

# Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico por Frequência Específica: estimando os limiares auditivos em adultos ouvintes\*

Mabel G. Almeida\*\*

Gabriela R. I. Rodrigues\*\*\*

Kely Cordeiro de Carvalho Torres\*\*\*\*

Laysa Nathália Favacho Barbosa\*\*\*\*\*

Dóris R. Lewis\*\*\*\*\*

## Resumo

**Introdução:** O potencial evocado auditivo de tronco encefálico por frequência específica (PEATE-FE) permite inferir sobre a sensibilidade auditiva e estimar o limiar auditivo nas diversas frequências do audiograma. **Objetivo:** descrever os achados do potencial evocado auditivo por frequência específica nas frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz em adultos ouvintes e comparar os níveis mínimos de resposta (NM) com os limiares tonais. **Resultados:** Obtiveram-se níveis mínimos médios de resposta de 25, 20, 21 e 20 dBnNA para as frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz, respectivamente, sendo as diferenças médias entre os NMR (nível mínimo de resposta) e o limiar tonal de 15.0, 1.1, 12.2 e 13.9 dB, respectivamente. Na intensidade de 70 dBnNA foram observadas latências de 9.0, 7.4, 6.6 e 6.2 milissegundos, respectivamente, para 0.5, 1, 2 e 4 kHz. **Conclusão:** As frequências altas apresentaram NMR mais próximos ao limiar auditivo e latência da onda V mais longa em relação às frequências baixas. Diferenças de até 15 dBnNA podem ser observadas entre o NMR eletrofisiológico e o limiar auditivo tonal.

**Palavras-chave:** potenciais evocados auditivos, adultos, audiometria

## Abstract

**Introduction:** The tone-evoked auditory brainstem responses (tone-ABR) allow us to infer the hearing sensitivity and to estimate the hearing threshold at various frequencies of the audiogram. **Objective:** To describe the findings of the tone-evoked auditory brainstem response in the frequencies of 0.5, 1, 2 and 4 kHz in adult listeners and compare the pure-tone threshold. **Results:** It was obtained the minimum

\* Pesquisa realizada no Centro "Audição na Criança" da Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – CeAC/DERDIC/PUCSP. \*\* Mestre em Fonoaudiologia pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP; Doutoranda do Programa de Estudos Pós-Graduados em Fonoaudiologia da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP. \*\*\* Fonoaudióloga; Mestre em Fonoaudiologia pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP; Doutoranda do Programa de Estudos Pós-Graduados em Fonoaudiologia da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP. \*\*\*\* Fonoaudióloga; Mestre em Fonoaudiologia pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP. \*\*\*\*\* Fonoaudióloga; Mestre em Fonoaudiologia pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP. \*\*\*\*\* Fonoaudióloga. Doutora em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo – USP. Professora Doutora Titular da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUCSP; Professora da Faculdade de Fonoaudiologia e do Programa de Estudos Pós-Graduados em Fonoaudiologia.

response level of 25, 20, 21 and 20 dBnHL at frequencies of 0.5, 1, 2 and 4 kHz respectively, and the differences between the minimum level of response and the pure-tone threshold of 15.0, 11.1, 12.2 and 13.9 dB respectively. At 70 dBnHL it was observed a latency of 9.0, 7.4, 6.6 and 6.2 milliseconds to 0.5, 1, 2 and 4 kHz, respectively. **Conclusion:** NMR showed high frequencies close to hearing threshold and wave V latency longer for the low frequencies. Differences of up to 15 dBNA can be observed between the NMR and electrophysiological auditory threshold tonal.

