



XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
VIII ELACAC Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído
BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

APLICAÇÃO DO *SOFTWARE* ECOTECT NO ESTUDO ACÚSTICO DE UMA SALA DE AULA: DEFICIÊNCIAS E POTENCIALIDADES

Ana Luísa Andrade Moreira (1); Caroline Cruz Merlin da Silva (2); Americo Hiroyuki Hara (3)

(1) Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo da UDESC, analuiza_andrade@hotmail.com

(2) Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo da UDESC, caroline_cms@hotmail.com

(3) Doutorado (UFSC), Professor de Arquitetura e Urbanismo da UDESC, amero.hara@udesc.br
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Departamento de Arquitetura e Urbanismo.
R. Coronel Fernandes Martins, 270. Progresso. Laguna – SC. CEP: 88790000. Tel.: (48) 3647 - 4190

RESUMO

O emprego de ferramentas computacionais é cada vez mais comum nos cursos de Arquitetura e Urbanismo para simular e verificar os impactos das decisões projetuais. No âmbito do ensino, as ferramentas digitais podem contribuir para facilitar o entendimento da ocorrência de certos fenômenos. O artigo tem por objetivo apresentar as características da reflexão sonora obtidas no *software* Ecotect Analysis, confrontar os valores de tempo de reverberação obtidos por simulação e calculado, bem como, apontar aspectos positivos e negativos quanto ao emprego do *software* para análise acústica. A metodologia consistiu em utilizar como exemplo uma sala de aula do CERES/UDESC para a modelagem e simulação no Ecotect. Por meio da ferramenta de Emissão das Partículas, foi possível analisar o fenômeno, porém, observou-se que a difração não é contemplada. Quanto à comparação do tempo de reverberação segundo as fórmulas de Sabine e Eyring, os resultados se mostraram incongruentes. Outro aspecto relevante, diz respeito aos valores de tempo de reverberação que não sofreram significativas alterações quando da modificação das características dos materiais e da quantidade de pessoas na sala. Considerando os materiais da sala e a quantidade de alunos, calculou-se o tempo de reverberação para comparar com os valores obtidos no *software*. Conclui-se que os valores de tempo de reverberação obtidos pelo *software* são discutíveis. Por outro lado, a simulação serviu para observar o fenômeno da reflexão sonora em um ambiente fechado, sendo possível identificar as superfícies onde podem receber tratamento acústico com o intuito de melhorar o tempo de reverberação e, conseqüentemente a acústica do ambiente.

Palavras-chave: arquitetura, conforto acústico, simulação de partículas sonoras.

ABSTRACT

Computer simulations are increasingly used in design process to assess the building during its initial stage. However, sound simulation is difficult to understand, because of its non visual qualities. From the teaching's point of view, digital tools can facilitate the understanding of the occurrence of certain property. The article aims to present the sound reflection observed through a simulation in Ecotect software Analysis, the positive and negative aspects regarding the use of software for acoustic analysis. The methodology was to develop a digital model and specify each material and their components, and compare the reverberation time calculated by the software and by the Sabine and Eyring expressions. The results indicate a positive aspect: the visualization of the reflection sound; a negative one is the discrepancies of the reverberation time values obtained by the software and by calculation of the Sabine and Eyring expressions. The conclusion is that the simulation was used to visualize the sound reflection feature inside the environment.

Key words: architecture, acoustic principles, particles simulation.

1. Introdução

O princípio da comunicação está na produção de um som, por um indivíduo, que viaja através do ar atingindo o aparelho auditivo de outros indivíduos, gerando a interpretação e decodificação de tal som. A partir desse processo gera-se um entendimento entre ambos que pode ser verbal ou não-verbal, sendo a forma mais primitiva e eficaz de comunicação. Assim, a comunicação por meio do som é de fundamental importância no processo de ensino-aprendizagem.

A interferência na comunicação oral perturba atividades humanas (profissionais, educacionais e domésticas) e cria um ambiente desfavorável ao convívio e ao desempenho educacional e profissional (SILVA, 2000). Pesquisas têm apresentado a influência da acústica no aprendizado e desempenho de alunos, como também no comportamento social e na compreensão da fala. Condições acústicas desfavoráveis tornam o aprendizado e o ensino desnecessariamente exaustivos (HAGEN *et al.*, 2002).

Para que a comunicação ocorra é necessário que o som emitido atinja o receptor de forma inteligível. O som pode ser direto ou por reflexão sobre as superfícies que encerram o ambiente e deve chegar ao ouvinte dentro de um intervalo de tempo, sem o qual sua inteligibilidade fica comprometida.

Caso o som permaneça por mais tempo pelo ambiente ou que as reflexões sejam demasiadamente excessivas de modo a atingir o ouvido sucessivamente em intervalos de tempo acima de 1/15 segundos, ocorrem fenômenos como o eco ou a reverberação que prejudicam a inteligibilidade (AMORIM e LICARIÃO, 2005). Considera-se como tempo de reverberação (t_{60}) o tempo necessário para que a intensidade sonora emitida por uma fonte sonora decaia em 60 dB (figura 01); o tempo ótimo de reverberação (t_{or}), por sua vez, é o tempo dentro de um intervalo considerado para que o som apresente boa audibilidade e clareza (NBR 12.179; CARVALHO, 2010). De certo modo, é um parâmetro que indica a qualidade com que o som chega aos ouvidos de forma inteligível (BISTAFA, 2006).

