



Influência da incorporação de cobertura na qualidade acústica de teatro de arena

Machado, V.¹; Bertoli, S. R.²

^{1,2} Departamento Arquitetura e Construção / Curso Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, viniciuscampomachado@gmail.com rolla@fec.unicamp.br

Resumo

Estudos sobre a qualidade acústica de espaços abertos não são muito comuns no Brasil. Internacionalmente, é possível encontrar algumas pesquisas realizadas para estudar acusticamente teatros a céu aberto como os teatros gregos e romanos. A UNICAMP possui um Teatro de Arena utilizado para a realização de eventos culturais, acadêmicos e políticos da universidade. Esse Teatro sofreu uma intervenção e recebeu uma cobertura metálica sobre o palco e a audiência. Questiona-se se essa intervenção modificou acusticamente o espaço. Objetivo desse trabalho é mostrar os resultados da comparação de parâmetros acústicos medidos no teatro com e sem cobertura. Medições acústicas empregando o método de resposta impulsiva por meio do programa Dirac foram realizadas para determinação dos parâmetros acústicos: tempo de reverberação, índice de clareza, tempo inicial de decaimento, definição e o índice de transmissão da fala em diversos pontos receptores na área de audiência do Teatro. Os resultados mostraram que a colocação da cobertura promoveu a elevação dos tempos de reverberação e tempo de decaimento inicial e consequente redução dos valores de definição e índice de transmissão da fala prejudicando a inteligibilidade da fala. Por outro lado, pela proximidade da cobertura, as primeiras reflexões foram reforçadas e reduziram o índice de clareza melhorando o espaço para atividades musicais.

Palavras-chave: acústica de espaços abertos, acústica de teatros, teatro de arena, qualidade acústica.

Abstract

Studies on the acoustic quality of open spaces are not very common in Brazil. Internationally, it is possible to find some research carried out to acoustically study open-air theaters such as Greek and Roman theaters. UNICAMP has an Arena Theater used for cultural, academic and political university events. This Theater underwent an intervention and received a metallic covering over the stage and the audience. It is questioned whether this intervention acoustically modified the space. The objective of this work is to show the results of the comparison of acoustic parameters measured in the theater with and without coverage. Acoustic measurements using impulsive response technique with the Dirac program were carried out to determine the acoustic parameters: reverberation time, clarity index, initial decay time, definition and speech transmission index at several receptor points in the Theater's audience area. The results showed that the placement of the cover promoted an increase in reverberation times and initial decay time and consequent reduction in the definition values and speech transmission index, impairing speech intelligibility. On the other hand, due to the proximity of the roof, the first reflections were reinforced and reduced the clarity index, improving the space for musical activities.

Keywords: open space acoustics, theater acoustics, arena theater, acoustic quality.

1. Introdução

Espaços destinados atividades culturais são complexos, pois podem receber tanto apresentações musicais como apresentações teatrais onde a fala é a principal função. Cada uma dessas atividades exige do espaço requisitos acústicos diferentes e específicos. O comportamento do som em um espaço fechado é muito diferente em relação a um espaço aberto.

A história dos teatros começa na Grécia com os teatros gregos a céu aberto construídos nas encostas na forma de arquibancada onde a plateia sentava e no centro desta uma área circular. Esses espaços também eram chamados de anfiteatros. Na Roma Antiga, surgiram os primeiros teatros com cobertura fechada usados para encenações de peças greco-romanas e foram construídos mais anfiteatros que passaram a ser usados para as olimpíadas, lutas entre gladiadores e encenações dos conflitos marítimos. A partir do Renascimento, na Itália e Inglaterra, começaram a ser construídos novos teatros para apresentações teatrais na conformação semelhante como aos que conhecemos hoje com seus diferentes tipos de palco.

É impossível falar sobre teatros ao ar livre sem citar os antigos teatros gregos e romanos que foram relatados por seus desempenhos acústicos elevados. Uma gama de pesquisas vem sendo desenvolvidas com o intuito de identificar a relação entre as características construtivas e a qualidade acústica desses espaços. O projeto ERATO [1] contempla a realização de simulações acústicas em diversos teatros antigos gregos e romanos. Epidauro é um dos exemplos de teatro grego estudado através de análise de medições acústicas [2] e simulação acústica [3], sendo que nos dois casos foi destacada a excepcionalidade da qualidade acústica destes teatros, especialmente na fala e reprodução. Além dos espaços gregos e romanos, os espaços medievais também foram objetos de estudos acústicos, como exemplo pode-se citar Stonehenge, cuja avaliação foi realizada por técnica de resposta impulsiva [4] e reconstruído acusticamente [5].

Vários estudos vêm sendo realizados para entender as propriedades acústicas dos teatros antigos. Grande parte desses estudos é baseada em Métodos de Modelagem Acústica de Salas. Um dos estudos relevantes sobre a acústica de teatros antigos foi publicada por Declercq e Dekeyser [6]. Eles realizaram simulações acústicas em um modelo do Teatro Epidauro usando a modelação acústica geométrica e um método que incorporou várias ordens de difração. Destacam-se também os trabalhos de Farnetani et al. [7], Chourmouziadou e Kang [8], Vassilantonopoulos et al. [9], Lokki et al. [3] e Stamatis et al. [10].

