

O uso da expansão nos aparelhos de amplificação sonora individuais

The use of expansion in hearing aids

Andriele C. Pereira Silvestre¹, Deborah Viviane Ferrari²

1) Especialista (Fonoaudióloga coordenadora do Centro Auditivo AFCANA - Associação dos Fornecedores de Cana da Alta Noroeste. Araçatuba SP.)

2) Doutorado (Professora Doutora do Departamento de Fonoaudiologia, Faculdade de Odontologia de Bauru - USP.)

Curso de Aperfeiçoamento em Audiologia: Ênfase em Aparelhos de Amplificação Sonora Individuais, Instituto de Comunicação e Audição - Alfa. Bauru SP. Departamento de Fonoaudiologia. Faculdade de Odontologia de Bauru / USP.

Andriele C. Pereira Silvestre. Rua João Bertani Compadre, 577, apto 41D. Jd. Nova Iorque. Araçatuba/SP. CEP: 16.020-290. Telefones: 18 - 3117-7332 // 18 - 3609-2390 // 18 - 8111-9332. Email: andriele_pereira@yahoo.com.br

RESUMO

Objetivo: Descrever as características dos sistemas de expansão e relatar os resultados de sua aplicação nos aparelhos de amplificação sonora individuais (AASIs). Método: Realizada a busca em base de dados (Medline, Lilacs, Google Scholar) utilizando os termos “expansão”, “prótese auditiva”, “aparelho auditivo”, “perda auditiva” e “audição”. Foram recuperados artigos que se referiam à caracterização do circuito de expansão bem como sua utilização e efeito no desempenho de percepção de fala e satisfação dos usuários. Outros materiais bibliográficos como livros e dissertações também foram consultados. Resultados: O circuito de expansão é caracterizado por uma função de entrada e saída com inclinação maior que 45° abaixo do limiar de expansão, de modo a fornecer ganho mínimo para sons de fraca intensidade. A expansão é utilizada para diminuir a percepção de alguns sons ambientais e do ruído interno gerado pelo AASI. Os estudos consultados demonstram a expansão propicia melhor qualidade sonora para o usuário, no entanto, na dependência do valor do limiar de expansão, número de canais ativados e constantes de tempo empregados, o reconhecimento da fala em níveis fracos pode ser reduzido. Conclusão: São poucos os estudos que avaliaram os efeitos da expansão sendo estes indicativos de que a expansão utilizada em frequências baixas e com constantes de tempo mais rápidas podem ser benéficas para o usuário.

Descritores: Audição, Perda auditiva, Auxiliares de audição

ABSTRACT

Purpose: To describe the characteristics of expansion circuits as well as the results of their application in hearing aids. Methods: Search in databases (Medline, Lilacs, Google Scholar) were carried out by using the terms “expansion”, “hearing aids”, “hearing loss” and “hearing”. Articles about the characteristics of expansion circuits as well their clinical use and effect on user’s speech perception and satisfaction were retrieved. de Other materials such as books and dissertations were consulted. Results: Expansion circuit is characterized by having an input/output function with an angle greater than 45° below the expansion kneepoint. The expansion provides minimal gain for low intensity sounds and it is used to reduce the perception of certain environmental sounds as well as hearing aids circuit noise. The literature show that expansion provides better sound quality for the user, however, depending on the expansion kneepoint, number of activated channels and time constants used, the speech recognition performance for low intensity sounds might be reduced. Conclusion: There are few studies that evaluated the expansion effects on speech perception. Overall they indicate that the use of expansion in low frequencies and with fast time constants might be beneficial for the patient.

Keywords: Hearing, Hearing loss, Hearing Aids

INTRODUÇÃO

A utilização da compressão de área dinâmica ampla (WDRC) nos aparelhos de amplificação sonora individuais (AASI) pode trazer como consequência a amplificação excessiva de sons ambientais de intensidade muito fraca, bem como do ruído interno do próprio AASI. A percepção destes sons pode causar irritabilidade e fadiga para o usuário. O circuito de expansão, cada vez mais presente nos AASIs digitais, tem como função minimizar tais efeitos indesejáveis. O presente artigo de revisão tem como objetivo descrever as características dos sistemas de expansão e relatar os resultados de sua aplicação nos AASIs.

