

# Validação de realidade virtual acústica via testes de articulação em salas ruidosas e reverberantes

Melo, V. S. G.<sup>1\*</sup>; Lima, P. G.<sup>2\*</sup>; Santos, T. C.<sup>3\*</sup>; Tenenbaum, R. A.<sup>4\*</sup>

\* Laboratório de Instrumentação em Dinâmica, Acústica e Vibrações – LIDAV, IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ,

<sup>1</sup>vivasgmelo@gmail.com, <sup>2</sup>pamelaguerreirolima@hotmail.com, <sup>3</sup>thatyvthardihhood@gmail.com, <sup>4</sup>ratenenbaum@gmail.com

## Resumo

Um dos principais desafios em validar aurilizações está em encontrar parâmetros objetivos para medir sua qualidade. Neste trabalho, aurilizações modeladas computacionalmente são validadas por meio de testes de articulação. Convolvendo as respostas impulsivas biauriculares (BIRs), geradas pelo código computacional de simulação de acústica de salas RAIOS com o sinal anecoico que contém uma lista de cem monossílabos, a aurilização é gerada e índices de articulação virtuais podem ser computados. Por outro lado, o teste de articulação realizado na sala fornece o índice de articulação real. Ambos os índices são a média de monossílabos anotados corretamente pelos voluntários, convertida em valores percentuais. São realizados testes de articulação em duas salas. Na primeira delas, são geradas aurilizações em três diferentes situações: apenas com ruído de fundo, com ruído rosa de 60 dB e 65 dB adicionados. O objetivo é validar a métrica em salas com distintos níveis de ruído. A segunda é o teatro de um colégio que é extremamente reverberante, visando avaliar a influência da reverberação na inteligibilidade da palavra. Quando os índices de articulação reais e virtuais são comparados, um erro menor que 5% é encontrado. As conclusões são que as aurilizações foram bem-sucedidas e que índices de articulação são métricas confiáveis para validar aurilizações.

**Palavras-chave:** Aurilização, realidade virtual acústica, testes de articulação, simulação acústica de salas, validação de aurilização.

## 1. INTRODUÇÃO

A realidade virtual acústica é um campo de pesquisa relativamente novo que permite simular o comportamento acústico de um ambiente utilizando modelagem computacional. Esse processo permite ao usuário uma interação com o ambiente virtual, reproduzindo a sensação de estar virtualmente presente nele, além de fornecer parâmetros que caracterizem o espaço acusticamente.

O projeto acústico torna-se uma medida de grande importância, uma vez que poupa o gasto da construção da sala desejada, pois permite o conhecimento da acústica de um ambiente antes mesmo de sua construção. Esse conhecimento não se restringe apenas aos parâmetros de qualidade acústica — como  $T_{30}$ ,  $C_{80}$ , e  $D_{50}$ , entre vários outros (BERANEK, 1996) — mas também a

parâmetros subjetivos como o conforto auditivo e a inteligibilidade da palavra.

É possível também gerar e reproduzir um som audível com as características da sala utilizando dados medidos, simulados ou sintetizados através de uma técnica chamada aurilização (VORLANDER, 2008). Com esse procedimento, consegue-se simular numericamente como as ondas sonoras se comportam no ambiente e também a percepção humana desse som, como se o ouvinte estivesse inserido naquele ambiente. Avaliar uma aurilização, no entanto, exige parâmetros subjetivos.

Uma metodologia para validar aurilizações é proposta neste trabalho: utilizar índices de articulação (IA) como parâmetro objetivo para avaliar a qualidade de uma aurilização, pois estes se mostraram mais confiáveis do que índices de transmissão da fala (ITF) para

avaliar a inteligibilidade da palavra (TENENBAUM *et al.*, 2013). De maneira resumida, os IA são uma métrica utilizada para avaliar a inteligibilidade da palavra em salas.

Técnicas de avaliação de inteligibilidade comparando IAs obtidos de forma real e virtual são encontradas na literatura (PENG, 2005; YANG and HODGSON, 2007 e HODGSON *et al.*, 2008), Nesses trabalhos, a modelagem é feita utilizando software comerciais, ao passo que neste trabalho as simulações são conduzidas utilizando o código proprietário RAIOS.