Outro método também bastante empregado para estudos de teatros antigos ao ar livre e sem amplificação é a abordagem de modelo em escala. Prodi et al. [11] construíram um modelo em escala 1: 20 do antigo teatro de Siracusa (Itália) para investigar os efeitos acústicos sobre a audiência devido à inserção de diferentes grupos de painéis refletores dispostos no palco.

No Brasil são raros os estudos acústicos de espaços de apresentação ao ar livre. Motivados por esses trabalhos internacionais foi realizado por Leite et al [12] o estudo acústico no Auditório Beethoven (popularmente conhecido como Concha Acústica do Taquaral), com o objetivo de caracterizar acusticamente o espaço ao ar livre por meio de medição de parâmetros acústicos. Também em 2017, Issamo [13] avaliou acusticamente o Teatro de Arena da UNICAMP.

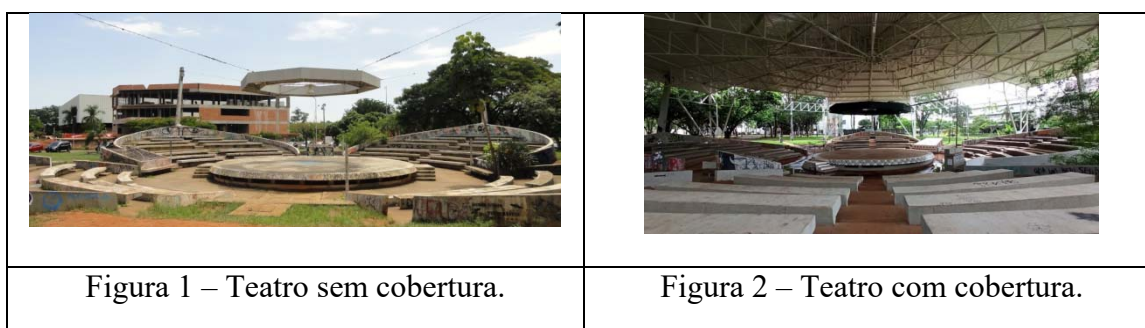
Como parte do projeto de revitalização foi solicitada a realização de uma cobertura para o Teatro de Arena da UNICAMP, de forma a possibilitar sua utilização em condições de chuva ou sol. A cobertura foi executada e o espaço reinaugurado em 2021. Devido a inserção da cobertura metálica no Teatro veio o questionamento de que se o espaço sofreu uma modificação acústica e quanto.

Para responder ao questionamento se a cobertura metálica executada no Teatro de Arena modificou a acústica do local foi realizada uma avaliação acústica do local por meio de medições de parâmetros acústicos nos mesmos pontos receptores utilizados no estudo do local anterior à inserção da cobertura.

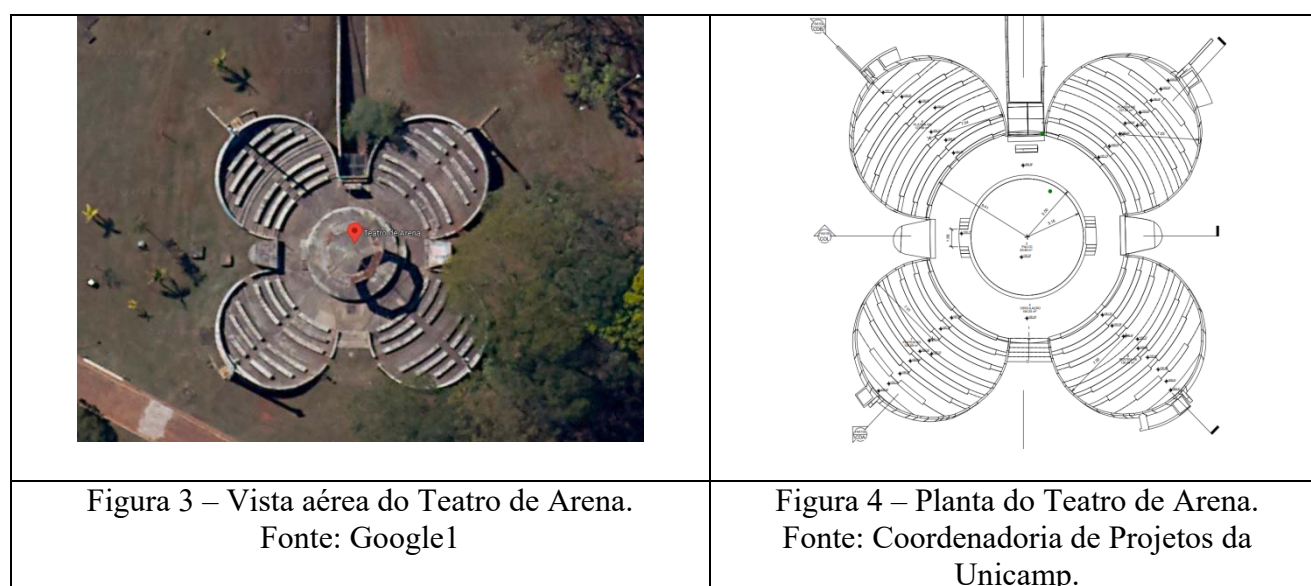
Este trabalho tem como objetivo mostrar a influência da construção de cobertura metálica na qualidade acústica do Teatro de Arena da UNICAMP por meio da comparação de parâmetros acústicos medidos no local com e sem a cobertura.