**Keywords:** auditory evoked potential, audiometry, adult

## Resumen

**Introducción:** El potencial evocado auditivo de tronco encefálico por frecuencias específicas (PEATE-FE) nos permite inferir sobre la sensibilidad auditiva y estimar el umbral de audición en las diferentes frecuencias del audiograma. **Objetivo:** Describir los hallazgos de los potenciales evocados auditivos por frecuencias específicas en las frecuencias de 0.5, 1, 2 y 4 kHz en oyentes adultos y comparar los niveles promedios mínimos de respuesta. **Resultados:** Se obtuvieron niveles promedios mínimos de respuesta de 25, 20, 21 y 20 dBNA para las frecuencias de 0,5, 1, 2 y 4 kHz, respectivamente, y las diferencias promedio entre los NMR (nivel mínimo de respuesta) y el umbral tonal de 15.0, 11.1, 12.2 y 13,9 dB, respectivamente. En la intensidad de 70 dBNA se observaron latencias de 9,0, 7,4, 6,6 y 6,2 milisegundos, respectivamente, para 0,5, 1, 2 y 4 kHz. **Conclusión:** Las frecuencias altas presentaron NMR mas cerca al umbral de audición y latencia de la onda V mas larga en comparación a las frecuencias bajas. Diferencias de hasta 15 dBNA se pueden observar entre el NMR electrofisiológico y el umbral auditivo tonal.

**Palabras claves:** potenciales evocados auditivos, adultos, audiometría.

## Introdução

A avaliação eletrofisiológica da audição é a medida objetiva de escolha nos casos em que não é possível a obtenção dos limiares auditivos pela audiometria tonal. Portanto, auxilia no diagnóstico diferencial da perda auditiva em pacientes com diferentes faixas etárias e que apresentam dificuldade para responder fidedignamente à avaliação comportamental (Hood, 1998; Johnson e Brown, 2005; Sininger 2006).

O potencial evocado auditivo de tronco encefálico por frequência específica (PEATE-FE) permite estimar o limiar auditivo nas diversas frequências do audiograma. Embora não seja um exame de audição, possibilita inferir a sensibilidade auditiva, havendo, no entanto, a necessidade de se estabelecer um fator de correção entre o limiar auditivo e os níveis mínimos de resposta (NMR) eletrofisiológica para que estes possam orientar a prática clínica e auxiliar na construção de um audiograma fidedigno (Stapells, 2000).

Dessa forma, é importante que haja a normatização dos NMR para a estimativa do nível de

audição e para a latência da onda V, de maneira que cada clínica desenvolva seus próprios valores e critérios para considerar os resultados do PEATE-FE como sendo normais ou representativos de perdas auditivas condutivas, cocleares ou retrococleares (Hood, 1998; Hurley et al., 2005).

Fortes correlações entre os NMR do PEATE-FE e os limiares tonais são observadas em pacientes com diferentes graus e configurações de perda auditiva (Stapells et al., 1990; Sininger et al., 1997; Stapells, 2000; Johnson e Brown, 2006). No entanto, Sininger (2006) observou diferenças de até 20 dB nas frequências mais baixas na população adulta com audição normal. Segundo a autora, essas diferenças diminuem à medida em que a frequência aumenta, sendo menores na população com perda auditiva.

O objetivo do presente estudo foi descrever os achados do PEATE-FE utilizando o estímulo *tone-burst* em sujeitos com audição normal e comparar os valores obtidos para os NMR eletrofisiológicos com a audiometria tonal.

## Material e Método

Este estudo foi desenvolvido no Centro “Audição na Criança” (CeAC) da Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação (DERDIC), ambos da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), tendo recebido aprovação da instituição e do Comitê de Ética da PUC-SP (processo nº 269/2008). Todos os sujeitos envolvidos assinaram o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, consentindo, desta forma, com a realização e divulgação desta pesquisa.

Foram avaliados 10 sujeitos adultos, 5 mulheres e 5 homens com idade entre 20 e 30 anos (idade média de 25 anos), totalizando 18 orelhas, visto que em dois sujeitos o exame foi realizado em apenas uma orelha. Como critério de inclusão os sujeitos deveriam apresentar limiares auditivos  $\leq 20$  dB NA nas frequências de 0.25 a 8 kHz, timpanometria tipo “A” segundo Jerger (1970).

## Procedimentos

### 1 – Audiometria Tonal

Foi utilizado um audiômetro modelo AC-33, marca *Interacoustics* e fones de inserção modelo

ER-3A. A audiometria tonal foi realizada numa cabina acusticamente tratada. Pesquisou-se o limiar tonal em passos de 5 dB com estímulo de tom puro pulsátil nas frequências de 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6 e 8 kHz em ambas as orelhas.

