



PROPOSTA DE CORREÇÃO ACÚSTICA DO AUDITÓRIO CENTRAL DO CAMPUS PALMAS DO IFTO¹

Liliane Flávia Guimarães da Silva²

¹Pesquisa da autora

²Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Mestre em Desenvolvimento e Meio ambiente. Docente do IFTO. e-mail: lilianeg@ifto.edu.br

Resumo: Este artigo trata da investigação da pesquisadora em estudos para reformas no Campus Palmas do IFTO. Nos estudos foi identificado que no Auditório Central no Campus Palmas do IFTO, a audibilidade encontra-se inadequada devido à presença de materiais de baixa absorção sonora. Propomos a correção acústica baseada na mudança das propriedades dos materiais no ambiente para obter as propriedades acústicas necessárias ao seu uso específico. Com o tempo de reverberação ótimo, o recinto proporcionará as condições ideais de audibilidade.

Palavras-chave: acústica em auditórios, conforto acústico

1. INTRODUÇÃO

Para discutir conforto acústico, tanto na cidade, quanto na edificação, é fundamental que se pense desde o início do projeto para a obtenção da eficiência de uma forma econômica. A intervenção, após o desenvolvimento da cidade e a correção acústica no edifício, depois de realizada sua construção, não permitem soluções simples, geralmente encarecendo o orçamento da proposta. A prevenção torna-se, portanto, a melhor alternativa na obtenção do conforto sonoro. E “prevenir-se” na cidade e no edifício significa “planejar”.

Infelizmente esta não é a prática nos projetos de arquitetura nas cidades brasileiras, salvo as edificações de grande porte as quais se destinam a um público numeroso. No dia-a-dia da prática projetual, as características acústicas dos ambientes são desconsideradas devido ao elevado custo de alguns materiais normalmente utilizados no isolamento acústico. De certo que, nos projetos em que o isolamento sonoro é indispensável, o custo da obra sofre aumento, porém, a intervenção posterior é muito mais onerosa, pois inibe soluções simples, como por exemplo, o tratamento da forma dos recintos, a correta distribuição dos ambientes, entre outras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Segundo De Marco (1982, p.95), “o projeto de auditórios é um dos mais complexos dentro da acústica arquitetônica” e um dos problemas básicos a serem enfrentados é a redução do ruído a níveis muito baixos, tanto os ruídos externos quanto internos. O projeto de auditórios exige um cálculo preciso das características absorventes e reflectantes dos materiais de acabamento para um uso específico. Numa intervenção em um auditório existente a tarefa torna-se ainda mais árdua.

Baseado no método em De Marco (1982), a pesquisa foi dividida em três fases: a primeira foi o levantamento de dados, dimensionamento e materiais existentes no auditório em estudo; em seguida foi realizada a análise do tempo de reverberação existente no recinto; na terceira e última fase ocorreu a avaliação comparativa através de simulações (teórico-calculadas) de inserção de diversos materiais para correção acústica do auditório, para obtenção do tempo de reverberação ideal para seu uso, ou seja, para voz falada.

As características de um auditório para voz falada e de um auditório para concertos é totalmente diferente. A voz falada requer um tempo de reverberação menor e raios sonoros o mais diretos quanto possível. A inteligibilidade de um auditório para a voz falada baseia-se no reconhecimento das consoantes, portanto, uma reverberação excessiva impede a correta percepção do texto. No caso de auditórios para música o tempo de reverberação é maior, ou seja, o som permanece mais tempo no ambiente, mesmo após cessar a fonte sonora.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correção acústica baseia-se na mudança das propriedades dos materiais no ambiente para obter as propriedades acústicas necessárias ao seu uso específico, além de incluir, quando possível, o correto isolamento das fontes de ruído e em casos extremos, da proteção do receptor. A seleção e distribuição correta de materiais absorventes e refletores proporcionam as condições ótimas de audibilidade, atingindo o tempo de reverberação ótimo, que é o tempo necessário para que o nível do som seja reduzido em 60 dB a partir do momento em que cessa a fonte sonora (De Marco, 1982, p.40). A correção inclui ainda a inspeção das propriedades acústicas do ambiente, após a intervenção no mesmo, para verificar se as condições estão realmente satisfatórias. O auditório em estudo possui as seguintes características:

