



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL EM ESCOLAS DO
DISTRITO FEDERAL**

AUTOR: HIAGO ROGÉRIO ULHÔA

ORIENTADOR: ARMANDO DE MENDONÇA MAROJA

COORIENTADOR: PAULO GABRIEL FRANCO DOS SANTOS

Planaltina - DF

Junho 2018



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL EM ESCOLAS DO
DISTRITO FEDERAL**

AUTOR: HIAGO ROGÉRIO ULHÔA

ORIENTADOR: ARMANDO DE MENDONÇA MAROJA

COORIENTADOR: PAULO GABRIEL FRANCO DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação do Professor Armando de Mendonça Maroja e do Professor Paulo Gabriel Franco dos Santos.

Planaltina - DF

Junho 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que são minha base e ao meu orientador Professor Armando de Mendonça Maroja que orientou com maestria este presente trabalho.

AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL EM ESCOLAS DO DISTRITO FEDERAL

Hiago Rogério Ulhôa¹

RESUMO

Pesquisas na área indicam que as condições de conforto acústico em escolas do ensino básico, em todo o Brasil, não são adequadas ao tipo de atividade-fim da escola. A grande maioria dos estudos encontraram níveis de pressão sonora elevados e tempos de reverberação inadequados. Em muitos casos, o ruído externo a escola é o responsável e em outros o ruído interno é o preponderante. Em geral não há um reconhecimento da poluição sonora como um problema ambiental ou mesmo uma ameaça à qualidade de vida e a saúde da população. No ambiente escolar atrapalha a comunicação, a concentração e o aprendizado, sendo necessário o conhecimento das condições de conforto acústico do ambiente onde a comunidade escolar passa boa parte do dia. A pesquisa apresenta resultados da avaliação do ruído ambiental em duas escolas públicas da cidade de Planaltina, no Distrito Federal. Foram realizadas medidas do tempo de reverberação das salas de aula, dos níveis de pressão sonora no ambiente interno e no ambiente externo da escola bem como a avaliação do ruído devido ao tráfego veicular através de mapeamento acústico. Mesmo com salas de aula onde os tempos de reverberação são compatíveis com o ambiente escolar proporcionando uma inteligibilidade satisfatória, observam-se altos níveis de pressão sonora nos corredores da escola durante o período de aula, indicando que professores e estudantes devem ser alertados e conscientizados a respeito da situação de forma a reduzir o ruído ambiental nas escolas. O mapeamento acústico mostra que o ruído ambiental produzido no interior das escolas é o responsável pelos níveis de pressão sonora acima de 60dB(A) medidos durante o horário de aula e acima de 85dB(A) medidos durante o horário do recreio, com picos que superam os 100dB(A), obrigando o fechamento das portas da sala dos professores, da secretaria e da direção.

Palavras-chave: Ruído ambiental, conforto acústico, inteligibilidade, ambiente escolar, poluição sonora.

1 Curso de Ciências Naturais - Faculdade UnB de Planaltina

1. INTRODUÇÃO

O ruído ambiental, som capaz de provocar danos ao sistema auditivo com efeitos secundários de perturbação do equilíbrio bioquímico do organismo, mostra-se como uma problemática séria pelo fato de que parte da população garante sua subsistência no meio urbano onde o desenvolvimento tecnológico das indústrias, crescimento de grandes centros urbanos e condições inadequadas de trabalho fazem com que os indivíduos convivam permanentemente com o ruído (CARMO, 1999).

Os efeitos do ruído ambiental no organismo humano se dão de forma direta ou indireta, e podem variar de acordo com sua frequência, intensidade, duração e susceptibilidade individual de acordo com a exposição em que o indivíduo é submetido.

A audição humana é extremamente sensível e vulnerável ao ruído. Entretanto somos constantemente expostos a elevadas quantidades de ruído mesmo que não percebamos. Quando esta exposição se dá de forma prolongada, o ruído pode levar ao esgotamento físico e às alterações químicas, metabólicas e mecânicas do órgão sensorial auditivo. Em decorrência disto o estresse e a perturbação no rumo biológico resultam em distúrbios do sono e da saúde (CARMO, 1999).

