



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Bruno Vidal Barros - 148391
Engenharia Elétrica Integral - 11

Avaliação da Qualidade Acústica das Salas da FEEC-Unicamp

Orientador: Bruno S. Masiero

Campinas
Segundo Semestre/2020

Introdução

O comportamento acústico do interior de uma sala de aula tem um papel fundamental em todo o processo de aprendizagem que ocorre durante a aula ali ministrada. Diversos fatores podem influenciar a qualidade sonora deste ambiente, não só permitindo que os alunos possam ter uma maior compreensão do conteúdo apresentado mas também que o professor exerça um menor esforço vocal durante todo o período da aula.

Uma sala de aula pode apresentar diversas características que atrapalham a inteligibilidade do conteúdo apresentado aos alunos/ouvintes ali presentes. Isso faz com que pessoas em posições diferentes na sala tenham experiências auditivas diferentes, o que é ruim dado que estamos visando uma sala de aula onde o conteúdo dado deve ser o mesmo para todos. Uma sala com boa qualidade acústica deve proporcionar uma experiência homogênea para todos os presentes, independente da posição adotada.

De acordo com a norma técnica ABNT NBR 10152:2017 [1], é possível utilizar alguns critérios objetivos, como o nível de reverberação e o STI (*Speech Transmission Index*), para determinar de maneira direta e objetiva a qualidade sonora das salas de aula, podendo assim fomentar propostas de melhoria acústica do ambiente e, por consequência, melhorar a experiência de aprendizagem dentro da sala de aula.

Este projeto de TFC se propõe a realizar medições dos parâmetros necessários para a verificação da qualidade acústica das salas da FEEC-Unicamp e propor melhorias construtivas para o aprimoramento das mesmas, especificamente para as salas onde são lecionadas as aulas da graduação e pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

Objetivos

Os principais objetivos a serem alcançados neste projeto são:

- Medir o Tempo de Reverberação e o Índice de Transmissão da Fala das salas da FEEC.
- Averiguar quais os principais problemas acústicos que podem estar afligindo estas salas.
- Caso necessário, propor soluções que melhorem a qualidade sonora do interior das salas de aula sem haver a necessidade de remodelamento estrutural completo das mesmas.

Fundamentação Teórica

Para o estudo proposto das salas de aula da FEEC, precisamos antes visitar alguns conceitos de acústica para fundamentar o acolhimento e análise de dados sobre as características acústicas das salas. Tendo em mente estes conceitos, poderemos posteriormente analisar as razões pelos diferentes resultados colhidos das características acústicas das salas.

Conceitos básicos de acústica

1. Ruído Residual

O ruído residual é o ruído que interfere negativamente no interior do ambiente a ser considerado. Ele pode ser originado do exterior do ambiente avaliado ou pode ser oriundo de fatores internos independentes do processo acústico de interesse. No contexto de uma sala de aula podemos ter ruído residual externo de conversas paralelas do lado de fora da sala ou de veículos passando na rua e ruído residual interno como o som produzido pelo ar condicionado da sala ou sistema de ventilação. Esse ruído tende a ser indesejado, já que ele interfere negativamente na capacidade do ouvinte de compreender o conteúdo dito pelo falante dentro de um ambiente.

2. Reverberação Sonora

A reverberação sonora é o fenômeno que ocorre quando demasiadas reflexões da onda sonora acontecem em um ambiente fechado. Ocasionalmente pelas superfícies reflexivas contidas dentro do ambiente, ela pode ser medida pelo Tempo de Reverberação que é o intervalo de tempo para que a energia sonora diminua em 60 dB em um ambiente após a emissão da fonte ser interrompida. Quanto menor a reverberação sonora, melhor a qualidade do som percebido. Segundo o Comitê Técnico em Acústica Arquitetônica da Sociedade Americana de Acústica [8], para salas de aula o tempo de reverberação deve ser entre 0.4 e 0.6 segundos.

3. Isolamento Acústico

O isolamento acústico pode ser caracterizado pelo conjunto de medidas tomadas de forma a impedir a transmissão sonora entre ambientes (de fora para dentro ou de dentro para fora). Isso melhora a qualidade acústica do ambiente que sofre menos interferências com o ruído externo. A qualidade do isolamento é atribuída à vedação do ambiente (teto, parede, piso e esquadria), evitando assim que ruído externo interfira no processo acústico que ocorre dentro do ambiente.

4. Inteligibilidade da Fala

Inteligibilidade da fala é relativa ao grau de dificuldade com a qual um ouvinte dentro de um determinado ambiente é capaz de compreender o conteúdo transmitido pelo falante através do som. Quanto maior a inteligibilidade, mais fácil é para um determinado ouvinte compreender o que é falado dentro do ambiente. Os principais elementos que podem prejudicar a inteligibilidade são a reverberação sonora e a presença de ruído residual acentuado no ambiente.

5. Absorção Acústica

A absorção acústica está relacionada com os elementos que constituem o interior do ambiente avaliado e sua capacidade de absorver em diferentes frequências o som incidente sobre os mesmos. Um ambiente com alta absorção acústica reduz significativamente a reverberação sonora, o que incrementa consideravelmente a inteligibilidade da fala dentro do mesmo. Os principais elementos que contribuem para o nível de absorção sonora são os tipos de material que revestem o interior da sala e seus objetos, assim como sua área, por exemplo: uma sala com paredes espessas de alta massa e com placas de isolamento acústico terá um alto índice de absorção acústico se comparada com uma sala de finas paredes sem objetos em seu interior.

6. Índice de Transmissão da Fala - STI

O índice de transmissão de fala (STI, do inglês *Speech Transmission Index*) é um indicador reconhecido da inteligibilidade da fala, definido e classificado na norma **IEC 60268-16:2011 [4]**. Em um ambiente escolar, onde o entendimento da fala é essencial para o processo de aprendizagem, se faz necessário que esse valor seja ainda mais elevado para obtermos uma boa qualidade acústica das salas de aula.

Ele varia como mostra a escala abaixo, entre 0 a 1.0 e avalia a qualidade acústica do interior de um ambiente em termos de inteligibilidade. Para nossa aplicação de salas de aula, desejamos um STI esteja pelo menos dentro da faixa mínima estipulada pela escala da norma IEC 60268-16, ou seja, minimamente entre 0.45 e 0.6 e preferencialmente acima de 0.6.



Figura 1. Escala de STI

Esse índice é calculado com base na Função de Transferência Modulada (MTF, do inglês *Modulation Transfer Function*) que descreve até que ponto a modulação está sendo transferida da fonte até o ouvinte. A MTF é avaliada para cada banda de oitava de frequência relevante para a fala e seus valores para as 14 frequências de modulação tem suas médias tiradas resultando em um índice que chamamos de *Modulation Transmission*

Index (MTI). Por fim, o STI é calculado quando fazemos a soma ponderada dos índices do MTI para cada frequência dentro da banda de oitava entre 125 Hz e 8000 Hz [3].

Este método é chamado de método direto e necessita do cálculo da matriz MTF para cada ambiente. Porém existe um outro método para o cálculo do STI, método esse que usaremos neste projeto: o método indireto. No método indireto, assumimos que o canal de transmissão é linear e assim a matriz MTF é fixa, podendo assim realizar as medidas de STI através da resposta ao impulso da sala. Como estamos atrás da medição pura da acústica da sala, sem considerar amplificadores ou outros componentes que tornem a medida não-linear, o método indireto é preferido [7].

Roteiro de Medições

Tendo em mente a necessidade de coletar informações sobre as salas da FEEC-Unicamp para a avaliação de sua qualidade acústica, segue abaixo o roteiro das medições realizadas, incluindo equipamentos utilizados e salas verificadas.

Lista dos equipamentos utilizados

- Microfone de referência PCB 378B02
- Condicionador de sinais BSWA MC102
- Interface de audio RME Madiface Pro
- Alto falante unidirecional Genelec 8020D
- Computador + Matlab

Breve introdução da metodologia utilizada

Para a coleta dos parâmetros necessários para a avaliação das salas usaremos os equipamentos listados de forma a captar a resposta da sala a diferentes sinais gerados via Matlab e emitidos pelo auto falante conectado ao computador pela interface de áudio. O microfone de referência irá captar a resposta desses sinais após interagirem com a sala e enviar essa resposta novamente ao computador para ser analisada. A comunicação entre microfone e computador será dada através do condicionador de sinais e da interface de áudio que faz a conversão analógica/digital e envia esta informação para o computador+Matlab.

A quantidade de medições será determinada pelas dimensões da sala, onde as salas maiores terão um número de medidas maior se comparadas com as salas menores, variando

de 3 pontos de medição para as salas menores até 6 pontos de medição para as salas maiores. Dessa forma, garantimos uma melhor precisão nos STIs encontrados e por consequência uma melhor avaliação dos resultados.

Tendo essas considerações em mente e seguindo os passos descritos a seguir, poderemos realizar as medições dos parâmetros acústicos das salas da FEEC-Unicamp.

Montagem do equipamento

Com o equipamento em mãos, conectamos o microfone ao condicionador de sinais e conectamos este por sua vez na interface de áudio RME que está conectada ao computador. Devemos nos certificar também que o auto falante está devidamente conectado ao RME e que os canais a serem utilizados estão apropriadamente conectados.