Tabela 1 – Características do Ambiente Existente

Característica	Quantidade
Capacidade:	240 lugares
Volume:	1450,00 m ³
Piso palco em assoalho de madeira:	70,00 m ²
Piso e Rampas em carpete simples:	245,00 m ²
Parede frontal (palco) em alvenaria pintada – P1:	35,00 m ²
Parede lateral direita em alvenaria pintada – P2:	114,00 m ²
Parede lateral esquerda em alvenaria pintada – P3:	114,00 m ²
Parede de fundo (sala de controle) em alvenaria pintada – P4:	30,00 m ²
Esquadria com vidro simples (sala de controle):	4,80 m ²
Portas de acesso em madeira compensada pintada:	6,30 m ²
Fôrro em gesso:	380,00 m ²

Para a correção do auditório necessita-se ainda o cálculo do tempo de reverberação. Como este ambiente destina-se a apresentação de texto falado, necessita-se de menos reverberação que a música e o teatro, por exemplo. Define-se o tempo de reverberação ótimo em função do volume e do uso a que se destina o auditório.

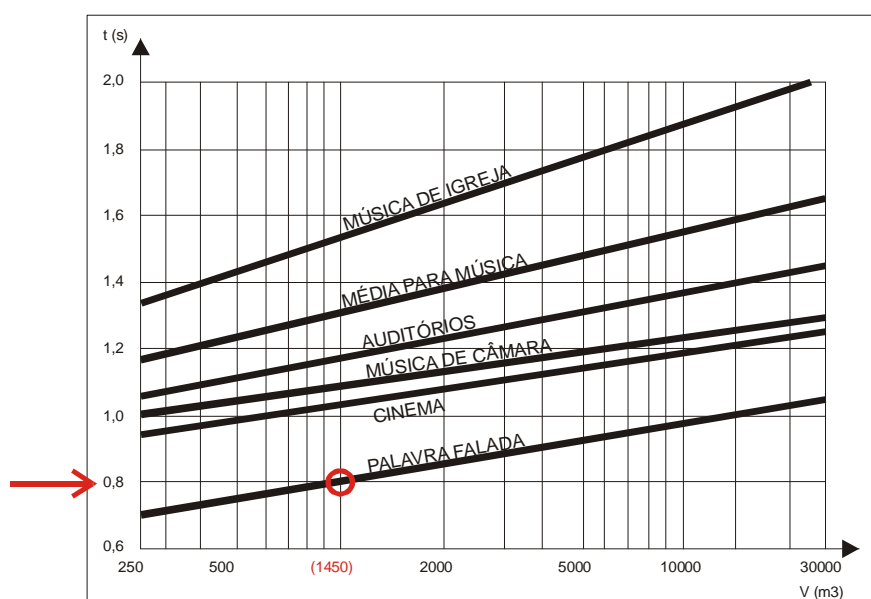


Figura 1 – Tempos ótimos de reverberação
Fonte: De Marco (1982)



Segundo indicação de De Marco (1982, p. 40), o cálculo deve ser efetuado para no mínimo três frequências. Foram então selecionadas as frequências da fala: 125, 500 e 2000 Hz (Santos, 1997, p.189). A partir do ábaco acima (De Marco, 1982, p. 40) e do volume do auditório em estudo, podemos definir o tempo ótimo de reverberação para a frequência 500 Hz. Vale salientar que como o auditório do Campus Palmas do IFTO não se destina à apresentação de concertos de música ou teatro, sendo utilizado exclusivamente para aulas e exposições entre outras atividades apenas com a palavra.