2. Orientações básicas

O Teatro de Arena da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) está localizado na praça central do Ciclo Básico, próximo a Biblioteca Central Cesar Lattes e ao prédio de salas de aula do Ciclo Básico II. O espaço é utilizado para a realização de eventos culturais, acadêmicos e políticos da universidade. O Teatro é um excelente ambiente para estudos de acústica de teatros ao ar livre. Em 2021, o espaço recebeu uma cobertura metálica o que ampliou seu uso principalmente nos dias ensolarados. As Figuras 1 e 2 mostram fotos do local antes e depois da colocação da cobertura, respectivamente



O Teatro de Arena do Ciclo Básico foi construído em concreto com estrutura composta de 04 pétalas e tem capacidade para aproximadamente 450 pessoas sentadas. As Figuras 3 e 4 mostram vista aérea e a planta do espaço, respectivamente.



¹ <https://www.google.com/maps/place/Teatro+de+Arena/@-22.8164229,-47.0718242,501m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x94c8c14d27824afb:0x351cbc0d8921d6c0!8m2!3d-22.8164661!4d-47.0704434!16s%2F%2F11bxg0m0xx?entry=ttu>

3. Materiais e Métodos

A caracterização acústica do Teatro de Arena da UNICAMP foi realizada por meio de medição de parâmetros acústicos em duas condições diferentes: antes e depois da construção de uma cobertura metálica sobre palco e audiência.

Para as medidas acústicas foi utilizada a técnica de resposta impulsiva empregando o software Dirac de avaliação de acústica de salas. Os parâmetros acústicos medidos foram: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da fala (STI). Utilizando a técnica da resposta impulsiva os parâmetros TR, EDT, C80 e D50 foram medidos em função de frequência em bandas de 1/1 oitava entre 125 Hz e 4.000 Hz. O sistema de medição é composto pelos equipamentos: uma fonte omnidirecional de modelo Type 4296 da Brüel&Kjaer, um amplificador (Brüel&Kjaer 2734), dois microfones, modelo RTA-M-dbx, amplificador e uma placa de áudio PreSonus Audiobox 44VSL.

Os níveis de pressão sonora global e os níveis de pressão sonora máximos, ambos ponderados em A, também foram medidos empregando o sonômetro BK 2238.

Os procedimentos de medição foram realizados com o teatro de arena vazio e de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR ISO 3382-1:2017 [14] quanto as distâncias e posições de fonte e de receptores. No Teatro de Arena da Unicamp foram escolhidas 16 posições de microfone (pontos receptores) distribuídos na audiência e duas posições para posicionamento da fonte sonora no palco. Os pontos receptores e de fonte sonora adotados foram os mesmos para as condições sem e com cobertura. A Figura 5 indica a posição dos pontos escolhidos na medição acústica.

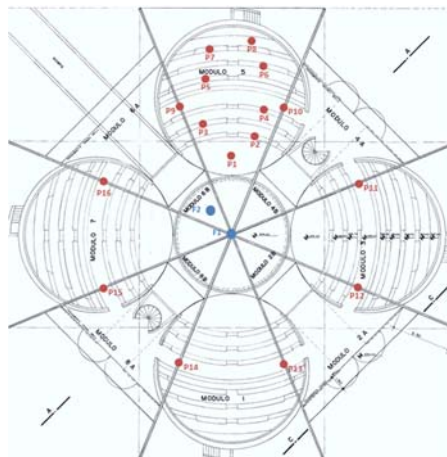


Figura 5 – Localização dos pontos escolhidos para fontes e receptores.

Cabe destacar de que como o Teatro de Arena da Unicamp é composto por quatro módulos (locais destinados aos assentos do público) exatamente iguais, foram escolhidos dez pontos (P1 a P10) em apenas um módulo (procurando abranger a maior área possível) e, para validação de que os dados seriam similares para os três módulos restantes, em cada um dos módulos foram posicionados dois pontos de receptor (P11 a P16). Os pontos adicionais escolhidos estão também representados na Figura 5. As duas posições de fonte (F1 e F2) escolhidas ficam no centro do palco e a segunda um pouco deslocada em relação ao centro do palco, respectivamente.

A avaliação da inteligibilidade foi baseada no Índice de Transmissão da Fala (STI) considerando a classificação da fala segundo os critérios da Tabela 1

Tabela 1 – Qualificação da transmissão da fala em função do STI.

Intervalos	STI < 0,30	0,30<STI<0,45	0,45<STI<0,60	0,60<STI<0,75	STI > 0,75
Qualificação	Ruim	Pobre	Razoável	Boa	Excelente

Fonte IEC 60.268-16:2011 [16].

4. Resultados e discussões

Os resultados obtidos são apresentados por parâmetro, comparando as condições com e sem cobertura e discutidos dentro do próprio item. Tendo em vista a simetria do Teatro verificada com os pontos complementares (P11 a P16), os resultados apresentados para os parâmetros tempo de Reverberação (TR), tempo de Decaimento Inicial (EDT), índice de clareza (C80), definição (D50) e índice de transmissão da fala (STI) será apresentado somente para os pontos receptores P1 a P10.