Confirmadas as conexões e o funcionamento dos equipamentos, devemos posicionar o microfone e o auto falante de forma a captar o sinal transmitido em diferentes posições da sala. Para isso iremos seguir dois critérios derivados da norma ISO 3382:1997, seção 4.3 [5] para escolher a posição do microfone: sempre manter uma distância mínima de 1.5m do microfone e da parede para que reflexões diretas não interfiram na medida e manter na medida do possível assimetria nas posições medidas para evitar redundância nos resultados obtidos.

Além do microfone também será levada em conta a posição do auto falante, que será posto de forma a simular a posição geral de um professor utilizando a aula. Dessa maneira conseguiremos resultados relativos à percepção que o aluno ouvinte normalmente encontraria na sala em questão.

Tendo em mente as considerações descritas acima, foi incluído no apêndice deste trabalho a listagem ilustrativa das posições tomadas para estas medições, onde os pontos verdes denotam a posição do auto falante/professor e os pontos vermelhos denotam a posição do microfone/aluno ouvinte.

Código executado (Matlab ITA-Toolbox)

Utilizando o Matlab em conjunto com o *toolbox ITA* [2], recurso *open source* desenvolvido pelo *Institute of Technical Acoustics* de *RWTH Aachen University*, com o uso de algumas linhas de códigos podemos controlar as características do sinal enviado pelo auto falante e podemos com facilidade trabalhar os dados recebidos pelo microfone. Segue abaixo, comando a comando, o código utilizado para cada medição e comentários:

ms = ita_measurement

Com este comando criamos um objeto de medição na variável *ms* e acionamos o toolbox, indicando que o sinal a ser enviado e outras propriedades da medição serão armazenado em *ms*. Assim que emitimos esse comando uma janela irá se abrir para fazermos especificarmos aspectos como os canais de entrada e saída, tipo do sinal (exponencial), amplificação da saída e tamanho da função de transferência. Após especificado, temos em *ms* um sinal na forma de uma exponencial que passará pelas bandas de frequência que definimos (20Hz-20kHz).

ms.run_backgroundnoise

Após definirmos os parâmetros de medição com a função *ita_measurement*, podemos usar a função *run_backgroundnoise* associada ao objeto de medição *ms* para coletar o som ambiente (ou ruído de fundo) da sala.

ms.run

Esse comando serve para que o objeto de medição *ms* realize uma medição da resposta em frequência do sistema. O objeto envia o sinal de medida definido previamente para o alto-falante, adquire o sinal de resposta captado pelo microfone e realiza a desconvolução.

ita_speech_transmission_index(ans)

Por fim, esse comando se utiliza do método indireto de aquisição do STI, usando a resposta em frequência medida com o comando *ms.run* e entregando como resposta o valor calculado do STI.

Resultados preliminares

Após as medições das respostas de cada sala, obtivemos um valor de STI para cada posição medida em cada sala. Levando em consideração o valor do STI que mede a qualidade acústica quando se avalia a inteligibilidade da fala, somado com outros aspectos como a reverberação natural da sala e o ruído externo, podemos denotar quais as melhores e quais as piores salas em termos de acústica.

O STI médio encontrado nas salas medidas segue conforme indicado abaixo:

Tabela 1. Relação entre Sala, STI médio medido, Área interna e Tempo de Reverberação médio

Sala	STI médio	Área	RT médio
FE01	0.5438	$105.91m^2$	1.7282s
FE02	0.4985	$185.90m^2$	2.2551s
FE03	0.5341	$105.91m^2$	1.7819s
FE11	0.4530	$87.86m^2$	2.3083s
FE13	0.4714	$86.62m^2$	2.0162s
FE22	0.4397	$88.22m^2$	2.4813s
PE11	0.5295	$154.02m^2$	2.0133s
PE22	0.7662	$26.84m^2$	0.8018s
PE24	0.7557	$38.87m^2$	0.8761s
PE26	0.7524	$70.73m^2$	0.9350s
PE33	0.7603	$26.84m^2$	0.9954s
PE35	0.7418	$38.87m^2$	1.2690s
LE46	0.6534	$77.70m^2$	1.1326s
LE48	0.7251	$76.55m^2$	0.7784s
LE49	0.6005	$57.97m^2$	1.4615s

Estudos de Caso

Agora que temos os resultados preliminares das salas, vamos escolher alguns casos para uma avaliação mais profunda, de forma a compreender melhor as características que levaram aos valores observados.

Sala PE22

A Sala PE22 foi a sala com o maior STI médio, registrando 0.7662 na escala do STI, um valor excelente para qualquer ambiente fechado, especialmente se tratando de uma sala de aula onde a inteligibilidade tem papel importante no aprendizado.

Com relação à área interna da sala verificamos que as salas de menor área apresentam um maior STI. Não só na sala PE22 mas como nas outras salas com área menor que $40m^2$ obtivemos STIs com valores superiores 0.7, indicando uma melhor inteligibilidade em ambientes menores. Isso ocorre porque em salas menores temos uma menor distância entre o falante e o ouvinte, fazendo com que a energia do som que vem direto do falante seja consideravelmente maior que a energia das reflexões da reverberação da sala.

Além disso, considerando os resultados individuais para cada posição medida na sala PE22, podemos inferir que o formato da sala contribui também para um melhor aspecto acústico quando referente ao entendimento dos alunos. Os resultados de cada STI medido para as posições 1 a 4 são respectivamente 0.7774, 0.7618, 0.7717 e 0.7541. Observando a figura 11 abaixo, referente à posição do falante em relação ao microfone 1 a 4, vemos que o resultado do STI desceu gradualmente com a distância. Uma sala com o formato afunilado da PE22 comporta mais carteiras na frente do que nos fundos, o que quer dizer que numa situação de distribuição equidistante, onde o professor estaria no centro em frente ao quadro, uma maior quantidade de alunos estariam posicionados à frente numa distância menor do professor e, por consequência, com uma compreensão facilitada do que está sendo falado com maior STI médio.

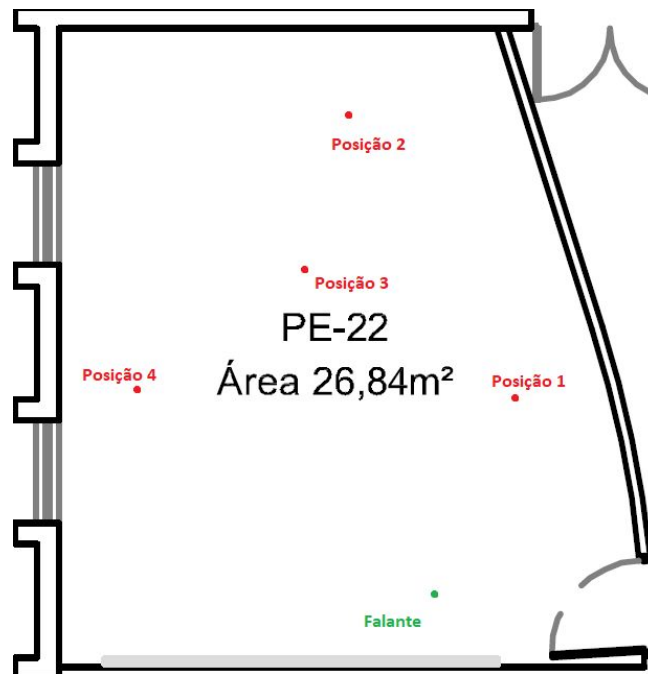


Figura 11. Sala PE22

Tomando como exemplo a posição 3, podemos perceber como a amplitude de cada frequência decai rapidamente, sem a interferência de reflexões que diminuiria a inteligibilidade nessa posição, conforme indicado nos gráficos abaixo:

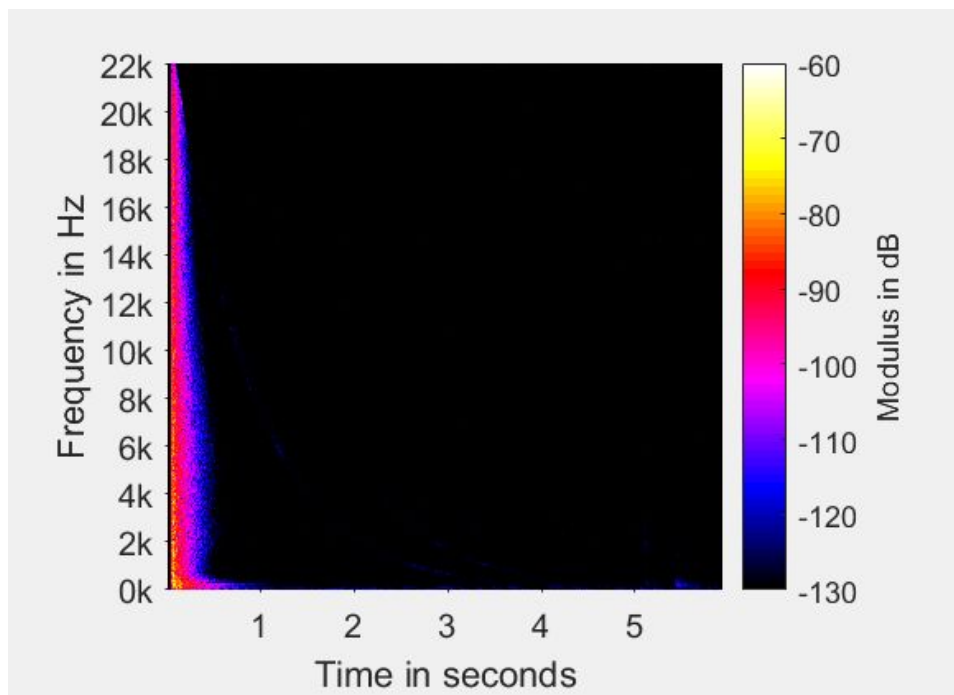


Figura 17. Espectro de frequências (Frequência vs Tempo vs Modulo dB) da resposta da sala PE22 na Posição 3