O tempo ótimo de reverberação varia segundo o volume e o tipo de atividade do ambiente e depende das características quanto à absorção e reflexão sonora dos materiais que constituem os fechamentos do ambiente. As especificações quanto aos valores de t_{or} para alguns ambientes são indicadas na NBR 12.179.

De acordo com Hodgson (2003), o tempo de reverberação adequado contribui para melhor aprendizado nas salas de aula, contudo, esse parâmetro do ambiente tem sido freqüentemente negligenciado.

Dessa forma, a avaliação de projetos em fase concepção por meio de programas computacionais como o Odeon, Raynoise, Zorba, Insul, CATT-Acoustic e Ecotect Analysis podem evitar que as decisões equivocadas. Além disso, deve-se buscar orientar futuros projetistas a observarem a acústica em seus projetos.

Neste contexto, utilizou-se o Ecotect Analysis, ferramenta de apoio ao estudo de conforto térmico, de iluminação e acústica, pela facilidade de modelagem e pela apresentação de dados de forma visual o que contribui para o entendimento das informações.

No caso do estudo para o conforto acústico, o Ecotect Analysis apresenta ferramentas que permitem visualizar as diversas reflexões sobre as superfícies de um ambiente e identificar suas características ao longo do tempo quanto ao tipo de som: direto, reverberante, mascarado e eco. O som direto caracteriza-se por atingir diretamente o receptor; o reverberante é o som que sofre as primeiras reflexões cuja intensidade decai em 60 dB após a interrupção da emissão do som; paralelamente, atua o som mascarado, sendo caracterizado pela sobreposição do som direto e refletido, e; o eco, caracterizado pela repetição do som no intervalo de tempo superior a 1/15 segundos (MATEUS, 2008).

Sendo assim, o presente trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação do *software* Ecotect Analysis no campo do ensino de acústica como ferramenta de simulação para auxiliar na compreensão da propagação do som, e a confiabilidade dos resultados de tempo de reverberação obtidos. Ressalta-se também que o estudo é resultado de uma atividade realizada na disciplina de Conforto Ambiental: Acústica.

2. Objetivos

O artigo tem por objetivo apresentar os aspectos positivos e negativos do *software* Ecotect Analysis tomando como exemplo o estudo da acústica em uma sala de aula.

A pesquisa visa também apresentar discrepâncias nos resultados de tempo de reverberação calculado manualmente e comparado com a simulação do simulado.

3. Materiais e Método

Para realizar o estudo, foi tomada como exemplo de aplicação uma sala de aula do Centro de Educação Superior da Região Sul (CERES) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Inicialmente, foi realizada a construção do modelo digital no Ecotect Analysis considerando as características físicas do ambiente: dimensões, materiais constituintes, quantidade de pessoas e mobiliário. Para simular o fenômeno da reflexão sonora foi aplicado o recurso da emissão de partículas. Também, foi aplicado outro recurso *Surface Incidence* (Superfície Incidente) para visualizar o tipo de partícula incidente em cada superfície.

Na segunda etapa, utilizou-se o *software* para se obter o tempo de reverberação considerando os materiais aplicados no modelo. Para uma análise mais completa do *software*, foram realizadas alterações no tipo de parede aplicando um material mais absorvente e diminuiu-se a quantidade de pessoas no sentido de observar alterações nos tempos de reverberação.

Posteriormente, foi efetuado o cálculo manual segundo as fórmulas de Sabine e Eyring para confrontar com os valores obtidos no Ecotect Analysis.

3.1. Caracterização do ambiente e definição do tempo ótimo de reverberação

O estudo de caso contempla a sala 06 do Centro de Educação Superior da Região Sul – CERES. A sala de 9,0 x 11,9m e pé direito de 3,0m, possui quatro janelas de 2,86m x 1,0m e peitoril de 1,9m; uma porta de 0,8 x 2,1m com bandeira de 0,8 x 0,8m e um quadro de vidro de 1,5 x 6,5m. Nas representações das figuras 02 e 03 estão indicadas as dimensões e os materiais que compõem o ambiente.

O piso é de cerâmica, a parede de alvenaria com reboco e pintada com tinta acrílica branca fosca, o forro é de PVC, a porta é de madeira com bandeira de vidro e as janelas são basculantes com vidro e alumínio (ver figura 04).