### 2 – Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico por Frequência Específica

Obedecidos os critérios de inclusão, foi realizado o PEATE com estímulo *click* para avaliar a integridade neural e posteriormente o PEATE-FE com estímulo *toneburst* nas frequências de 0.5 a 4 kHz. Os parâmetros de estímulo utilizados estão descritos no Quadro 1. O equipamento utilizado foi o *SmartEP* da marca *Intelligent Hearing Systems*, utilizando-se fones de inserção ER 3A. A impedância dos eletrodos foi mantida menor que 3  $\Omega$ .

A avaliação foi realizada com o paciente em sono natural. O estímulo foi eliciado inicialmente na intensidade de 70 dBnNA e diminuído a passos de 20 dB até que não pudesse ser registrada a onda V; elevando-se a intensidade a passos de 10 dB até a onda poder ser registrada e reproduzida novamente. O NMR foi considerado a menor intensidade na qual a onda V foi identificada e reproduzida.

**Quadro 1 – Parâmetros utilizados no registro do PEATE-FE**

| Características                | Frequências                    |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                | 500 Hz                         | 1000 Hz                        | 2000 Hz                        | 4000 Hz                        |
| Polaridade do estímulo         | condensada                     | condensada                     | condensada                     | condensada                     |
| Janela de análise              | 25ms                           | 25 ms                          | 25ms                           | 25ms                           |
| Duração do estímulo            | 8000 $\mu$ s                   | 4000 $\mu$ s                   | 2000 $\mu$ s                   | 1000 $\mu$ s                   |
| Ciclos                         | 4.00                           | 4.00                           | 4.00                           | 4.00                           |
| Envelope                       | <i>blackman</i><br>(sem platô) | <i>blackman</i><br>(sem platô) | <i>blackman</i><br>(sem platô) | <i>blackman</i><br>(sem platô) |
| Taxa de repetição de estímulos | 39.1/s                         | 39.1/s                         | 39.1/s                         | 39.1/s                         |
| Número mínimo de estímulos     | 2000                           | 2000                           | 2000                           | 2000                           |
| Filtro                         | 30-1500                        | 30-3000                        | 30-3000                        | 30-3000                        |

## Resultados

Os NMR encontrados para as frequências de 0.5, 1, 2 e 4 kHz estão descritos nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, bem como os valores dos

limiares auditivos e a diferença entre a audiometria e os PEATE-FE para as mesmas frequências. Não foram obtidos NMR na intensidade de 10 dB NA para a frequência de 500 Hz.

**Tabela 1 – Estatísticas descritivas para os NMR no PEATE-FE, Audiometria e para as diferenças entre PEATE-FE e Audiometria na frequência de 500 Hz**

| Teste       | Média | Desvio padrão | Mínimo | Mediana | Máximo | IQR (*) |
|-------------|-------|---------------|--------|---------|--------|---------|
| PEATE-FE    | 25,0  | 7,1           | 10     | 30      | 30     | 10      |
| Audiometria | 10,0  | 3,4           | 0      | 10      | 20     | 0       |
| Diferença   | 15,0  | 8,6           | 0      | 20      | 30     | 10      |

(\*) Intervalo Interquartil

**Tabela 2 – Estatísticas descritivas para os NMR no PEATE-FE, Audiometria, e para as diferenças entre PEATE-FE e Audiometria na frequência de 1000 Hz**

| Teste       | Média | Desvio padrão | Mínimo | Mediana | Máximo | IQR (*) |
|-------------|-------|---------------|--------|---------|--------|---------|
| PEATE-FE    | 20,0  | 5,9           | 10     | 20      | 30     | 0       |
| Audiometria | 8,9   | 3,2           | 0      | 10      | 10     | 0       |
| Diferença   | 11,1  | 7,6           | 0      | 10      | 30     | 2,5     |

(\*) Intervalo Interquartil

**Tabela 3- Estatísticas descritivas para os NMR no PEATE-FE, Audiometria, e para as diferenças entre PEATE-FE e Audiometria, na frequência de 2000 Hz**

| Teste       | Média | Desvio padrão | Mínimo | Mediana | Máximo | IQR (*) |
|-------------|-------|---------------|--------|---------|--------|---------|
| PEATE-FE    | 21,1  | 4,7           | 10     | 20      | 30     | 0       |
| Audiometria | 8,9   | 6,8           | 0      | 10      | 20     | 10      |
| Diferença   | 12,2  | 8,1           | 0      | 10      | 20     | 12,5    |

