de dados (a descrição deste algoritmo será melhor detalhada na Seção III). Por fim, no Estágio 3, obtém-se o fasor representativo da janela de dados analisada.

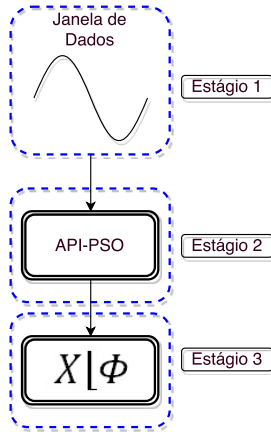


Fig. 1. Metodologia aplicada para a extração dos fasores utilizando a API-PSO.

III. ENXAME DE PARTÍCULAS

O PSO é um algoritmo heurístico usualmente empregado para resolver problemas de otimização ou estimação [18]. Pertence à família das meta-heurísticas baseadas em enxames e é inspirado na interação social das aves, cardumes de peixes, e na teoria dos enxames, em particular. De acordo com seus idealizadores, o PSO exige apenas operadores matemáticos primitivos e é computacionalmente acessível em termos dos requisitos de memória e velocidade [19].

A. Visão Geral

O algoritmo é iniciado aleatoriamente a partir de um enxame de partículas no espaço de busca n -dimensional (onde n é a dimensão do problema). As partículas sobrevoam o espaço de busca com as suas velocidades ajustadas. No PSO, cada partícula memoriza dois valores: o $Pbest$, que é a melhor experiência da partícula (individual), e o $Gbest$ que é a melhor experiência de todo o enxame (global). As velocidades e posições para a i -ésima partícula são denotadas de acordo com (1) e (2) [18], conforme segue:

$$\vec{X}_i = \langle X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{id}, \dots, X_{in} \rangle; e \quad (1)$$

$$\vec{V}_i = \langle V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{id}, \dots, V_{in} \rangle. \quad (2)$$

As velocidades e as posições de cada partícula são atualizadas em cada intervalo de tempo de acordo com (3) e (4) [18].

$$V_{id}(t+1) = \omega V_{id}(t) + C_1 r_1 (Pbest_{id} - X_{id}) + C_2 r_2 (Gbest_{id} - X_{id}); e \quad (3)$$

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t+1). \quad (4)$$

Onde:

- ω é o coeficiente do peso de inércia;
- C_1 e C_2 são os coeficientes de aceleração cognitivos e sociais; e
- r_1 e r_2 são números aleatórios entre $[0,1]$.

B. Adaptação do Peso de Inércia Individual

Para a estimação dos fasores, utilizou-se um PSO modificado, o qual é denominado nesta pesquisa por API-PSO. Os principais blocos usados para representar a metodologia do algoritmo como um todo são apresentados na Fig. 2. Já os parâmetros adotados para o processamento são apresentados na Tabela I.

TABELA I. PARÂMETROS UTILIZADOS NA API-PSO.

Tamanho da População (partículas)	30
Número de Interações	100
C_1	2,0
C_2	1,5
ω_{mim}	0,4
ω_{max}	0,9

A proposta deste algoritmo se restringe na adaptação individual do peso de inércia baseando-se na melhor, pior e no desempenho individual da partícula. Esta modificação é proposta por *Spavieri e Fernandes* e já apresentou resultados ainda não reportados mas relevantes em relação a sua aplicação.

O objetivo do peso de inércia em (3) é de desempenhar um equilíbrio entre a exploração global e a local das partículas. Proporciona-se com isso, agilidade ao algoritmo, em função do menor número de repetições para se estimar os fasores. Assim, a ideia básica deste mecanismo é iniciar o peso de inércia para cada partícula baseado na comparação do valor da função objetivo com o melhor e o pior valor da função objetivo global. Como proposto, para cada iteração do PSO, o peso de inércia é calculado de acordo com (5):

$$\omega_i^{k+1} = \omega_{mim} + (\omega_{max} - \omega_{mim}) \frac{(f_i^k - fpior^k)}{(f_{melhor}^k - fpior^k)}. \quad (5)$$

Onde i é a partícula; k representa o número de iterações, ω_{max} e ω_{mim} são constantes que representam, respectivamente, o peso de inércia máximo e mínimo; f_{melhor}^k e $fpior^k$ são, respectivamente, o melhor e o pior valor da função objetivo de todo o enxame para cada iteração, e f_i é o valor da função objetivo naquela iteração.