Uma lista com cem monossílabos gravados em sala anecoica, a fim de suprimir a influência do ambiente de gravação, é utilizada nos testes de articulação (TA). Essa lista é emitida para voluntários, distribuídos na sala a ser avaliada, encarregados de anotar os monossílabos. A porcentagem média de palavras compreendidas corretamente define o IA da sala.

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de IA que serão melhor explicados em suas respectivas seções: os IA reais e os IA virtuais. Os IA reais correspondem aos resultados obtidos a partir da emissão dos monossílabos na sala real, enquanto os IA virtuais são obtidos a partir de simulação computacional e posteriormente aplicados, via fones de ouvido equalizados, às mesmas pessoas.

Duas salas distintas foram ensaiadas, sendo uma sala de aula do Instituto Politécnico, Campus regional da UERJ em nova Friburgo, e o teatro de um antigo colégio na mesma cidade. Na primeira sala foram obtidos os IAs reais e virtuais para três níveis de ruído, sendo eles: o próprio ruído de fundo da sala; um ruído rosa considerado baixo (NPS de 60 dB a 1 m da fonte); e um ruído rosa considerado alto (NPS de 65 dB a 1 m da fonte). No teatro foram obtidos apenas os IAs reais e virtuais com o ruído de fundo naturalmente presente na sala. O objetivo do ensaio no teatro é avaliar a influência da reverberação na

inteligibilidade tanto a partir do IA real quanto o IA virtual.

A comparação dos resultados obtidos permite afirmar que os índices de articulação são métricas confiáveis para a validação de aurilizações, uma vez que foram obtidos erros menores que 5% (cinco por cento) entre os IA reais e os virtuais.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia geral adotada neste trabalho segue os passos descritos em MELO *et al.*, 2014.

### 2.1 Testes de articulação reais

Os testes de articulação reais foram conduzidos em uma sala de aula do Instituto Politécnico, campus da UERJ, e no teatro do Colégio Anchieta (CA), ambos localizados em Nova Friburgo. Nesses testes, listas com cem monossílabos gravadas em câmara anecoica foram emitidas por um orador artificial, ver Fig. 1. A utilização do orador oferece duas vantagens. Em primeiro lugar, o nível sonoro das listas de palavras pode ser mantido constante durante todo o teste. Por outro lado, a leitura labial – que prejudicaria a avaliação de inteligibilidade – fica inviável com o uso do equipamento.



**Figura 1:** Orador artificial utilizado nos testes de articulação.

Fonte: Os autores.

Na sala do IPRJ, havia cerca de 40 estudantes universitários voluntários que anotavam os monossílabos ouvidos em formulários próprios. Já no teatro do colégio Anchieta, mostrado na Fig. 2, havia também cerca de 40 voluntários distribuídos no espaço de maneira razoavelmente uniforme. Os voluntários presentes no teatro foram alunos do terceiro ano do ensino médio do próprio colégio. Pode-se observar na figura a cabeça artificial que foi utilizada para a gravação de todos os sinais, inclusive o ruído de fundo.



**Figura 2:** Testes de articulação real realizados no teatro do colégio Anchieta

Fonte: Os autores.

Na sala de aula do IPRJ, a emissão das listas foi realizada com nível sonoro ( $L_{eq}$ ) de 75 dB a 1 m de distância do orador, em três situações distintas, como já mencionado. A primeira delas foi apenas sob a influência do ruído de fundo da sala. A segunda foi sob a influência de ruído baixo, onde um gerador de sinais ligado a uma caixa de som amplificada emitia ruído rosa em nível sonoro ( $L_{eq}$ ), a 1 m de distância do centro da caixa, de 60 dB. A terceira sob a influência de ruído alto, onde o mesmo gerador de sinais ligado a uma caixa de som amplificada emitia ruído rosa em nível de 65 dB. O IA foi estimado em cada situação (ruído de fundo e com introdução de ruído rosa baixo e alto).

No teatro houve apenas a emissão das listas com o ruído de fundo próprio do ambiente. Como essa sala é altamente reverberante — o  $T_{30}$  global medido foi de 3,80 s —, esse ambiente foi considerado ideal para se

analisar a influência da reverberação da sala na inteligibilidade da palavra, bem como o seu efeito na auralização da mesma.

