

Algoritmo de Projeções Afins e Passo Variável Baseado no Erro Quadrático

Marcos Gabriel Lima, José Gil Fausto Zipf e Fábio Luis Perez

Resumo — Este artigo apresenta um novo algoritmo de projeções afins e passo variável (VSSAP). A abordagem do novo algoritmo consiste no uso de uma técnica de atualização do passo variável com base em projeções do erro quadrático. O objetivo desta modificação é alcançar simultaneamente velocidades de convergência maiores e desajustes em regime permanente menores a um custo computacional aceitável. Resultados de simulação comprovam a eficácia do algoritmo proposto para sinais de entrada correlacionados, mantendo um reduzido incremento na complexidade computacional quando comparado ao Algoritmo de Projeções Afins (AP) convencional.

Palavras-Chave — Algoritmo de Projeções Afins, Algoritmo VSSAP, Algoritmo VSSLMS, filtragem adaptativa, identificação de sistemas.

Abstract — This paper presents a new variable step-size Affine Projection Algorithm (VSSAP). The new algorithm approach consists in the use of a variable step-size update technique based on quadratic error projections. The main goal of this change is to achieve simultaneously higher convergence speed and reduced steady state misadjustments with plausible computational cost. Our simulation outcome confirm the proposed algorithm effectiveness for correlated input signals with a slightly increment in the computational cost when compared to the conventional Affine Projection Algorithm (AP).

Keywords — Affine Projection Algorithm, VSSAP Algorithm, VSSLMS Algorithm, adaptive filtering, system identification.

I. INTRODUÇÃO

O algoritmo LMS é extremamente popular sendo ainda o mais utilizado em aplicações de filtragem adaptativa, principalmente pela sua simplicidade de implementação e robustez [1]. Entretanto o algoritmo LMS convencional tem seu desempenho afetado por variações da potência do sinal de entrada. Assim, para contornar este problema, surge o algoritmo LMS normalizado (NLMS) que utiliza um valor de passo inversamente proporcional à potência instantânea do sinal de entrada [2].

Derivado diretamente do algoritmo NLMS, o algoritmo de Projeções Afins (AP) é caracterizado por um subespaço de projeções do algoritmo NLMS, que ao invés de atualizar o seu vetor de pesos com base no sinal de entrada instantâneo, utiliza uma matriz de P projeções do sinal de entrada para atualizar o vetor de pesos [3]. A partir desta característica, o algoritmo AP tem sua principal utilização em aplicações cujos sinais de entrada são fortemente correlacionados, tais como: sistemas de

comunicação, cancelamento e controle ativo de ruído, equalização de canal, dentre outras.

O algoritmo AP apresenta uma forte dependência do seu custo computacional em relação ao número de projeções P utilizadas. Contudo, o número de projeções é um fator preponderante para a velocidade de convergência do algoritmo, ou seja, para obtenção de altas velocidades de convergência normalmente é necessária a utilização de um maior número de projeções e, conseqüentemente, maior a complexidade computacional.

Além disso, o algoritmo AP tem seu passo de adaptação fixo e normalmente definido de forma empírica. Quanto maior o valor do passo de adaptação, maior a velocidade de convergência do algoritmo e maior também o desajuste em regime permanente. Por outro lado, valores reduzidos do passo de adaptação geram desajustes menores ao custo de uma reduzida velocidade de convergência. Para se resolver este compromisso e obter simultaneamente uma elevada velocidade de convergência e um reduzido desajuste em regime em algoritmos AP, estratégias baseadas em passo de adaptação variável vem sendo propostas, originando os denominados algoritmos AP de passo variável (VSSAP).

A ideia central por trás dos algoritmos VSSAP é operar com um passo elevado no início do processo de adaptação, obtendo assim uma alta velocidade de convergência, e reduzir gradualmente o valor deste passo, segundo um critério pré-estabelecido, à medida que se aproxime a fase de regime permanente, obtendo com isso um reduzido desajuste. A melhora de desempenho proporcionada pelo algoritmo VSSAP possibilita ainda o uso de um número reduzido de projeções e conseqüentemente um menor custo computacional para um mesmo desempenho requerido, quando comparado ao algoritmo AP convencional de passo fixo.

