

# Ajuste do algoritmo de *loudness* ITU-R BS.1770 baseado em reverberação

Leandro Pires<sup>1</sup>, Maurílio Vieira<sup>2</sup> e Hani Yehia<sup>2</sup>

**Resumo**—Determinar como o modelo de *loudness* BS.1770 para a radiodifusão poderia incluir medidas de objetos sonoros com localizações dinâmicas, é uma questão de estudo em andamento no ITU-R. Este trabalho buscou avaliar o efeito da reverberação na sensação de *loudness* provocada em participantes de um experimento de casamento de *loudness* entre pares de estímulos sonoros. Das respostas dos participantes, derivou-se uma curva de ajuste de ganho para a filtragem psicoacústica do modelo ITU-R. As previsões de ambos os modelos foram então comparadas por suas proximidades em relação aos intervalos de confiança dos ajustes de nível sonoro feitos pelos participantes.

**Palavras-Chave**—*Loudness*, Radiodifusão, Auralização, Áudio Espacial, Testes Subjetivos, Processamento de Sinais.

**Abstract**—How the BS.1770 *loudness* model should include measurements of sound objects with dynamic localization is an ongoing study question at ITU-R. This work assessed the effect of reverberation on the *loudness* sensation provoked on subjects of a *loudness* matching task. From subjects responses, a gain curve was derived to adjust the psychoacoustic filtering of the ITU-R model. Predictions of both models were compared by their proximities to the confidence intervals of the level adjustments made by participants.

**Keywords**—*Loudness*, Broadcasting, Auralization, Spatial Audio, Listening Tests, Signal Processing.

## I. INTRODUÇÃO

A Portaria nº 354/2012 do antigo Ministério das Comunicações que regulamenta a padronização do volume de áudio nos intervalos comerciais da programação dos serviços de radiodifusão no Brasil [1] é baseada na Recomendação ITU-R BS.1770<sup>1</sup> [2], cujo algoritmo multicanal para medida de *loudness* em áudio digital é uma melhor prática para a produção de mídia e um controle de obrigações para os radiodifusores. Normalizar níveis e faixa dinâmica dos conteúdos veiculados, minimiza os saltos de intensidade sonora entre itens de programação – ou entre programas e intervalos comerciais – e consequentemente melhora a qualidade da experiência do telespectador.

Apesar da identificação de pontos de melhoria na regulamentação [3], [4], ela tem sido efetiva no controle da programação da radiodifusão digital terrestre. Contudo, o modelo multicanal de medida foi desenvolvido anteriormente ao advento dos novos formatos de áudio baseado em objetos e cenas para a Televisão em Ultra Alta Definição (UHDTV).

<sup>1</sup>Agência Nacional de Telecomunicações, R. Maranhão, 166 - Santa Efigênia, Belo Horizonte - MG, 30150-330; <sup>2</sup>PPGEE/UFGM: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. E-mails: leandrop@anatel.gov.br, maurilionunesv@gmail.com e hani@cefala.org.

<sup>1</sup>N. dos A.: A Portaria supramencionada cita a 2ª versão da Rec. ITU-R BS.1770, de 2011. O documento atualmente encontra-se em sua 4ª versão.

Como o algoritmo poderia incluir medidas de objetos sonoros com localizações dinâmicas é uma questão de estudo no âmbito do ITU-R, e o estudo da relação do *loudness* com parâmetros posicionais é o retrato global no qual esta pesquisa se insere. Estudos progressos revelaram que há uma relação inversa entre a sensação de *loudness* e a distância entre o ouvinte e a fonte sonora que pode ser degradada – ou mesmo terminada – em razão da quantidade de energia reverberante no ambiente de reprodução e/ou no material gravado [5]. Este trabalho foca especificamente nos aspectos de reverberação.