(\*) Intervalo Interquartil

**Tabela 4 – Estatísticas descritivas para os NMR no PEATE-FE, Audiometria e para as diferenças entre PEATE-FE e Audiometria na frequência de 4000 Hz**

| Teste       | Média | Desvio padrão | Mínimo | Mediana | Máximo | IQR (*) |
|-------------|-------|---------------|--------|---------|--------|---------|
| PEATE-FE    | 20,0  | 7,7           | 10     | 20      | 30     | 20      |
| Audiometria | 6,1   | 7,0           | 0      | 5       | 20     | 10      |
| Diferença   | 13,9  | 9,8           | -10    | 10      | 30     | 10      |

(\*) Intervalo Interquartil

Pode-se observar uma maior diferença entre as duas medidas para a frequência de 500 Hz.

Os valores encontrados para a latência da onda V nas quatro frequências estudadas estão descritos na Tabela 5.

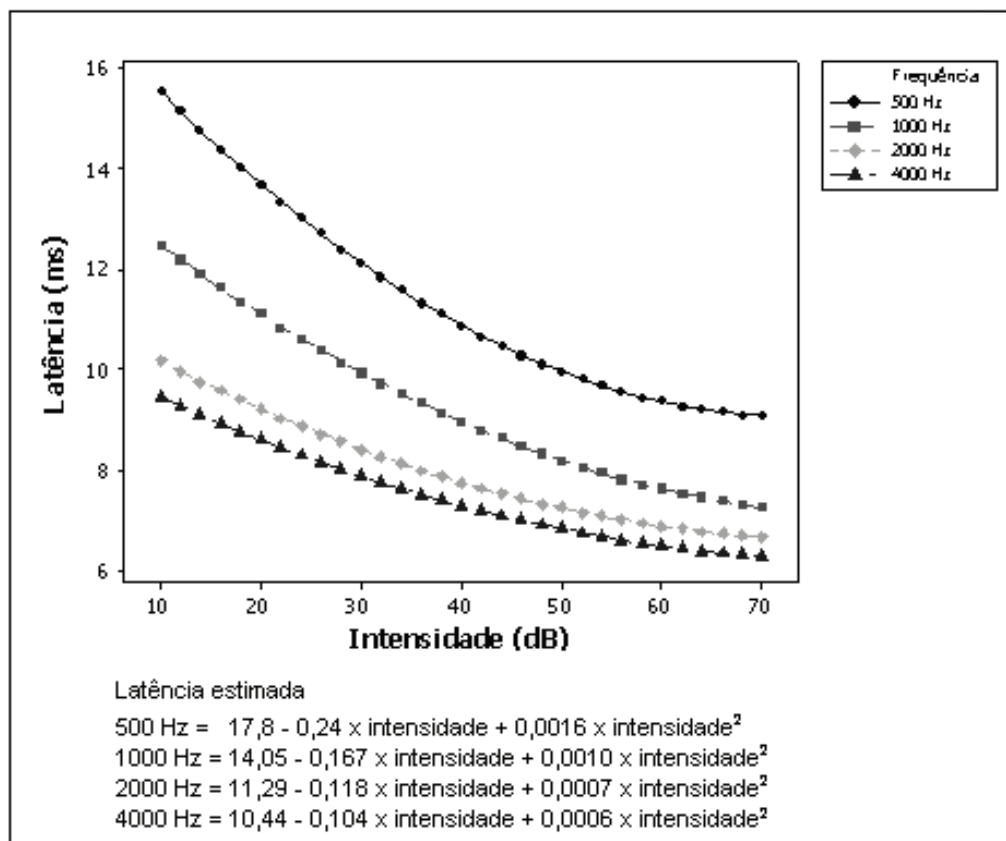
Na Figura 1, observa-se que a latência é menor em intensidades mais fortes e nas frequências mais altas, obtendo-se assim curvas ajustadas da função

latência x intensidade que pode ser descrita como uma parábola para as diversas frequências.