Nos últimos anos várias estratégias de passo variável foram propostas para aplicação em algoritmos LMS [4]. Um algoritmo LMS de passo variável (VSSLMS) baseado no erro instantâneo ao quadrado é discutido em [5]. Neste trabalho, uma estratégia semelhante à proposta em [5] é aplicada ao algoritmo AP de passo variável. Resultados de simulação numérica atestam a eficácia do algoritmo quando comparado ao algoritmo AP convencional e ao algoritmo VSSLMS proposto em [5] utilizando como aplicação um caso de identificação de sistemas.

Este artigo está organizado como segue. A Seção II faz uma breve revisita ao algoritmo VSSLMS apresentado em [5]. A Seção III revisita o algoritmo AP. Na Seção IV, o algoritmo VSSAP proposto é apresentado. Na Seção V, resultados de

Marcos Gabriel Lima, José Gil Fausto Zipf e Fábio Luis Perez, ASL – Laboratório de Sistemas de Controle e Filtragem Adaptativa, Departamento de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, SC, e-mails: mgclima@gmail.com; gilzipf@furb.br; fabiotek@furb.br;

simulação numérica atestam o desempenho do algoritmo proposto e, finalmente, a Seção VI apresenta as considerações finais deste trabalho.

II. ALGORITMO VSSLMS [5]

Seja a aplicação de um filtro adaptativo utilizado em um caso de identificação de sistemas como ilustrado na Figura 1.

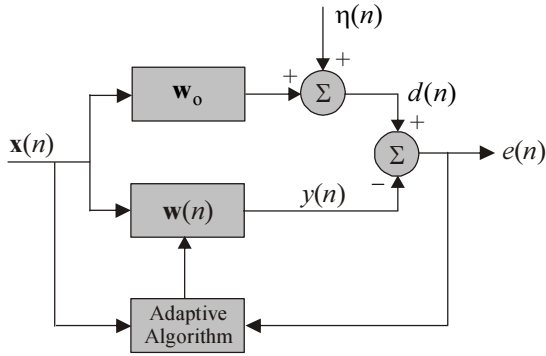


Fig. 1. Diagrama de blocos típico de uma identificação de sistemas.

A saída do sistema desconhecido é dada por

$$d(n) = \mathbf{w}_0^T \mathbf{x}(n) + \eta(n), \quad (1)$$

onde $\mathbf{x}(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T$ é o vetor de entrada e assumindo que $\mathbf{x}(n)$ é um processo Gaussiano de média zero, com variância σ_x^2 e N representa o número de coeficientes do filtro, $\mathbf{w}_0(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{N-1}(n)]^T$ é o vetor de pesos, denota a planta da resposta ao impulso a ser identificada, e $\eta(n)$ é um ruído de medição com variância σ_η^2 . O sinal de erro é dado por

$$e(n) = d(n) - \mathbf{w}(n)^T \mathbf{x}(n). \quad (2)$$

A expressão de atualização de pesos para o algoritmo VSSLMS é dada por

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu(n)e(n)\mathbf{x}(n), \quad (3)$$

onde $\mu(n)$ representa o valor instantâneo do passo variável.

No algoritmo VSSLMS proposto em [5], o valor instantâneo do quadrado do sinal de erro é utilizado para a atualização do valor do passo variável de adaptação, conforme a seguinte regra:

$$\mu(n+1) = \alpha\mu(n) + \gamma e^2(n), \quad (4)$$

onde α e γ são parâmetros de controle e seus valores são constantes, positivos e obedecem as seguintes regras:

$$0 < \alpha < 1, \quad \gamma > 0.$$

A principal motivação para este algoritmo está no fato de que quanto maior o erro de predição, maior será o valor do passo de adaptação, levando a uma velocidade de convergência mais alta; enquanto um erro de predição menor gera um valor

do passo de adaptação menor, resultando em um menor desajuste para o algoritmo [6].