REVISÃO DE LITERATURA

A problemática da utilização da compressão de área dinâmica ampla e ruído interno do AASI

A perda da audibilidade para sons fracos e redução da área dinâmica da audição são algumas das consequências comuns da deficiência auditiva neurossensorial. A compressão de área dinâmica ampla (*Wide Dynamic Range Compression* - WDRC) tem sido utilizada para compensar tais consequências.

O objetivo do uso da compressão WDRC é propiciar a audibilidade dos sons fracos e, ao mesmo tempo, manter o conforto para sons de intensidade média e forte. Para isto, o AASI deve fornecer ganho suficiente para que os sons de fraca intensidade sejam amplificados em um nível audível, isto é, acima do limiar de audição do usuário. Este ganho deve ser reduzido para sons mais fortes de modo a minimizar o desconforto. Em resumo, maior ganho (amplificação linear) deve ser fornecido para sons fracos e uma redução (compressão) deve ocorrer para sons mais fortes, de modo que a audibilidade, inteligibilidade e conforto estejam assegurados para todos os níveis de entrada⁽¹⁾.

A compressão WDRC apresenta limiar de compressão baixo (menor que 55 dB NPS) e razão de compressão baixa (menor do que 5:1)⁽²⁾. A figura 1 mostra o gráfico de entrada e saída de um aparelho hipotético com compressão WDRC, que apresenta limiar de compressão igual a 40 dB e razão de compressão de 2:1. Observa-se que uma função com inclinação de 45° (processamento linear) ocorre abaixo do limiar de compressão (40 dB NPS). Nesta região linear o ganho é constante, ou seja, a mesma quantidade de amplificação é fornecida independentemente da intensidade de entrada. Os sinais de entrada acima do limiar de compressão (40 dB NPS) são comprimidos, isto é, o ganho fornecido para estes sons é menor do que aquele fornecido na região linear.

Considerando que a meta da adaptação do AASI seja restaurar a percepção da intensidade (loudness) e que um sistema com limiar de compressão baixo (por exemplo, 30-40 dB NPS) seja utilizado, a quantidade máxima de ganho será fornecida para sons que estejam abaixo ou próximos do limiar de compressão. Para muitos usuários esta estratégia resulta em ganho excessivo para sinais de entrada que ocorrem abaixo do limiar de compressão. Exemplos destes sinais são ruídos ambientais de fraca intensidade (barulho de motor de geladeira, ventoinha de computador) e o ruído interno do próprio AASI⁽³⁾, este último dado principalmente pelo microfone.

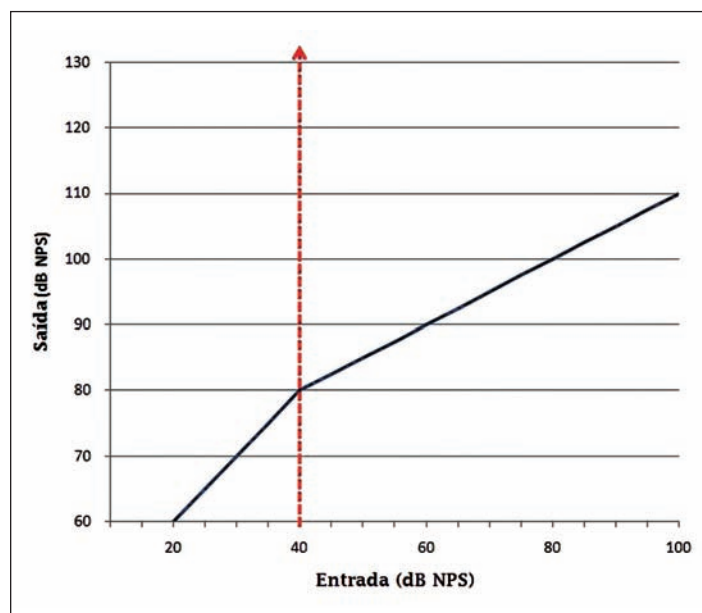


Figura 1 – Gráfico de entrada/saída de um aparelho hipotético com compressão WDRC. Fonte: Venema (2) (adaptado pela autora).