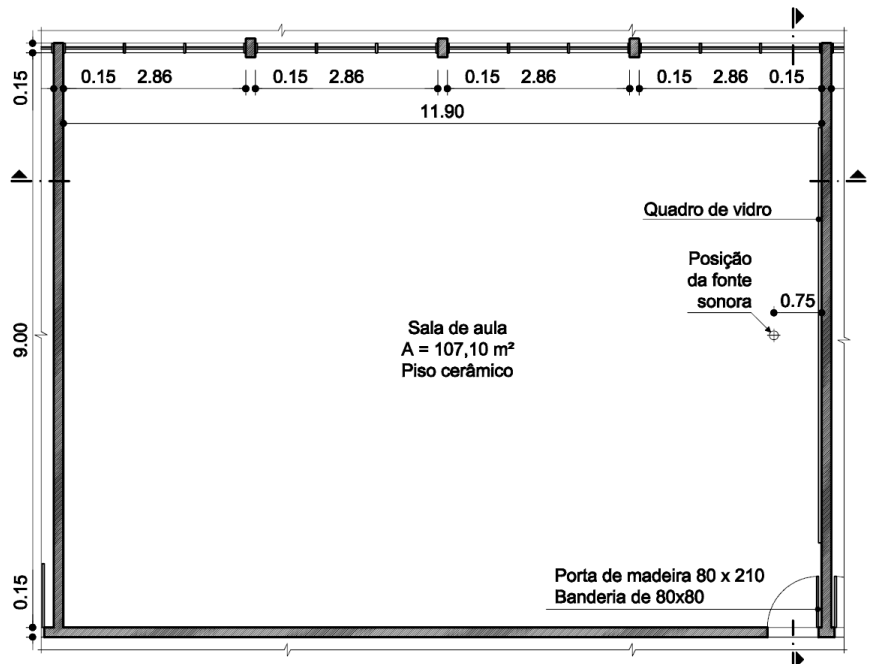


Figura 02. Planta baixa do ambiente. Sem escala.

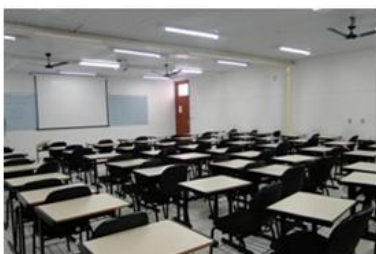


Figura 04. Sala 06 do CERES: fechamentos e elementos constituintes do ambiente.

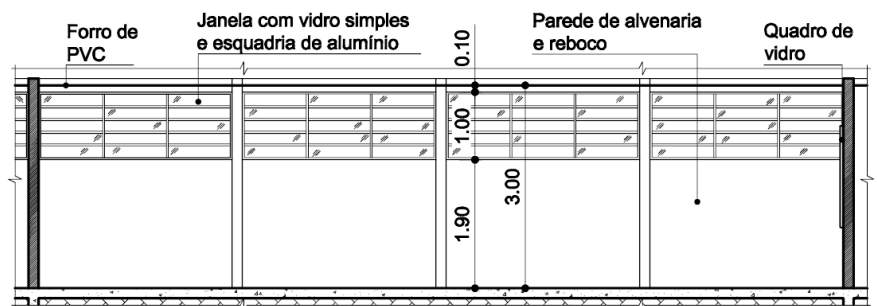


Figura 02. Corte longitudinal.

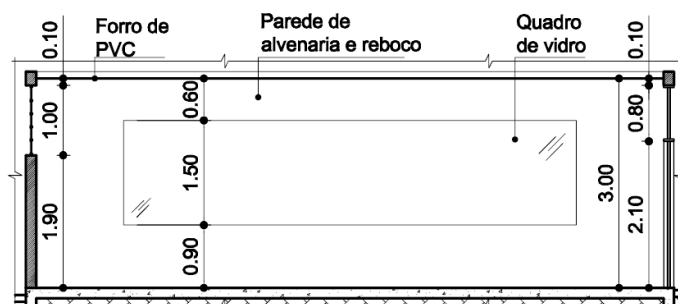


Figura 03. Corte transversal.

3.2. Definição do modelo para simulação de emissão de partículas

O modelo digital consiste de uma maquete eletrônica simplificada na qual uma zona é criada de modo que suas seis faces automaticamente definirão o ambiente com piso, teto e paredes. O conceito de zona segue o exemplo do EnergyPlus para simulação e cálculo de carga térmica. Como a zona define os limites do ambiente, a porta, a janela e o quadro são inseridos nas superfícies da referida zona.

As características e propriedades dos fechamentos como paredes, piso, coberturas, janelas e portas, além de superfícies refletoras e absorvedores acústicos são definidas posteriormente.

3.2.1. Criação do modelo e definição dos materiais

O *software* apresenta ferramentas divididas por abas à esquerda do monitor. A construção é realizada na aba *3D editor*. Seleciona-se a opção *zone* e clica-se na área de desenho para iniciar a construção do modelo. Para definir as dimensões, pode-se arrastar o *mouse* até atingir dimensão desejada ou inserir as informações nos campos dx, dy e dz. Cada ponto corresponde a um vértice do ambiente. Para fechar a zona e finalizar a construção do modelo, é necessário teclar ESC.

A inserção de aberturas como portas e janelas a partir das ferramentas *Add door* e *Add window*, respectivamente, necessitando que a parede seja selecionada antes da inserção. Os materiais são definidos pela aba *Material Assignments*, também sendo necessário selecionar antes o plano de interesse (parede, piso, teto, etc).

Os materiais utilizados e os coeficientes de absorção sonora obtidos no Ecotect Analysis e segundo a NBR 12.179 estão relacionados na tabela 2.

TABELA 2. Materiais e seus coeficientes de absorção sonora.