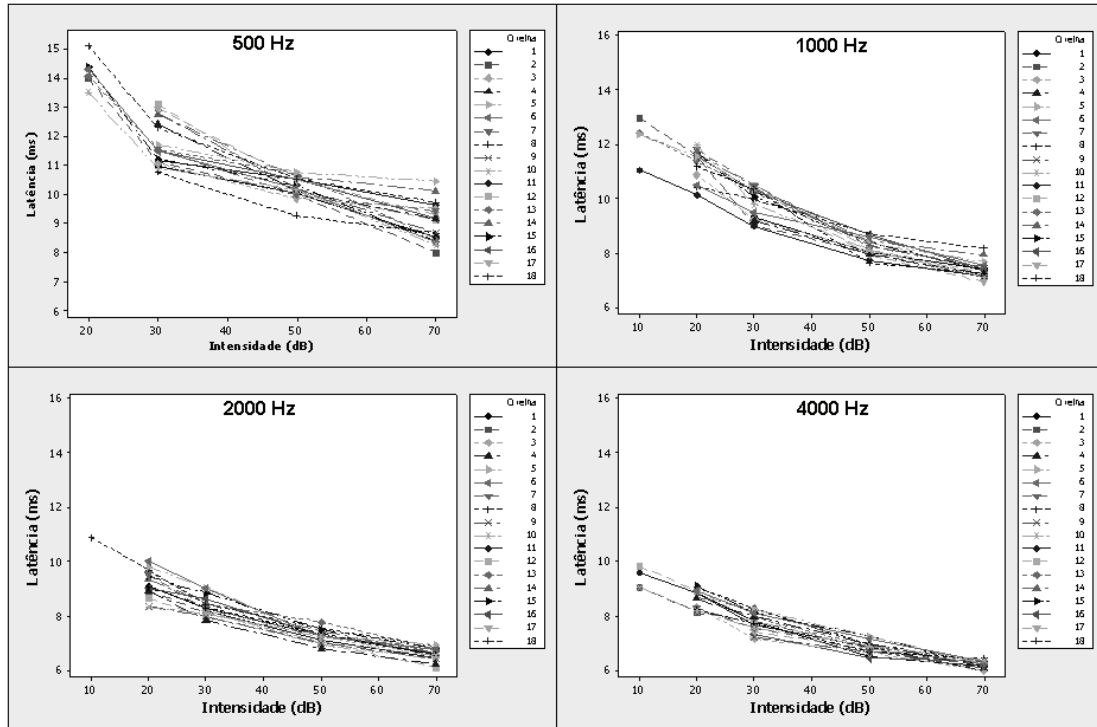
Na Figura 2 pode-se observar o comportamento da latência em função da intensidade individualmente e observa-se que, à medida em que a frequência torna-se mais alta, os valores de latência encontrados são mais próximos entre os sujeitos, diminuindo o desvio padrão.

**Tabela 5 – Valores observados de estatísticas descritivas para média da latência (ms) por intensidade nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz, 2000Hz , 4000Hz.**

| Intensidade | 500Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
|-------------|-------|---------|---------|---------|
| 10          | ----  | 12,2    | 10,9    | 9,4     |
| 20          | 14,2  | 11,3    | 9,2     | 8,6     |
| 30          | 11,7  | 9,9     | 8,4     | 7,8     |
| 50          | 10,2  | 8,2     | 7,3     | 6,9     |
| 70          | 9,0   | 7,4     | 6,6     | 6,2     |



**Figura 1 – Curvas ajustadas da latência (ms) em função da intensidade (dBnNA) nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz**



**Figura 2 – Gráfico dos perfis da latência (ms) em função da intensidade (dBnNA) por orelha nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz**

## Discussão

A normatização dos resultados é essencial para a utilização clínica de qualquer procedimento diagnóstico. Os resultados deste estudo mostraram que os NMR diminuem com o aumento da frequência, sendo mais elevados para a frequência de 500 Hz. Esses achados corroboram com aqueles observados por Stapells et al. (1990); Sininger et al. (1997); Van Der Reijden et al. (2006), Pinto e Matas (2007).

Da mesma maneira, as diferenças entre os NMR e os limiares tonais para as quatro frequências estudadas foram maiores para a frequência de 500 Hz, sendo consistente com achados anteriores descritos por Stapells et al. (1990) e Pinto e Matas (2007).