O microfone mais utilizado nos AASIs é o de eletreto. Dentre as vantagens deste microfone encontram-se sua resposta de frequências plana e ampla, baixa sensibilidade frente às vibrações mecânicas e variações de temperatura, tamanho pequeno, baixo ruído interno e alta confiabilidade⁽⁴⁻⁵⁾. No entanto, o microfone de eletreto é sensível à umidade⁽⁶⁾.

A figura 2 mostra o esquema de um microfone de eletreto, o qual funciona pela interação elétrica entre duas placas paralelas (o diafragma e o *backplate*), separadas por uma pequena distância, que formam um capacitor. Entre as duas placas encontra-se o eletreto. A onda sonora incidente faz vibrar o diafragma, gerando uma alteração na distância entre as placas e, conseqüentemente, no equilíbrio elétrico entre elas, gerando uma tensão elétrica equivalente à onda sonora⁽⁴⁻⁶⁾.

São duas as fontes principais de ruído interno dos AASIs⁽⁷⁾

– Ruído elétrico gerado nas resistências e nos semicondutores do circuito: existe uma movimentação pequena e aleatória dos elétrons do circuito dada pela energia térmica da temperatura de um dado ambiente. Esta movimentação de elétrons através das resistências do circuito cria uma voltagem, gerando uma pequena quantidade de ruído aleatório. Durante

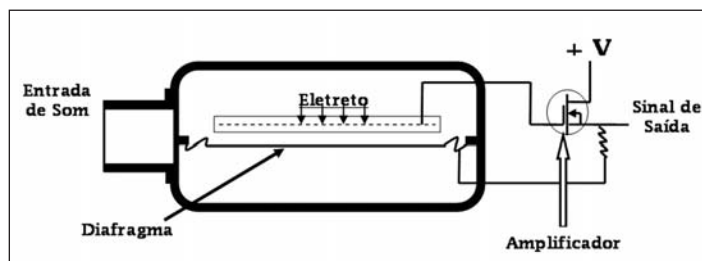


Figura 2 – Esquema de um microfone de eletreto. Fonte: Thompson (5) (adaptado pela autora).

muito tempo o ruído elétrico foi a fonte de ruído interno dominante nos microfones de eletreto empregado nos AASIs. Ao longo dos anos, uma série de melhorias reduziu este ruído elétrico até o ponto em que ele tornou-se insignificante.

- Ruído acústico gerado nas passagens acústicas dentro do microfone: existe uma movimentação aleatória de moléculas gasosas no ar, também dada pela energia térmica presente na temperatura ambiente. Quando estas moléculas passam através da abertura do microfone, a interação entre a resistência acústica da abertura e a movimentação das moléculas cria pequenas alterações de pressão, fazendo com que o diafragma do microfone se movimente. Estas movimentações geram energia elétrica (ruído) que será amplificado juntamente com o sinal desejado. Atualmente esta é a principal fonte de ruído interno dos AASIs.

O circuito de processamento do AASI não diferencia o ruído interno gerado pelo próprio microfone de outros sinais desejáveis fazendo com que o mesmo seja amplificado. As especificações técnicas dos AASIs frequentemente mostram o “nível de ruído equivalente” (*equivalent input noise* - EIN), sendo esta uma estimativa, expressa em decibels, do ruído interno gerado por um determinado dispositivo. A maioria dos aparelhos apresenta nível de ruído equivalente de 20 a 28 dB NPS⁽⁸⁻⁹⁾. Supondo que o ruído interno de um AASI seja de 20 dB NPS e o ganho fornecido por este dispositivo seja de 35 dB, então este ruído amplificado produzirá uma saída de 55 dB NPS, podendo este sinal ser audível e distrativo para o usuário, que pode relatar a percepção de um “chiado”, sobretudo quando em ambientes silenciosos. A percepção do ruído interno pode ser irritante levando até mesmo à rejeição do AASI. Este problema acontece, sobretudo, no caso de indivíduos com perdas auditivas leves e/ou com audição preservada nas baixas frequências⁽¹⁰⁾.