É importante salientar que na correção das listas de monossílabos, foi considerada a possibilidade de expressar o mesmo som (o fonema) utilizando diferentes grafias, incluindo regionalismos e estrangeirismos como indicam as palavras entre parênteses na Tabela 1. Isso se deve ao fato de que o interesse, no caso, é exclusivamente verificar se o fonema foi devidamente compreendido.

**Tabela 1:** Gabarito de uma das listas contendo 100 monossílabos e algumas variantes de grafia.

1. Lar	26. Bar	51. Véu	76. Dor
2. Foi	27. Caos	52. Seis	77. Lei
3. Bis	28. Fui	53. Mím	78. Rir
4. Gim (Jim)	29. Gel	54. Cru	79. Gás
5. Num	30. Luz	55. Boi	80. Lho
6. Pum	31. Mês	56. Jaz (Jaiz)	81. Seu
7. Ir	32. Plá	57. Tão	82. Tá
8. Mãe	33. Cãs (Cães)	58. Som	83. Vi
9. Teu	34. Run	59. Meu	84. Clô
10. Juz	35. Vil	60. Há (a, ah)	85. Quem
11. Faz (Faiz)	36. Rei	61. Nau (Now)	86. Sal
12. Bom	37. Qual	62. Xis	87. Fã
13. Grau	38. Giz	63. Hei	88. Oi
14. Pois	39. Flor	64. Dois	89. Teus
15. Sem	40. Lhe	65. Fá	90. Voz
16. Chão	41. Eu	66. Ou	91. Pai
17. Deus	42. Mor	67. Chá	92. Mil
18. Mar	43. Fins	68. Noz (Nóis)	93. Cruz
19. Triz	44. Ló	69. Dom	94. Cai
20. Vai	45. Pra	70. Pé	95. Leo (Léu)
21. Par	46. Uns	71. Gil	96. Diz
22. Mel	47. Dar	72. Que	97. Trai
23. Li	48. Sul	73. Fiz	98. Mó
24. Pau	49. Frei	74. Uns	99. Cós
25. Cor	50. Quis (Kiss)	75. Grão	100. Ar

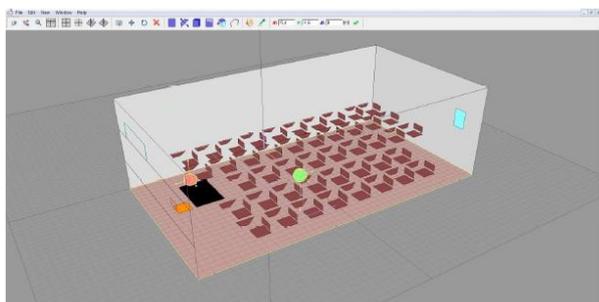
Fonte: Os autores.

## 2.2 Testes de articulação virtuais

O objetivo da modelagem computacional das salas em estudo é obter as respostas impulsivas biauriculares (BIRs) para uma mesma posição de interesse realizada também nos testes de articulação reais. Nas BIRs estão impressas não somente as características da sala, mas também as da audição humana, pois

carrega o modelo das HRTFs (funções de transferência associadas à cabeça humana).

A simulação foi realizada com o código computacional RAIOS 6.10 (*Room Acoustics Integrated and Optimized Software*) atualmente desenvolvido no Laboratório de Instrumentação em Dinâmica, Acústica e Vibrações – LIDAV, do IPRJ, UERJ. O código RAIOS fornece as respostas impulsivas mono e binauriculares para os pontos selecionados dentro da sala simulada, bem como os principais parâmetros acústicos do ambiente, de acordo com a ISO 3382. A sala de aula do IPRJ, modelada no código RAIOS, pode ser vista na Fig. 3.



**Figura 3:** Sala de aula do IPRJ modelada no código computacional RAIOS.

Fonte: Os autores.

A modelagem consiste em um método híbrido que envolve o método de traçado de raios para o cálculo das reflexões especulares e o método de transição de energia para o cálculo de reflexões difusas (TENENBAUM *et al.*, 2007a e 2007b). Em seguida, calcula-se a influência do corpo humano na percepção acústica do indivíduo no ambiente, ou seja, modela as HRTFs que no domínio do tempo correspondem às HRIRs (respostas impulsivas associadas à cabeça humana), para então, a partir da resposta impulsiva (RI) monoauricular, obtida no RAIOS, calcular as BIRs por meio de redes neurais artificiais (HARAZKI *et al.*, 2009 e NARANJO *et al.*, 2013). Em seguida, é realizada a convolução das listas anecoicas com as BIRs obtidas pelo código RAIOS. Essa convolução é realizada no software *Monkey Forest* (MÜLLER, 2008). É necessário ainda acrescentar ao sinal obtido numericamente os diferentes ruídos

presentes no ambiente simulado. Estes são gravados com uma cabeça artificial nas salas vazias.