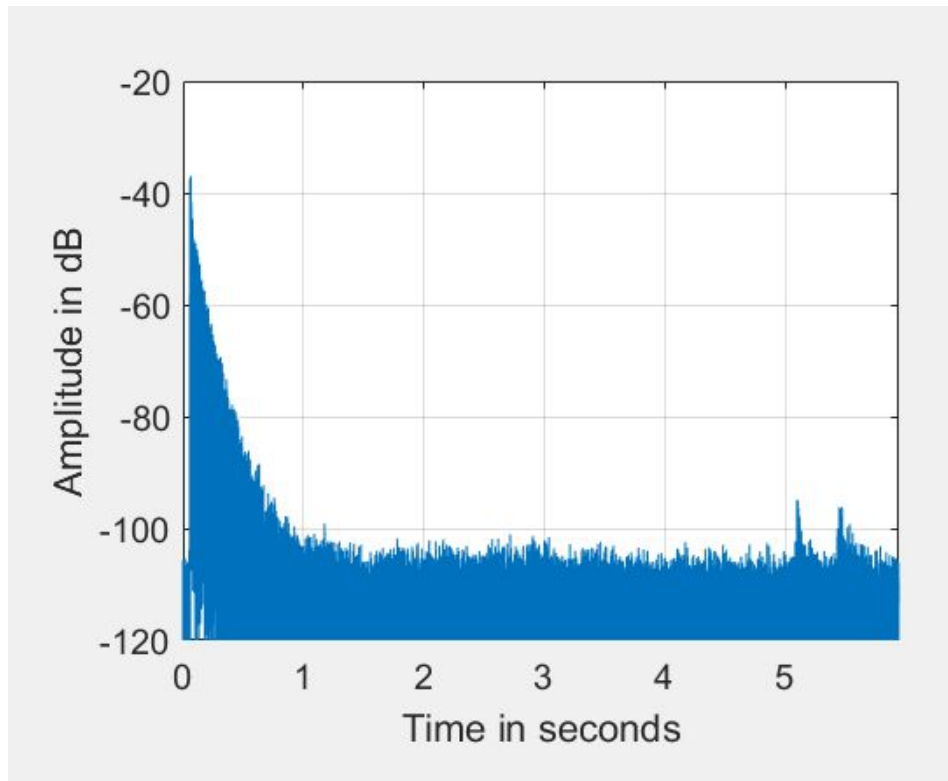


Figura 18. Resposta ao impulso (Amplitude em dB vs Tempo) da Sala PE22 na Posição 3

Pela figura 17 vemos que a maior parte das frequências tem um decaimento bem acentuado (menor que 0.5 segundos), especialmente se comparado com o decaimento de uma sala com baixo STI (vide figura 19), indicando clareza e ausência de eco. Um decaimento dessa grandeza pode ser considerado adequado para uma sala de aula.

Sala FE22

A sala FE22 apresentou o pior STI das 15 salas medidas. Com um valor médio de STI de 0.4397, as posições medidas (vide figura 7 abaixo) de 1 a 3 registraram um STI de 0.4370, 0.4450 e 0.4373 respectivamente.

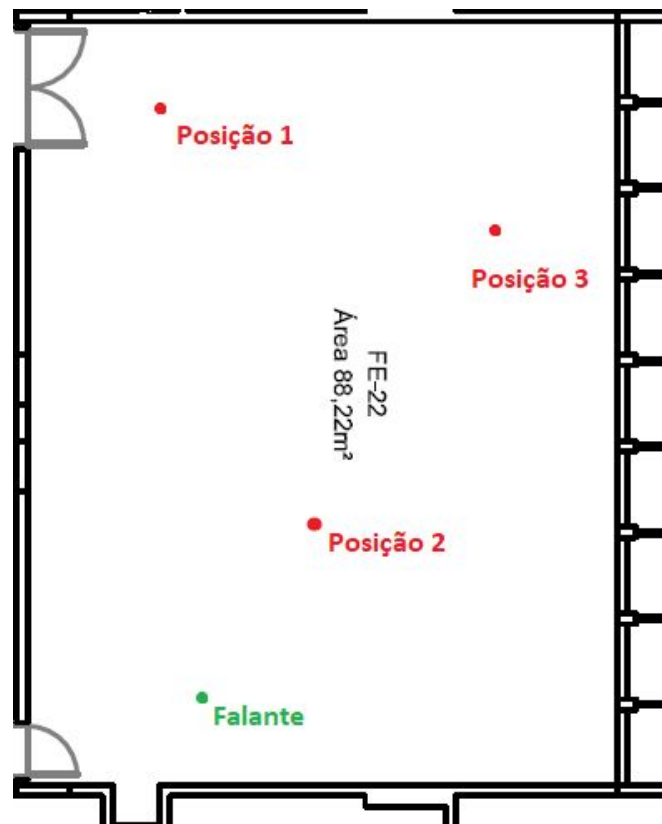


Figura 7. Sala FE22

Um valor abaixo do mínimo aceitável se compararmos com a escala da figura 1, onde o mínimo é 0.45-0.6 e para uma sala de aula desejamos um nível de inteligibilidade bem mais elevado.

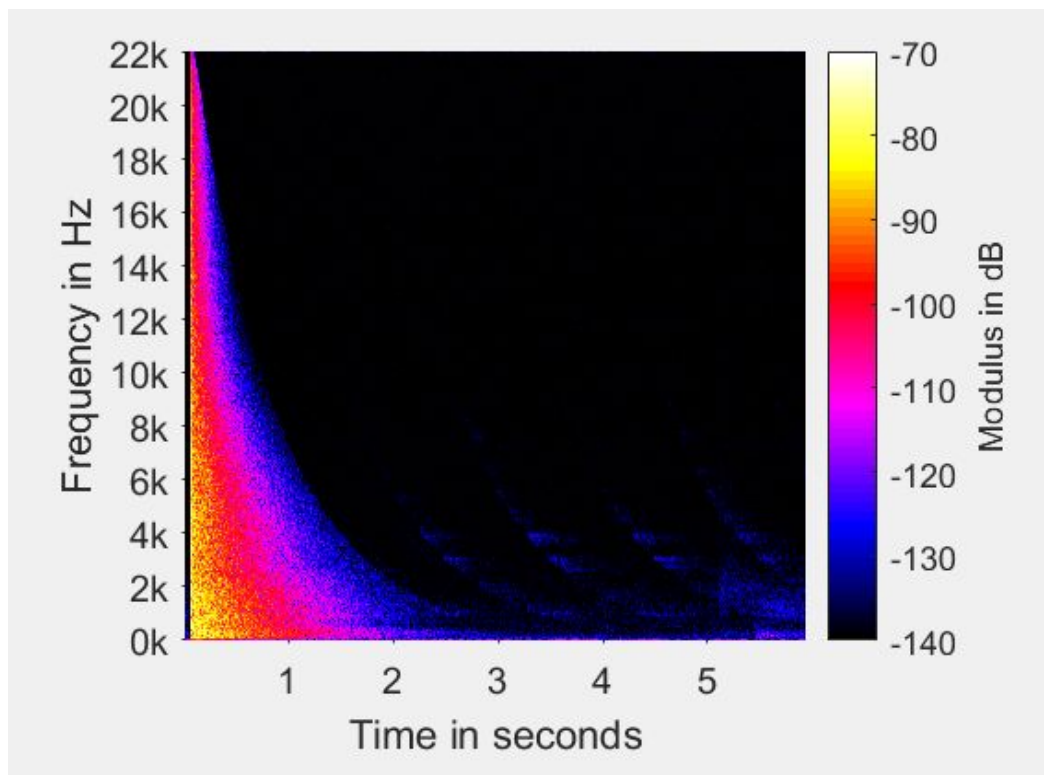
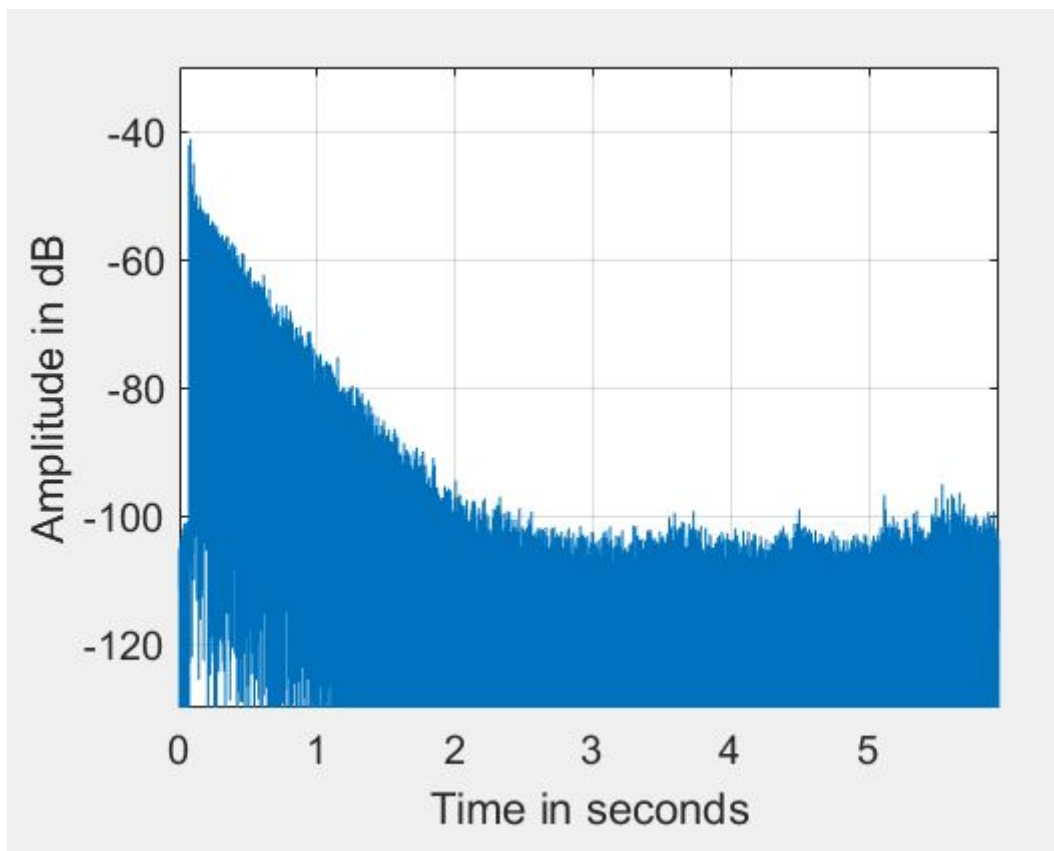