A fim de lidar com estas queixas dos usuários de aparelhos WDRC os profissionais geralmente aumentam o limiar de compressão ou reduzem o ganho do AASI. Infelizmente ambas as estratégias tem como consequência negativa a redução da audibilidade para sons de fala de fraca intensidade⁽³⁾.

Vilchur em 1973 observou que a amplificação excessiva dos sons fracos era um efeito colateral da compressão e provavelmente foi o primeiro a sugerir a utilização da expansão para reduzir este problema⁽¹¹⁾.

A expansão, por vezes denominada “reduzidor do ruído do microfone” ou “supressor de ruídos suaves”⁽¹²⁾ é um circuito encontrado apenas em AASIs digitais. A inexistência da expansão em aparelhos analógicos deve-se ao fato de que o circuito necessário para esta implementação seria demasiado complexo⁽¹⁰⁾. Um precedente histórico para uso da expansão como método de redução de ruído pode ser encontrado nas indústrias de áudio profissional e telecomunicações, onde uma técnica denominada “companding” (da junção em inglês de “compression” e “expanding”) é utilizada⁽¹³⁾.

Características da expansão

A figura 03 mostra o gráfico de entrada e saída da expansão, em comparação à compressão WDRC. No caso da expansão,

a função abaixo do limiar de compressão mostra uma inclinação maior que 45°. Isto significa que a expansão fornece um ganho mínimo para sons de intensidade muito fraca, aumentando progressivamente conforme aumenta o sinal de entrada, atingindo o máximo próximo do ponto de joelho ou limiar de compressão. Para sons acima do limiar de compressão o ganho também se torna progressivamente menor^(2;13).

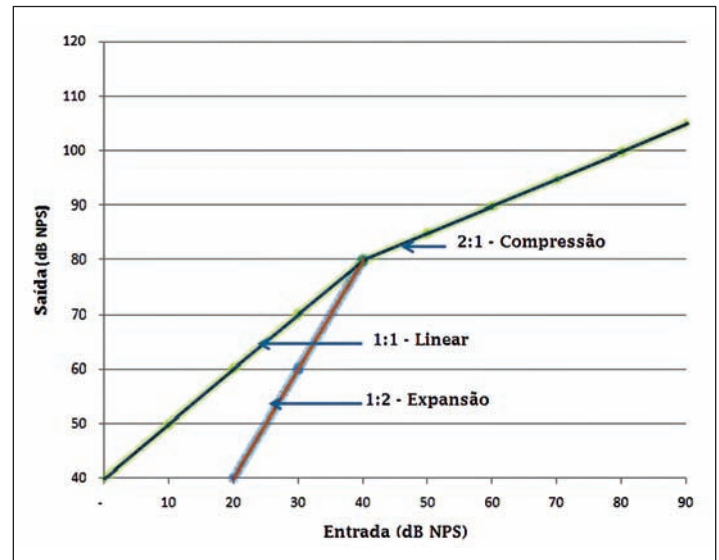


Figura 3 – Gráfico de entrada e saída da compressão WDRC e expansão. Fonte: Kuk (1) (Adaptado pela autora).

Desta forma sons muito fracos, ao redor de 20 dB NPS, vão receber menos amplificação do que sons de entrada de 40 dB NPS. Conseqüentemente, os ruídos ambientais de intensidade fraca e o ruído interno gerado pelo AASI tornam-se menos audíveis quando a expansão for ativada^(1,11,14).

A expansão é caracterizada da mesma forma que a compressão, possuindo um limiar de expansão, razão de expansão e constantes de tempo - ataque e recuperação⁽¹⁵⁾.