III. ALGORITMO AP

Nesta seção, o algoritmo AP é revisitado e um padrão de implementação é proposto.

Seja o mesmo caso de identificação de sistemas apresentado pela Figura 1 e considerando um vetor $\mathbf{d}(n) = [d(n) \ d(n-1) \ \dots \ d(n-P+1)]^T$ dado por:

$$\mathbf{d}(n) = \mathbf{w}_0(n)^T \mathbf{X}(n) + \boldsymbol{\eta}(n), \quad (5)$$

onde $\mathbf{X}(n) = [\mathbf{x}(n) \ \mathbf{x}(n-1) \ \dots \ \mathbf{x}(n-P+1)]$ é uma matriz de entrada e assumindo que $\mathbf{x}(n)$ é um vetor do sinal entrada dado por $\mathbf{x}(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T$, sendo $x(n)$ um processo Gaussiano de média zero e com variância σ_x^2 , e $\boldsymbol{\eta}(n) = [\eta(n) \ \eta(n-1) \ \eta(n-P+1)]$, sendo $\eta(n)$ o valor instantâneo do ruído de variância σ_η^2 . O vetor de erro é dado por

$$\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) - \mathbf{X}(n)^T \mathbf{w}(n). \quad (6)$$

Portanto um padrão de implementação para o algoritmo AP pode ser representado pela seguinte tabela:

TABELA I. PADRÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO AP

Definições do Projeto:	
•	Ordem do filtro N
•	Ordem de projeções P
•	Passo de adaptação μ
•	Vetor de coeficientes inicial
	$\mathbf{w}(0) = [00\dots 0]^T$
Execução:	
	Para cada iteração n , calcule
	$\mathbf{x}(n) = [x(n)x(n-1) \dots x(n-N+1)]^T$
	$\mathbf{X}(n) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(n) & \vdots & \mathbf{x}(n-1) & \vdots & \dots & \vdots & \mathbf{x}(n-P+1) \end{bmatrix}$
	$\mathbf{d}(n) = \mathbf{w}_0^T \mathbf{X}(n) + \boldsymbol{\eta}(n)$
	$\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) - \mathbf{X}(n)^T \mathbf{w}(n)$
	$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{X}(n) (\varepsilon \mathbf{I} + \mathbf{X}(n)^T \mathbf{X}(n))^{-1} \mathbf{e}(n)$

A Tabela I demonstra uma implementação para o algoritmo AP. Nesta implementação é possível observar o uso de um artifício para dar estabilidade na execução do algoritmo, representado por $\varepsilon \mathbf{I}$, sendo ε um número muito pequeno e próximo de zero e \mathbf{I} uma matriz identidade.

IV. ALGORITMO VSSAP PROPOSTO

Nesta seção, um novo algoritmo VSSAP é proposto com base na estratégia de atualização do passo de adaptação proposta em [5]. Além disso, uma breve discussão sobre a complexidade computacional do algoritmo proposto é realizada.

Seja o mesmo caso de identificação de sistemas apresentado na Figura 1. O valor instantâneo do erro ao quadrado $e(n)$ utilizado na equação (4) é substituído pelo vetor de erro denominado aqui de $\mathbf{e}(n)$ e já definido anteriormente em (6).

Dessa forma, a equação de atualização do valor do passo variável passa a ser calculada a partir do vetor erro transposto pelo vetor de erro, ou seja, $\mathbf{e}(n)^T \mathbf{e}(n)$. Substituindo $e^2(n)$ em (4) por $\mathbf{e}(n)^T \mathbf{e}(n)$, a equação de adaptação do passo variável obtida é

$$\mu(n + 1) = \alpha\mu(n) + \gamma \mathbf{e}(n)^T \mathbf{e}(n). \quad (7)$$

Pode-se observar que os parâmetros de controle, α e γ , são mantidos.