Para a sala de aula do IPRJ, foi feita a convolução das BIRs com a lista de monossílabos com: a adição do ruído de fundo gravado na sala; a adição de ruído rosa baixo; e do ruído rosa alto, gerando assim três diferentes aurilizações para avaliar a interferência do ruído na inteligibilidade da palavra no ambiente. Já no teatro, foi realizada a convolução da lista de monossílabos com as BIRs geradas pelo código RAIOS e a adição do ruído de fundo gravado no ambiente avaliado.

Finalmente, foram feitos os testes de articulação virtuais no ambiente do LIDAV, como mostra a Fig. 4. As listas convoluídas foram emitidas, por meio de fones de ouvidos equalizados, para voluntários incumbidos da tarefa de escrever os monossílabos que ouviam, computando-se, em seguida, o índice de articulação correspondente.



**Figura 4:** Execução dos testes de articulação virtuais no ambiente do LIDAV. Quatro fones de ouvido emitem simultaneamente o mesmo sinal aos ouvintes.

Fonte: Os autores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados comparativos entre os índices de articulação (IAs) reais e virtuais relativos à sala do IPRJ.

A Tabela 2 mostra os resultados comparativos para a sala com seu ruído de fundo; a Tabela 3 indica os resultados comparativos para a sala

com ruído rosa baixo; e a Tabela 4 indica os resultados comparativos para a sala com ruído rosa alto. A diferença apontada corresponde ao valor percentual do IA real menos o IA virtual.

**Tabela 2:** Comparação entre os IAs reais e virtuais para a sala de aula do IPRJ com seu ruído de fundo.

Lista	IA real (%)	IA virtual (%)	Diferença (%)
Lista 1	95.2	91.1	4.1
Lista 2	97.3	92.4	4.9
Média	96.2	91.7	4.5

Fonte: Os autores.

**Tabela 3:** Comparação entre os IAs reais e virtuais para a sala de aula do IPRJ com ruído rosa baixo.

Lista	IA Real (%)	IA virtual (%)	Diferença (%)
Lista 1	72.7	68.2	4.5
Lista 2	72.6	70.3	2.3
Média	72.6	69.2	3.4

Fonte: Os autores.

**Tabela 4:** Comparação entre os IAs reais e virtuais para a sala de aula do IPRJ com ruído rosa alto.

Lista	IA Real (%)	IA virtual (%)	Diferença (%)
Lista 1	66.2	62.9	3.3
Lista 2	64.3	61.5	2.8
Média	65.2	62.2	3.0

Fonte: Os autores.

Como se depreende das Tabelas 2, 3 e 4, tanto os IAs reais como virtuais pioraram com o aumento do nível de ruído presente na sala. Contudo, na média das duas listas de monossílabos, as diferenças médias foram de 4,5% (ruído de fundo), 3,4% (ruído rosa baixo) e 3,0% (ruído rosa alto), ou seja, sempre valores inferiores a 5%. Portanto, como os resultados oriundos da aurilização — IAs virtuais — mostram-se compatíveis com os reais, as tabelas também indicam que a realidade virtual acústica gerada pelo código computacional RAIOS é fidedigna. Pode-se notar uma diferença considerável na inteligibilidade da palavra na sala depois da

inserção de ruído, confirmando Müller (2005). Os índices de articulação reais que consideraram apenas o ruído de fundo da sala foram sempre maiores que 90%, enquanto os que consideraram ruído rosa baixo ficaram em torno de 72% e os com ruído alto tiveram resultados em torno de 65%. Assim, nota-se uma queda de até 25% no entendimento médio do ouvinte da palavra emitida pelo orador, com a adição de ruído, podendo-se afirmar que este é um fator muito relevante na avaliação da inteligibilidade da palavra em uma sala (SANTOS, 2016).