### A. O modelo de *loudness* ITU-R BS.1770

O algoritmo de medida de *loudness* multicanal é composto de quatro estágios: ponderação em frequência pela curva  $K$ , cálculo da média quadrática do sinal em cada canal, soma da energia do sinal nos canais ponderada por direção, e uma função portão para supressão de quadros de silêncio ou de intensidade muito baixa. Os valores absolutos são lidos em LKFS, *Loudness* ponderado pela curva  $K$  e referente ao fundo de escala digital, e os relativos lidos em LU, unidade de *loudness*, sendo 1 LU = 1 dB. Um diagrama em blocos correspondente é ilustrado na Figura 1.

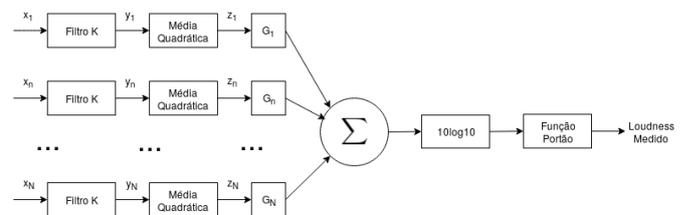


Fig. 1. Diagrama em blocos do modelo de *loudness* multicanal ITU-R BS.1770

Na cadeia de sinal, o nível sonoro contínuo equivalente ( $L_{eq}$ ) é medido em cada canal, após ponderação pela curva  $K$  no primeiro estágio ( $L_{eq}(K)$ ), expresso da forma:

$$z_n = L_{eq}(K) |_{\text{Linear}} = \frac{1}{T} \sum_{m=0}^{M-1} y_n^2[m] = \frac{1}{T} \sum_{m=0}^{M-1} x_{nK}^2[m] \quad (1)$$

onde  $x_{nK}[m]$  é o sinal de entrada ponderado pela curva  $K$ . As contribuições individuais dos canais são então somadas linearmente para resultar numa medida composta de *loudness*  $L_K$  da forma:

$$L_K = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_n G_n \cdot z_n \text{ LKFS}, \quad (2)$$

na qual a constante  $-0,691$  é um ganho de calibração aplicado para compensar os efeitos da filtragem psicoacústica.

### B. Efeito da reverberação

Num trabalho anterior no qual se estudou o efeito da distância fonte-ouvinte percebida em duas salas distintas (uma tratada acusticamente e outra comum), verificou-se que o fator experimental “sala de reprodução” teve um efeito significativo na variável de resposta [ $F_{(1,136)} = 6,38$ ,  $p = 0,0127$ ,  $\eta_p^2 = 0,0448$ ]. O mesmo não pôde ser observado com relação às suas interações, o que sugere que o efeito da energia reverberante no *loudness* é significativo de tal maneira que é indiferente à significância – ou até mesmo à presença – de interações deste com os demais efeitos experimentais [6]. Contudo, seria desejável trabalhar com mais que dois níveis no fator “sala de reprodução” e isto não pôde ser feito no experimento anterior por razões logísticas. Uma possibilidade de superação desta limitação seria via simulação de salas, de tal forma que um participante pudesse executar tarefas de casamento de *loudness* em várias “salas” durante uma única sessão. Um experimento foi então elaborado com este racional.

### C. Pergunta de pesquisa e hipóteses a se testar

Como a sensação de *loudness* é afetada pela variação dos tempos de reverberação nas salas de reprodução? Sons reproduzidos por alto-falantes situados a diferentes direções numa mesma sala, ou situados à mesma direção em salas diferentes, que tenham o mesmo nível de *loudness* medido na posição do ouvinte...

- $H_0$ : ... provocarão a mesma sensação de *loudness*;
- $H_1$ : ... provocarão diferentes sensações de *loudness*.

Note que as hipóteses formuladas contemplam um efeito posicional além do próprio efeito da reverberação. Isto se deve à metodologia experimental escolhida. A próxima seção descreve os procedimentos e métodos usados nesta investigação.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Objetivando testar as hipóteses apresentadas, um experimento de casamento de *loudness* deveria ser desenvolvido tendo em mente um maior número de níveis do fator experimental “sala de reprodução”. Isto foi possível com sínteses biauriculares de sons reproduzidos em diferentes ambientes, caracterizados pelos seus tempos de reverberação.