Sendo assim, utilizamos a referência da tabela para a palavra falada, encontrando um tempo ótimo de 0,7s, conforme Figura 1. Para obter os valores referentes a outras frequências aplicamos o fator de correção, de acordo com o gráfico da Figura 2.

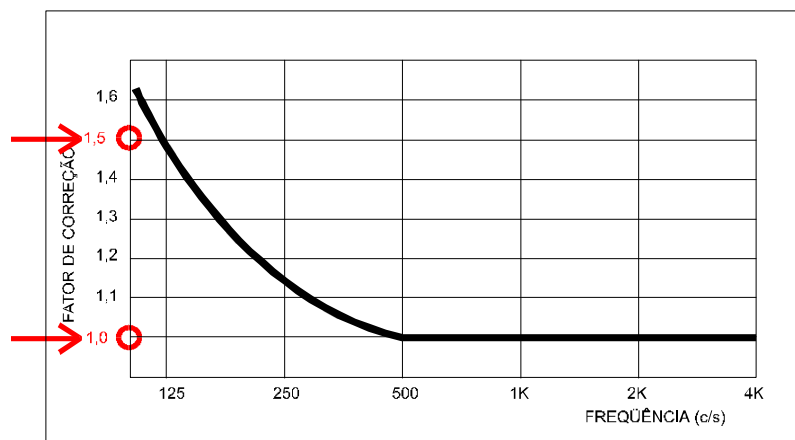


Figura 2 – Correção dos tempos de reverberação
Fonte: De Marco (1982)

O tempo ótimo corrigido para cada frequência é, portanto:

Tabela 2 – Tempo ótimo corrigido para cada frequência

Frequência (c/s)	Fator de correção	Tempo ótimo corrigido
125	1,5	1,2
500	1,0	0,8
2000	1,0	0,8

De acordo com a NBR 12179/90, calculamos os coeficientes de absorção e o tempo de reverberação a partir da equação de Sabine: $t_r = \frac{0,161V}{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots}$.

onde: t_r = tempo de reverberação do recinto

V = volume do recinto

$S_n\alpha_n$ = área das superfícies e seu respectivo coeficiente de absorção

O cálculo foi realizado considerando-se duas situações: sala cheia e sala vazia. Segundo De Marco (1982, p.99), a diferença entre o tempo de reverberação com a sala cheia e com a sala vazia não deve exceder 0,2s. Para que os cálculos possam ser considerados aceitáveis, o referido autor (1982, p.102) recomenda uma diferença menor que 0,1 s entre os tempos de reverberação ideal e o tempo de reverberação calculado. Obtendo-se os valores parciais do coeficiente de absorção de cada material na NBR 12179/92 e em bibliografias especializadas, obtemos as absorções parciais e o tempo de reverberação com os seguintes coeficientes:



Tabela 3 – Cálculo do tempo de reverberação existente no recinto

Material	Área (m ²) ou n ^o	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
ar	1450,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	14,50	
Piso palco em assoalho de madeira	70,00	0,04	2,80	0,03	2,10	0,03	2,10	
Piso e Rampas em carpete	245,00	0,10	24,50	0,25	61,25	0,40	98,00	
Parede 1 em alvenaria pintada	35,00	0,01	0,35	0,02	0,70	0,02	0,70	
Parede 2 em alvenaria pintada	114,00	0,01	1,14	0,02	2,28	0,02	2,28	
Parede 3 em alvenaria pintada	114,00	0,01	1,14	0,02	2,28	0,02	2,28	
Parede 4 em alvenaria pintada	30,00	0,01	0,30	0,02	0,60	0,02	0,60	
Esquadria com vidro simples	4,80	0,00	0,00	0,03	0,14	0,00	0,00	
Portas em compensado de madeira	6,30	0,14	0,88	0,06	0,38	0,10	0,63	
Forro em gesso	380,00	0,02	7,60	0,02	7,60	0,03	11,40	
pessoas (sala cheia)	240,00	0,28	67,20	0,40	96,00	0,44	105,60	
cadeiras com tecido (sala vazia)	240,00	0,13	31,20	0,20	48,00	0,25	60,00	
diferença entre t _r sala vazia e t _r cheia			1,14		0,52		0,23	máximo 0,2s
diferença entre t _r ideal e t _r sala cheia			1,00		0,55		0,18	máximo 0,1s
diferença entre t _r ideal e t _r sala vazia			2,14		1,06		0,41	máximo 0,1s