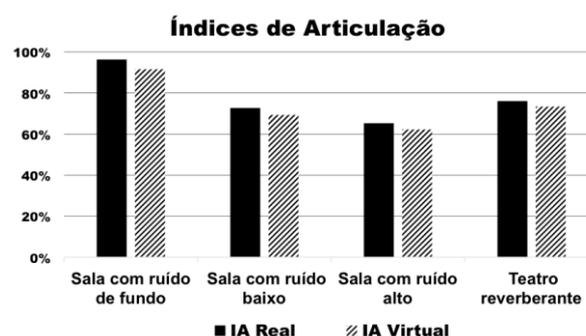
Já para o teatro do Colégio Anchieta, buscando avaliar a interferência da reverberação na inteligibilidade da sala, têm-se os índices de articulação reais e virtuais obtidos apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Comparação entre os IAs reais e virtuais para o teatro, altamente reverberante.

Lista	IA Real (%)	IA virtual (%)	Diferença (%)
Lista 1	73.6	72.0	1.6
Lista 2	78.8	74.9	3.9
Média	76.2	73.5	2.7

Fonte: Os autores.

A dispersão (diferença) média entre os índices reais e virtuais está na faixa de 2,7% indicando a consistência nos resultados. Pode-se notar que a inteligibilidade no teatro, com IA real médio de 76.2%, é comparável à da sala de aula com ruído baixo, apresentando IA de 72.6%. Uma comparação entre todos os IAs médios obtidos no trabalho é apresentada na Fig. 5.



**Figura 5:** Resultados comparativos para os IA das salas testadas.

Fonte: Os autores.

Analisando as tabelas e o gráfico aqui apresentados, pode ser confirmado que os índices de articulação reais foram sempre um pouco maiores que os virtuais. Isso pode ter ocorrido porque nos testes de articulação reais as pessoas mais próximas ao orador tendem a ouvir melhor, se comparadas às que se posicionaram mais distantes dele. Portanto, o IA real é de fato uma média espacial da inteligibilidade. Já no IA virtual, não é feita essa média espacial, sendo gerada uma aurilização para um ponto intermediário, que pode ter uma inteligibilidade pior do que a média espacial. De todo modo, esse é um aspecto a ser melhor investigado.

Como pode ser visto a partir da análise das tabelas apresentadas, os resultados obtidos nos testes de articulação virtuais foram razoavelmente próximos aos reais, com diferenças percentuais menores que 5%. Cumpre notar, contudo, que a maior diferença encontrada entre os IAs para duas listas distintas na mesma sala — o teatro do Colégio Anchieta — foi de 5,2% (78,8 – 73,6), correspondendo, portanto à mesma faixa de incerteza.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com a proposição teórica descrita neste trabalho, pode-se concluir que a utilização de redes neurais artificiais (RNAs) em realidade virtual acústica é promissora. Os resultados dos testes de articulação das salas testadas demonstram que redes neurais bem treinadas são capazes de modelar de forma bastante precisa as funções de transferência associadas à cabeça humana (NARANJO et al., 2013).

Foram feitas avaliações da inteligibilidade da palavra em quatro cenários com condições acústicas distintas. Foi possível observar que a sala de aula do IPRJ é relativamente boa para a compreensão da palavra — em sua condição natural de ruído de fundo — como é esperado para um ambiente acadêmico. Já no caso do teatro do Colégio Anchieta, foi

constatado que este possui inteligibilidade prejudicada devido à sua alta reverberação.

É importante salientar que os experimentos na sala de aula do IPRJ foram realizados em períodos de pouco movimento na universidade. Este cuidado foi tomado porque as salas apresentam isolamento acústico precário, embora possuindo razoável acústica interna.

Em publicações anteriores (MELO et al., 2014 e TENENBAUM et al. 2015), a metodologia de avaliação de realidade virtual acústica via índices de articulação havia sido realizada, porém para salas sem entraves acústicos, ou seja, nem muito reverberantes nem muito ruidosas. Nesses casos, foi verificado que os índices de articulação reais e virtuais eram próximos, também dentro de uma faixa de incerteza inferior a 5%. Neste trabalho, o que foi verificado é que o mesmo sucede tanto para salas reverberantes quanto para salas ruidosas.