O “limiar ou ponto de joelho da expansão” é o nível de intensidade abaixo do qual a expansão atua. Os pontos de joelho da expansão normalmente estão por volta de 35 a 45 dB NPS⁽¹³⁾. O limiar de expansão geralmente coincide com o limiar de compressão da WDRC, como exemplifica a figura 3. Neste caso, deve ser ressaltado que a expansão está atuando abaixo do ponto de joelho e a compressão está atuando acima deste mesmo ponto de joelho. Em outros casos o limiar de expansão pode ser mais baixo do que o limiar de compressão.

A razão de expansão indica a extensão em que o sinal é expandido. Esta é calculada como a razão da variação no nível de entrada (Δ entrada) em relação à variação no nível de saída (Δ saída). A aplicação da expansão é sinalizada por valores entre 0 e 1. Quanto menor a razão de expansão, isto é, mais próxima de zero, maior o grau de expansão oferecido pelo sinal⁽¹⁵⁾. Nos AASIs a razão de expansão está por volta de 0,5:1⁽¹³⁾, ou seja, para cada variação de 0,5 dB na entrada, ocorre variação de 1 dB na saída do AASI. Em alguns AASIs a razão de expansão pode ser modificada via software de programação.

A figura 4 ilustra a função de entrada e saída da expansão de um AASI hipotético com razão de expansão 0,5:1 e 0,25:1. Quanto maior a inclinação da função de entrada e saída, mais próximo de zero está a razão de expansão.

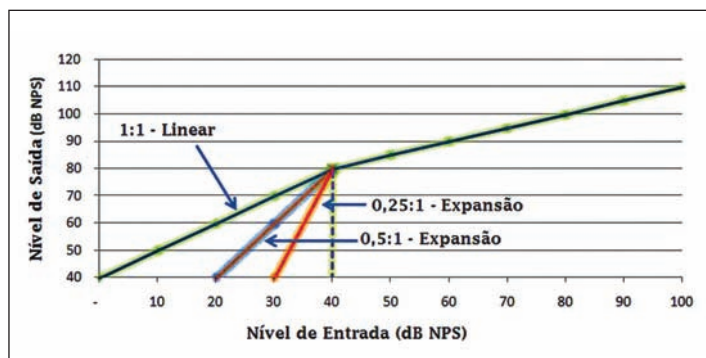


Figura 4 – Gráfico de entrada e saída de um AASI hipotético exibindo a região linear e duas razões de expansão diferentes.

A expansão também apresenta um tempo de ataque e de recuperação que são descritos, definidos e utilizados da mesma forma que para a compressão⁽¹⁵⁾. Outros autores relatam que as constantes de tempo da expansão geralmente são rápidas⁽¹³⁾. Alguns produtos possuem um único limiar de expansão, outros apresentam expansão multicanal, isto é, a utilização de diferentes limiares de expansão e razões de expansão para diferentes regiões de frequência⁽¹³⁾.

O uso da expansão pode propiciar melhor qualidade sonora para o usuário. No entanto, isto não pode ser atingido com o custo de reduzir o reconhecimento da fala em níveis fracos⁽¹⁶⁾. É necessário ter cuidado para que a expansão reduza o ganho somente para ruídos de fraca intensidade que possam tornar-se artificialmente fortes ou que estejam competindo com a informação de fala. Os sons de fala de fraca intensidade, como os fonemas de alta frequência, devem continuar a receber ganho apropriado, já que estes são necessários para propiciar um melhor reconhecimento de fala^(1,17). Para atingir tal objetivo, em alguns dispositivos existentes no mercado os parâmetros de limiar e razão da expansão são ajustados de forma a espelhar o espectro médio de fala a longo termo⁽¹¹⁻¹³⁾.