### A. Respostas Biauriculares das Salas ao Impulso (BRIRs)

Numa escala crescente de reverberação, foi definida a virtualização das seguintes salas: uma de condição anecoica, uma de escuta crítica em conformidade com a Recomendação ITU-R BS.1116 para avaliação de pequenas diferenças sonoras [7] e outras quatro salas comuns não tratadas acusticamente, denominadas A, B, C e D. As capturas das respostas ao impulso foram realizadas a uma taxa de amostragem de 48.000 amostras/s. O alto-falante foi posicionado ao redor de um Simulador de Cabeça e Torso (HATS) num arco no plano médio com 1,5 m de raio entre  $\pm 90^\circ$  e as medidas foram feitas em intervalos de  $15^\circ$ . O eixo acústico do alto-falante foi alinhado à mesma altura das orelhas do manequim.

O  $RT_{60}$  em cada sala – tempo que o som emitido leva para ser atenuado em 60 dB – foi calculado pela média nas faixas

de oitava centradas em 500 Hz e 1 kHz. Os resultados para cada uma das salas virtuais foram 30, 220, 320, 470, 680 e 890 milissegundos, respectivamente.

### B. Estímulos

Localização sonora e escuta espacial podem ser entendidos como efeitos da função de transferência da fonte sonora ao ouvido externo [8], ou em outras palavras, da Função de Transferência Relativa à Cabeça (HRTF). Dada uma coleção de HRTFs de uma sala de reprodução, qualquer direção de incidência sonora nesta sala pode ser simulada, quando uma fonte monofônica  $s(t)$  faz convolução com um par dessas funções de transferência:

$$\begin{cases} p_{\text{ouvido esquerdo}}(t) = s(t) * \text{HRTF}_{\text{ouvido esquerdo}} \\ p_{\text{ouvido direito}}(t) = s(t) * \text{HRTF}_{\text{ouvido direito}} \end{cases} \quad (3)$$

O sinal monofônico  $s(t)$  escolhido foi um ruído rosa entrecortado em intervalos de 20 ms e limitado em faixa entre 200 Hz e 15 kHz, devido às suas características de mesma energia por oitava que o faz igualmente audível em todo o espectro.

### C. Calibração

A calibração foi realizada usando um HATS combinado com um par de fones de ouvido de resposta plana. Os controles de volume foram calibrados tal que o ruído rosa entrecortado com nível de *loudness* de  $-23$  LKFS (valor de referência em [1]) e com uma pressão sonora de 65 dB SPL incidente nos microfones intra-auriculares do manequim, resultou num nível de *loudness* médio de  $-23$  LKFS nos sinais do HATS.

### D. Equipamentos

Os equipamentos usados nesta série de medidas foram os abaixo listados:

- Um par de fones de ouvido de resposta plana *BeyerDynamic DT-150* para reprodução dos estímulos;
- Um Simulador de Cabeça e Torso (HATS) *Cortex MK2* para calibração dos sinais de referência;
- Um conversor analógico-digital *RME Audio Fireface 800* para gravação dos sinais biauriculares do HATS;
- Um controlador *Griffin Powermate* para ajustes de nível;
- Um MacBook Pro com *MaxMSP®* e *MATLAB®*;
- Um MacBook Pro para operação remota do anterior.

### E. Apresentação dos estímulos

O formato das respostas é produto do método de ajuste da psicoacústica. Os participantes foram solicitados a casar o *loudness* de um som de teste com o *loudness* de um som de referência. Este último corresponde à “incidência frontal”, isto é, uma síntese biauricular do sinal  $s(t)$  com as HRTF( $0^\circ, 0^\circ$ ). Já o som de teste corresponde à “incidência lateral”: a síntese biauricular feita com a HRTF( $\vartheta, 0^\circ$ ) para um dado  $\theta = \vartheta$ . O conjunto de respostas dos participantes foi então constituído pelas diferenças em dB entre os níveis sonoros dos sinais laterais ajustados pelos participantes e os dos sinais de incidência frontal.