O padrão de implementação do algoritmo VSSAP desenvolvido nesta pesquisa partiu do princípio que o algoritmo AP é um algoritmo de alta complexidade computacional, dada por

$$NM = (P + 1)(P + 3)N + (P + 1)^3 + (P + 1) \quad (8)$$

e

$$NA = (P + 1)(P + 3)N + (P + 1)^3 + (P + 1)^2 \quad (9)$$

sendo NM o número de multiplicações e NA o número de adições executadas pelo do algoritmo AP convencional. Portanto, a complexidade computacional cresce exponencialmente a medida que mais projeções P são necessárias.

Assim, a aplicação da técnica de passo variável apresentada em [5] no algoritmo AP convencional permite que ao início da operação do filtro o valor do passo seja maior, ocasionando em maior velocidade de convergência e à medida que o filtro se aproxima do regime permanente o valor do passo é gradualmente reduzido, proporcionando um menor desajuste em regime.

Abaixo seguem tabelas que demonstram os custos computacionais dos algoritmos citados neste trabalho. A Tabela II apresenta o número de multiplicações, enquanto que a Tabela III apresenta o número de adições executadas por cada algoritmo.

TABELA II. NÚMERO DE MULTIPLICAÇÕES DOS ALGORITMOS

Algoritmo	Nº de Multiplicações
LMS	$2N+1$
NLMS	$3N+1$
AP	$(P+1)(P+3)N+(P+1)^3+(P+1)$
VSSLMS	$2N+4$
VSSAP	$(P+1)(P+3)N+(P+1)^3+(P+1)+(P+3)$

TABELA III. NÚMERO DE ADIÇÕES DOS ALGORITMOS

Algoritmo	Nº de Adições
LMS	$2N$
NLMS	$3N$
AP	$(P+1)(P+3)N+(P+1)^3+(P+1)^2$
VSSLMS	$2N+1$
VSSAP	$(P+1)(P+3)N+(P+1)^3+(P+1)^2+(P+1)$

Assim, conforme padrões de implementação já discutidos e apresentados anteriormente, neste trabalho o resumo de implementação do algoritmo proposto é dado por

TABELA IV. PADRÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO VSSAP

<p>Definições do Projeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Ordem do filtro N •Ordem de projeções P •Passo de adaptação μ •Vetor de coeficientes inicial $\mathbf{w}(n) = [00...0]^T$ <p>Execução:</p> <p>Para cada iteração n, calcule</p> $\mathbf{x}(n) = [x(n)x(n - 1) \dots x(n - N + 1)]^T$ $\mathbf{X}(n) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(n) & \mathbf{x}(n - 1) & \dots & \mathbf{x}(n - P + 1) \end{bmatrix}$ $\mathbf{d}(n) = \mathbf{w}_0^T \mathbf{X}(n) + \boldsymbol{\eta}(n)$ $\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) - \mathbf{X}(n)^T \mathbf{w}(n)$ $\mathbf{w}(n + 1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{X}(n) (\boldsymbol{\varepsilon} \mathbf{I} + \mathbf{X}(n)^T \mathbf{X}(n))^{-1} \mathbf{e}(n)$ $\mu(n + 1) = \alpha\mu(n) + \gamma \mathbf{e}(n)^T \mathbf{e}(n)$

V. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Nesta seção, os resultados das simulações numéricas com o objetivo de demonstrar o desempenho do algoritmo proposto frente aos algoritmos VSSLMS e AP são apresentados.

Para a execução das simulações foi escolhido um número de projeções P para o algoritmo AP convencional e outro número de projeções para o algoritmo VSSAP isso se deve a velocidade de convergência do algoritmo AP convencional ser diretamente proporcional ao número de projeções P para sinais de entrada correlacionados.

A partir das simulações do algoritmo proposto foi possível verificar uma menor dependência do número de projeções P para sinais de entrada altamente correlacionados, ou seja, para uma mesma aplicação o algoritmo VSSAP proposto apresenta uma complexidade computacional muito menor se comparado ao algoritmo AP convencional.