Stapells et al. (1990), em estudo com adultos ouvintes e com perda auditiva, encontraram menores diferenças entre os NMR eletrofisiológica para o PEATE-FE e os limiares tonais do que as diferenças encontradas no presente estudo (11,6, 6,1, 6,3 e 0,8 dB para as frequências de 500, 1, 2 e 4 kHz,

respectivamente). Os autores relataram também forte correlação entre os NMR do PEATE-FE e os limiares tonais nos adultos com perda auditiva.

Resultados próximos aos do presente estudo foram encontrados por Swanepoel et al. (2004), que observaram NMR entre 20 e 30 dB para adultos ouvintes, com diferenças entre os NMR do PEATE-FE e os limiares tonais variando de 15 a 30 dB para a frequência de 500 Hz.

Em contrapartida, Pinto e Matas (2007) obtiveram elevados NMR no PEATE-FE para as quatro frequências em estudo normativo com adultos ouvintes; de maneira que as diferenças entre o limiar de audibilidade e o eletrofisiológico mostraram-se em torno de 40 a 50 dB NS para o sexo feminino e de 50 a 60 dB NS para o masculino.

NMR mais elevados e maiores diferenças entre as duas medidas, principalmente nas frequências mais baixas, podem ser decorrentes da maior dificuldade em visualizar a onda V em intensidades muito fracas, como resultado principalmente da morfologia da onda que se apresenta mais arre-



donada; e da contaminação pelo ruído elétrico e miogênico. O aumento do número de estímulos por varredura é sugerido para melhorar a relação sinal ruído e possibilitar o registro de NMR em intensidades mais fracas (Stapells, 2000; Sininger, 2006).

O comportamento da latência da onda V em relação às quatro frequências, diminuindo com o aumento da frequência, é semelhante aos resultados em crianças e adultos ouvintes demonstrados por Siniger et al. (1997) e àqueles obtidos por Ribeiro e Carvalho (2008) em recém-nascidos. No estudo da função latência x intensidade, representado na figura 2, pode-se observar, pelos perfis de latência para as quatro frequências, que as diferenças na latência entre os sujeitos, diminuem à medida que a frequência aumenta. Isso pode ser resultado também da maior facilidade em visualizar e marcar o pico da onda V nas frequências mais altas, diminuindo, assim, a variação da latência da onda entre os sujeitos e, conseqüentemente, o desvio padrão.

Os presentes resultados corroboram com os encontrados por Nagão e Matas (2001) ao observarem a latência da onda V em 9.10 e 6.55 ms, na intensidade de 80 dB NA, para 0.5 e 2 kHz, respectivamente.

Considerando que a latência da onda V corresponde ao tempo decorrido entre o início da estimulação e o aparecimento da resposta, a tonotopia coclear pode explicar o aumento da latência nas frequências mais graves. As respostas das células ciliadas localizadas no ápice da cóclea, região que corresponde às frequências baixas, apresentam uma latência mais longa, pois o estímulo *toneburst* percorre uma distância maior até estimular essa região. Em contrapartida, as células ciliadas localizadas na região mais basal da cóclea, região de frequências altas, ao serem estimuladas, produzem uma resposta com latência mais curta.

Assim, o comportamento da latência da onda V em relação às diferentes frequências evidencia a especificidade do estímulo utilizado neste estudo.

Diferenças de parâmetros de estímulo e registro são fatores que contribuem para as diferenças encontradas nos diversos estudos, enfatizando assim a necessidade de normatização do estímulo *toneburst* para aplicação do PEATE-FE na prática clínica (Sininger et al., 1997, Beattie e Rocheverger, 2001).

Há ainda autores que enfatizam que a determinação de um fator de correção deve considerar a relação entre potencial evocado e limiar tonal

em sujeitos com e sem perda auditiva, visto que em sujeitos com perda auditiva, em decorrência do recrutamento, a diferença pode ser menor que a observada em sujeitos ouvintes (Johnson e Brown, 2005).

Entretanto, apesar dos esforços e desenvolvimento de técnicas para se obter NMR eletrofisiológica mais próximos aos limiares auditivos, Gorga et al (1984) consideravam complicada a comparação entre limiar auditivo e medidas eletrofisiológicas, inclusive pelas diferenças de estímulos e técnicas utilizadas.