Figura 19. Espectro de frequências da resposta da sala (Frequência vs Tempo vs Modulo dB) Sala FE22 na Posição 1

Através do gráfico acima podemos notar que, comparado com a sala PE22 que possui um resultado muito melhor, vemos que o decaimento do sinal levou mais que o dobro do tempo, onde na PE22 o sinal durou aproximadamente 1 segundo e na FE22 o sinal durou um pouco mais de 2 segundos, um indício de um ambiente altamente reverberante. Esse fenômeno pode ser causado pelo grande volume da sala, ou pela ausência de materiais que aumentem a absorção e impeçam reflexões em demasia.

Para suavizar esse efeito, seria necessário a injeção de materiais dentro da sala que possam absorver as ondas sonoras refletidas de forma a eliminar as reflexões detectadas nos segundos posteriores. Materiais candidatos para esse papel seriam espumas ou acolchoados para as cadeiras, já que materiais porosos realizam bem essa tarefa, ou alguns painéis de absorção acústica como lã de vidro ou espuma colocados em posições que atenuem a maior parte das reflexões (como os fundos da sala ou o teto).



**Figura 20. Resposta ao impulso
(Amplitude em dB vs Tempo) da Sala FE22 na Posição 1**

Sala LE46 vs Sala LE48

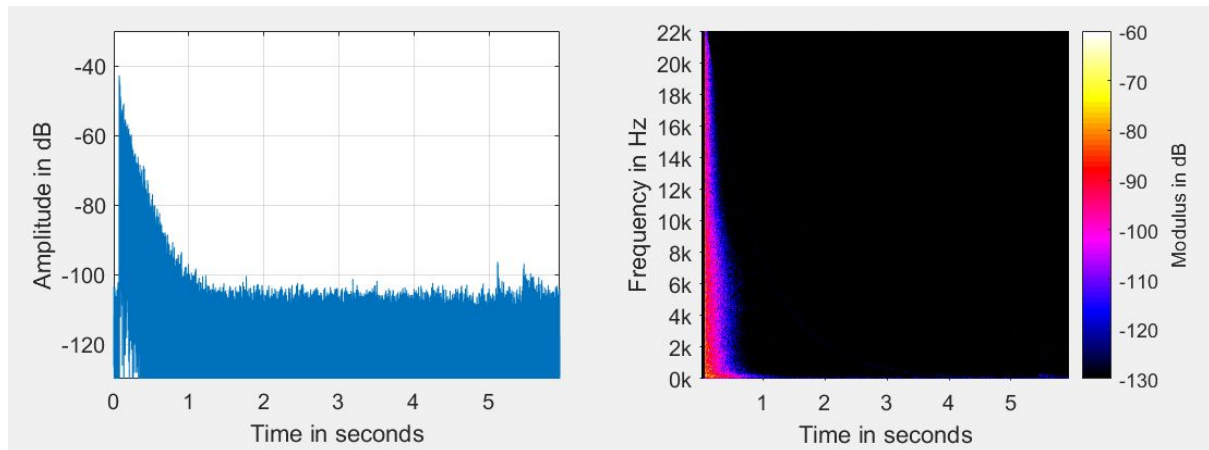
Como terceiro estudo de caso podemos ressaltar a comparação entre a sala LE46 e a sala LE48 que, apesar de possuírem a mesma área interna e serem posicionadas uma adjacente à outra com formato muito similar, exibiram resultados bem diferentes de STI.

De acordo com as figuras 8 e 9, ambas salas possuem aproximadamente $77 m^2$ e as mesmas dimensões. Outra característica compartilhada é que ambas estão imersas no mesmo ambiente, sujeitas portanto ao mesmo ruído externo que prejudicaria o STI.

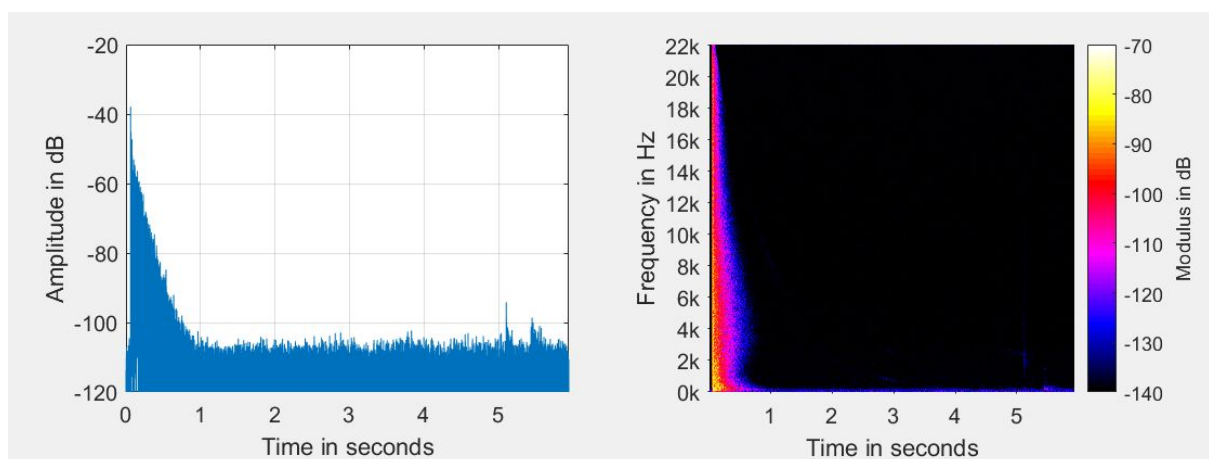
Porém, mesmo com essas similaridades, as salas apresentaram STIs distintos, onde a sala LE46 teve como resultado 0.6534 e a sala LE48 obteve 0,7251. Essa diferença se mostra ainda mais relevante se observamos que a diferença mínima perceptível em um STI é de 0.04 [6]. O artigo em questão [6] vai ainda em mais detalhe (tabela 6) relacionando STI e porcentagem de palavras ditas compreendidas, onde de um STI entre 0.45 e 0.75 podemos ter de 80% até 98% das palavras compreendidas, sendo muito relevante um aumento de STI nessa faixa.

Nas figuras 21 e 22 abaixo podemos ver em mais detalhe a diferença do decaimento entre as duas salas para as posições mais distantes do falante. Repare que na sala LE48

podemos ver uma maior queda da amplitude no mesmo intervalo de tempo, indicando uma melhor atenuação acústica da sala LE48.