Fechamento	Material do <i>software</i> [materiais]	Coef. absorção acústica – Ecotect [500 Hz]	Coef. absorção acústica (NBR 12179) [500 Hz]
Piso	ConcrSlab_Tiles_onGround [Piso cerâmico assentado sobre concreto]	0,01	0,01
Forro	Plastic (Panel) [Painel de plástico]	0,01	0,02
Paredes	BrickPlaster [Parede de tijolo e argamassa]	0,02	0,02
Janelas	SingleGlazed – Aluminium Frame [Vidro com esquadria de alumínio]	0,03	0,03
Quadro	Glass (Panel) – [Vidro (Painel)]	0,01	0,09*
Porta	SolidCore_Oak_timber [porta de Madeira maciça]	0,07	0,06
Bandeira	Glass (Panel) [Vidro (Painel)]	0,01	0,09*

* coeficiente de absorção acústica para Vidro plano de 3mm – 4mm, com 50mm de espaço de amortecimento nas bordas

Os materiais disponíveis são predominantemente estrangeiros e, portanto, alguns não são utilizados no Brasil, dessa forma, buscou-se definir materiais equivalentes na simulação que apresentassem coeficientes de absorção acústica semelhantes aos da norma para uma simulação mais coerente.

O acesso às informações a cerca das características de absorção sonora do material é obtido acionando-se a aba *Acoustic data* referente a cada material. A figura 05 apresenta os dados referentes aos coeficientes de absorção sonora de dois materiais especificados no modelo digital.

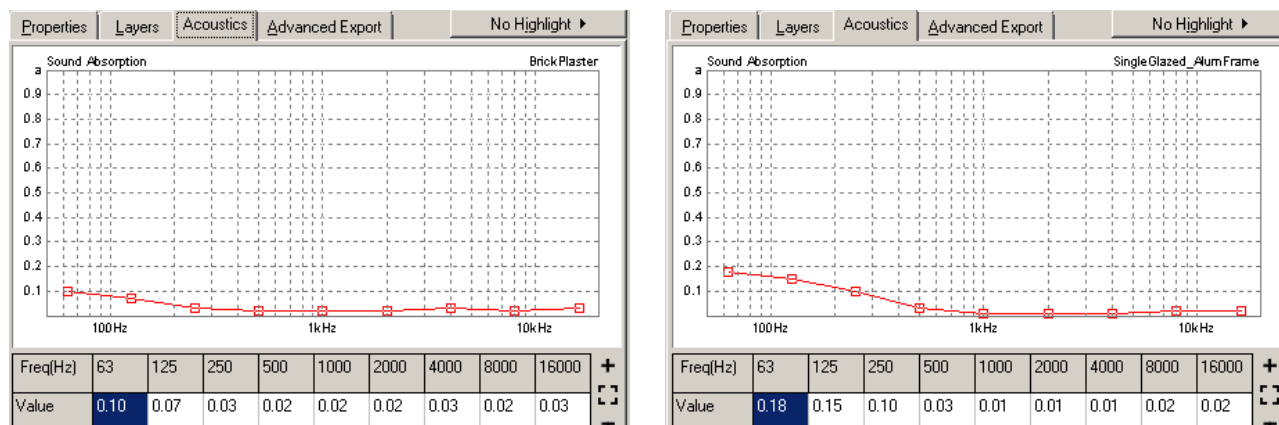


Figura 05. Características de absorção sonora do revestimento de tijolos das paredes (à esquerda) e das janelas de vidro com esquadria de alumínio (à direita) nas bandas de oitava.

Observa-se que a parede de tijolos apresenta baixo coeficiente de absorção sonora nas bandas de oitava de 250 Hz a 16.000 Hz; enquanto que para as janelas com esquadria de alumínio, o coeficiente de absorção é mais baixo nas bandas de 500 Hz a 16.000 Hz.

3.2.2. Inserção da fonte emissora e lançamento das partículas

Para realizar a emissão de partículas é necessário inserir uma fonte sonora. A simulação não leva em consideração o nível de pressão sonora e sim os fenômenos associados à propagação e reflexão do som. O comportamento do som é apresentado em forma de partículas ou raios, conforme a necessidade de visualização da informação.

A simulação das partículas é definida pela aba *Rays and particles*. A animação é feita com partículas que mudam sua coloração após sucessivas reflexões nas superfícies, indicando o fenômeno (som direto, eco, reverberado, mascarado, etc) que está ocorrendo.

Das figuras 06 a 11 tem-se o movimento das partículas em relação ao tempo decorrido:

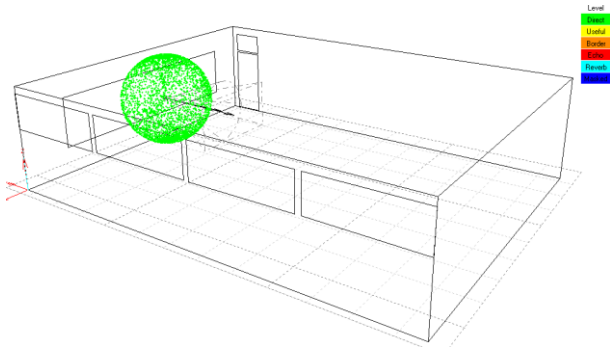


Figura 06. Início da emissão das partículas pela fonte sonora. As partículas se caracterizam como som direto (verde) até os 5 milissegundos.