Os sinais eram intercambiáveis a qualquer tempo com algum *cross-fade* e reproduzidos continuamente durante o ajuste com entrecortes de 500 ms. A ordem com que cada participante executou a tarefa para cada fonte sonora específica de uma sala/direção é aleatorizada. Para cada tentativa de casamento de *loudness*, o par de sons (teste, referência) são da mesma sala virtual. Um projeto experimental do tipo fatorial completo [9] composto de 8 direções ( $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  e  $\pm 90^\circ$ ) em 6 salas (Anecoica, BS.1116, A, B, C e D) e com uma repetição, resultou em 96 ajustes de nível por participante obtidos numa sessão de 50-60 minutos.

### F. Verificação preliminar

A verificação preliminar objetivou avaliar a duração da sessão, a configuração experimental e a clareza das instruções da interface de usuário. Uma visão exploratória dos dados experimentais – as médias das diferenças em dB entre os sinais lateralmente incidentes casados em *loudness* com os sinais de referência frontalmente incidentes, agrupadas por sala virtual e por azimute – é ilustrada na Figura 2. Os dados obtidos na sala real de escuta crítica BS.1116 foram incluídos a título de comparação com a versão sintetizada da mesma sala.

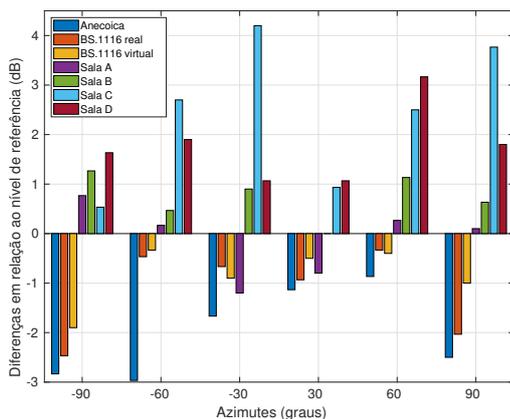


Fig. 2. Médias dos ajustes de nível sonoro em cada sala separados por azimute ( $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$  e  $\pm 90^\circ$ ). Note que a tendência incremental das médias dos ajustes conforme os tempos de reverberação crescentes a cada sala, não parece ser afetada por nenhum azimute em particular.

Os resultados deste teste piloto apontam para uma tendência cuja observação no experimento principal é desejada: a incidência frontal (linha de referência de 0 dB) foi sentida de modo menos intenso nas salas mais “secas” do que nas salas mais reverberantes. Pelo aspecto da Figura 2, esta tendência parece ser insensível às variações de azimute, o que é consistente com as descobertas feitas no experimento em [6] com relação ao efeito de reverberação nos ajustes dos participantes se manifestar de forma independente dos efeitos dos itens de programação e das distâncias, dadas suas interações não significativas. Além disso, a noção intuitiva de que os sinais incidentes nos azimutes mais ipsilaterais ( $\pm 60^\circ$  e  $\pm 90^\circ$ ) necessitariam de ajustes maiores do que os azimutes mais próximos da incidência frontal ( $\pm 30^\circ$ ) foi observada somente nas salas menos reverberantes. Isso sugere a possibilidade de

esta segunda tendência observada ser também afetada pelo crescimento da energia reverberante a cada sala virtual.

## III. COLETA DE DADOS

A coleta de dados deu-se na cabine de áudio do laboratório do Centro de Estudos da Fala, Acústica, Linguagem e Música – CEFALA na UFMG. Tanto os esclarecimentos fornecidos quanto os consentimentos obtidos foram conformes com os requisitos do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade (Art. 10 da Resolução COEP-UFMG no. 510/2016). Os níveis de reprodução sonora estiveram dentro dos limites estabelecidos pela prefeitura do município (Lei Ordinária no. 9.505/2008 do Município de Belo Horizonte) e os dados dos participantes foram processados e guardados conforme a Lei Brasileira de Proteção de Dados (Lei nº 13.709 de 14/08/2018).