**Figura 21. Resposta ao impulso e espectro de frequências
(Amplitude em dB e Frequência vs Tempo)
da Sala LE46 na Posição 2**



**Figura 22. Resposta ao impulso e espectro de frequências
(Amplitude em dB e Frequência vs Tempo)
da Sala LE48 na Posição 3**

Para explicar esses resultados precisamos primeiro verificar as diferenças internas das duas salas estudadas. Apesar de ambas as salas possuírem carteiras acolchoadas, o que permite que as altas e médias frequências em especial sejam absorvidas mais intensamente, somente a sala LE48 possui um carpete cobrindo a maior parte do chão da sala. Isso adiciona um elemento absorvedor adicional que atenua o sinal mais rapidamente, elemento esse que a sala LE46 não possui.

Outro diferencial da sala LE48 é o desnível entre as carteiras dos ouvintes e a frente da sala, muito comum em salas de teatro onde a plateia fica num nível mais elevado que o palco. Esse desnível auxilia na distribuição das ondas sonoras, para que todos os ouvintes

da sala possam ouvir o som emitido da frente da mesma maneira, do contrário da sala nivelada onde as carteiras da frente absorvem uma parte considerável do som diminuindo a inteligibilidade à medida que prosseguimos para o fundo da sala.

Conclusões finais

Com todas as medições feitas e as salas com STI processados, vemos que o atual cenário acústico das salas da FEEC em boa parte precisa ser visitado. Se considerarmos que idealmente uma sala de aula que se utiliza bastante da comunicação sonora para apresentar uma aula de qualidade necessita de pelo menos um índice de STI maior que 0.6, pouco acima do mínimo, teremos 7 das 15 salas medidas em necessidade de melhorias. Contudo, assim como as salas LE46/LE48, podemos analisar que elementos podem ser trazidos das salas com valores melhores de forma a criar um ambiente melhor acusticamente que facilite a atribuição de disciplinas em todos os níveis.

1. Carteiras com espuma ou almofadadas

Pudemos observar claramente o efeito da espuma das carteiras na sala LE48. Devido à característica de absorção de uma larga faixa de frequências desses materiais, a introdução de carteiras estofadas ou almofadadas não só aumenta o conforto do ouvinte, permitindo que este possa passar mais tempo na carteira sem ter sua atenção prejudicada, como também atenua intensamente a reverberação da sala, eliminando reflexões sonoras que, de outra maneira, diminuiria consideravelmente a inteligibilidade da fala, se tornando um empecilho para a aula ministrada.

Essa solução também apresenta a vantagem de ser consideravelmente mais barata do que o investimento em reformas físicas da estrutura da sala ou a instalação de um aparato acústico sofisticado. Além disso, vale mencionar que a aplicação de espumas debaixo das carteiras geraria um fenômeno similar, sem a necessidade da troca completa das carteiras.

2. Disposição física das carteiras

Em várias situações pudemos ver salas com a diferença significativa entre elas de possuir a disposição inclinada das carteiras dos ouvintes versus um formato tradicional plano de sala de aula. Como exemplos tivemos as salas LE46/LE48 e as salas FE13/FE22, onde percebemos claramente a diferença causada na inteligibilidade por essa disposição inclinada. Graças a isso, o som é absorvido de maneira mais distribuída, permitindo uma experiência mais uniforme e uma clareza acústica maior em geral.

Para evitar a necessidade de alteração física da sala e tendo em mente o impacto dessa disposição, uma solução aplicável para estes casos seria a

reorientação das carteiras de forma a acomodar a maior parte dos ouvintes da maneira mais centralizada/radial possível, maximizando assim o efeito observado.

3. Aplicação de materiais absorventes

Apesar de a grande maioria das salas não possuírem carteiras com materiais absorventes, vimos também esse fenômeno ocorrer devido à presença de persianas nas janelas. Como melhor exemplo, temos a sala PE26 que com uma área similar às salas do bloco F, apresentou um resultado superior, tendo isto como diferencial, impedindo que o vidro gerasse uma quantidade grande de reflexões e prejudicasse o STI.

Vale ressaltar também que a sala PE11, mesmo possuindo uma área duas vezes maior que salas como FE13 e FE22, ainda exibiu um STI mais elevado, em parte devido à presença de tais materiais evitando as reflexões nas janelas.

Essa solução porém apresenta um impacto menor que o demonstrado pela espuma e não possui o benefício alternativo de conforto, mesmo sendo uma solução também barata.

Acreditamos que com a aplicação de um ou mais dos elementos apresentados será possível melhorar de forma considerável a experiência como um todo dentro das salas de aula. Com um ambiente menos reverberante e com mais clareza na fala, não só o professor necessita de menos esforço vocal para apresentar seu conteúdo, mas também o aluno se torna mais engajado no que está sendo apresentado, eliminando barreiras para o processo de aprendizado em geral.

Como sugestões para trabalhos futuros, podemos utilizar esses resultados para testar modificações nas salas com baixos STIs, averiguando quais melhorias são mais eficazes em determinadas salas. Outro trabalho que também poderia ser feito seria a simulação das salas e a comparação com os resultados obtidos de forma a obter um modelo de simulação preciso para as salas da Unicamp e facilitar futuros projetos.

Bibliografia

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152:2017 : Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.** 2017

[2] Institute of Technical Acoustics of the RWTH Aachen University. **ITA-Toolbox.** Disponível em: < <http://www.ita-toolbox.org/index.php> >

[3] Brüel & Kjær. **Measuring Speech Intelligibility using DIRAC Type 7841.** Disponível em dezembro de 2013 <<https://www.bksv.com/doc/bo0521.pdf>>

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **IEC 60268-16:2011 : Equipamentos de sistema de som Parte 16: Avaliação objetiva da inteligibilidade da fala pelo índice de transmissão da fala.** 2018

[5] ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382:1997 : Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.** 1997

[6] RINDEL JH. **Calculation of Speech Transmission Index in rooms.** Fevereiro 2014. < https://odeon.dk/pdf/Application_Note_SpeechTransmissionIndex.pdf >

[7] Wikipedia. **Speech Transmission Index.**
< https://en.wikipedia.org/wiki/Speech_transmission_index >

[8] ANSI/ASA - ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools.**

Apêndice

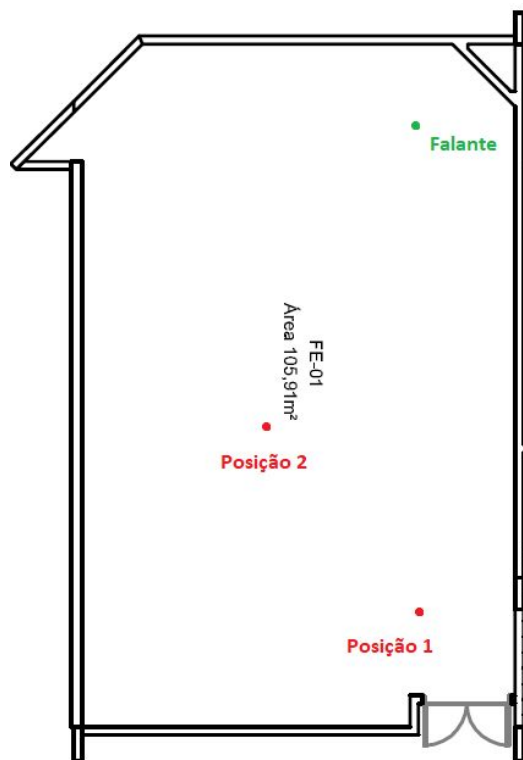


Figura 2. Sala FE01

OBS: devido a problemas técnicos encontrados durante as medições da sala FE01, foram tomadas somente 2 medidas ao invés das usuais 4 medidas para uma sala deste volume.