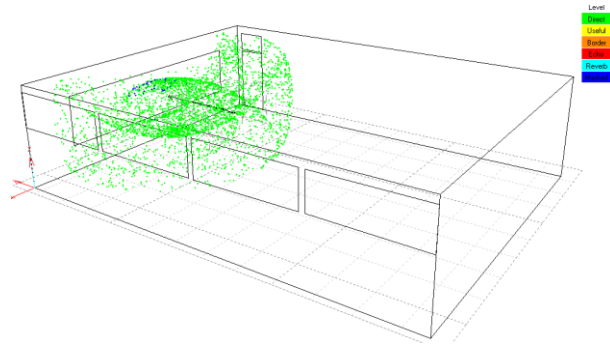


Figura 07. Aos 11 milissegundos, as partículas que atingiram as paredes laterais e refletem dando início à reverberação (azul-claro);

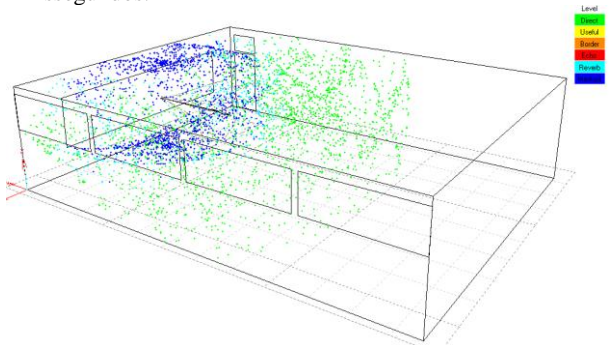


Figura 08. Aos 22 milissegundos, inicia-se a presença do som mascarado (azul-escuro) caracterizada pela sobreposição de som direto e reverberante.

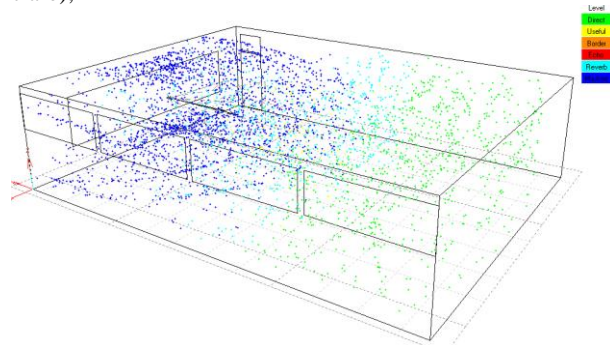


Figura 09. Aos 32 milissegundos, o som direto (verde) atinge o fundo da sala e as partículas refletoras se tornam azul-claro, indicando a transformação em som reverberante que, por reflexão retorna para a fonte emissora. Nesse momento, também se percebe o som mascarado (azul-escuro) e o audível (*usefull* - amarelo).

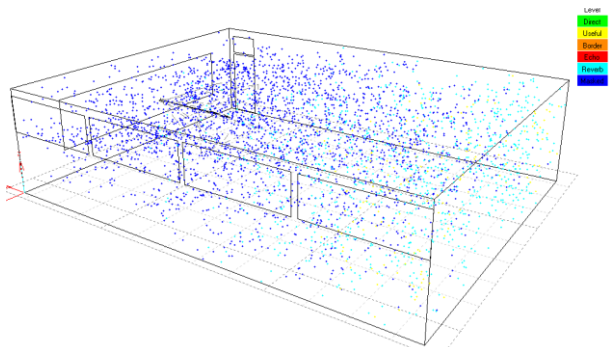


Figura 10. O som direto (verde) se torna reverberante (azul-claro) e juntamente com o som mascarado (azul-escuro) começam a ser predominantes.

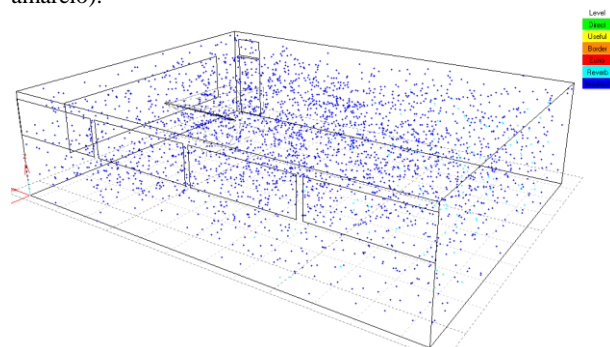


Figura 11. Aos 80 milissegundos, o som reverberante (azul-claro) é absorvido restando somente o som mascarado (azul-escuro). Ao final da simulação, o som mascarado (azul-escuro) esgota-se e a dispersão sonora ocorre em 1.2 s.

Além do lançamento das partículas existem outras funcionalidades como, por exemplo, o recurso *Surface Incidence* (superfície incidente) que indica o tipo de partícula incidente nas superfícies do ambiente. Dessa forma, foi possível identificar as superfícies passíveis de receberem tratamento acústico (Figura 12).