A elaboração de programas educativos e fiscalização efetiva dos níveis de ruído ambiental podem exercer um efeito atenuante nesta problemática. É importante que haja a conscientização coletiva a fim de alertar a sociedade dos prejuízos que não apenas são restringidos a problemas de saúde, mas também a aspectos de aprendizagem e concentração.

A aprendizagem é composta por processos onde competências, conhecimentos, valores, habilidades e demais informações são assimiladas pelo resultado do estudo, experimentação, observação dentre outras formas com que o indivíduo interage com o meio (MOREIRA, 1999). Esta aprendizagem é favorecida quando o indivíduo está motivado, entretanto a poluição sonora em ambientes que promovem o aprendizado, como escolas e universidades, atua de forma negativa na concentração, na memória a longo prazo, compreensão da leitura e na comunicação. Medições dos índices de compreensão da fala em ambientes escolares mostram prejuízos na comunicação causados pela poluição ambiental. (SANTIKA, 2016).

Não se pode negar a importância da comunicação dentro do contexto educacional, principalmente a comunicação oral, onde a voz do professor é sua ferramenta de trabalho. Entretanto os professores têm de elevar sua voz para que sua fala seja inteligível pelo fato do ruído dentro da sala impossibilitar que ela seja compreendida trazendo a longo prazo prejuízos na saúde do profissional (ENIZ e GARAVELLI, 2006).

A presente pesquisa é fruto de um projeto maior, denominado “Ruído: a solução está na educação”, no qual ingressei pela afinidade com a Física. A partir deste projeto pude tomar ciência de que alguns locais podem ou não ser propícios a compreensão da fala de acordo com suas características morfológicas e de influência do ruído externo. Durante a vivência no projeto e o estudo sobre a problemática com a leitura de livros, de artigos e da pesquisa de campo onde pude observar o funcionamento da escola sob outra ótica. Dei-me conta da magnitude e até da existência da poluição ambiental verificando que um dos passos iniciais da conscientização é a avaliação do ruído ambiental.

As escolas Centro de Ensino Fundamental 03 e Centro de Ensino Fundamental 08, ambas localizadas em Planaltina – DF e participantes do CAPES/PIBID, foram selecionadas para o estudo das condições acústicas de acordo com as especificidades de cada instituição como a área em que a escola está inserida, as dimensões das salas, seus parâmetros acústicos que colaboram com a inteligibilidade e por fim foram identificados as fontes de ruído que afetam a escola.

Foram realizadas medidas do Nível de Pressão Sonora (NPS) em pontos estratégicos de cada escola para uma avaliação precisa do ruído ambiental. Dentro das salas foram medidos o tempo de reverberação (TR) a partir do qual foi estimado o índice da transmissão da fala ou STI (Speech Transmission Index). Na principal via localizada em frente ao CEF 8 foi aferido o fluxo de veículos e por fim foi produzido o mapa de ruídos para verificar a influência do ruído gerado pela via.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As ondas sonoras transportam energia de um ponto a outro de um meio através de uma onda de pressão. A audição humana é capaz de perceber frequências que compreendem o intervalo de 20 a 20kHz, logo entende-se como som audível uma variação de pressão em ciclos de 20 a 20.000 vezes por segundo proporcionando uma sensação auditiva (MENEGOTTO e COUTO, 1998 apud CARMO, 1999).

A intensidade desta onda sonora é a quantidade de energia que ela transmite a cada segundo através de uma superfície perpendicular à direção da propagação da onda onde essa energia atravessa um meio ou é absorvida pelo meio (HALIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

De acordo com o Acoustic Glossary (s.d.) a pressão sonora é caracterizada pela diferença entre a pressão advinda de uma onda sonora e a pressão exercida pelo meio em que o som é propagado onde a unidade de medida padrão para a pressão é o Pascal (Pa).

O nível de pressão sonora (NPS) é determinado pela sensação causada pelo estímulo no aparelho auditivo que é sensível a variação de pressão. Este estímulo segundo Weber e Frechner (apud LEMON, FERENGE, e STEPHENSON, s.d.) é proporcional ao logaritmo do estímulo o que leva a medir esta intensidade em uma escala logarítmica. A percepção do som pelo aparelho auditivo se dá pela variação da pressão. Como a intensidade de uma onda é proporcional ao quadrado da pressão que é captada, o NPS, é definido pela equação 1.