Dez estudantes universitários com acuidade auditiva auto-declarada normal participaram do experimento. Nenhum deles tinha experiência prévia com testes de escuta. Os ouvintes “inexperientes” executaram tarefas de casamento de *loudness* no interior da cabine usando o mesmo par de fones de ouvido da etapa de calibração. Os sinais de teste foram ajustados com o controlador USB não rotulado, conforme instruções dispostas na interface gráfica de usuário. Nenhum indicador visual de volume estava disponível para os participantes para evitar vieses decorrentes de escala. Uma fotografia da interface de usuário é disposta na Figura 3.

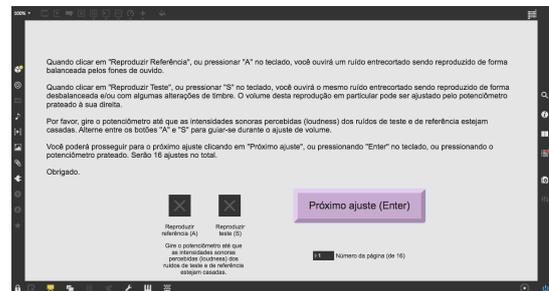


Fig. 3. Patch de MaxMSP® para o teste de escuta. A interface de usuário foi livre de sliders, faders, VUs e qualquer outro indicador de volume para evitar vieses decorrentes de escala.

### A. Desempenho dos participantes

As médias e intervalos de confiança de 95% dos ajustes de nível por participante em todas as salas tiveram uma variabilidade mais acentuada do que no experimento em [6] devido às diferenças entre os ouvintes “treinados” e “inexperientes” e entre as salas reais e virtuais, porém a variabilidade observada foi alta o suficiente para se assumir alguma correlação entre participantes e respostas.

Com um modelo linear de análise de variâncias composto de somente duas variáveis fixas (“sala de reprodução” e “azimute”), faz sentido observar as respostas dos participantes ao longo de todos os níveis destes dois fatores experimentais. Um gráfico em linha caracterizando estas observações é ilustrado na Figura 4. Desvios em relação aos níveis de referência da incidência frontal crescendo conforme a lateralização da incidência sonora eram esperados, porém é possível notar

que as diferenças de ajustes de nível entre incidências mais próximas ( $\pm 30^\circ$ ) e mais distantes da referência frontal ( $\pm 45^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$  e  $\pm 90^\circ$ ) aumentam conforme os tempos de reverberação ficam maiores. Isso sugere que o efeito da interação entre os tratamentos do “azimute” e da “sala de reprodução” seja de tamanho maior do que o efeito da interação entre distâncias e salas no experimento em [6].

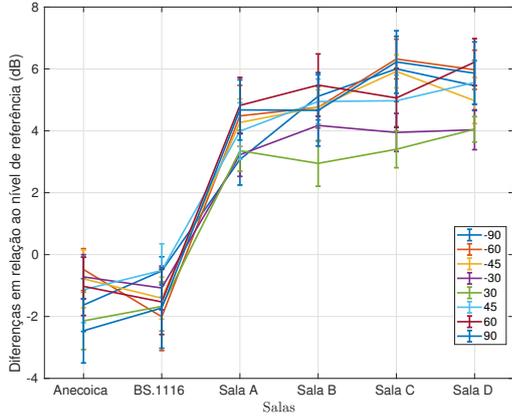


Fig. 4. Gráfico em linha das respostas dos participantes por todos os níveis dos fatores experimentais (salas e azimutes). Com tempos de reverberação mais longos, as diferenças dos ajustes de nível sonoro entre os azimutes mais próximos e os mais distantes da incidência frontal são crescentes.

#### IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Diagramas de caixa dos ajustes de nível sonoro, agrupados por salas de reprodução e superpostos pelas distribuições estimadas para cada grupo, estão ilustrados na Figura 5. Note que para as salas virtuais comuns (A, B, C e D), as medianas crescem até certo ponto, as faixas interquartil ficam mais comprimidas e as distribuições estimadas têm cauda menor, destacando uma tendência à invariância de *loudness* com a energia reverberante observada no experimento em [6].