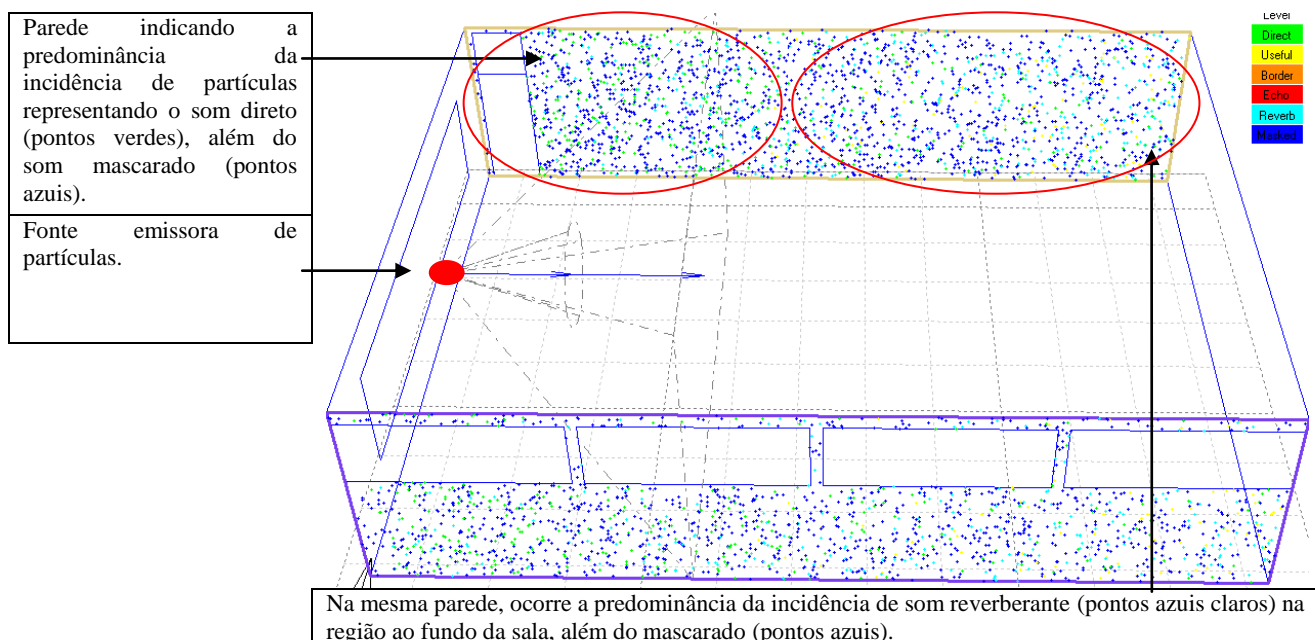


Figura 12. Superfícies recebem as partículas que representam o som direto, reverberante e mascarado.

A figura 12 ilustra a região da parede próxima da fonte sonora exposta à maior incidência do som direto e mascarado; por outro lado, a região da mesma parede situada no fundo da sala está sujeita à maior incidência do som reverberante e mascarado. Dessa forma, caso fosse necessário aplicar alguma superfície refletora para melhorar a difusão sonora, seria recomendado na região próxima à fonte, pois apresenta incidência maior do som direto.

3.2.3. Tempo de reverberação obtido no Ecotect Analysis

As informações da simulação estão disponíveis na aba *reverberation times* do ambiente *Analysis* onde são definidos a porcentagem de ocupação (90%), a quantidade de assentos (55) e o revestimento (estofamento de tecido), a zona referente ao projeto a ser considerada na simulação e o algoritmo do cálculo do tempo de reverberação.

A Tabela 3 apresenta as informações do ambiente retirados do *software*, bem como os valores de tempo ótimo de reverberação (primeira coluna e segunda coluna); e os valores do tempo de reverberação para as bandas de oitava para o algoritmo de Sabine e de Eyring.

Tabela 3. Relatório indicando o tempo de reverberação obtido no Ecotect.

Informações do ambiente e Tempo ótimo de reverberação		Valores de tempo de reverberação			
Volume: 321.300 m ³ Surface Area: 5361.826 m ² Occupancy: 50 (55 x 90%) Optimum RT (500Hz - Speech): 0.65 s Optimum RT (500Hz - Music): 1.21s	Volume per Seat: 5.842 m ³ Minimum (Speech): 4.421 m ³ Minimum (Music): 8.328 m ³	TOTAL		SABINE	NOR-ER
		FREQ.	ABSPT.	RT(60)	RT(60)
		63Hz:	3112.026	0.02	0.05
		125Hz:	3076.709	0.02	0.06
		250Hz:	3030.745	0.02	0.07
	Most Suitable: Norris-Eyring (Highly absorbant) Selected: Sabine (Uniformly distributed)	500Hz:	2976.910	0.02	0.08
		1kHz:	2918.112	0.02	0.09
		2kHz:	2844.551	0.02	0.09
		4kHz:	2750.681	0.02	0.09
8kHz:		2597.215	0.02	0.09	
		16kHz:	2327.068	0.02	0.10

Nota-se na tabela 3 que os valores de tempo de reverberação na frequência de 500 Hz para Sabine e Eyring foram de 0,02 s e 0,08 s, respectivamente. Em termos práticos, tal valor significa que haveria pouca intensidade sonora no fundo da sala, de forma que os alunos não conseguiriam perceber claramente a informação.