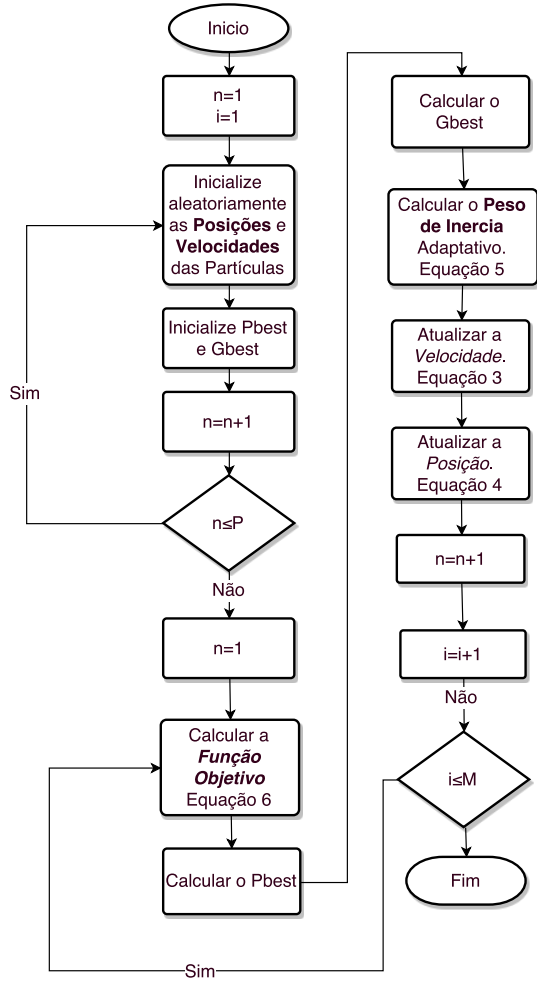


Fig. 2. Fluxograma para a implementação do API-PSO para a estimação de fasores.

C. Função Objetivo

A função objetivo (6) adotada para a minimização do erro entre o sinal original e o estimado pelo algoritmo se baseou no estudo apresentado por [6].

$$MinF = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (v - v')^2}{n}}, \quad (6)$$

onde n é o número de amostras do sinal, v o sinal original, e v' é o sinal estimado pelo algoritmo.

IV. O BANCO DE DADOS GERADO

Para a verificação da eficiência do algoritmo API-PSO proposto foram realizados testes com os casos descritos a seguir.

A. Casos Sintéticos com Amplitudes e Fases Conhecidas

Nestes testes foram utilizados sinais contendo componentes harmônicas, ruído leve e componente de decaimento CC exponencial. Foram utilizadas janelas de dados contendo 256, 128, 64, 32 e 16 amostras do sinal em análise. Logo, para validação do desempenho da API-PSO, o algoritmo foi comparado com

uma das ferramentas usualmente aplicada para este fim, a Transformada Discreta de Fourier (TDF) [20].

A.1) Sinal com Componentes Harmônicos:

Para a criação deste banco de dados foi adotado o padrão definido no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [1]. No PRODIST são estabelecidos os níveis de referência para as distorções harmônicas individuais das componentes múltiplas da componente fundamental.

Na Tabela II são apresentadas as informações em relação aos componentes harmônicos considerados nesta pesquisa.