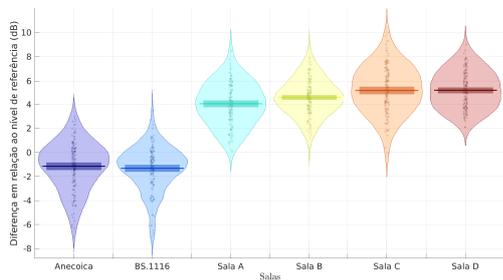


Fig. 5. Diagrama de caixa de ajustes de nível sonoro agrupados por fator “sala de reprodução”. Tempos de reverberação mais longos levam a distribuições mais compactas.

Os dados foram então ajustados a um modelo linear ANOVA de efeitos mistos para duas vias, de matrizes de covariância com correções “White-Huber” de heteroscedasticidade [10]. A hipótese nula foi rejeitada ao intervalo de confiança de 95% no tratamento dos dois fatores experimentais (tempos de reverberação e direções) e suas interações.

O teste resultou num efeito muito significativo do fator “sala de reprodução” e de tamanho muito grande [ $F_{(5,898)} = 100,32$ ,  $p < 0,001$ ,  $\omega^2 = 0,721$ ]. Por outro lado, o efeito do fator “azimute” foi observado como sendo significativo, porém com um tamanho de efeito muito menor [ $F_{(7,898)} = 2,88$ ,  $p = 0,006$ ,  $\omega^2 = 0,018$ ]. A interação entre os efeitos dos dois fatores experimentais foi muito significativa, mas também com um tamanho de efeito muito menor que o do fator “sala de reprodução” [ $F_{(35,898)} = 3,86$ ,  $p < 0,001$ ,  $\omega^2 = 0,023$ ]. A significância de ambos os efeitos e sua interação já era esperada com base na análise exploratória, mas a comparação entre as médias ao longo de todos os níveis dos fatores experimentais atesta para a dominância dos tempos de reverberação das salas sobre os azimutes (e sobre suas interações) neste experimento.

Comparações par-a-par entre os fatores experimentais ao longo de seus diferentes níveis foram consistentes com os tamanhos de efeito observados. Para o fator “sala de reprodução”, apenas as salas com tempos de reverberação próximos aos extremos foram observadas com diferenças não significativas na variável de resposta: BS.1116 vs. anecoica ( $p = 0,734$ ) e sala C vs. sala D ( $p = 0,133$ ). Já para o fator “azimute”, poucas comparações reportaram diferenças significativas na variável de resposta:  $+90^\circ / -60^\circ$  ( $p = 0,0180$ ),  $+90^\circ / -45^\circ$  ( $p = 0,0327$ ),  $+90^\circ / -30^\circ$  ( $p = 0,0159$ ) e  $+90^\circ / +60^\circ$  ( $p = 0,0375$ ).

#### V. MODELO DE LOUDNESS ITU-R COMO FUNÇÃO DA REVERBERAÇÃO

##### A. Curva de correção de ganho

Muito embora uma interação entre reverberação e azimute tenha sido observada de modo muito significativo, o efeito da sala de reprodução teve um *F-score* e um tamanho de efeito bem maiores se comparados aos do efeito do azimute e interações. Logo, é razoável considerar uma correção da curva *K* baseada somente nos tempos de reverberação e nas respostas dos participantes. Pares de dados da forma (tempos de reverberação, médias dos participantes) foram ajustados a uma interpolação *spline* cúbica, resultando numa função polinomial por partes da forma:

$$\begin{cases} 202,7089t^3 + 0,9983t - 1,5823, & 0,03 \leq t < 0,22, \\ -710,9374t^3 + 115,5441t^2 + 22,9517t - 0,0023, & 0,22 \leq t < 0,32, \\ 159,7207t^3 + 97,7371t^2 + 24,7324t + 2,7374, & 0,32 \leq t < 0,47, \\ 37,1978t^3 - 25,8628t^2 + 6,1924t + 4,7872, & 0,47 \leq t < 0,68, \\ 3,8542t^3 - 2,4281t^2 + 0,2513t + 5,2916, & 0,68 \leq t < 0,89, \end{cases} \quad (4)$$