3.3. Tempo de reverberação calculado

O cálculo do tempo de reverberação para a frequência de 500Hz da referida sala foi baseada nas fórmulas de Sabine e Eyring, cujas equações são apresentadas abaixo:

$$t_{60} = \frac{0,161 * V}{A} \quad \text{[Equação 1]}$$

Onde: t_{60} , o Tempo de reverberação; V , o volume do ambiente em m^3 , e; A , a absorção acústica dos materiais que compõem o ambiente. O cálculo de A é realizado segundo:

$$A = \sum(S_i * \alpha_i) \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde: A é a absorção acústica do material; S_i , a área do material, e; α_i , é o coeficiente de absorção acústica do material.

$$t_{60} = \frac{(0,161 * V)}{(-2,3 * S_t * \log(1 - \alpha_m))} \quad \text{[Equação 3]}$$

Onde: t_{60} = Tempo de reverberação; V = Volume do ambiente em m^3 ; S_t é o somatório de todas as superfícies internas do recinto e; α_m é o coeficiente médio ponderado de todas as superfícies componentes do recinto e demais elementos nele contidos: $\alpha_m = \sum(S_i * \alpha_i) / \sum S_i$.

A tabela abaixo apresenta os cálculos referentes à absorção acústica dos materiais presentes no ambiente e os valores de tempo de reverberação (ver tabela 3).

Tabela 3. Cálculo de tempo de reverberação segundo as fórmulas de Sabine e Eyring para a sala de aula do CERES/UEDESC.

Fechamentos	Dimensões (m)	Áreas (m ²)	Cofic. de absorção acústica (NBR 12179)	$S_i \times \alpha_i$
Janelas	4 x (2,86 x 1,0)	11,44	0,03	11,44 x 0,03 = 0,34
Porta	0,8 x 2,1	1,68	0,03	1,68 x 0,03 = 0,05
Bandeira	0,8 x 0,8	0,64	0,1	0,64 x 0,1 = 0,064
Quadro de Vidro	2,0 x 5,0	10	0,09	10 x 0,09 = 0,9
Paredes	2 x (9,0 x 3,0) 2 x (11,9 x 3,0)	101,64	0,02	101,64 x 0,02 = 2,03
Piso	9,0 x 11,9	107,1	0,01	107,1 x 0,01 = 1,071
Forro	9,0 x 11,9	107,1	0,02	107,1 x 0,02 = 2,142
Cadeiras estofadas			0,2	5 X 0,2 = 1,0
Pessoas e cadeiras	50		0,42	50 x 0,42 = 21,0
		St.: 339,6		
A =				28,6 Sm
Sabine		$t_{60} = \frac{0,161 * V}{A}$		1,81 s
Eyring		$t_{60} = \frac{0,161 * V}{-2,3 * S_t * \log(1 - \alpha_m)}$		1,73 s

Consultando a NBR 12.179, verifica-se que o tempo ótimo de reverberação (t_{or}) para o ambiente para palavra falada e volume de 321,30m³ é de 0,65s. Dessa forma, nota-se que o tempo de reverberação calculado manualmente é aproximadamente o triplo do indicado pela norma.

Contudo, os cálculos não consideraram a absorção sonora das cortinas de PVC (tipo *blackout*), devido à simulação que não apresenta material com índice de absorção acústica semelhante. O valor calculado sugere que o som tende a permanecer mais tempo dentro do ambiente, produzindo certo acúmulo sonoro na sala.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Analisando os resultados de tempo de reverberação obtidos pelo cálculo manual e pelo Ecotect Analysis nota-se que se apresentam destoantes. No cálculo manual obtiveram-se os valores 1,8 s e de 1,7 s segundo a equação de Sabine e Eyring, respectivamente; enquanto que no programa Ecotect Analysis, o resultado foi de 0,02 s e 0,08 s. Particularmente, ambos apresentaram resultados insatisfatórios quando comparados com o tempo ótimo de reverberação (T_{or}) segundo a especificação normativa.

Para verificar a resposta do *software* às variações nos coeficientes de absorção sonora, foram realizadas duas outras simulações. Na primeira, modificaram-se as quatro paredes para alvenaria com estrutura de madeira (*framed timber plaster*) cujo coeficiente de absorção a 500 Hz é de 0,1 (figura 12) e, na segunda, diminuiu-se a ocupação da sala de 90% para 50%. Os valores obtidos das simulações quanto à alteração das paredes e da ocupação estão apresentados nas tabelas 4 e 5.

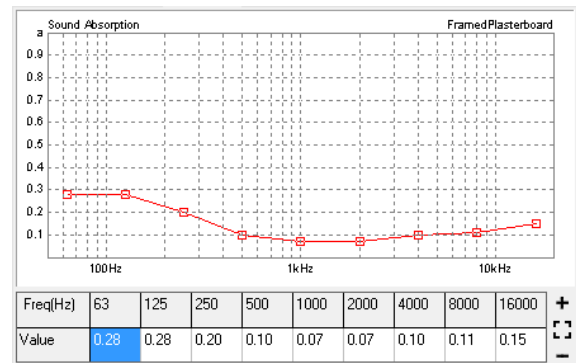


Figura 12. Características de absorção sonora da parede de gesso acartonado com estrutura de madeira.