4.1 Som residual

O som residual no Teatro de Arena foi obtido pela medição do nível de pressão sonora equivalente global ponderado em A (LAeq) e do nível de pressão sonora máximo ponderado em A (LAmáx) no respectivo período de tempo. Na Tabela 2 são apresentados os valores dos níveis sonoros medidos em todos os pontos receptores, nas condições sem e com cobertura. O som residual é dinâmico e, portanto, os valores representam os níveis sonoros medidos no momento das medições.

Tabela 2 –Valores do som residual medidos no Teatro de Arena da Unicamp.

Ponto	Sem cobertura		Com cobertura	
	LAeq (dB)	LAmáx(dB)	LAeq (dB)	LAmáx(dB)
P1	44,4	52,5	47,0	53,7
P2	42,8	54,1	49,2	56,4
P3	53,0	60,7	46,8	52,3
P4	54,6	56,0	45,7	48,5
P5	51,1	55,7	49,4	61,7
P6	52,7	53,9	47,7	51,0
P7	49,8	56,8	47,8	56,6
P8	51,7	60,7	48,0	51,3
P9	52,2	60,0	46,5	51,9
P10	42,1	52,6	46,9	51,9
P11	41,4	47,9	45,6	48,7
P12	38,3	42,0	48,0	55,2
P13	43,5	55,6	47,9	55,7
P14	38,6	49,3	52,6	61,5
P15	39,7	52,4	53,8	63,8
P16	41,2	51,5	47,5	58

4.2 Tempo de reverberação

Os resultados da comparação dos valores de tempos de reverberação medidos em função de frequência, nas condições com cobertura (curvas azuis) e sem cobertura (curvas vermelhas), são apresentados na Figura 6 para as posições de receptor P1 a P10 com a fonte posicionada nos pontos 1 e 2.

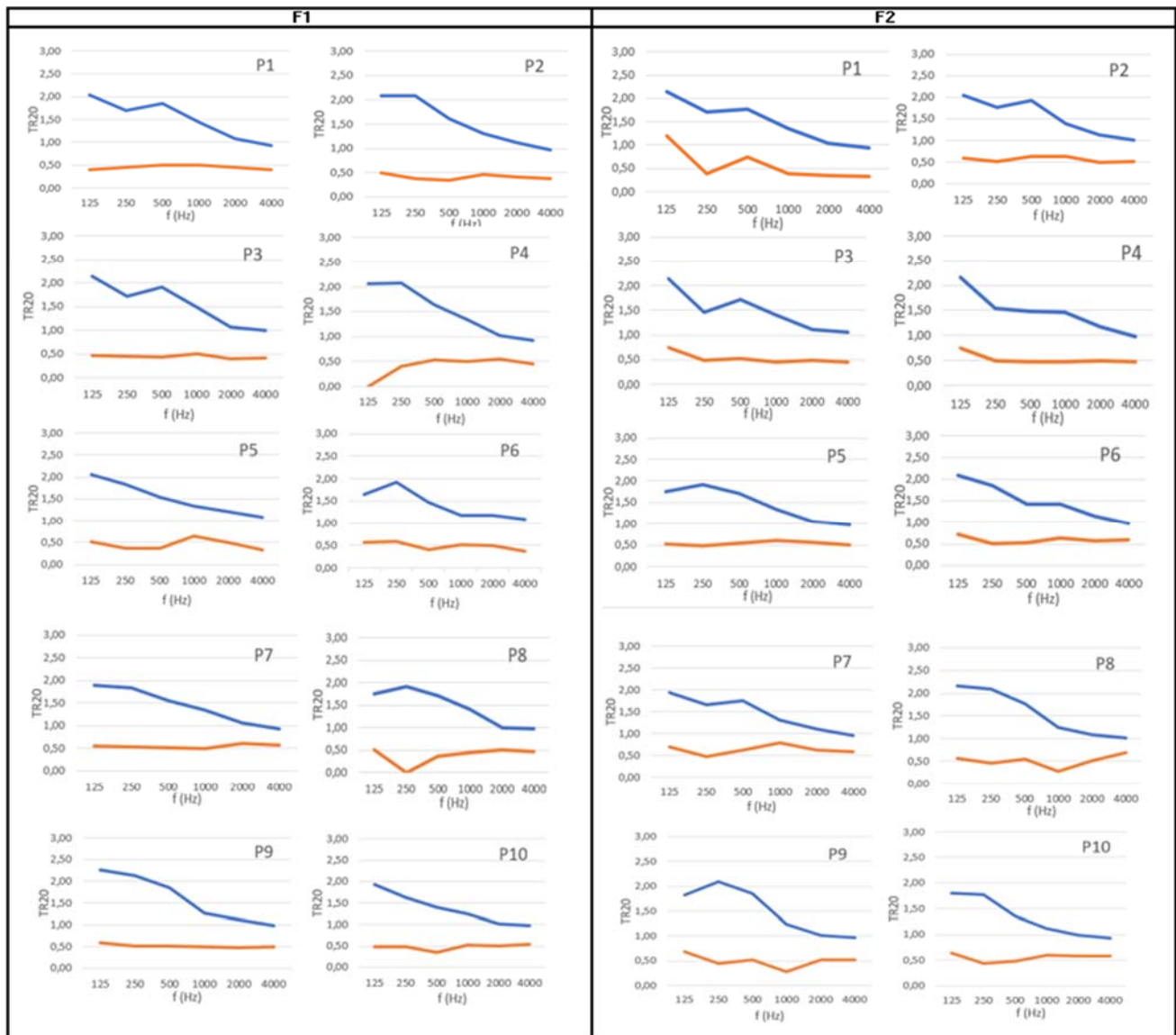


Figura 6 - Tempo de reverberação em função de frequência para receptores de P1 a P10 com a fonte nos pontos 1 e 2.