onde  $t$  é o tempo de reverberação  $RT_{60}$  em segundos. Um conjunto de métricas de qualidade de ajuste retornou os seguintes resultados:  $SSE = 3,3927$ ,  $R^2 = 0,9327$ ,  $Adj. R^2 = 0,7375$  e  $RMSE = 1,6266$ .

No espírito desta investigação, ao se considerar também o fator azimute na correção, tem-se a superfície de ganho ilustrada na Figura 6, a partir da qual se observa quão menor foi a influência geral do azimute nas respostas dos participantes se comparada à influência dos tempos de reverberação.

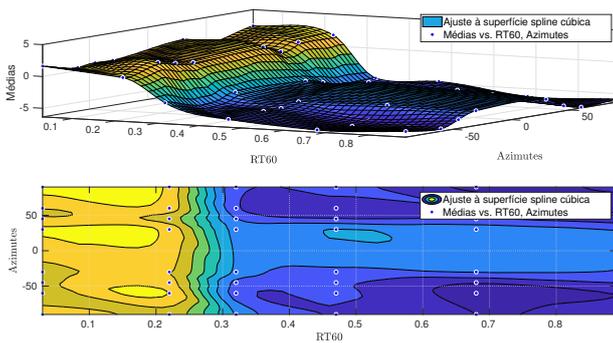


Fig. 6. As médias dos participantes como função dos tempos de reverberação e dos azimutes foram ajustadas a uma superfície *spline* cúbica. Pelo gráfico de contorno, é possível notar que a influência da variação de azimute é bem menor que a dos tempos de reverberação, o que é consistente com os tamanhos de efeito observados na análise de variâncias.

### B. Medidas objetivas

As diferenças entre as medidas feitas pelo modelo ajustado e pelo algoritmo BS.1770 em unidades de *loudness* (LU) são exibidas na Figura 7. Esta avaliação foi feita utilizando-se os mesmos itens de programação em [6]: um ruído rosa entrecortado e limitado em faixa, um trecho de música *pop* [11], um segmento de fala em língua portuguesa [12] e um ruído ambiental, agora auralizados em relação a cada uma das salas de reprodução.

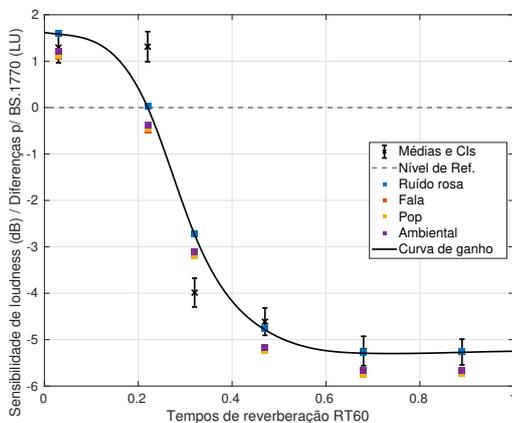


Fig. 7. Diferenças entre as medidas de *loudness* do modelo ajustado e o algoritmo BS.1770, sobrepostas pela curva de correção de ganho e as médias de sensibilidade dos participantes.

As diferenças entre os métodos de predição na Figura 7 foram superpostas pelas médias e intervalos de confiança das respostas dos participantes em dB, assim como pela curva de correção da Figura 6 suavizada na dimensão dos azimutes. A variável de resposta não é expressa aqui pelos ajustes de nível realizados pelos participantes mas sim pelas suas sensibilidades, que podem ser interpretadas como sendo o quanto um sinal sob teste com o mesmo nível digital do sinal de referência deva ser ajustado para ser percebido como tendo o mesmo *loudness* do sinal de referência. Este é o racional para a operação desejada da curva de correção de ganho.