TABELA II. SINAL SINTÉTICO

Componente	Amplitude (pu)	Fase (rad)
1 ^a	1	1,5
2 ^a	0,02	1,47
3 ^a	0,05	0,866
5 ^a	0,06	2,47
7 ^a	0,05	0,1
11 ^a	0,035	3,14

A Fig. 3 ilustra a forma de onda da tensão resultante considerando os componentes harmônicos da Tabela II.

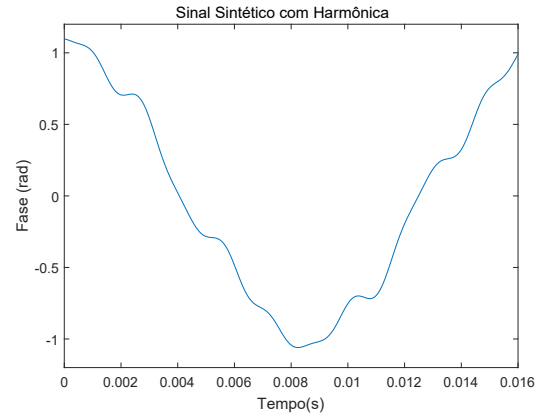


Fig. 3. Sinal sintético representado por uma janela de dados com 256 amostras e contendo componentes harmônicos.

A.2) Sinal com Ruído Leve :

O sinal sintético com ruído leve foi obtido com base em (7) e (8).

$$Sinal = 1.0 * \sin(2 * \pi * 60 * t + 1.5) + ruido \quad (7)$$

$$ruido = 0.01 * rand(1, 256) \quad (8)$$

A.3) Sinal com Componentes Harmônicos e Componente de Decaimento CC Exponencial :

O sinal em análise (9) é formado pela parcela do sinal sintético (Sinal Sintetico), formado pelo conteúdo harmônico descrito Tabela II, e o componente de decaimento CC exponencial (componente CC), dado por (10).

$$Sinal = Sinal\ Sintetico + componente\ CC \quad (9)$$

$$\text{componente } CC = 0.0550 \exp(-0.4t) \quad (10)$$

A.4) Sinal com Componentes Harmônicos, Componente de Decaimento CC Exponencial e Ruído Leve.

A.5) Sinais aleatórios:

Para estes testes foram gerados 10.000 sinais aleatórios com amplitudes e fases conhecidas. Os mesmos seguiram um range de valores pré-estabelecidos pelo módulo 8 do PRODIST [1], cuidando para que não houvesse a extrapolação dos valores das distorções harmônicas individuais. Foram utilizados componentes harmônicos até a 7ª ordem devido ao teorema da amostragem, pois a finalidade era verificar o comportamento das ferramentas com janelas contendo um mínimo de até 16 amostras por ciclo.

B. Casos Simulados com Amplitudes e Fases Desconhecidas

Nestes testes, não eram conhecidas as amplitudes e fases dos sinais em análise. Os ensaios foram realizados com base no SEP equilibrado contendo Geração Distribuída (GD), apresentado por [21]. Sobre o SEP, foram analisadas duas situações: chaveamento de carga, e situação de falta monofásica fase A-terra.

Como nestes cenários não são conhecidas as amplitudes e as fases, adotou-se como premissa uma ferramenta para extração destes fasores para, posteriormente, compará-los com os resultados obtidos pela API-PSO. Portanto, para estes testes foram adotadas as respostas da TDF como verdadeiras, considerando-se uma janela de dados com 256 amostras por ciclo como base para a verificação do API-PSO.

As simulações foram realizadas no SEP contendo GD apresentado na Fig. 4. Todas as medições foram observadas no ponto de acoplamento comum do GD. Sobre este SEP, também foram consideradas as duas situações anteriormente comentadas (chaveamento de carga e situação de curto-circuito). O tempo total de cada situação simulada é de 7 s. Este tempo foi estipulado, pois durante o intervalo de 1 a 4 s o sistema opera em regime permanente (pré-evento), tendo o evento iniciado em 5 s, e sendo o tempo restante da simulação já com o sinal pós-evento.