Os resultados indicam que a colocação da cobertura elevou o tempo de reverberação (curvas azuis) para todos os pontos e para as duas posições de fonte em relação a situação sem cobertura (curvas vermelhas). O resultado era esperado já que a cobertura agora contribui com reflexões que antes não ocorriam. Para a frequência de 500 Hz, o tempo de reverberação passou de 0,5 s para valores que variaram de 1,35 s a 1,93 s. Devido ao aumento do tempo de reverberação as atividades de fala ficaram prejudicadas, mas as atividades musicais de pequenos grupos foram beneficiadas. Observa-se também que em relação às frequências, os valores de TR para as baixas frequências sofreram maior elevação em relação às médias e altas frequências, o que pode estar associado à variação do coeficiente de absorção sonora em função de frequência do material da cobertura.

4.3 Tempo de decaimento inicial

Os resultados da comparação dos valores de tempos de decaimento inicial medidos em função de frequência, nas condições com cobertura (curvas azuis) e sem cobertura (curvas vermelhas), são

apresentados na Figura 7 para as posições de receptor de P1 a P10 com a fonte posicionada nos pontos 1 e 2.

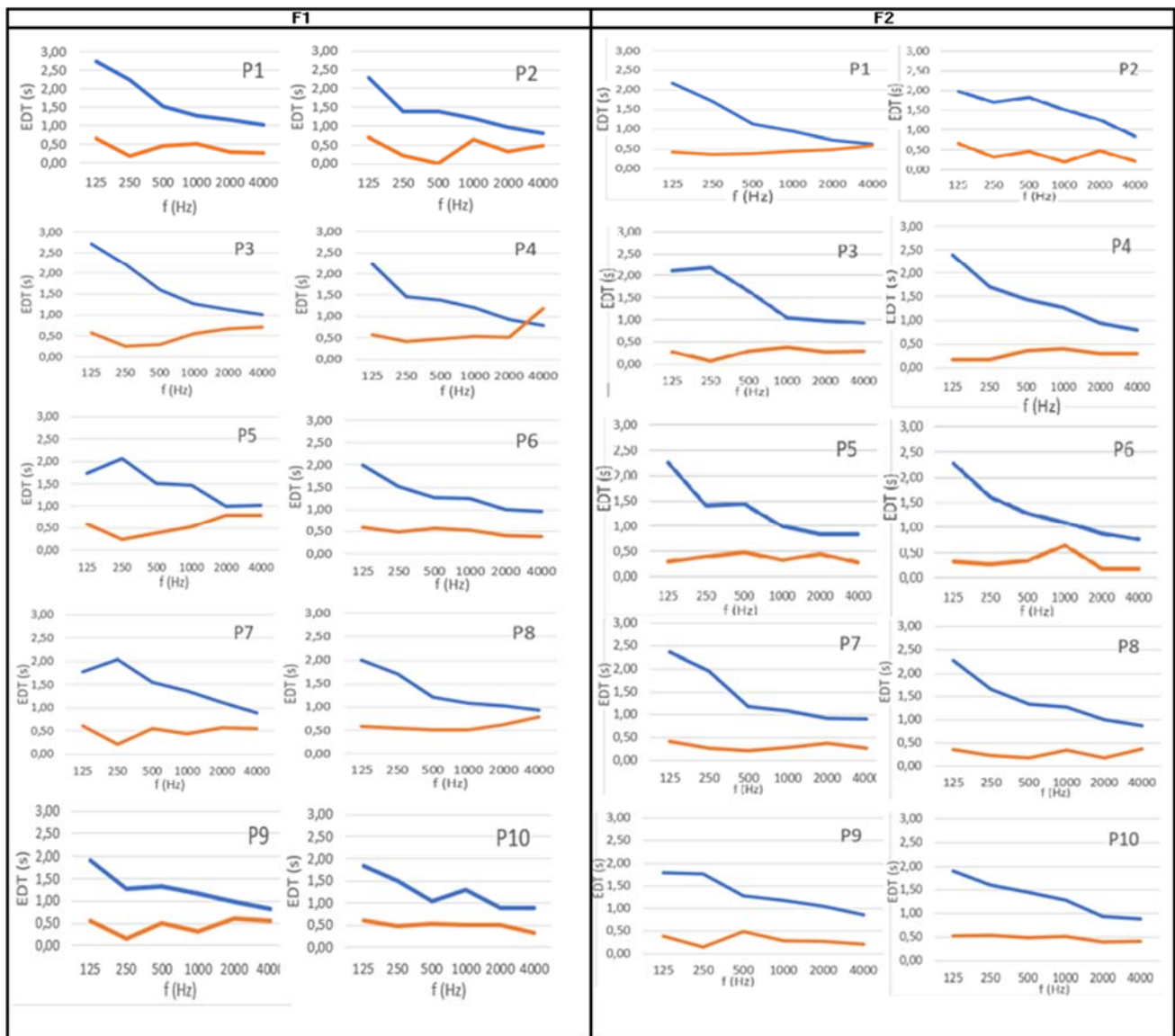


Figura 7 - Tempos de decaimento inicial em função de frequência para os receptores de P1 a P10 com fonte nas posições 1 e 2.