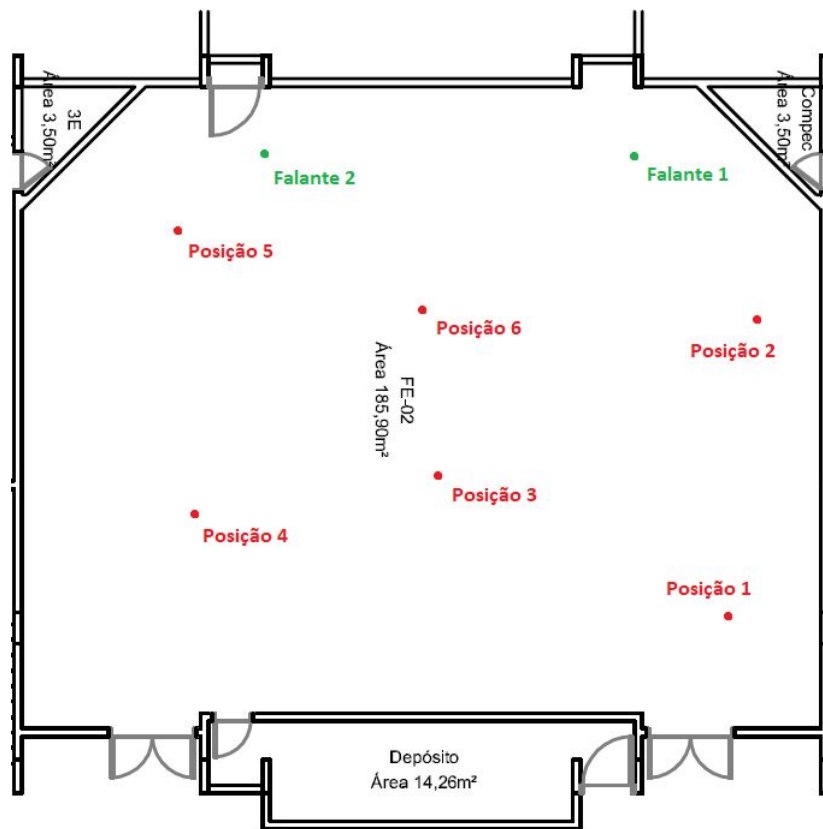


Figura 3. Sala FE02

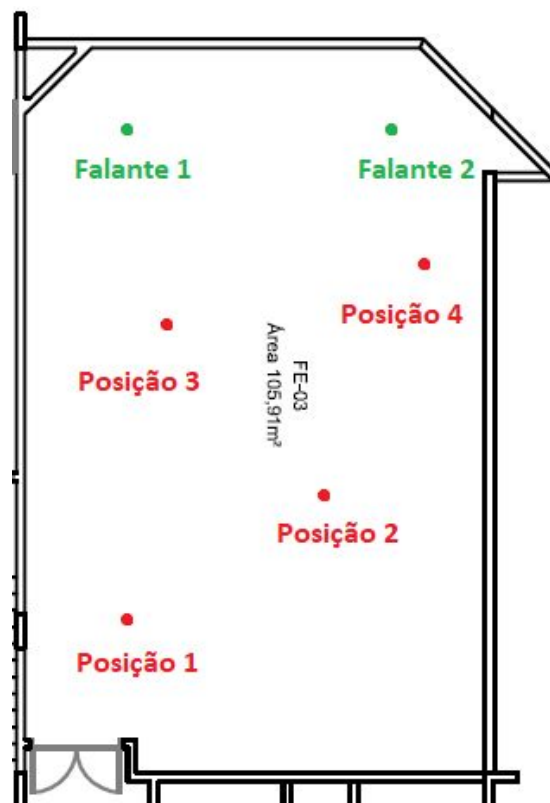


Figura 4. Sala FE03

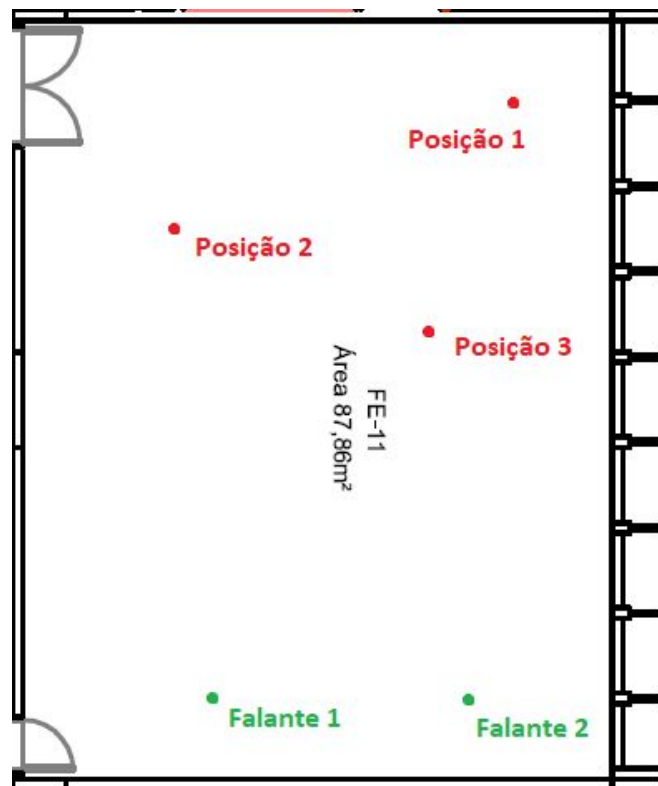


Figura 5. Sala FE11

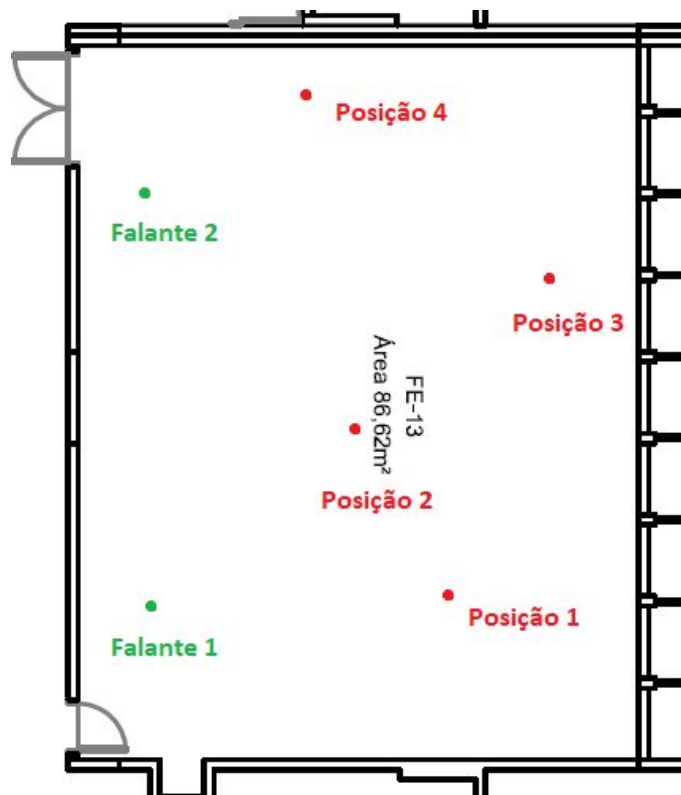


Figura 6. Sala FE13

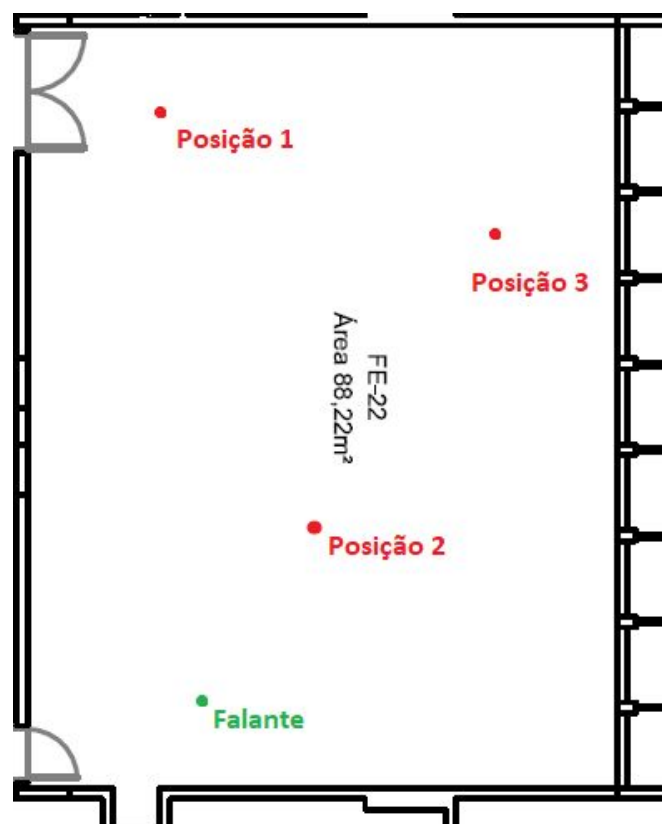