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

Nesta equação o P_0 representa uma pressão sonora de referência que normalmente é tomada como o limiar da audição humana, ou seja, $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa (BISTAFA, 2006). O NPS é medido em decibéis (dB).

Em termos da intensidade o NPS assume a forma da equação 2.

$$NIS = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

Nesta equação o Nível de Intensidade Sonora (NIS) representa a raiz quadrada da pressão que é captada e da pressão de referência onde essa grandeza é medida em decibéis.

Faz-se necessário distinguir som e ruído pois não existe diferença física entre elas. Grande parte dos sons são complexos com uma somatória de ondas sobrepostas como a fala, a música e os ruídos (CARMO, 1999). Entretanto RUSSO (1993) considera o ruído como um som aperiódico nas quais as ondas sobrepostas de frequências diferentes não apresentam relação entre si (apud CARMO, 1999). O ruído também é caracterizado por trazer prejuízos ao bem-estar físico e mental (SOUSA, 2005 apud BARROS, 2014).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011), o ruído ambiental é definido como ruído emitido de todas as fontes, exceto locais de trabalho industriais. A poluição sonora é o problema ambiental que atinge o maior número de pessoas depois da poluição do ar e da água (WHO, 2003 apud LACERDA et al, 2004).

A poluição sonora configura-se como um ruído oriundo de atividades que prejudiquem a saúde, mesmo que indiretamente, a segurança ou o bem-estar da população. Ruídos em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos também são considerados como poluição (FERREIRA, 1998 apud SILVA, 2003). O meio urbano, que concentra 81,25% da população, proporciona ao homem uma qualidade de vida que deixa a desejar devido a presença da poluição em todas as suas formas (SILVA, 2003).

Os ambientes urbanos trouxeram ao homem uma condição habituada com o ruído ambiental presente em seu cotidiano sem a consciência dos males físicos e psicossociais advindos deste tipo de poluição sonora como as alterações na motivação e disposição, redução da capacidade de concentração, de aprendizagem e aumento significativo dos níveis de nervosismo e agressividade afetando diretamente a qualidade de vida (LACERDA et al, 2004). A urbanização consoante com o crescimento econômico e a grande quantidade de veículos motorizados são em conjunto parte expressiva do ruído presente nos ambientes urbanos que afetam a saúde (WHO, 2011).

A questão do ruído é encarada de forma diferente em cada espaço sendo também um parâmetro pessoal em cada atividade ou até mesmo na cultura. Não há um consenso claro do que é considerado “barulho” ou o que é considerado um som agradável. Para determinadas religiões os cultos são a expressão máxima da ligação espiritual com Deus, entretanto para alguns vizinhos o ruído gerado é visto como barulho incômodo (SILVA, 2003).

Um estudo feito por Pegorer (2017) avaliou parâmetros acústicos de um templo religioso na área central de Taguatinga-DF com capacidade de 1600 pessoas onde em sua construção não houve elaboração de um projeto acústico. Foi relatado em seus resultados que o templo em questão não está de acordo com padrões acústicos considerados ideais afetando a compreensão do que é falado o que leva a aumentarem a intensidade do nível de pressão sonora para compensar os parâmetros em desacordo trazendo prejuízos à saúde do orador, dos ouvintes e vizinhos.

A falta de planejamento é um fator muito presente em áreas urbanas onde as edificações não preveem a questão do conforto acústico, mas sim o aproveitamento do espaço, o que acarreta em problemas com vizinhos de estabelecimentos comerciais.

Esta realidade é noticiada rotineiramente pelas queixas de pessoas que moram próximas a fontes de poluição sonora. Conhecida pelo funcionamento de estabelecimentos de entretenimento como bares e restaurantes no período noturno, foi feito em 2015 pelo Instituto Brasília Ambiental (Ibram) uma medição na quadra 408 Norte de Brasília de 69 decibéis, valor semelhante ao ruído gerado por um aspirador de pó ligado. Este ruído incomodava os vizinhos que conviviam com esta situação noticiada pelo G1 DF, (2015).