Os próximos passos para o processo de validação de realidade virtual acústica devem consistir na realização de testes de articulação virtuais com a inserção de diferentes níveis de ruído para um número maior de salas.

Como é sabido, a audição humana varia com a idade na fase de crescimento (FELS, 2008) e as regiões em frequência de máxima acuidade auditiva dependem da anatomia da cabeça. Desse modo, outra extensão importante deste projeto, seria a modelagem, via RNAs, das funções de transferência associadas à cabeça infantil. Assim, poder-se-ia comparar os testes de articulação provenientes das aurilizações geradas através dessas funções de transferência com os testes de articulação reais realizados por Melo (2012) em salas de ensino fundamental de algumas escolas públicas de Nova Friburgo e Cordeiro, no estado do Rio de Janeiro.

## REFERÊNCIAS

- BERANEK, L. **Concert and Opera Halls: How They Sound**. Acoustical Society of America, Woodbury, 1996.
- FELS, J. **From children to adults: How binaural cues and ear canal impedances grow**. Ph.D. Thesis, Institut für Technische Akustik, Aachen University, Germany, 2008.
- ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382**: Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to others acoustical parameters, 1997.
- HARAZKI, Z.; IANCHIS, D.; TIPONUT, T. Generation of the head related transfer functions using artificial neuronal networks. 13<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Circuits, 114–118, 2009.
- HODGSON, M.; YORK, N.; YANG, W. and BLISS, M. Comparison of predicted, measured and auralized sound fields with respect to speech intelligibility in classrooms using CATT-Acoustic and Odeon. **Acta Acustics united with Acustics**, 94(6), 883–890, 2008.
- MELO, V.S.G. **Avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir de respostas impulsivas biauriculares obtidas com cabeça artificial de dimensões infantis**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- MELO, V.S.G.; TENENBAUM, R.A.; NARANJO, J.F.L. A New Approach to Validate Computer Modeling auralizations by Using Articulation Indexes. **Acústica e Vibrações**, V. 46, 1–8, 2014.
- MÜLLER, S. Medir o STI. **Anais do seminário de música, ciência e tecnologia**, 2, São Paulo, 2005.
- MÜLLER, S. **Monkey Forest User Manual**. Aachen, Germany, Audio & Acoustics Consulting, 2008.
- NARANJO, J.F.L.; TENENBAUM, R.A.; TORRES, J.C.B. Acoustic quality parameters used for error evaluation of neural networks modeling for HRIRs applied to escape training in blind conditions. **Int. Rev. Chem. Eng.**, V. 5(6), 394–399, 2013.
- PENG, J. Feasibility of subjective speech intelligibility assessment based on auralization. **Applied Acoustics**, 66, 591–601, 2005.
- SANTOS, T.C. **Validação de realidade virtual acústica via testes de articulação com ruído**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – UERJ, Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2016.
- SANTOS, L.R. **Validação de realidade virtual acústica via testes de articulação**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – UERJ, Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.
- TENENBAUM, R.A.; CAMILO, T.S.; TORRES, J.C.B. and GERGES, S.N.Y. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics with auralization: Part 1 – Theoretical and numerical aspects. **J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.**, V. 29(2), 211–221, 2007a.
- TENENBAUM, R.A.; CAMILO, T.S.; TORRES, J.C.B. and STUTZ, L.T. Hybrid Method for numerical simulation of room acoustics: Part 2 – Validation of the computational code RAIOS 3. **J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.**, V. 29(2), 222–231, 2007b.
- TENENBAUM, R.A.; MELO, V.S.G. and MUSAFIR, R.E. Intelligibility assessment in elementary school classrooms from binaural room impulse responses measured with a childlike dummy head. **Applied Acoustics**, Vol. 74, 1436–1447, 2013.
- TENENBAUM, R.A.; MELO, V.S.G. and NARANJO, J.F.L. Virtual reality: A new approach to validate computer modeling auralizations by using articulation indexes. In: Cipresso, P. and Serino, S. **Virtual Reality: Technologies, Medical Applications and Challenges**, Nova Publishers, New York, 2015.
- VORLANDER, M. **Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality**. Springer, Berlin, 2008.
- YANG, W.; HODGSON, M. Validation of the auralization technique: Comparative speech intelligibility tests in real virtual classrooms. **Acta Acustica united with Acustica**, 93(6), 991–999, 2007.