Figura 7. Sala FE22

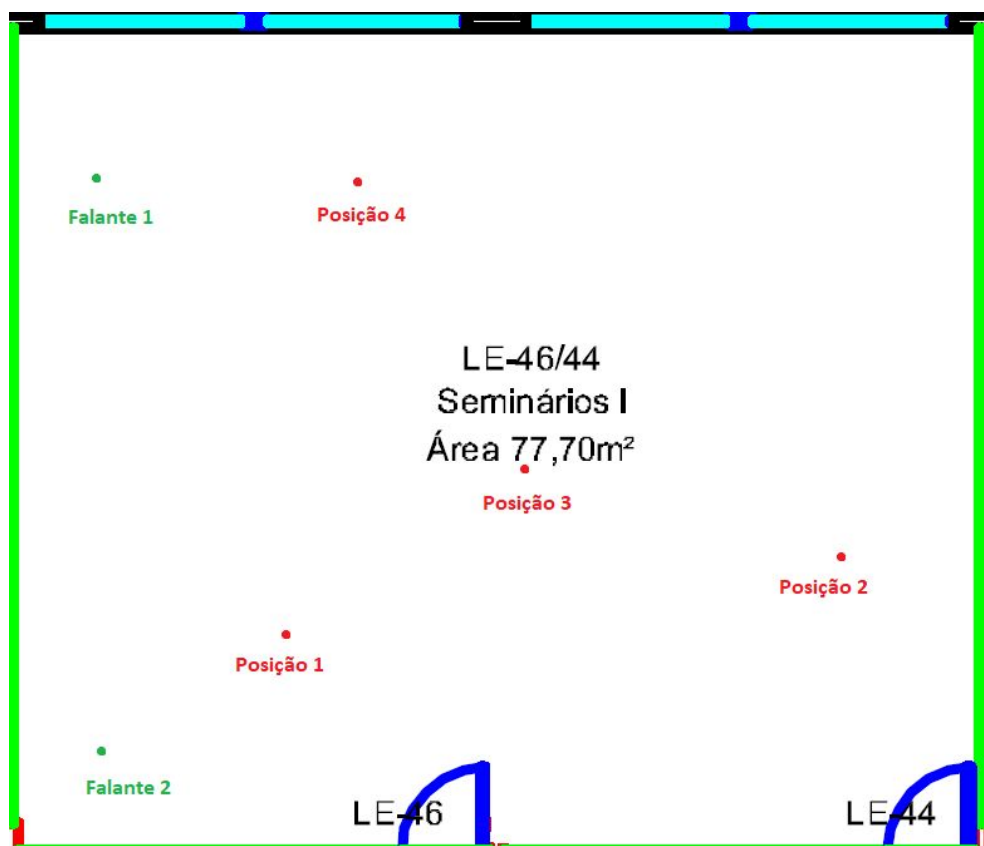


Figura 8. Sala LE46

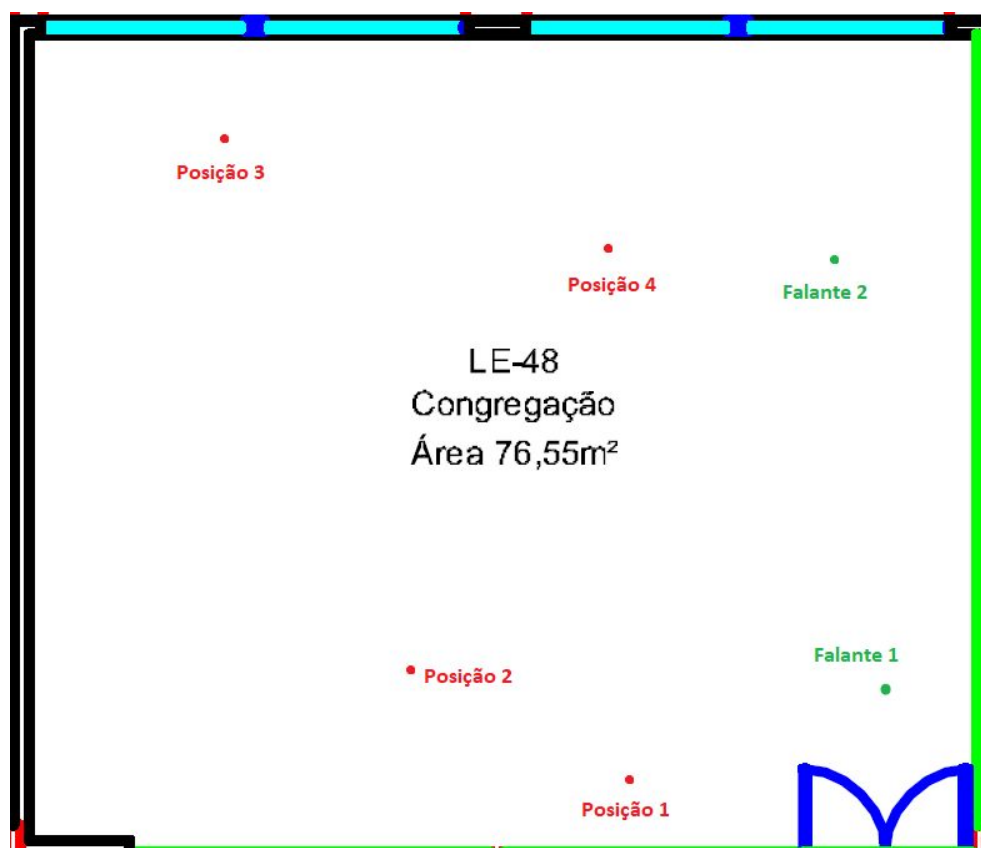


Figura 9. Sala LE48



Figura 10. Sala LE49

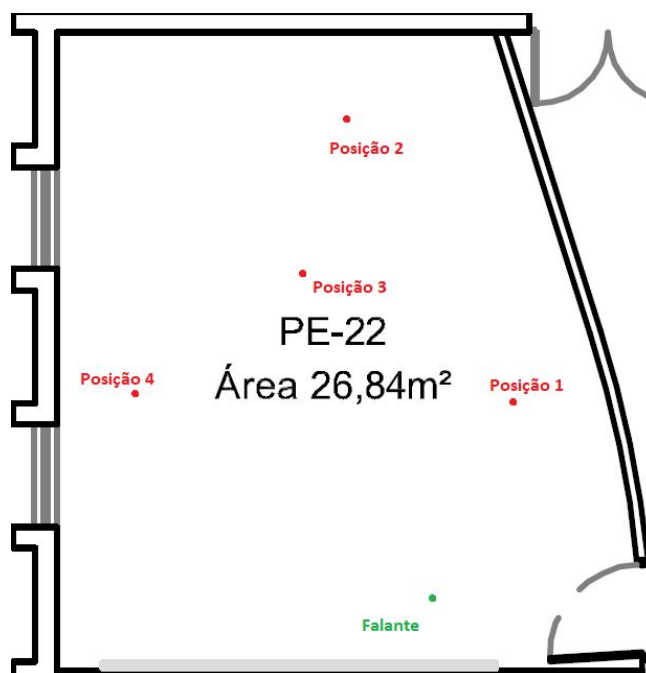


Figura 11. Sala PE22

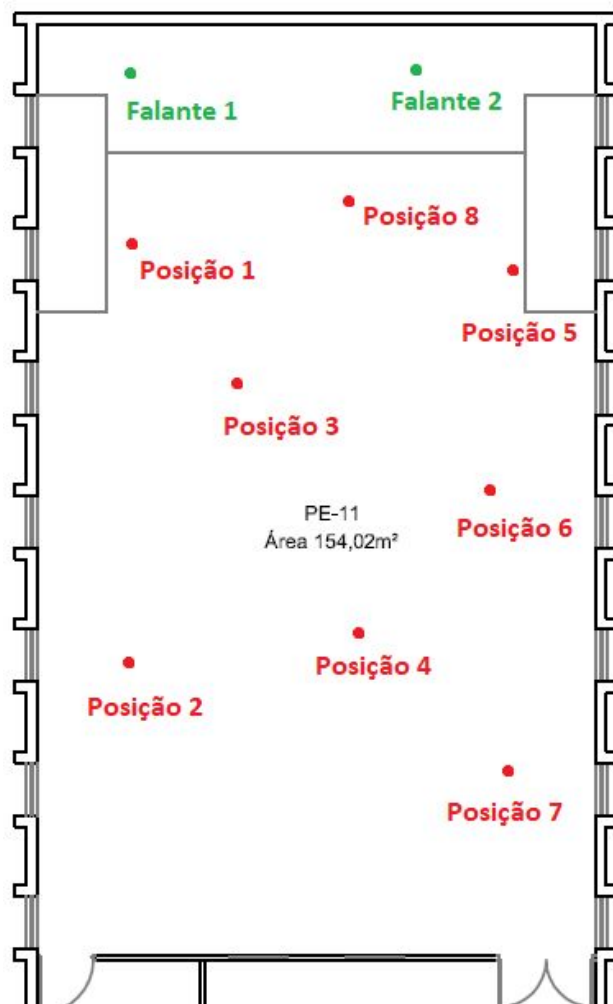