Tabela 4. Relatório indicando o tempo de reverberação para parede de alvenaria com estrutura de madeira.

TOTAL		SABINE	NOR-ER
FREQ.	ABSPT.	RT(60)	RT(60)
63Hz:	3.128.092	0.02	0.04
125Hz:	3.097.308	0.02	0.04
250Hz:	3.050.177	0.02	0.05
500Hz:	2.987.260	0.02	0.07
1kHz:	2.926.112	0.02	0.07
2kHz:	2.850.284	0.02	0.08
4kHz:	2.758.647	0.02	0.08
8kHz:	2.607.381	0.02	0.08
16kHz:	2.340.583	0.02	0.08

Tabela 5. Relatório indicando o tempo de reverberação obtido no Ecotect para lotação de 50% da sala.

TOTAL		SABINE	NOR-ER
FREQ.	ABSPT.	RT(60)	RT(60)
63Hz:	3112.026	0.02	0.05
125Hz:	3076.709	0.02	0.06
250Hz:	3030.745	0.02	0.07
500Hz:	2976.910	0.02	0.08
1kHz:	2918.112	0.02	0.09
2kHz:	2844.551	0.02	0.09
4kHz:	2750.681	0.02	0.09
8kHz:	2597.215	0.02	0.09
16kHz:	2327.068	0.02	0.10

Nota-se que o tempo de reverberação não apresentou diferenças significativas nos resultados obtidos para as duas simulações. No primeiro caso, os valores ficaram inalterados. No segundo, os valores de tempo de reverberação não apresentaram alterações significativas, havendo pouco aumento segundo o algoritmo de Eyring, nas bandas de 4 kHz, 8kHz e 16 kHz.

5. CONCLUSÕES

O emprego de ferramentas computacionais é cada vez mais comum nos cursos de Arquitetura e Urbanismo para simular e verificar os impactos das decisões projetuais. Nesse sentido, o *software* Ecotect Analysis apresenta-se como uma ferramenta que atende a diversos aspectos quando se trata de estudar as condições de conforto ambiental.

O *software* apresenta aspectos positivos como a visualização do fenômeno da reflexão sonora e das superfícies indicando predominância dos diferentes estágios do som. O Ecotect Analysis apresenta de forma visível um fenômeno relacionado ao som, perceptível ao ouvido. Além disso, observando o tipo de som incidente nas diversas superfícies que encerram o ambiente, é possível indicar a localização das superfícies que merecem receber tratamento acústico para corrigir o tempo de reverberação. Contudo, faz-se necessário esclarecer que o comportamento das partículas não representa fielmente o comportamento do som, principalmente, no que concerne ao fenômeno da difração, capacidade que o som tem de contornar obstáculos.

Como aspecto negativo, pode-se notar que os valores de tempo de reverberação obtidos pelo *software* são contestáveis, pois, as simulações realizadas com materiais com coeficiente de absorção diferentes não apresentaram alteração significativa no valor de tempo de reverberação.

A comparação dos valores de tempo de reverberação obtido pelo Ecotect Analysis e o calculado manualmente apresentaram-se consideravelmente divergentes. Desse modo, pode-se sugerir que embora os materiais empregados pelo *software* apresentem coeficientes de absorção acústica semelhantes aos indicados pela norma, existem algoritmos os quais não se tem acesso e que necessitam ser revistos. De forma intrigante, o resultado de tempo de reverberação do Ecotect Analysis manteve-se praticamente idêntico mesmo variando materiais ou elementos que apresentavam coeficientes de absorção sonora distintos.

Por fim, concluímos que a biblioteca de materiais do *software* apresenta composições diferentes dos utilizados no Brasil e, com isso, não conseguirá contemplar coerentemente os projetos que empregam materiais regionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 12179 - **Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro, 1992. 9p.
- BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: E. Blücher, 2006. 368 p.
- CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2. ed., rev. e ampl. Brasília: Thesaurus, 2010. 238 p.
- MARSH, Andrew J. ECOTECH (Software para análise da performance ambiental térmica, lumínica e sonora em modelos tridimensionais) WELSH SCHOOL OF ARCHITECTURE, CARDIFF UNIVERSITY, PAÍS DE GALES, REINO UNIDO. 2002.
- HAGEN, M.; HUBER, L.; KAHLERT, J. Acoustic school design. In: **FORUM ACUSTICUM SEVILHA. Proceedings...** Sevilha, 2002.
- SILVA, D. T. da. **Estudo da isolamento sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- ZANNIN, P. H. T.; PAZ, E. C.; LORO, C. P. **Acoustical quality of educational buildings: the acoustic of modular classrooms**. Applied Ergonomics, 2004.
- AMORIM, Adriana; LICARIÃO, Carolina. **Introdução ao conforto acústico**. Universidade Estadual de Campinas. 2005. Apostila. 38p.
- MATEUS, Diogo. **Acústica dos edifícios e controle de ruído**. Universidade de Coimbra. Dezembro, 2008. Apostila, 84p.
- ODEON. <http://www.odeon.dk/intl/portuguese.html>. Acessado em 22/06/2013.
- MRA Instrumentação. <http://www.mra.pt/industria/produtos/acustica-e-vibracoes/software-de-simulacao-acustica/>. Acessado em 22/06/2013.