A. Exemplo 1

Este exemplo compara os resultados do algoritmo proposto com os algoritmos VSSLMS e AP. O sinal de entrada é um processo autoregressivo Gaussiano de segunda ordem definido pela expressão

$$x(n) = 1,1x(n-1) - 0,74x(n-2) + z(n), \quad (10)$$

com $z(n)$ sendo uma sequência de ruído branco e Gaussiano com variância $\sigma_z^2 = 0,01$. A relação de sinal-ruído é $SNR = 25dB$. As simulações executadas são para $N = 32$, sendo N o número de coeficientes dos filtros adaptativos, $P = 27$ para o algoritmo AP e $P = 2$, $\alpha = 0,30$ e $\gamma = 1$ para o algoritmo de passo variável proposto. Além disso foi estabelecido um valor máximo para os passos de adaptação por questões de estabilidade. Para o VSSLMS $\mu(n) = 0,01$ e para o VSSAP $\mu(n) = 0,9$. Os comportamentos do algoritmo proposto são demonstrados nas Figuras 4 e 5 respectivamente. As figuras mostram os resultados comparativos e o comportamento do erro quadrático médio (EQM) do algoritmo proposto. Os comportamentos do EQM para os algoritmos VSSLMS e AP também podem ser observados.

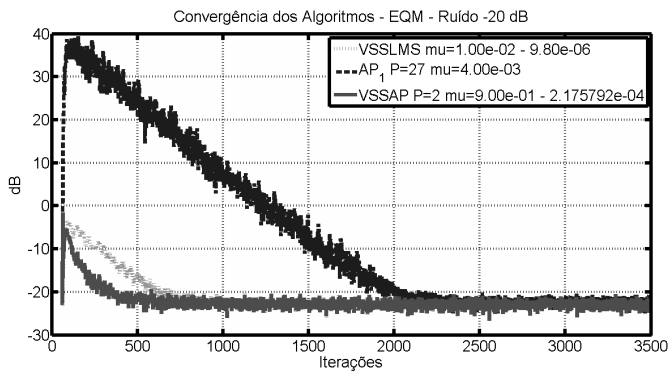


Fig. 4. Exemplo 2. EQM com entrada autoregressiva Gaussiana, $a_0 = 1,1$; $a_1 = -0,74$, parâmetros dos algoritmos VSSLMS, AP e VSSAP, $N = 32$, $P_{AP} = 27$, $P_{AP2} = 2$, $P_{VSSAP} = 2$, $\alpha = 0,30$ e $\gamma = 1$. Simulação feita com 60 realizações.

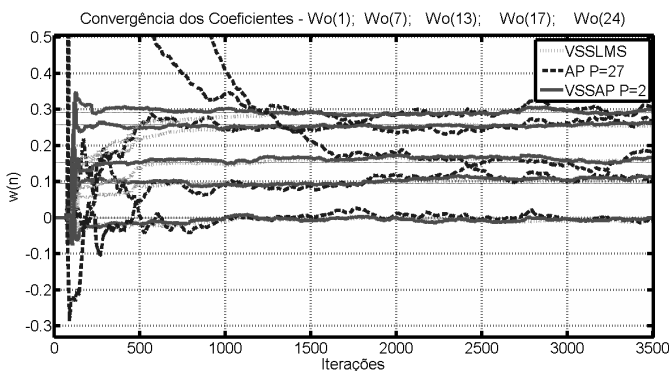


Fig. 5. Exemplo 2. Convergência dos coeficientes dos filtros para $w_0(1)$; $w_0(7)$; $w_0(13)$; $w_0(17)$; $w_0(24)$;