Não devemos esquecer que este é um cálculo aproximado, segundo De Marco (1982, p.43), não existe ainda no Brasil nenhuma medição sistemática sobre materiais brasileiros, apenas valores aproximados tirados de diferentes publicações estrangeiras.

Podemos perceber que a diferença entre o tempo de reverberação entre a sala cheia e a sala vazia encontra-se maior que 0,2s em todas as frequências, principalmente nas frequências baixas, a 125 Hz, não podendo ser considerada adequada. A diferença entre os tempos de reverberação ideal e a sala vazia e a sala cheia encontra-se maior que 0,1 segundos, fora de padrões aceitáveis.

Verificamos, portanto, que é necessário o tratamento acústico nas superfícies do auditório com a utilização de materiais de maior absorção acústica em todas as frequências. As simulações partiram do princípio da economicidade, portanto, mantendo a maior parte dos materiais existentes que possam resultar em alto custo para a reforma, como teto e piso. As paredes foram o foco das simulações. A parede 1, no palco, também foi mantida com o material original (alvenaria pintada).

Partindo do material existente no recinto, simulamos a introdução do mesmo material absorvente existente no piso, o carpete. Os cálculos realizados estão demonstrados na tabela 4, abaixo:

Tabela 4 – Cálculo do tempo de reverberação após simulação de intervenção no recinto com material absorvente - carpete

Material	Área (m ²) ou n ^o	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
ar	1450,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	14,50	
Piso palco em assoalho de madeira	70,00	0,04	2,80	0,03	2,10	0,03	2,10	
Piso e Rampas em carpete	245,00	0,10	24,50	0,25	61,25	0,40	98,00	
Parede 1 em alvenaria pintada	35,00	0,01	0,35	0,02	0,70	0,02	0,70	
<i>Parede 2 em carpete</i>	<i>114,00</i>	<i>0,10</i>	<i>11,40</i>	<i>0,62</i>	<i>70,68</i>	<i>0,40</i>	<i>45,60</i>	
<i>Parede 3 em carpete</i>	<i>114,00</i>	<i>0,10</i>	<i>11,40</i>	<i>0,25</i>	<i>28,50</i>	<i>0,40</i>	<i>45,60</i>	
<i>Parede 4 em carpete</i>	<i>30,00</i>	<i>0,10</i>	<i>3,00</i>	<i>0,25</i>	<i>7,50</i>	<i>0,40</i>	<i>12,00</i>	



Esquadria com vidro simples	4,80	0,00	0,00	0,03	0,14	0,00	0,00	
Portas em compensado de madeira	6,30	0,14	0,88	0,06	0,38	0,10	0,63	
Forro em gesso	380,00	0,02	7,60	0,02	7,60	0,03	11,40	
pessoas (sala cheia)	240,00	0,28	67,20	0,40	96,00	0,44	105,60	
cadeiras com tecido (sala vazia)	240,00	0,13	31,20	0,20	48,00	0,25	60,00	
diferença entre t_r sala vazia e t_r cheia			0,70		0,18		0,11	máximo 0,2s
diferença entre t_r ideal e t_r sala cheia			0,61		0,05		0,11	máximo 0,1s
diferença entre t_r ideal e t_r sala vazia			1,31		0,22		0,00	máximo 0,1s

Verificamos a grande ineficiência do material, principalmente nas frequências baixas, melhorando apenas nas frequências médias e altas. O material, portanto, não se apresentava adequado devido à pequena absorção nas frequências baixas.