No chaveamento de carga foi realizada a abertura simultânea das chaves $k6$ e $k9$ ilustradas na Fig. 4, em destaque na cor vermelha. Já para a situação de falta (cor verde), foi aplicada uma falta franca monofásica envolvendo a fase A-terra na barra 6.

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela III apresenta o fasor estimado da componente fundamental de um sinal conhecido na presença de componentes harmônicos (caso A.1). Nesta tabela, é possível verificar que a API-PSO e a TDF apresentaram valores bem próximos ao valor esperado para a amplitude e fase do sinal. Contudo, com a diminuição do número de amostras, a TDF exibiu valores de fase superiores que a API-PSO apresentando consequentemente, um erro superior em relação ao valor esperado.

TABELA III. FASOR ESTIMADO DA COMPONENTE FUNDAMENTAL PELA TDF E API-PSO DO SINAL NA PRESENÇA DE COMPONENTES HARMÔNICOS (CASO A.1).

	Amplitude (pu)	Fase (rad)
Valor Esperado (60 Hz)	1,0000	1,5000
256 Amostras		
TDF	1,0028	1,5125
PSO	1,0008	1,5001
16 Amostras		
TDF	1,0393	1,7002
PSO	1,0118	1,5008

As Tabelas IV, V e VI, referem-se ao mesmo sinal (caso A.1). Entretanto, foi adicionado um sinal ruidoso (caso A.2) e a componente de decaimento CC exponencial (caso A.3). Verifica-se a mesma característica descrita anteriormente. Os fasores obtidos pelo API-PSO apresentam um menor erro com relação ao valor esperado.

TABELA IV. FASOR ESTIMADO DA COMPONENTE FUNDAMENTAL PELA TDF E API-PSO NA PRESENÇA DE RUÍDO (CASO A.2).

	Amplitude (pu)	Fase (rad)
Valor Esperado (60 Hz)	1,0000	1,5000
256 Amostras		
TDF	1,0020	1,5129
PSO	1,0001	1,5003
16 Amostras		
TDF	1,0250	1,7001
PSO	1,0001	1,4993

TABELA V. FASOR ESTIMADO DA COMPONENTE FUNDAMENTAL PELA TDF E API-PSO NA PRESENÇA DE COMPONENTES HARMÔNICOS E DA COMPONENTE DE DECAIMENTO CC EXPONENCIAL (CASO A.3).

	Amplitude (pu)	Fase (rad)
Valor Esperado (60 Hz)	1,0000	1,5000
256 Amostras		
TDF	1,0024	1,5128
PSO	1,0008	1,5004
16 Amostras		
TDF	1,0393	1,7002
PSO	1,0182	1,5013

TABELA VI. FASOR ESTIMADO DA COMPONENTE FUNDAMENTAL PELA TDF E API-PSO NA PRESENÇA DE COMPONENTES HARMÔNICOS, RUÍDO E COMPONENTE DE DECAIMENTO CC EXPONENCIAL (CASO A.4).

	Amplitude (pu)	Fase (rad)
Valor Esperado (60 Hz)	1,0000	1,5000
256 Amostras		
TDF	1,0026	1,5129
PSO	1,0014	1,5001
16 Amostras		
TDF	1,0379	1,6996
PSO	1,0176	1,5006

A Tabela VII, representa os resultados obtidos entre as estimativas realizadas pela API-PSO levando em consideração 10.000 sinais sintéticos conhecidos (caso A.5). Este ensaio teve a finalidade de verificar a confiabilidade do algoritmo proposto frente a diversas situações. Como visto, o erro