## Conclusão

Diante dos resultados obtidos a partir dos parâmetros de estímulo e registro utilizados neste estudo, pode-se concluir que os NMR de 25 dBnNA para 500 Hz, 20 dBnNA para 1000 Hz, 21 dBnNA para 2000 Hz e 20 dBnNA para 4000 Hz podem ser considerados normais, de maneira a serem utilizados na interpretação clínica para auxiliar no diagnóstico do tipo e do grau da perda auditiva. Diferenças de até 15 dB devem ser consideradas ao utilizar os NMR eletrofisiológica obtidos pelo PEATE-FE para estimar o limiar auditivo e auxiliar na construção do audiograma.

Pode-se concluir também que a latência comporta-se de maneira inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto mais alta a frequência mais curta é a latência esperada.

## Referências bibliográficas

- Beattie RC, Rocheverger I. Normative behavioral thresholds for short tone-bursts. *J Am Acad Audiol* 2001;12:453-61.
- Gorga MP, Beuchaine KA, Reiland JK, Worthington DW, Javel E. The effects of stimulus duration on ABR and behavioral thresholds. *J Acoust Soc Am*. 1984;76(2):616-19.
- Hood LJ. Clinical Application of the auditory brainstem response. San Diego: Singular Publishing Group; 1998.
- Hurley RM, Hurley A, Berlin C. Development of low-frequency tone burst versus the click auditory brainstem response. *J Am Acad Audiol*. 2005;16(2):114-21.
- Jerger I. Clinical Experience with impedance audiometry. *Arch Otolaryngol*. 1970;(92):324.
- Johnson TA, Brown CJ. Threshold prediction using the auditory steady-state response and the tone burst auditory brainstem response: a within-subject comparison. *Ear and Hearing* 2005; 26:559-76.
- Nagão DE, Matas CG. Audiometria de tronco encefálico: utilização de "toneburst" em jovens adultos audiológicamente normais. *Acta AWHO* 2001; 20(4):206-210.



- Pinto FR, Matas CG. Comparação entre limiares de audibilidade e eletrofisiológico por estímulo toneburst. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 2007; 73(4):513-22.
- Ribeiro FGSM, Carvalho RMM. Tone-evoked ABR in full-term and preterm neonates with normal hearing. *International Journal of Audiology.* 2008; 47:21-29.
- Sininger YS. The use of auditory brainstem response in screening for hearing loss and audiometric threshold prediction. In: Burkard RF, Dom M and Eggermont JJ. *Auditory Evoked Potentials: Basic Principles and Clinical Application.* Lippincott Williams & Wilkins; 2006, p.254-274.
- Sininger YS, Abdala C, Cone-Wesson B. Auditory Threshold Sensitivity of Neonate as Measured by the Auditory Brainstem Response. *Hear Res.* 1997; 104:27-38.
- Stapells DR, Picton TW, Durieux-Smith A, Edwards CG, Moran LM. Thresholds for short-latency auditory –evoked potentials to tones in notched noise in normal hearing an hearing impaired subjects. *Audiology* 1990; 29(5):262-74.
- Stapells DR. Thresholds estimation by tone-evoked auditory brainstem response: A literature meta-analysis. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology* 2000; 4:74-83.
- Swanepoel D, Schmulian D, Hugo R. Establishing normal hearing with the dichotic multiple-frequency auditory steady-state response compared to an auditory brainstem response protocol. *Acta Otolaryngol.* 2004;124(1):62-8.
- Van der Reijden C, Mens LH, Snik FM. Frequency-specific objective audiometry: tone-evoked brainstem responses and steady-state responses to 40 Hz and 90 Hz amplitude modulated stimuli. *Int J Audiol.* 2006; 45(1):40-45.

**Recebido em** outubro/09; **aprovado em** janeiro/10.

**Endereço para correspondência**

Mabel Gonçalves Almeida  
Rua Marquês de Itu, 836 Apto 75. Vila Buarque.  
São Paulo. CEP:01223-901

**E-mail:** [mgafono@yahoo.com.br](mailto:mgafono@yahoo.com.br)