A partir da análise da figura 5 verifica-se que é desejável que o limiar de expansão esteja próximo ou abaixo do nível mais fraco da fala, de forma a prevenir que informações importantes sejam inadvertidamente reduzidas. Além disto, devem ser observadas também as características de frequência. O limiar de expansão deve ser mais alto para as frequências baixas, que concentram a maior energia de fala, e mais baixo para as altas frequências⁽¹⁸⁾. Como dito, o objetivo primário da expansão é a redução de ruídos de níveis fracos que possam causar fadiga ou irritabilidade ao usuário. No entanto, existem situações específicas em que o usuário prefira ouvir tais ruídos. Por exemplo, quando os AASIs são utilizados como mascaradores de zumbido ou quando o indivíduo dependa da audibilidade destes sinais para desempenhar seu trabalho. Nestes casos alguns apare-

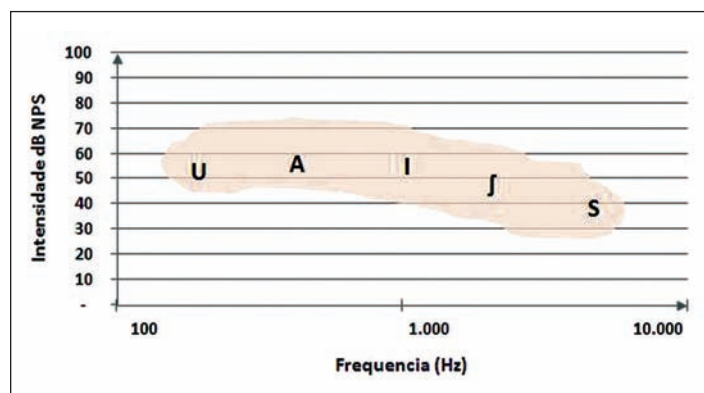


Figura 5 – Espectro médio da fala longo termo.

lhos permitem que a expansão seja desabilitada por meio do software de programação do AASI.

Resultados da utilização da expansão nos aparelhos de amplificação sonora individuais

Vários autores se preocuparam em estudar o desempenho da inteligibilidade de fala dos usuários de AASIs com expansão, uma vez que nem sempre os sons atenuados pela expansão são indesejáveis ou sem importância para a fala.

Um estudo examinou os efeitos da compressão e expansão de seis canais na percepção de sílabas sem sentido no ruído, em quatro indivíduos deficientes auditivos. Duas condições foram avaliadas: linear e não linear - neste último caso a expansão foi aplicada para níveis fracos e a compressão foi aplicada para níveis fortes. A fala foi apresentada em três níveis de intensidade: fraco, médio e forte. O uso da expansão resultou em degradação da inteligibilidade de fala apenas para dois sujeitos. Os autores sugeriram que isto ocorreu em virtude da redução da amplificação de consoantes fracas, sobretudo quando na posição final das sílabas, e enfatizaram a necessidade de realização de outros estudos que avaliassem diferentes parâmetros de expansão⁽¹⁹⁾.

Os efeitos da expansão no desempenho de reconhecimento de fala no silêncio e no ruído e na satisfação em situações de vida diária foram analisados para 20 usuários de AASI em adaptação binaural. Os usuários relataram maior satisfação com o uso da expansão em ambientes silenciosos. Entretanto, a expansão reduziu significativamente o reconhecimento de fala no silêncio e no ruído, quando o nível de entrada apresentando era igual ou menor que o valor do ponto de joelho da expansão, sendo isto atribuído à diminuição da audibilidade de pistas de fala. Estes resultados foram observados independentemente do grau da perda auditiva dos indivíduos⁽²⁰⁾.

Os efeitos de diferentes constantes de tempo da expansão (128, 512, 2094 e 4096 ms) foram avaliados em 20 usuários de AASI intra-canal digital. O desempenho de percepção de fala no silêncio e ruído diminuiu com o aumento das constantes de tempo da expansão⁽²¹⁾. Em outro estudo os autores verificaram que as constantes de tempo de expansão também afetaram a satisfação de 30 usuários de AASI, em situações de vida diária.

Aproximadamente 75% destes indivíduos preferiram a expansão de ação rápida sobre a ação de lenta. Estes resultados sugerem que os parâmetros dinâmicos da expansão desempenham uma função importante na eficácia deste sistema⁽²²⁾.