Figura 12. Sala PE11

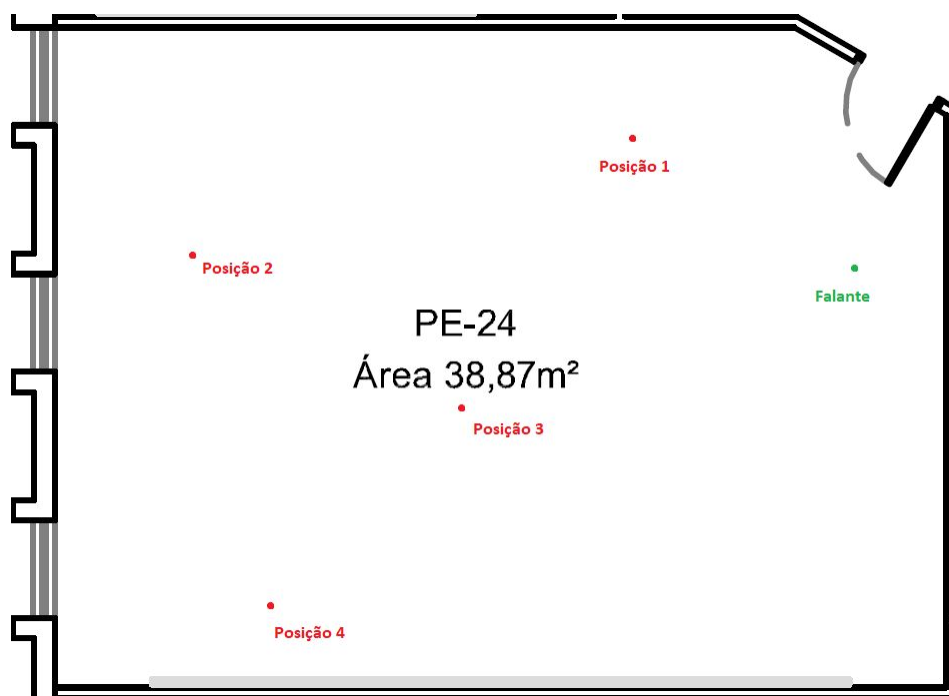


Figura 13. Sala PE24

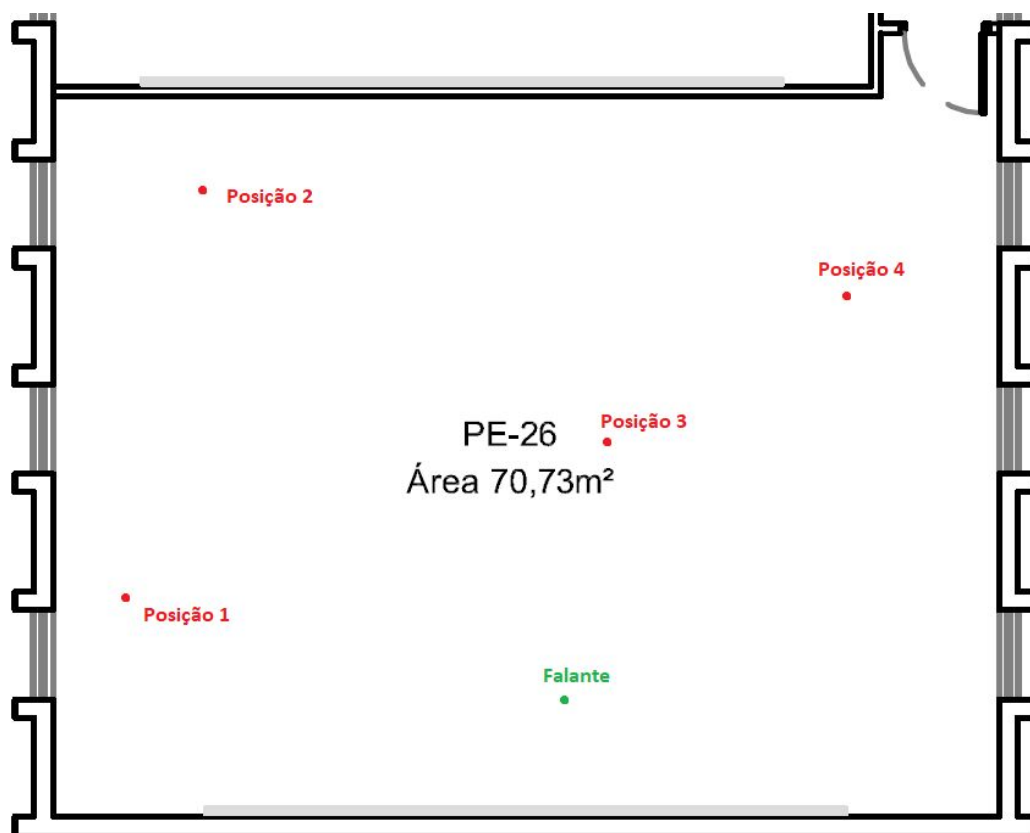


Figura 14. Sala PE26

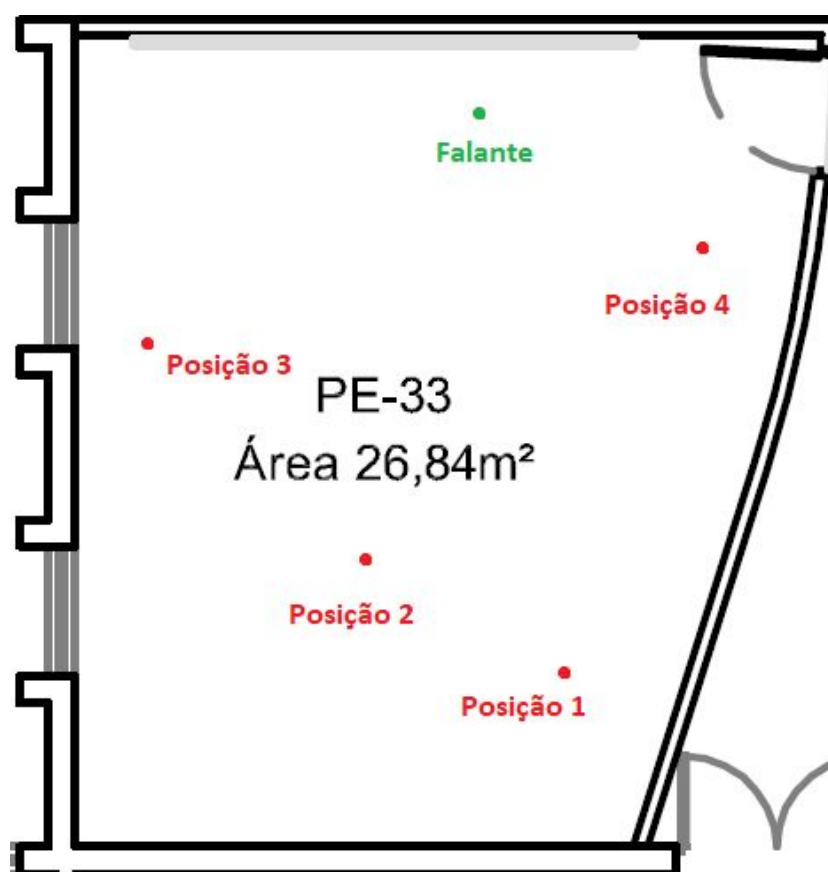


Figura 15. Sala PE33

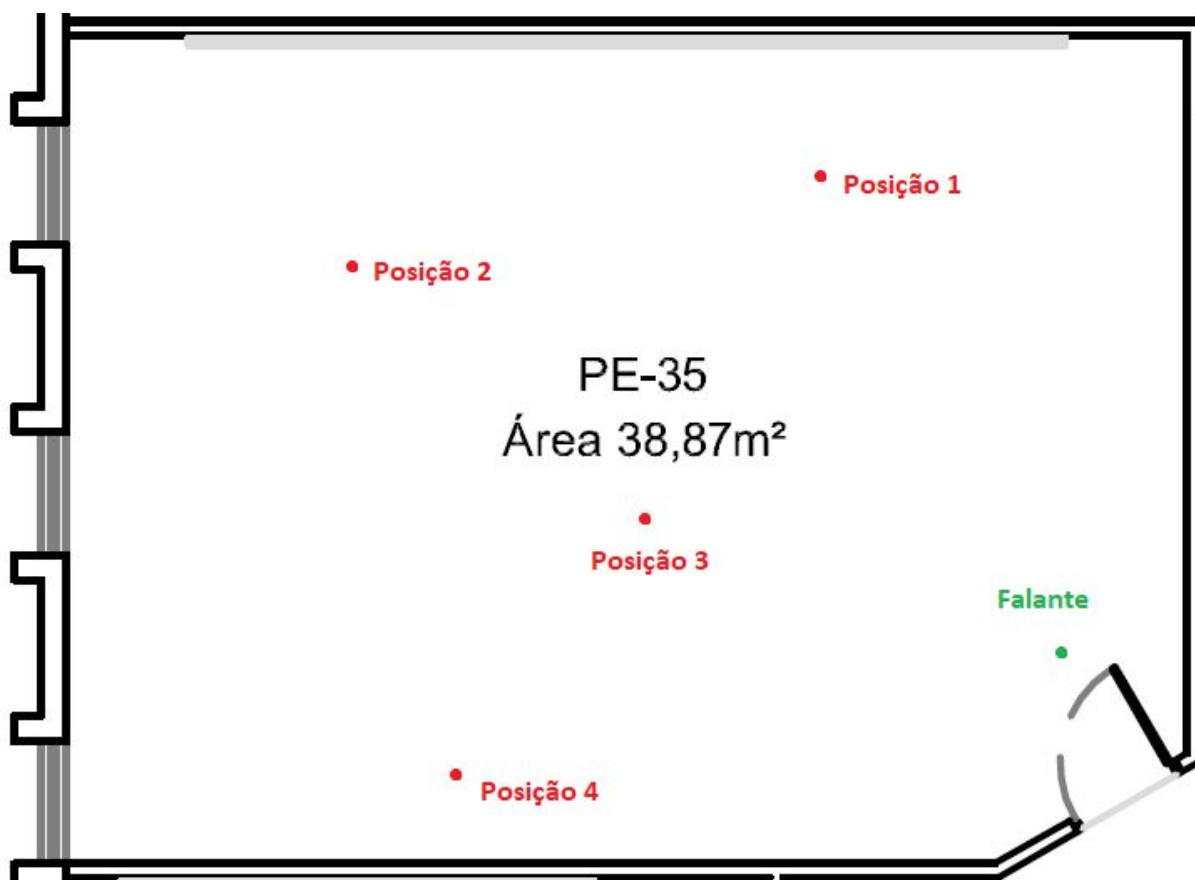


Figura 16. Sala PE35