A Lei Distrital nº 4092/2008 denominada de “Lei do silêncio” determina os limites máximos de intensidade de emissão de sons e ruídos no Distrito Federal em consonância com a NBR 10151. Esta prevê que em área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas o nível de ruído não deve ultrapassar 50 dB no período diurno e 45 no período noturno. Em áreas mistas e predominantemente residenciais os limites são de 55 dB no período diurno e 50 dB no período noturno. Entretanto estes limites não estão sendo observados e está em discussão na Câmara Legislativa do Distrito Federal a ampliação destes limites onde músicos e donos de bares apoiam a mudança na legislação (G1 DF, 2018)

Trazendo o problema da poluição sonora para o contexto escolar, não há uma consciência sobre o problema por parte dos gestores e até dos estudantes talvez por desconhecer sua influência no rendimento escolar dos alunos e da saúde dos profissionais de educação. O fato de haver uma visão incipiente por parte de toda a comunidade, torna esta realidade preocupante (ENIZ e GARAVELLI, 2006).

Segundo Hygge e Kim (2011), o ruído afeta negativamente a aprendizagem das crianças, prejudicando a compreensão da leitura, atenção e a memória. A exposição prolongada durante os períodos críticos do aprendizado podem ter um efeito duradouro na realização educacional. Hygge e Kim (2011), citam um estudo feito em 1992 por Evans e colaboradores, em uma escola de Munique na Alemanha, onde em sua proximidade havia um aeroporto. Nesta escola foram analisados os efeitos da realocação deste aeroporto na saúde e cognição das crianças (N=326) que tinham de 9 a 10 anos. O aeroporto expunha as crianças a níveis de ruído elevados que estavam associados a déficits de memória a longo prazo e compreensão de leitura. Entretanto após dois anos o aeroporto foi realocado e estes déficits cessaram, o que indicou que os efeitos danosos do ruído na aprendizagem podem ser reversíveis caso acabe a exposição a esta poluição sonora. Sua equipe também acompanhou durante dois anos crianças que ficaram próximas do novo aeroporto e constatou que apareceram os déficits citados neste novo grupo.

Em estudo feito por Santika (2016) e colaboradores na Indonésia, foi avaliado o impacto ambiental que uma rodovia e um centro comercial causavam em salas de aula de uma escola próxima. No estudo mediu-se níveis de pressão sonora em pontos dentro da sala de até 64 decibéis, o que já é considerado incômodo. Também foi feito um teste com uma lista de 100 palavras escolhidas de acordo com sua fonética onde seria dito a palavra e verificado se o aluno compreendeu. O resultado foi uma média de compreensão de 71% das palavras onde alguns alunos compreenderam com clareza apenas 67% das palavras. Pôde-se notar que a poluição sonora nesta escola prejudica a comunicação dentro de sala de aula.

Em paralelo a este estudo e próximo a realidade deste, foi feita uma pesquisa por Eniz e Garavelli (2006) em escolas públicas e privadas das regiões administrativas de Brasília-DF. Foi constatado que 90% das escolas estudadas não estão de acordo com as normas que regem o limite de ruído nestes locais que é de 50 dB. Em uma das escolas estudadas o tráfego aéreo proporciona desconforto pela proximidade que tem com o aeroporto Juscelino Kubitschek.

Entretanto a organização da rotina da escola e de sua localização pode contribuir como ações de mitigação do ruído ambiental no contexto escolar proporcionando conforto acústico aos docentes e aos discentes. Atividades de recreação, aulas de educação física dentre outras atividades que estejam sendo realizadas próximas a salas de aula, mesmo que comumente realizadas, acabam somando-se ao ruído ambiental obrigando o professor a elevar a intensidade da voz para que sua fala seja compreendida (ENIZ e GARAVELLI, 2006). O que se agrava mais em salas com isolamento acústico não adequado a atividade-fim que realizam, tornando a reverberação um problema pois o aluno não consegue entender com precisão o que é falado e o professor novamente nesta perspectiva precisa elevar a intensidade da sua fala prejudicando a inteligibilidade da fala refletindo na aprendizagem e atingindo a saúde do professor.