Três ajustes diferentes ajustes da expansão multicanal foram avaliados em 20 usuários de AASI: expansão de quatro canais; expansão somente para os canais 1 e 2 e expansão desligada. Melhores resultados de percepção de fala apresentada em níveis fracos (40 dB NPS), no silêncio e no ruído foram obtidos nesta ordem: expansão desligada, expansão em dois canais, expansão em quatro canais. No entanto, quando solicitados a julgar a satisfação quanto à quantidade de ruído reduzida e preferência em situações do dia a dia, os usuários preferiram o uso de algum tipo de expansão⁽²³⁾.

Lowery e Plyler⁽²⁴⁾ avaliaram os efeitos da expansão em frequências baixas em um AASI de quatro canais. Três ajustes foram programados no AASI: expansão desligada, expansão apenas no canal 1 e expansão nos canais 1 e 2. Os melhores resultados de reconhecimento de fala no silêncio e no ruído (fala apresentada em 40 dB NPS) foram obtidos nesta ordem: expansão desligada, expansão apenas no canal 1 e expansão nos canais 1 e 2. Quando solicitados a indicar qual condição de expansão propiciou maior satisfação para ouvir a fala em níveis fracos em um ambiente silencioso (cabina acústica) os participantes preferiram a expansão no canal 1, porém, esta não foi significativamente distinta da preferência pela expansão nos canais 1 e 2 ou pela expansão desligada. Os autores concluíram que restringir a expansão para frequências abaixo

de 1000 Hz pode ser útil para manter a habilidade de reconhecimento de fala em níveis fracos e, ao mesmo tempo, não interferir nos julgamentos de qualidade sonora.

Wise e Zakis⁽²⁵⁾ verificaram o impacto da expansão de um e dois canais nos limiares de reconhecimento de fala de 10 usuários de AASI com processamento do tipo ADRO. A expansão de um canal reduziu sons abaixo de 45 dB A e a expansão multicanal reduziu sons abaixo do espectro médio de fala longo termo, em 55 ou 45 dB NPS. Menores limiares de reconhecimento de fala foram obtidos para a situação de expansão desligada. Não houve diferença entre este resultado e os obtidos com a expansão de um canal e de dois canais com limiar de expansão de 45 dB NPS. Os autores não encontraram relação entre os dados audiométricos dos participantes e os resultados obtidos com os diferentes tipos de expansão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem ainda poucos estudos que avaliaram os efeitos da expansão sendo estes indicativos de que a expansão utilizada em frequências baixas e com constantes de tempo mais rápidas podem ser benéficas. O uso da expansão pode propiciar melhor qualidade sonora para o usuário, sobretudo quando em ambientes silenciosos. No entanto, deve-se ter cautela para que as informações de fala de fraca intensidade não sejam reduzidas. A restrição da expansão para frequências abaixo de 1000 Hz pode ser útil para manter a habilidade de reconhecimento de fala em níveis fracos e, ao mesmo tempo, não interferir nos julgamentos de qualidade sonora.