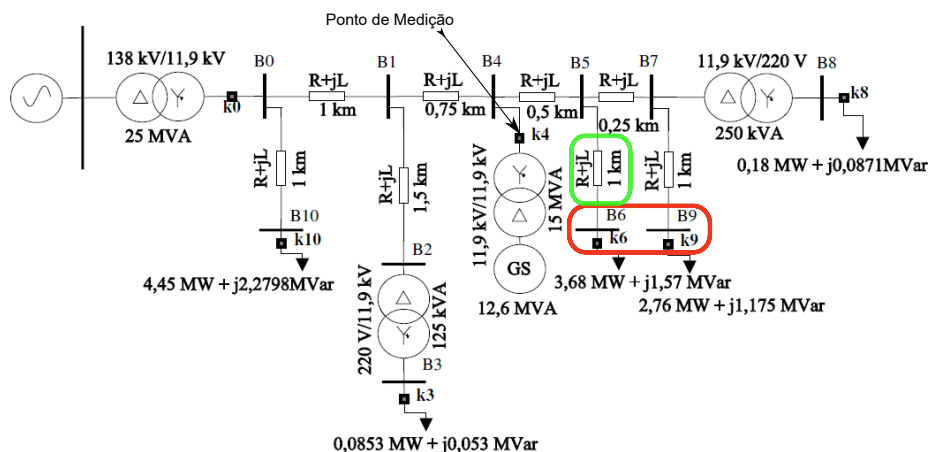


Fig. 4. Diagrama unifilar do SEP com geração distribuída.

médio e o desvio padrão para os diferentes tipos de amostras retratou-se bem pequeno. Pode-se notar que com um número menor de amostras, o erro médio é maior do que ao utilizar um número maior de amostras. Contudo, nada que agrave os resultados até então observados.

TABELA VII. DADOS ESTATÍSTICOS DAS ESTIMAÇÕES REALIZADAS PELO API-PSO PARA 10.000 SINAIS SINTÉTICOS (CASO A.5).

	Erro médio (%)	Desvio Padrão	Erro máximo (%)	Erro mínimo (%)
256	0,0245	0,0088	0,0470	0,0023
128	0,0488	0,0175	0,0937	0,0046
64	0,0969	0,0348	0,1862	0,0091
32	0,1912	0,0688	0,3675	0,0180
16	0,3720	0,1340	0,7163	0,0350

A Tabela VIII apresenta a análise pela TDF para o caso A.5. Verifica-se que o erro mínimo é bem inferior que a da API-PSO. Entretanto, quando se diminui a quantidade de amostras por ciclo, o erro aumenta significativamente. O erro médio, desvio padrão e o erro máximo apresentaram-se superiores aos da API-PSO.

TABELA VIII. DADOS ESTATÍSTICOS DAS ESTIMAÇÕES REALIZADAS PELA TDF PARA 10.000 SINAIS SINTÉTICOS.

	Erro médio (%)	Desvio Padrão	Erro máximo (%)	Erro mínimo (%)
256	0,0324	0,0151	0,0754	0,0001
128	0,0700	0,0303	0,1559	0,0001
64	0,1621	0,0606	0,3331	0,0006
32	0,4197	0,1195	0,7565	0,0764
16	1,2742	0,2287	1,9165	0,6166

As Tabelas IX, X, XI e XII retratam os resultados obtidos nos ensaios utilizando o SEP com GD apresentado na Fig. 4. Na Tabela IX, têm-se o erro médio e o desvio padrão obtido pela diferença das amplitudes apresentadas pela TDF e pela API-PSO considerando o chaveamento de carga. Verificam-se valores aceitáveis para o erro médio e desvio padrão, além de um leve aumento do erro quando considerada a diminuição do número das amostras por ciclo.

Na Tabela X têm-se o erro médio e desvio padrão obtido pela diferença entre as estimações das fases pela TDF e

TABELA IX. ERRO MÉDIO E DESVIO PADRÃO PARA AS ESTIMAÇÕES DAS AMPLITUDES DE PRÉ E PÓS EVENTO DO CHAVEAMENTO DE CARGA.