O ruído gerado dentro da própria sala de aula deve ser considerado pois não apenas o ruído advindo da poluição sonora externa a escola é o principal fator de incômodo. Em um estudo feito por Silva et al (2015) em três escolas primárias de Portugal localizadas em Braga se teve o objetivo de avaliar os impactos da vizinhança da escola na sala de aula e as condições de ensino aprendizagem naquelas condições de ruído. Foram analisados dados de medições de níveis de pressão sonora (NPS) e uma avaliação de acordo com a percepção dos alunos e professores. Concluiu-se deste estudo que há ruído externo que adentra a escola provocado pelo tráfego de veículos, entretanto não é o barulho mais percebido de acordo com o que foi relatado por 91,9% dos estudantes. 93% dos alunos relataram que o ruído externo não é o mais incômodo. E por fim o ruído gerado dentro da própria sala de aula foi elencado pelos alunos e professores como o mais incômodo, ou seja, as vozes dos colegas. Os professores relatam que o processo de ensino-aprendizagem é afetado por tal ruído com prejuízos na concentração.

Dentro de uma sala de aula é primordial que a fala do professor seja compreendida com clareza. A qualidade acústica do local é importante para que a voz humana seja compreendida por todos presentes. Entretanto no Brasil por ser um país tropical há uma tendência a se construir locais com amplas janelas e vãos na alvenaria o que leva também a passagem de ruídos entre o meio externo e o interior dos recintos (MÜLLER, 2007). Devido a isto há a necessidade de um adequado isolamento acústico nestes locais.

Segundo Rabelo et al (2014), a sala de aula vive uma relação de competitividade no âmbito acústico devido à interferência causada pelo ruído. Esta competitividade acarreta alguns prejuízos físicos, emocionais e educacionais. Entretanto muitos destes problemas podem ser minimizados por meio de ações mitigatórias em espaços já concebidos e por meio do planejamento acústico do projeto de novas salas. Afirmam ainda que:

Os projetos de novas salas de aula precisam implementar avaliações desses parâmetros e também um planejamento acústico, estratégia mais econômica e eficaz. As ações corretivas posteriores sempre acarretam custos mais elevados e soluções mais difíceis (RABELO et al, 2014, p. 361).

O ser humano tem a necessidade de comunicar-se para a realização de fins comuns e de relações enquanto sociedade. Diversas formas de comunicação foram desenvolvidas dentre elas as principais foram a verbal e a escrita. Nesta relação uma mensagem é enviada pelo emissor para um receptor utilizando um código. A passagem da emissão para a recepção se faz através do suporte físico que é o canal. Tendo a possibilidade de a mensagem não ser recebida com clareza devido ao meio de transmissão utilizado (CHALHUB, 1987). Devido a isto, outro parâmetro importante de ser avaliado é a reverberação. De acordo com este parâmetro conseguimos verificar se a relação de propagação e reflexão das ondas sonoras estão ou não influenciando a inteligibilidade do que é falado.

O tempo de Reverberação (TR) corresponde ao tempo entre a chegada da onda direta até a chegada da última onda sonora refletida onde definiu-se que este tempo de reverberação é o tempo que o ruído demora para decair 60 decibéis após interrompida sua emissão (SILVA, 2013). Em termos práticos a reverberação em desacordo com as normas afeta as altas frequências de modulação o que acarreta no prejuízo do entendimento da fala (MÜLLER, 2007).

Para mensurar o nível da inteligibilidade que uma determinada sala proporciona podemos utilizar o STI (Speech Transmission Index). Este índice leva em consideração a reverberação e o ruído de fundo que podem de fato atrapalhar o entendimento da fala. Este parâmetro acústico possui resultados simples e de fácil interpretação ocupando valores entre 0, quando a fala é ininteligível, e 1 quando a inteligibilidade é perfeita (MÜLLER, 2007).

Um estudo feito por Zannin, Ferreira e Sant'ana (2009) avaliou a qualidade de transmissão da fala por meio do STI e o tempo de reverberação em salas de aula construídas em diferentes décadas na Universidade Federal do Paraná. Curiosamente as salas de aula do centro politécnico construídas na década de 60 apresentaram tempos de reverberação que estão próximos do ideal e um STI considerado bom segundo as simulações. Já as salas de aula do jardim botânico construídas no ano de 2000 apresentaram tempos de reverberação fora dos padrões e um STI considerado ruim. Entretanto há diferenças estruturais e arquitetônicas nos locais citados. A adoção de materiais de revestimento com maiores coeficientes de absorção sonora apresentou grande impacto sobre o STI e o tempo de reverberação. Nota-se que o planejamento acústico de um local a ser construído é de suma importância para evitar gastos futuros com ações mitigatórias.