## VI. CONCLUSÃO

A hipótese nula foi rejeitada ao nível de confiança de 95% para todos os fatores experimentais com um efeito muito significativo da energia reverberante nas salas de reprodução ( $p < 0,001$ ), melhor observado em condições experimentais distintas do experimento em [6], nas quais o fator experimental “sala de reprodução” esteve restrito a dois níveis. Esta limitação logística foi superada com a auralização dos estímulos por síntese binaural feita a partir de respostas ao impulso de salas reais, com tempos de reverberação diferentes.

Sendo a reverberação no ambiente responsável por mais de 70% da variância dos dados ( $\omega^2 = 0,721$ ), faz sentido considerá-la numa correção do algoritmo de *loudness* juntamente com a distância do objeto sonoro, estando essas informações disponíveis nos metadados que o acompanhem.

Um efeito direcional significativo foi também observado neste experimento ( $p = 0,006$ ). Apesar deste ter sido de tamanho bem menor que o da energia reverberante, sua presença foi um motivador para se dar continuidade à investigação do efeito direcional na sensação de *loudness* que é um efeito de especial interesse para o cômputo do *loudness* de objetos sonoros. Esta investigação seguirá adiante em trabalhos futuros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Instituto de Gravação de Som da Universidade de Surrey pelas respostas ao impulso das salas comuns e pelos equipamentos utilizados na etapa de calibração do sistema experimental.

## REFERÊNCIAS

- [1] Portaria nº 354, de 11 de julho de 2012, Ministério das Comunicações, Brasília, Jul. 2012.
- [2] ITU-R BS 1770-4: 2015, União Internacional de Telecomunicações - Setor de Radiocomunicação, Genebra, Oct. 2015.
- [3] L. d. S. Pires, M. N. Vieira, and H. C. Yehia, “Controle automático de loudness em conteúdo de formato curto para radiodifusão,” in *Anais do 14o. Congresso de Engenharia de Audio da AES Brasil*, May 2016. [Online]. Available: [http://aesbrasil.org/wp-content/uploads/2016/09/Anais\\_AESBR2016.pdf](http://aesbrasil.org/wp-content/uploads/2016/09/Anais_AESBR2016.pdf)
- [4] L. da S. Pires, M. N. Vieira, and H. C. Yehia, “Automatic loudness control in short-form content for broadcasting,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 141, no. 3, pp. EL287–EL292, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1121/1.4978023>
- [5] P. Zahorik, D. S. Brungart, and A. W. Bronkhorst, “Auditory distance perception in humans: A summary of past and present research,” *ACTA Acustica united with Acustica*, vol. 91, no. 3, pp. 409–420, 2005.
- [6] L. Da Silva Pires, M. Nunes Vieira, H. C. Yehia, A. Mattioli Pasqual, T. Brookes, and R. Mason, “Modelo de distância auditiva percebida para o algoritmo de loudness ITU-R BS. 1770,” *Proceedings of XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, 2018.
- [7] ITU-R BS 1116-3: 2015, União Internacional de Telecomunicações - Setor de Radiocomunicação, Genebra, Feb. 2015.
- [8] M. Vorländer, *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*, ser. RWHedition. Springer Berlin Heidelberg, 2007. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=CuXF3JkTuhAC>
- [9] S. Bech and N. Zacharov, *Perceptual audio evaluation-Theory, method and application*. John Wiley & Sons, 2007.
- [10] J. S. Long and L. H. Ervin, “Using heteroscedasticity consistent standard errors in the linear regression model,” *The American Statistician*, vol. 54, no. 3, pp. 217–224, 2000. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00031305.2000.10474549>
- [11] EBU, *Tech 3253 Sound Quality Assessment Material recordings for subjective tests*, 3rd ed., European Broadcasting Union, Geneva, 1 2008, eBU Tech 3253.
- [12] A. Follador, A. P. Silva, and H. C. Yehia. (2017, may) Base de dados corpus cefala-1. [Online]. Available: <https://www.cefal.org/>