4.4 Índice de clareza

Os resultados da comparação dos valores do índice de clareza medidos em função de frequência, nas condições com cobertura (curvas azuis) e sem cobertura (curvas vermelhas), são apresentados na Figura 8 para as posições de receptor P1 a P10 com a fonte posicionada nos pontos 1 e 2.

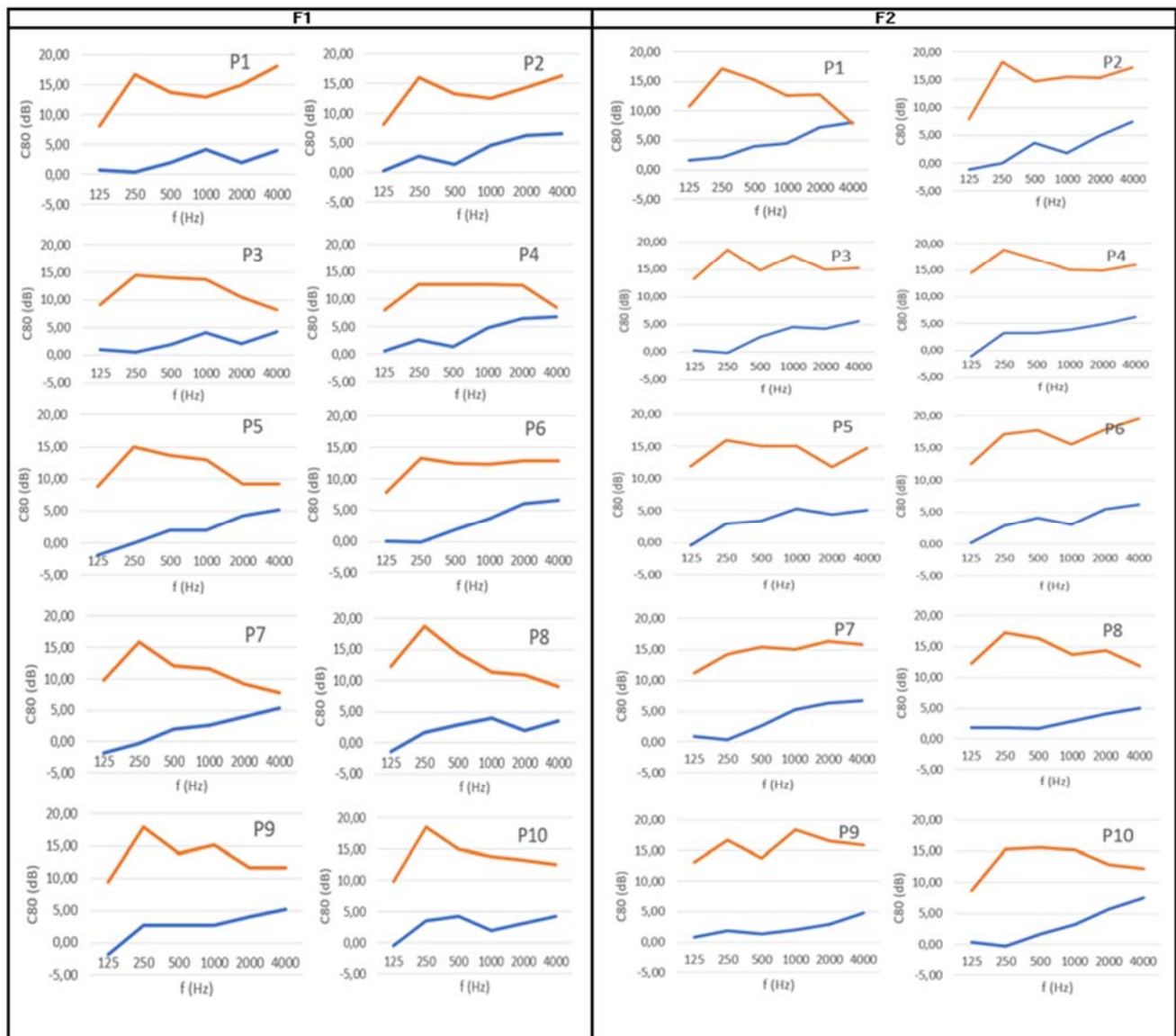


Figura 8 – Índice de clareza em função de frequência para os receptores de P1 a P10 com fonte nas posições 1 e 2.

O índice de clareza (C80) está associado a clareza das atividades musicais realizadas no ambiente. Na literatura [15] valores típicos de C80 devem variar entre -5 dB a + 5 dB. Valores positivos de C80 significam que a quantidade de energia no ponto que ocorre dentro dos primeiros 80ms é maior que a energia restante. Observa-se a inclusão da cobertura reduziu significativamente os valores de C80 para todos os pontos receptores e de fonte sonora trazendo-os para dentro da faixa de valores recomendada. As reflexões promovidas pela cobertura melhoraram a clareza das execuções musicais do Teatro confirmando as modificações ocorridas nos valores de TR.