Número de Amostras	Erro Médio (%)	Desvio Padrão
256	0,0002	0,0009
128	0,0004	0,0026
64	0,0007	0,0037
32	0,0017	0,0114
16	0,0034	0,0224

pela API-PSO considerando ainda o chaveamento de carga. Quando considerada a fase do sinal, percebe-se que houve uma leve elevação no erro médio. Contudo, verifica-se que o erro médio apresenta certa estabilidade frente a diminuição do número de amostras por ciclo. Isto pode ser ilustrado pela Fig. 5, que mostra que não há nenhum deslocamento com relação a fase do sinal, quando o mesmo é caracterizado por um número menor de amostras.

TABELA X. ERRO MÉDIO E DESVIO PADRÃO PARA AS ESTIMAÇÕES DAS FASES DE PRÉ E PÓS EVENTO DO CHAVEAMENTO DE CARGA.

Número de Amostras	Erro Médio (%)	Desvio Padrão
256	4,2112	0,2833
128	4,2110	0,2834
64	4,2114	0,2835
32	4,2122	0,2847
16	4,2128	0,2883

As Tabelas XI e XII apresentam as mesmas características das Tabelas X e IX, contudo, reportando-se agora para a situação de falta considerada.

TABELA XI. ERRO MÉDIO E DESVIO PADRÃO DAS AMPLITUDES DE PRÉ E PÓS EVENTO DE FALTA CONSIDERANDO DIVERSOS VALORES PARA O NÚMERO DE AMOSTRAS POR CICLO.

Número de Amostras	Erro Médio (%)	Desvio Padrão
256	0,0049	0,0182
128	0,0070	0,0252
64	0,0180	0,5654
32	0,0194	0,0605
16	0,0362	0,1093

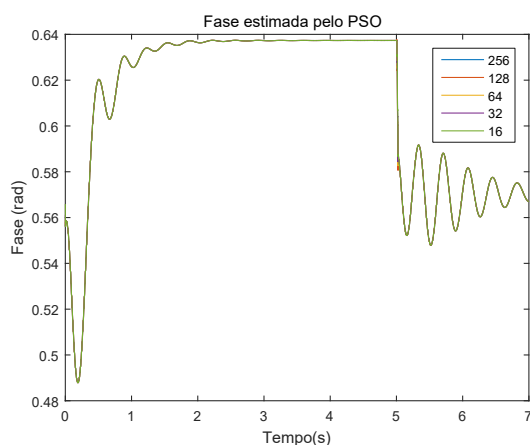


Fig. 5. Fase estimada pelo API-PSO durante o chaveamento de carga com diversas amostras por ciclo.

TABELA XII. ERRO MÉDIO E DESVIO PADRÃO DAS FASES DE PRÉ E PÓS EVENTO DE FALTA CONSIDERANDO DIVERSOS VALORES PARA O NÚMERO DE AMOSTRAS POR CICLO.

Número de Amostras	Erro Médio (%)	Desvio Padrão
256	5,6725	6,8063
128	5,6754	6,8078
64	5,6762	6,8148
32	5,6749	6,8259
16	5,6792	6,8753

VI. CONCLUSÕES

O algoritmo da API-PSO mostrou ser estável e se comportou satisfatoriamente como estimador para a frequência da componente fundamental.

Foram verificadas diversas vantagens, podendo-se destacar uma interferência desprezível do número de amostras por ciclo para a estimação da fase, a confiabilidade do algoritmo perante a vários sinais distintos e também, vale frisar que mesmo na presença da componente de decaimento CC exponencial o API-PSO apresentou desempenho superior ao da TDF.

Portanto, pode-se concluir que o algoritmo proposto, pelos resultados até então observados e dependendo da aplicação, pode ser utilizado como estimador de fasores.