Para a espacialização da paisagem sonora de um local, o mapeamento acústico é uma excelente ferramenta. O mapeamento acústico, que atualmente é feito em softwares específicos, consegue prever o cenário acústico de um local afetado ou protegido acusticamente. De acordo com seus resultados o mapeamento acústico proporciona uma visão de onde deve ser feitas ações mitigatórias e planejadas para reduzir o ruído com uma ação mais precisa e eficaz.

O trabalho de conclusão de curso conduzido por Barros (2014) analisou a poluição ambiental na escola pública Centro de Ensino Fundamental 04 de Planaltina, Distrito Federal. Foi mensurado o ruído ambiental presente no interior e no exterior da escola que está localizada próxima de uma feira de confecções e uma via com fluxo de veículos significativo. Entretanto a disposição das medidas no mapeamento acústico mostrou que a principal fonte de ruído é gerada dentro da própria escola com valores de NPS em média 15dB acima do estabelecido pela legislação vigente. Também foi produzida uma proposta didática para auxiliar o professor na conscientização deste problema.

Consoante com a ideia de conscientização o trabalho conduzido por Queiroz et al (2018), também no projeto Ruído: a solução está na educação, em escolas da região de Planaltina, Distrito Federal, foi produzida uma cartilha com o objetivo de conscientizar a comunidade escolar sobre os prejuízos que a poluição ambiental traz com enfoque principal nos alunos do ensino fundamental, professores e gestores da escola em questão. Para uma compreensão mais precisa e eficaz do problema são acrescentadas imagens que conduzem o pensamento do quanto amplas são as situações em que o ruído ambiental está presente no dia-a-dia, inclusive nos momentos de lazer.

Uma iniciativa no sentido conscientizar a população em geral sobre os efeitos do ruído, o dia internacional da conscientização sobre o ruído (INAD) teve início em 2008. No dia 26 de abril de cada ano são realizadas palestras e distribuição de folders no dia internacional da conscientização sobre o ruído. É importante que haja projetos acústicos de locais a serem concebidos, correções em locais com parâmetros acústicos em desacordo, leis que restringem o limite de emissão de ruído em locais vulneráveis a poluição sonora como escolas e hospitais, porém a conscientização tem papel primordial para gerar mudanças sem a necessidade de se restringir ou proibir.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar as condições de poluição sonora em todo o perímetro de escolas de Planaltina, Distrito Federal, observando aspectos de emissão sonora em ambiente interno e externo às escolas. Também foi avaliada a qualidade acústica das salas a partir do tempo de reverberação

3.2 Objetivos específicos

- Revisão bibliográfica sobre a poluição sonora, com ênfase nos métodos de avaliação do ruído ambiental no ambiente escolar;
- Medições de Níveis de Pressão Sonora relativos ao ruído ambiental em ambientes internos e externos às escolas avaliadas e do Tempo de Reverberação nas salas de aula;
- Análise dos dados coletados, confecção de um mapa de ruídos e determinação de parâmetros característicos da acústica de salas de aula, tempo de reverberação e STI;

4. METODOLOGIA

Esta teve início com a leitura e discussão de bibliografia específica incluindo livros, tal como “Acústica Aplicada ao Controle do Ruído” de Sylvio Bistafa, juntamente com apostilas e artigos. Por fim o treinamento com o aparelho de medição, sonômetro, e software de simulação ambiental acústica. Delimitou-se a área de estudo e foram coletados os dados por meio de medições.

A análise foi realizada por meio da observação dos aspectos característicos e morfológicos da escola estudada juntamente com sua localização.

4.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada em duas escolas localizadas em Planaltina DF, Centro de Ensino Fundamental 03 e Centro de Ensino Fundamental 08, das quais até o primeiro trimestre de 2018 participavam do projeto PIBID/CAPES da UnB Campi Planaltina.

Centro de Ensino Fundamental 03



Figura 01: Pontos de medição CEF 3.

O CEF 3 está localizado no Setor Residencial Leste, figura 1, em um perímetro somente residencial onde todas as vias que circundam a escola são estritamente residenciais não havendo fluxo grande de carros e pessoas exceto nos horários de entrada e saída de alunos.

A escola comporta cerca de 800 alunos das séries finais do ensino fundamental (6º ao 9º ano) e da Educação de Jovens e Adultos.