Em seguida, simulamos a introdução de outro material absorvente nas paredes laterais e de fundo, espuma sonex de 75mm de espessura. Os cálculos realizados estão demonstrados na tabela 5, abaixo:

Tabela 5 – Cálculo do tempo de reverberação após simulação de intervenção no recinto com material absorvente em espuma

Material	Área (m ²) ou n°	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a_i	$a_i \cdot S_i$	a_i	$a_i \cdot S_i$	a_i	$a_i \cdot S_i$	
ar	1450,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	14,50	
Piso palco em assoalho de madeira	70,00	0,04	2,80	0,03	2,10	0,03	2,10	
Piso e Rampas em carpete	245,00	0,10	24,50	0,25	61,25	0,40	98,00	
Parede 1 em alvenaria pintada	35,00	0,01	0,35	0,02	0,70	0,02	0,70	
<i>Parede 2 em espuma sonex 75mm</i>	<i>114,00</i>	<i>0,23</i>	<i>26,22</i>	<i>0,98</i>	<i>111,72</i>	<i>0,97</i>	<i>110,58</i>	
<i>Parede 3 em espuma sonex 75mm</i>	<i>114,00</i>	<i>0,23</i>	<i>26,22</i>	<i>0,98</i>	<i>111,72</i>	<i>0,97</i>	<i>110,58</i>	
<i>Parede 4 em espuma sonex 75mm</i>	<i>30,00</i>	<i>0,23</i>	<i>6,90</i>	<i>0,98</i>	<i>29,40</i>	<i>0,97</i>	<i>29,10</i>	
Esquadria com vidro simples	4,80	0,00	0,00	0,03	0,14	0,00	0,00	
Portas em compensado de madeira	6,30	0,14	0,88	0,06	0,38	0,10	0,63	
Forro em gesso	380,00	0,02	7,60	0,02	7,60	0,03	11,40	
pessoas (sala cheia)	240,00	0,28	67,20	0,40	96,00	0,44	105,60	
cadeiras com tecido (sala vazia)	240,00	0,13	31,20	0,20	48,00	0,25	60,00	
diferença entre t_r sala vazia e t_r cheia			0,41		0,07		0,05	máximo 0,2s
diferença entre t_r ideal e t_r sala cheia			0,24		0,25		0,32	máximo 0,1s
diferença entre t_r ideal e t_r sala vazia			0,64		0,17		0,27	máximo 0,1s

Verificamos novamente a grande distorção em todas as frequências, melhorando apenas na diferença entre o tempo de reverberação entre sala vazia e sala cheia nas frequências médias e altas. O material, portanto, não se apresentava adequado devido à pequena absorção nas frequências baixas e altas absorções nas frequências médias e altas.

Isto acontece porque em frequências baixas os materiais obtêm maior absorção acústica com uma camada de ar intermediária. Geralmente para absorção nestas frequências são usados painéis de compensado de madeira apoiados a certa distância da parede (De Marco, 1982, p.45).

As simulações com a inserção camadas de ar apresentaram soluções mais adequadas. Com a inserção nas paredes laterais e de fundo um painel de Eucatex Acústico, c/ câmara de ar de 50 mm, obtivemos os valores necessários para que os tempos de reverberação com a sala cheia a sala vazia se aproximassem do ideal, conforme tabela 6 a seguir:



Tabela 6 – Cálculo do tempo de reverberação após simulação de intervenção no recinto com utilização de câmaras de ar