4.5 Definição

Os resultados da comparação dos valores da definição medidos em função de frequência, nas condições com cobertura (curvas azuis) e sem cobertura (curvas vermelhas), são apresentados na Figura 9 para as posições de receptor de P1 a P10 com a fonte posicionada nos pontos 1 e 2.

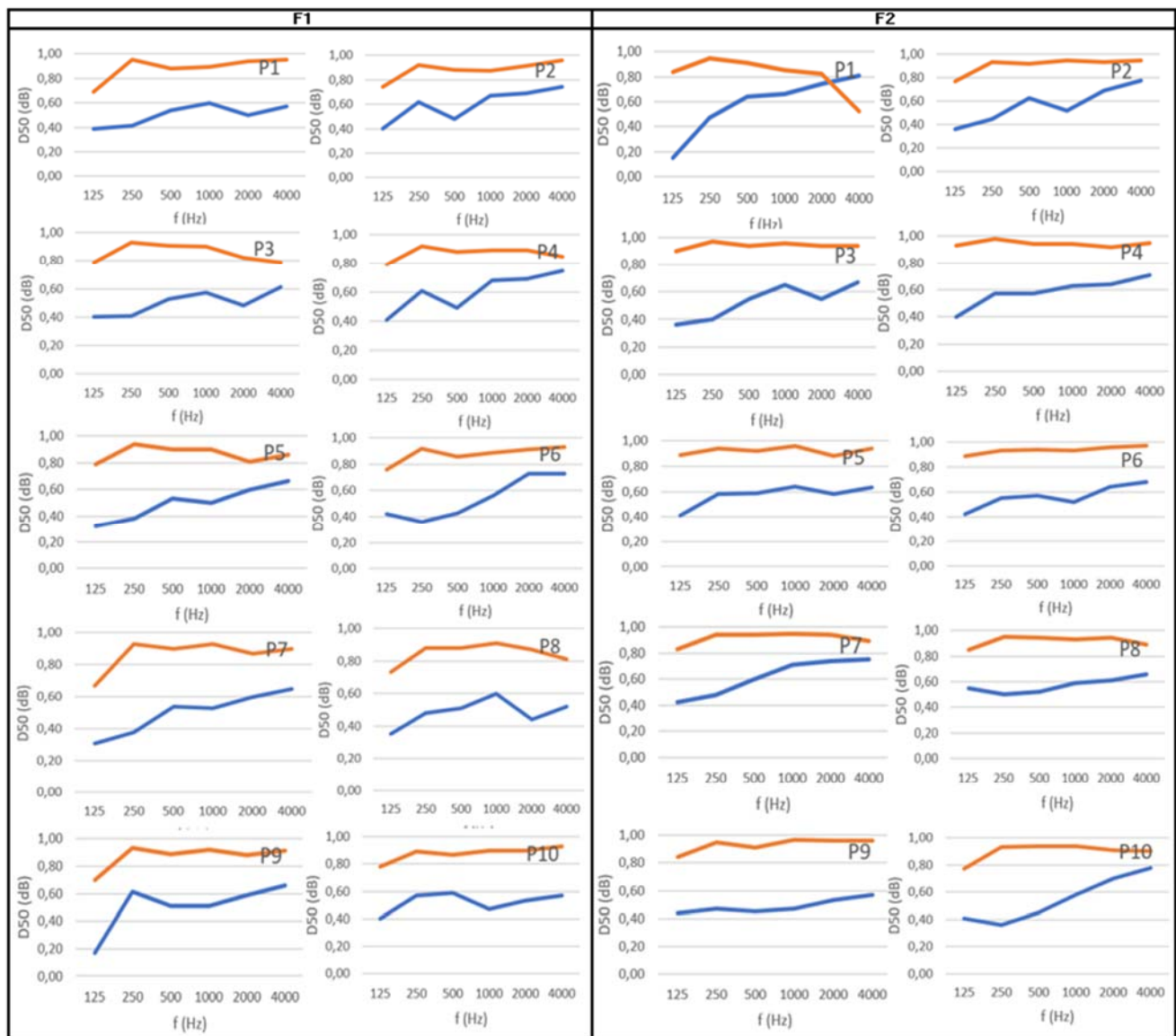


Figura 9 – Definição em função de frequência para receptores de P1 a P10 com fonte na posição F1 e F2.

A definição está associada a inteligibilidade da fala. Quanto mais próximo de um (1), maior é a inteligibilidade da fala no ambiente. Observa-se a inclusão da cobertura reduziu os valores de D50 para todos os pontos receptores e de fonte sonora. Isso representa uma piora na qualidade da fala nesse espaço reforçando a análise feita com os valores de tempo de reverberação encontrados. As reflexões promovidas pela cobertura prejudicaram a qualidade das atividades de fala no Teatro

4.6 Índice de transmissão da fala

A Tabela 3 apresenta os resultados dos índices de inteligibilidade da fala (STI) realizados nas condições com e sem cobertura. Observa-se que os valores de STI obtidos após a colocação da cobertura sofreram uma redução em comparação com os resultados encontrados antes da cobertura.