Todas as salas possuem forro ecológico no teto, janelas grandes e ventiladores que são casualmente utilizados. A escola conta com sala de recurso, informática, biblioteca, quadra de esportes. Ao lado da quadra é muito amplo e bem arborizado com 2 aparelhos de espiribol. Nesta escola falta local para os alunos lancharem, pois, esta escola tranca as salas durante o recreio levando-os a lancher no chão ou sentados em uma mureta de concreto que existe próximo da cantina.

A escola como um todo é bem arborizada tanto nos estacionamentos como nas áreas onde os alunos passam o recreio. E diferente do CEF 8 que a parte construída da escola é do tamanho do lote, o CEF 03 possui muitas áreas verdes principalmente as citadas próximas da quadra. Outro detalhe é que as salas são fixas com as matérias, sala ambiente, então os alunos que se deslocam de uma sala para outra no final de cada aula, o que acaba gerando muito ruído com o fluxo de alunos transitando e conversando.

Centro de Ensino Fundamental 08

O CEF 8 está localizado no Setor Residencial Leste, figura 2, em um perímetro residencial onde duas vias (via 2 e 3) que circundam a escola são estritamente residenciais não havendo fluxo elevado de carros e cortado por uma via comercial (via 1) por onde há um tráfego significativo de veículos pesados como ônibus. A escola comporta cerca de 750 alunos das séries finais do ensino fundamental (6º ao 9º ano).

Todas as salas possuem forro PVC no teto, janelas grandes e aparelhos de ar condicionado que são casualmente utilizados. A escola conta com sala de informática, biblioteca, quadra de esportes e área de convivência onde os alunos ficam durante o recreio. Entretanto falta local para os alunos lancharem, pois, as salas são trancadas durante o recreio levando-os a lancher no chão ou bancos de concreto que existem próximo das salas de aula. Outro detalhe é que a área livre para os alunos é o único corredor que se tem entre as salas, mesmo que seja amplo.



Figura 02: Pontos de medição CEF 8.

Na escola encontra-se uma unidade do Centro Interescolar de Línguas e que não tem relação direta com as atividades escolares do ensino fundamental. A Escola Classe 04 é vizinha do CEF 8 acarretando em um aumento significativo do fluxo de carros e vans escolares nos horários de entrada e saída de alunos.

4.2 Medições realizadas

Para a análise do ruído ambiental foram utilizadas medições de NPS a fim de aferir a intensidade do ruído ambiental. Na figura 1 e 2 estão destacados os pontos onde foram realizadas as medidas do ruído ambiental. Nas medidas do Tempo de Reverberação foram selecionadas apenas uma sala em cada escola dado que em cada escola as salas apresentam o mesmo padrão de construção com mesma dimensão e materiais de revestimento. O STI foi determinado a partir do modelo teórico de Tang e Yeung (2005).

4.2.1 Medidas do ruído ambiental

Estas medidas foram realizadas entre 7h30min e 12h30min no período entre janeiro e março de 2018. Foram seguidas as recomendações operacionais da Norma Brasileira 10151 (ABNT, 2000) que recomendam medições em condições de ausência de ventos fortes e condições de tempo sem chuvas e trovoadas que poderiam influenciar as medições.

Tanto nas medidas internas e nas medidas externas foi utilizado o medidor da 01dB METRAVIB modelo Solo, figura 3, com o protetor de vento. O tempo de cada medição foi de 5 minutos. O medidor foi instalado em um tripé que foi ajustado a 1,2 metros de altura a partir do chão e afastado pelo menos 2 metros de superfícies refletoras como paredes e carros. Como o foco é o impacto de acordo com a audição humana foi escolhida a ponderação em A, que se refere ao filtro de frequências que simula as frequências que o ouvido humano capta. O parâmetro acústico L_{Aeq} , referente ao cálculo do nível de ruído contínuo equivalente em um dado intervalo de tempo, foi utilizado na avaliação do NPS. Também foram avaliados os índices estatísticos L90, L10 bem como os valores limites Lmin e Lmax. Os parâmetros L90 e L10 correspondem ao nível de pressão sonora extrapolado durante 90% e 10%, respectivamente, do tempo de medição. Já o Lmin e Lmax correspondem, respectivamente, ao nível mínimo e máximo de som durante um período de medição ou um evento de ruído. O software utilizado para analisar os dados das medições é o dBTrait. A análise dos dados neste software compreende uma série de tabelas com os valores dos parâmetros em cada ponto de medida. Um exemplo de relatório típico é apresentado no anexo 1.