REFERÊNCIAS

- Kuk FK. Considerations in modern multichannel nonlinear hearing aids. In: Valente, M, editor. *Hearing Aids: Standards, Options, and Limitations*. New York: Thieme. 2002. p. 178-213.
- Venema TH. The Many Faces of Compression. In: Sandlin RE, editor. *Textbook of Hearing Aid Amplification: Technical and clinical considerations*. San Diego: Singular; 2000. p. 209-44.
- Powers TA, Burton PL. DSP benefits: moving beyond traditional analog capabilities. *Hearing Review* [periodic online] 2000 [cited 2000 Oct]. Available from: http://www.hearingreview.com/issues/articles/2000-10_09.asp
- Staab WJ, Lybarger SF. Characteristics and use of hearing aids. In: Katz J, editor. *Handbook of Clinical Audiology*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1994:657-722.
- Thompson, SC. Microphone, Telecoil, and Receiver Options: Past, Present, and Future. In: Valente, M, editor. *Hearing Aids: Standards, Options, and Limitations*. New York: Thieme; 2002:64-100.
- Olsen WO. Physical characteristics of hearing aids. In: Hodgson WR, editor. *Hearing aid assessment and use in audiologic habilitation*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1986:13-37.
- Thompson SC. Internal noise in hearing aid microphones: its causes and consequences. *Hear J* 2003;56(10):46-7.
- Holube I., Velde TM. DSP hearing instruments. In: Sandlin RE, editor. *Textbook of Hearing Aid Amplification*. San Diego: Singular; 2000. p. 285-321.
- Agnew J. Amplifiers and circuit algorithms for contemporary hearing aids. In: Valente M, editor. *Hearing Aids: Standards, Options, and Limitations*. New York: Thieme; 2002. p. 101-142.
- Venema TH. Three ways to fight noise: Directional mics, DSP algorithms, and expansion. *Hear J* 1999;52(10):58-61.
- Ghent RM, Nilsson MJ, Bray VH. Uses of expansion to promote listening comfort with hearing aids. Poster session, American Academy of Audiology National 12th Annual Convention. Chicago: Illinois. 2000;3(2): March 16-19.
- Braga SRS. Compressão: Definição, características e aplicações clínicas. In: Braga SRS, organizadora. *Prótese Auditiva*. São José dos Campos: Pulso; 2003. p. 35-41.
- Ghent RM, Nilsson MJ, Bray VH, Johnson JS. Expansion as a sound processing tool in hearing aids. Poster session, American Academy of Audiology 11th Annual Convention. In: Miami Beach, Flórida; 1999;2(2): April 29-May 2.
- Venema TH. Programmable an digital hearing aids. In: Venema TH, editor. *Compression for Clinicians*. San Diego: Singular;1998. p. 87-93.
- Preves DA; Barnejee S. Hearing aid instrumentation, signal processing and electroacoustical testing. In: Valente M, Hosford-Dunn H, Roeser RJ, editors. *Audiology Treatment*. New York: Thieme; 2008. p. 528.
- Plyler PN. Applying expansion in hearing aid fittings: subjective and objective findings. *AudiologyOnline* [periodic online] 2007. [cited 2007 jan 10]. Available from: https://www.audiologyonline.com/articles/article_detail.asp?article_id=1885
- Dillon H. Electroacoustic performance and measurement. In: Dillon H, editor. *Hearing Aids*. New York: Thieme; 2001. p. 74-116.
- Topics in Amplification. Available from: URL: http://www.bernafon.com/eprise/main/_downloads/10_UK_English/BernaFon/TopicsInAmplification/TiA_Soft_Noise_Management_UK.pdf
- Walker G, Byrne D, Dillon H. The effects of multichannel compression/expansion amplification on the intelligibility of nonsense syllables in noise. *J Acoust Soc Am* 1984;76(3):746-57.
- Plyler PN, Hill AB, Trine TD. The effects of expansion on the objective and subjective performance of hearing instrument users. *J Am Acad Audiol* 2005a;16:101-13.
- Plyler PN, Hill AB, Trine TD. The effects of expansion time constants on the objective performance of hearing instrument users. *J Am Acad Audiol* 2005b;16:614-21.
- Plyler PN, Trine TD, Hill AB. The subjective evaluation of the expansion time constant in single-channel wide dynamic range compression hearing instruments. *Int J Audiol* 2006;45(6):331-6.
- Plyler PN, Lowery KJ, Hamby HM, Trine TD. The objective and subjective evaluation of multichannel expansion in wide dynamic range compression hearing instruments. *J Speech Lang Hear Res* 2007;50(1):15-24.
- Lowery KJ, Plyler PN. The objective and subjective evaluation of low-frequency expansion in wide dynamic range compression hearing instruments. *J Am Acad Audiol* 2007;18(8):641-52.
- Wise CL, Zakis JA. Effects of expansion algorithms on speech reception thresholds. *J Am Acad Audiol* 2008;19(2):147-57.