Na condição com cobertura, para a fonte 1, o índice de transmissão da fala variou entre 0,54 e 0,60 e para a fonte 2 entre 0,53 e 0,63 enquanto para condição sem cobertura para a fonte 1 o índice de transmissão da fala variou entre 0,77 a 0,84 e para a fonte 2 entre 0,75 a 0,89. Considerando a

classificação da fala segundo os critérios da Tabela 1, pode-se afirmar que os resultados passaram da transmissão com qualidade razoável para excelente

Tabela 3: Valores de índice de transmissão de fala (STI) obtidos em função dos pontos receptores para as fontes nas posições 1 e 2 nas condições com e sem cobertura.

STI		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Com cobertura	F1	0,54	0,58	0,54	0,58	0,56	0,58	0,57	0,57	0,57	0,60	0,56	0,57	0,54	0,55	0,54	0,54
	F2	0,63	0,61	0,57	0,59	0,61	0,61	0,61	0,57	0,54	0,59	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,59
Sem cobertura	F1	0,84	0,84	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,81	0,83	0,83	0,86	0,82	0,86	0,79	0,79	0,82
	F2	0,75	0,88	0,86	0,86	0,85	0,89	0,87	0,85	0,87	0,82	0,89	0,82	0,89	0,81	0,84	0,84

5. Conclusões

Da análise dos resultados dos parâmetros acústicos medidos no Teatro de Arena com e sem cobertura fica evidente que a colocação da cobertura metálica do Teatro de Arena gerou impacto nas condições acústicas do espaço. As reflexões geradas pela cobertura promoveram a elevação dos tempos de reverberação e tempo de decaimento inicial e consequente redução dos valores de definição e índice de transmissão da fala prejudicando a inteligibilidade da fala. Por outro lado, pela proximidade da cobertura, as primeiras reflexões foram reforçadas e reduziram o índice de clareza melhorando o espaço para atividades musicais.

Referências

- [1] RINDEL, J. H. *Roman Theatres and Revival of Their Acoustics in the ERATO Project*, Acta Acustica United with Acustica, vol. 99, pag. 21-29, 2013.
- [2] PSARAS, S., HATZIANTONIOU, P., KOUNTOURAS, M., TATLAS, N. A., MOURJOPOULOS, J.N., SKARLATOS, D. *Measurements and Analysis of the Epidaurus Ancient Theatre Acoustics*. Acta Acustica united with Acustica, Volume 99, pp. 30-39, 2013.
- [3] LOKKI, T.; SOUTHERN, A.; SILTANEN, S.; SOVIOJA, L., *Acoustics of Epidaurus – Studies With Room Acoustics Modelling Methods*, Acta Acustica United with Acustica, vol. 99, p. 40-47, 2013.
- [4] LOPEZ, M.; PAULETO, S.; KEARNEY, G. *The Application of Impulse Response Measurement Techniques to the Study of the Acoustics of Stonegate, a Performance Space Used in Medieval English Drama*. Acta Acustica United with Acustica, vol. 99, p. 98-109, 2013.
- [5] FAZENDA, B.; DRUMM, I. *Recreating the Sound of Stonehenge*, Acta Acustica United with Acustica, vol. 99, pag. 110-117, 2013.
- [6] DECLERCQ, N. F., DEKEYSER, C. S. A., *Acoustic diffraction effects at the hellenistic amphitheatre of epidauros: Seat rows responsible for the marvellous acoustics*. Journal of the Acoustical Society of America vol. 121, pag. 2011, 2007.
- [7] FARNETANI, A, Prodi, N., POMPOLI, R., *On the acoustics of ancient greek and roman theatres*. Journal of the Acoustical Society of America vol 124 pag.1557, 2008
- [8] CHOUMOUZIADOU, K., KANG, J., *Acoustic evolution of ancient greek and roman theatres*. Applied Acoustics, vol.69, pag. 514, 2008.
- [9] VASSILANTONOPOULOS, S., HATZIANTONIOU, P., WORLEY, J., MOURJOPOULOS, MERIMAA, J., *The acoustics of Roman Odeion of Patras: comparing simulations and acoustic measurements*. Forum Acusticum Proceedings, Budapest, Hungary, August 29–September 2, pag. 2197, 2005.
- [10] STAMATIS, L., VASSILANTONOPOULOS, S., MOURJOPOULOS, J., *A study of ancient greek and roman theater acoustics*. Acta Acustica United with Acustica vol. 89, pag.123, 2003.
- [11] PRODI, N., FARNETANI, A., FAUSTI, P.; POMPOLI, R., *On the Use of Ancient Open-Air Theatres for Modern Unamplified Performances: A Scale Model Approach*. Acta Acustica United with Acustica, vol. 99, pag.58-63, 2013
- [12] LEITE, João Carlos Campos de Vasconcellos; MAIORINO, Alexandre Virginelli; BERTOLI, Stelamaris Rolla. *Caracterização acústica de espaço aberto com concha acústica: estudo de caso do Auditório Beethoven* In: XXVII Encontro da SOBRAC, 2017, Brasília. Anais... Brasília, Sociedade Brasileira de Acústica, 2017.
- [13] ISSAMO, B. *Avaliação Acústica de Espaços Abertos: O Caso do Teatro de Arena da Unicamp*. Relatório de Iniciação Científica. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2017.

-
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 3382-1. *Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 1: Salas de espetáculos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152 – *Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações*. Rio de Janeiro, 2017
- [16] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60268-16: International Standard: *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*. Suíça, 2011.