B. Exemplo 2

Este exemplo compara os resultados do algoritmo proposto com os algoritmos VSSLMS e AP. O sinal de entrada é um processo autoregressivo Gaussiano de terceira ordem definido pela expressão

$$x(n) = 0,85x(n-1) - 0,51x(n-2) - 0,23x(n-3) + z(n), \quad (10)$$

com $z(n)$ sendo uma sequência de ruído branco e Gaussiano com variância $\sigma_z^2 = 0,01$. A relação de sinal-ruído é $SNR = 25dB$. As simulações executadas são para $N = 32$, sendo N o número de coeficientes dos filtros adaptativos, $P = 27$ para o algoritmo AP e $P = 2$, $\alpha = 0,30$ e $\gamma = 1$ para o algoritmo de passo variável proposto. Além disso foi estabelecido um valor máximo para os passos de adaptação por questões de estabilidade. Para o VSSLMS $\mu(n) = 0,01$ e para o VSSAP $\mu(n) = 0,9$. Os comportamentos do algoritmo proposto são demonstrados nas Figuras 4 e 5 respectivamente. As figuras mostram os resultados comparativos e o comportamento do EQM do algoritmo proposto. Os comportamentos do EQM para os algoritmos VSSLMS e AP também podem ser observados.

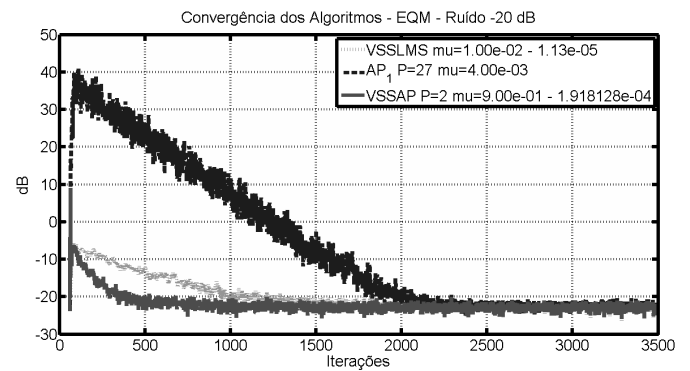


Fig. 6. Exemplo 2. EQM com entrada autoregressiva Gaussiana, $a_0 = 0,75$; $a_1 = -0,51$; $a_2 = -0,23$, parâmetros dos algoritmos VSSLMS, AP e VSSAP, $N = 32$, $P_{AP} = 27$, $P_{AP2} = 2$, $P_{VSSAP} = 2$, $\alpha = 0,30$ e $\gamma = 10$. Simulação feita com 60 realizações.

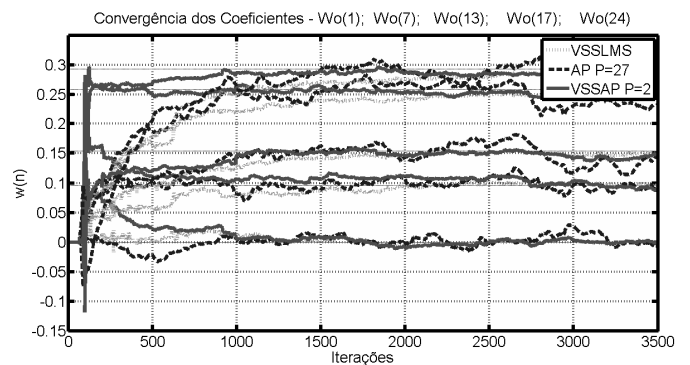


Fig. 7. Exemplo 2. Convergência dos coeficientes dos filtros para $w_0(1)$; $w_0(7)$; $w_0(13)$; $w_0(17)$; $w_0(24)$;

Considerando os resultados obtidos e apresentados pelas Figuras 4, 5, 6 e 7, é possível observar a eficácia do algoritmo VSSAP proposto frente aos algoritmos AP e VSSLMS. Além de apresentar uma velocidade de convergência maior que os algoritmos AP e VSSLMS o algoritmo VSSAP também demonstrou baixa complexidade computacional se comparado ao algoritmo AP convencional, conforme mostrado na Tabela V.

TABELA V. COMPARATIVO DE CUSTO COMPUTACIONAL DOS ALGORITMOS AP E VSSAP

Algoritmo	Custo Computacional	
	Multiplificações	Adições
AP (P = 27)	48.890	49.644
VSSAP (P = 2)	515	519
VSSLMS	68	65

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram estabelecidas as bases a partir do algoritmo AP convencional e VSSLMS que permitiram o desenvolvimento do algoritmo VSSAP proposto.