Visando a continuidade da pesquisa, propõem-se o desenvolvimento em *hardware* do algoritmo, vislumbrando assim a sua aplicação em tempo real, além da estimação de componentes diferentes da fundamental.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. (2017) Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional - prodist (módulo 8 - qualidade de energia elétrica). [Online]. Available: www.aneel.gov.br
- [2] A. L. Pessoa, P. H. C. Ulisses, H. M. Branco, and R. A. Rabelo, "Estimação de componentes harmônicas em sistemas elétricos de potência utilizando algoritmo genético compacto," in *XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)*, Natal, 2015.
- [3] R. M. Trindade, "Sistema Digital de Detecção e Classificação de Eventos de Qualidade de Energia," p. 124, 2005.
- [4] R. D. A. L. Rabêlo, M. V. Lemos, and D. Barbosa, "Power system harmonics estimation using particle swarm optimization," in *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, June 2012, pp. 1–6.
- [5] C. A. G. Marques, "Técnica de Detecção de Distúrbios para o Monitoramento da Qualidade da Energia," p. 103, 2007.

- [6] V. R. Pandi and B. K. Panigrahi, "An Evolutionary Algorithm Approach to Estimate the Parameters of Power Quality Signals," *2006 International Conference on Power Electronic, Drives and Energy Systems*, pp. 1–6, 2006. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4147960>
- [7] D. Barbosa, R. Monaro, D. Coury, and M. Oleskovicz, "A modified least mean square algorithm for adaptive frequency estimation in power systems," *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, vol. 1, pp. 1–6, 2008. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4596771
- [8] M. Padua, A. Lopes, S. Deckmann, F. Marafão, and A. Moreira, "Metodologia para Identificação do componente fundamental da tensão da rede baseada no algoritmo recursivo da TDF," *Revista Controle e Automação*, vol. 18, no. 3, pp. 381–396, sep 2007. [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592007000300010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt
- [9] A. K. Pradhan, A. Routray, and D. Sethi, "Voltage phasor estimation using complex linear kalman filter," in *2004 Eighth IEEE International Conference on Developments in Power System Protection*, vol. 1, April 2004, pp. 24–27 Vol.1.
- [10] E. Ghahremani and I. Kamwa, "Dynamic state estimation in power system by applying the extended kalman filter with unknown inputs to phasor measurements," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 4, pp. 2556–2566, Nov 2011.
- [11] K. M. Silva, A. Neves, and B. A. Souza, "Distance protection using a novel phasor estimation algorithm based on wavelet transform," in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, July 2008, pp. 1–8.
- [12] P. K. Dash, S. K. Panda, B. Mishra, and D. P. Swain, "Fast estimation of voltage and current phasors in power networks using an adaptive neural network," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 1494–1499, Nov 1997.
- [13] L. Lai, W. Chan, C. Tse, and A. So, "Real-time frequency and harmonic evaluation using artificial neural networks," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 1, pp. 52–59, 1999. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=736681
- [14] A. Zouidi, F. Fnaiech, K. AL-Haddad, and S. Rahmani, "Adaptive linear combiners a robust neural network technique for on-line harmonic tracking," *Proceedings - 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2008*, no. 1, pp. 530–534, 2008.
- [15] D. V. Coury, R. P. M. Silva, A. C. B. Delbem, and M. V. G. Casseb, "Programmable logic design of a compact Genetic Algorithm for phasor estimation in real-time," *Electric Power Systems Research*, vol. 107, pp. 109–118, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2013.09.010>
- [16] R. Marsolla, "Estimação Fasorial em Tempo Real Utilizando um Algoritmo Genético Compacto Multiobjetivo," p. 162, 2015.
- [17] Z. Lu, T. Y. Ji, W. H. Tang, and Q. H. Wu, "Optimal harmonic estimation using a particle swarm optimizer," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 2, pp. 1166–1174, April 2008.
- [18] A. R. Jordehi, "A review on constraint handling strategies in particle swarm optimisation," *Neural Computing and Applications*, vol. 26, no. 6, pp. 1265–1275, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-014-1808-5>
- [19] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on*, vol. 4, pp. 1942–1948 vol.4, 1995.
- [20] P. M. ALSTOM and T. Manual, "P847B & C Phasor Measurement Unit."
- [21] E. Augusto and P. Gomes, "Detecção de Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos por Correlação da Mineração Complexa de Dados," p. 128, 2016.