Material	Área (m ²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
ar	1450,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	14,50	
Piso palco em assoalho de madeira	70,00	0,04	2,80	0,03	2,10	0,03	2,10	
Piso e Rampas em carpete	245,00	0,10	24,50	0,25	61,25	0,40	98,00	
Parede 1 em alvenaria pintada	35,00	0,01	0,35	0,02	0,70	0,02	0,70	
<i>Parede 2 em Eucatex Acústico, c/ câmara de 50 mm</i>	<i>114,00</i>	<i>0,48</i>	<i>54,72</i>	<i>0,62</i>	<i>70,68</i>	<i>0,76</i>	<i>86,64</i>	
<i>Parede 3 em Eucatex Acústico, c/ câmara de 50 mm</i>	<i>114,00</i>	<i>0,48</i>	<i>54,72</i>	<i>0,62</i>	<i>70,68</i>	<i>0,76</i>	<i>86,64</i>	
<i>Parede 4 em Eucatex Acústico, c/ câmara de 50 mm</i>	<i>30,00</i>	<i>0,48</i>	<i>14,40</i>	<i>0,62</i>	<i>18,60</i>	<i>0,76</i>	<i>22,80</i>	
Esquadria com vidro simples	4,80	0,00	0,00	0,03	0,14	0,00	0,00	
Portas em compensado de madeira	6,30	0,14	0,88	0,06	0,38	0,10	0,63	
Forro em gesso	380,00	0,02	7,60	0,02	7,60	0,03	11,40	
pessoas (sala cheia)	240,00	0,28	67,20	0,40	96,00	0,44	105,60	
cadeiras com tecido (sala vazia)	240,00	0,13	31,20	0,20	48,00	0,25	60,00	
diferença entre t _r sala vazia e t _r cheia			0,19		0,12		0,06	máximo 0,2s
diferença entre t _r ideal e t _r sala cheia			0,17		0,09		0,26	máximo 0,1s
diferença entre t _r ideal e t _r sala vazia			0,02		0,03		0,19	máximo 0,1s

Verificamos que a distorção em todas as frequências foi reduzida, com presença ainda de algumas distorções, de grau mais reduzido, apenas na diferença entre o tempo de reverberação ideal e sala vazia nas frequências altas, e na diferença entre o tempo de reverberação ideal e sala cheia nas frequências baixas e altas.

6. CONCLUSÕES

A pesquisa, através de método de simulação, propiciou uma visão que as possibilidades de correções podem ser simples e se aproximar muito do recomendado, reduzindo as distorções e melhorando consideravelmente a inteligibilidade nos ambientes específicos para este fim, mesmo que não atinjam o ideal em sua totalidade.

Foi identificado também que os materiais a serem utilizados devem ser considerados para casos específicos. O censo comum leva a crer que materiais absorventes sejam o ideal e são utilizados de forma leiga, simplesmente revestindo os ambientes com espuma ou carpete. Os dois materiais encontraram inadequados, principalmente a espuma, com as maiores distorções devido ao desequilíbrio na absorção em todas as frequências baixas, médias e altas. Foi constatado o especificado por De Marco (1982), que em frequências baixas os materiais obtêm maior absorção acústica com uma camada de ar intermediária.

A maior dificuldade da pesquisa foi identificar o índice correto de absorção de cada material, pois a bibliografia a respeito é escassa, assim como as pesquisas no Brasil. Dentre estas destacamos os trabalhos do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Porém, mesmo com tal limitação, há possibilidade de ampliação da pesquisa, principalmente quanto aos demais ambientes do Campus que se destinam ao mesmo fim e para ambientes de fins diversos, de forma a contribuir também para futuros projetos.

AGRADECIMENTOS



Agradecemos a Deus e aos meus familiares, pelo incentivo. Agradecemos ao IFTO que forneceu os dados para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: Tratamento Acústico em Recintos Fechados. Rio de Janeiro, 1992.

Barreto, W.J.M. **Acústica Arquitetônica**. Recife: Arctel, 1998.

De Marco, C.S. **Elementos da acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.

Viana, V.B. **Materiais para uso no tratamento acústico da edificação**. São Carlos: USP/ Escola de Engenharia de São Carlos, 1990.

Silva, V.M.C. **Ruído**. João Pessoa: UFPB/ CT/ Departamento de Engenharia de Produção, 1997.