Nas seções III e IV padrões de implementação do algoritmo AP e VSSAP proposto e tabelas de custos computacionais dos algoritmos citados foram apresentadas.

Por fim, na Seção V os resultados de simulações feitas são descritos e ilustrados. A partir destes resultados é possível verificar que o algoritmo proposto apresenta uma maior velocidade de convergência e menor desajuste em regime permanente se comparado ao algoritmo AP convencional. Além disso, o algoritmo proposto apresentou também uma menor dependência do número de projeções P para sinais altamente correlacionados. Com isso, a complexidade computacional do algoritmo proposto apresentou valores muito menores que o algoritmo AP convencional como pode ser observado na Tabela V.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] J. G. F. Zipf, "Classificação, Análise Estatística e Novas Estratégias de Algoritmos LMS de Passo Variável," *Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianópolis 2011.
- [2] R. Chinaboina, D. S. Ramkiran, H. Khan, M. Usha, B. Madhav, K. P. Srinivas e G. Ganesh, "Adaptive Algorithms for Acoustic Echo Cancellation in Speech Processing," *IJRRAS*, pp. 38-42, April 2011.
- [3] H.-C. Shin, A. H. Sayed, Fellow e W.-J. Song, "Variable Step-Size NLMS and Affine Projection Algorithms," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 11, n.º. 2, pp. 132-135, February 2004.
- [4] J. G. F. Zipf e R. Seara, "A Robust Non-Parametric VSS-NLMS Algorithm Based on the Error Autocorrelation," May 2011.
- [5] R. H. Kwong, "A Variable Step Size LMS Algorithm," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 40, n.º 7, pp. 1633-1642, 1992.
- [6] S. J. M. d. Almeida, "Análise Estatística do Comportamento de uma Classe de Algoritmos de Projeções Afins," *Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianópolis 2004.
- [7] A. H. Sayed, *Fundamentals of adaptive Filtering*, Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons IEEE Press, 2003.
- [8] S. Ciochina, C. Paleologu, J. Benesty e C. Anghel, "An Optimized Affine Projection Algorithm for Acoustic Echo Cancellation," *Speech Technology and Human-Computer Dialogue (SpeD), 2015 International Conference on*, pp. 1-6, 14-17 Otc. 2015.
- [9] J. G. F. Zipf, O. J. Tobias e R. Seara, "Non-Parametric VSS-NLMS Algorithm With Control Parameter Based on the Error Correlation," *The 7th International Telecommunications Symposium (ITS 2010)*, pp. 1-6, Sep. 2010.
- [10] Ke, L. Xiao-bo, F. Yang-yu e Peng, "A variable step-size LMS adaptive filtering algorithm," em *Proc. of the 5th Int. Conf. on Wireless communications, networking and mobile computing.*, Beijing, China, IEEE, 2009, pp. 2283-2286.
- [11] A. Gonzalez, M. Ferrer, F. Albu e M. de Diego, "Affine Projection Algorithms: Evolution to Smart and Fast Algorithms and Applications," *20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012)*, Bucharest 2012.
- [12] Tavathia, S. L. Gay e Sanjeev, "The Fast Affine Projection Algorithm," *Acoustics Research Department - AT&T Bell Laboratories*, 1995.
- [13] J. G. F. Zipf, O. J. Tobias e R. Seara, "Analytical Model for a Variable Step-Size LMS Algorithm Based on Error Autocorrelation," *Anais do XXVII Simp. Bras. Telecom. (SBrT)*, pp. 1-6, 2009.
- [14] S. Koike, "A Simplified Analysis of the Affine Projection Algorithm," *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, pp. 565-569, 9-12 Nov. 2015.
- [15] Park, C. H. Lee e PooGyeon, "Optimal Step-Size Affine Projection Algorithm," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 19, n.º. 7, July 2012.
- [16] S. J. d. Almeida, M. H. Costa e J. C. M. Bermudez, "Comportamento do Algoritmo de Projeções Afins com Filtragem de Ordem Insuficiente," em *XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, Recife, PE, 2007.