Figura 03: Sonômetro METRAVIB. modelo SOLO, 01dB. Fonte : 01dB Corp.

Pontos estratégicos foram selecionados para as medidas do ruído ambiental em cada escola. Esses pontos estão destacados nas figuras 1 e 2.

Como pontos externos do CEF 03 foram considerados locais externos ao prédio da escola compreendendo as áreas verdes distantes do prédio, estacionamentos e quadra de esportes (G, H e I). Os pontos internos compreendem salas de aula, pátios, área da cantina e corredores.

Como pontos externos do CEF 8 foram selecionados locais em frente à entrada da escola, entre o muro externo da escola e a via 1 de maior movimento e em área residencial (J, K e L). Os pontos internos compreenderam salas de aula, pátios, quadra de esportes e área de entrada da escola.

4.2.2 Mapa de ruídos

Visto que só havia fluxo significativo de ruídos na proximidade da escola CEF 8, apenas para essa escola foi simulado o ruído ambiental, considerando apenas a Via 1 como fonte. Foi medido o fluxo de veículos na via 1, figura 2, no horário matutino entre 7h 30min e 12h 30min. foram contabilizados o fluxo de:

- Veículos leves: conta-se motos, motonetas e triciclos nesta categoria; Veículos, Peso Bruto Total (PBT) de até 3500kg, de transporte de passageiros; Caminhonete, caminhoneta, vans e outros veículos com PBT acima de 3500kg destinado ao transporte de cargas e/ou passageiros;
- Na categoria dos veículos pesados está: Ônibus, micro-ônibus e caminhões.

O software utilizado foi o SoundPlan 7.0, que simula o ruído gerado pelo fluxo de carros informado. Na produção dos mapas de ruído foi utilizado o parâmetro acústico, considerando o período de funcionamento da escola no período diurno. Na simulação do ruído decorrente do tráfego rodoviário foi utilizado o modelo matemático alemão RLS 90. O passo da grelha foi estabelecido em 2m, com altura de cálculo de 4m. De forma a complementar e aperfeiçoar a análise dos resultados foram posicionamos receptores de ruídos em vários locais no exterior da escola, nas mesmas posições e altura dos pontos de medida.

4.2.3 Medida do ruído e inteligibilidade nas salas

O tempo de reverberação foi aferido de manhã, entre 8h e 11h da manhã, em salas vazias durante o período de férias para que o ruído externo não interferisse no resultado. Pelo fato das salas possuírem as mesmas dimensões e materiais de revestimento, utilizamos uma sala de cada escola para fazer as medidas.

No CEF 8 utilizamos a sala de aula 09 e no CEF 03 utilizamos a sala 11. As medidas foram feitas em três pontos distintos formando uma diagonal. O balão foi estourado onde o professor fica na posição de orador, e o medidor ficou nos pontos citados, conforme mostra a figura 4.

Foi utilizado o método do ruído impulsivo ISO 3382 (1997), por meio do estouro de balões de nº 12, onde em cada ponto foram feitas 3 medidas. Ao final foi produzido um número único para expressar o tempo de reverberação, considerando a média aritmética dos tempos de reverberação, para analisar o critério de sala RC (Room Criterion), das frequências de 500 Hz, 1kHz e 2kHz (TANG e YEUNG, 2005).

$$TR_{RC} = (TR_{500} + TR_{1000} + TR_{2000})/3 \quad (3)$$

O aparelho utilizado para a medida do Tempo de Reverberação foi o mesmo utilizado para as medições de NPS, o sonômetro modelo Solo da 01dB, no modo “T60” que afere o decaimento de 60 dB do ruído após interrompida sua emissão. Nestas medidas apenas duas pessoas estavam na sala, uma para estourar o balão e outra para manusear o sonômetro a fim de não interferir nos resultados do TR. Os dados coletados foram analisados no software da 01dB, dBbati. Essa análise feita no software mostra o decaimento de 60 dB a partir do ruído impulsivo a de uma interface gráfica, onde há um gráfico do decaimento para cada faixa de frequência como mostra a imagem do anexo 2.

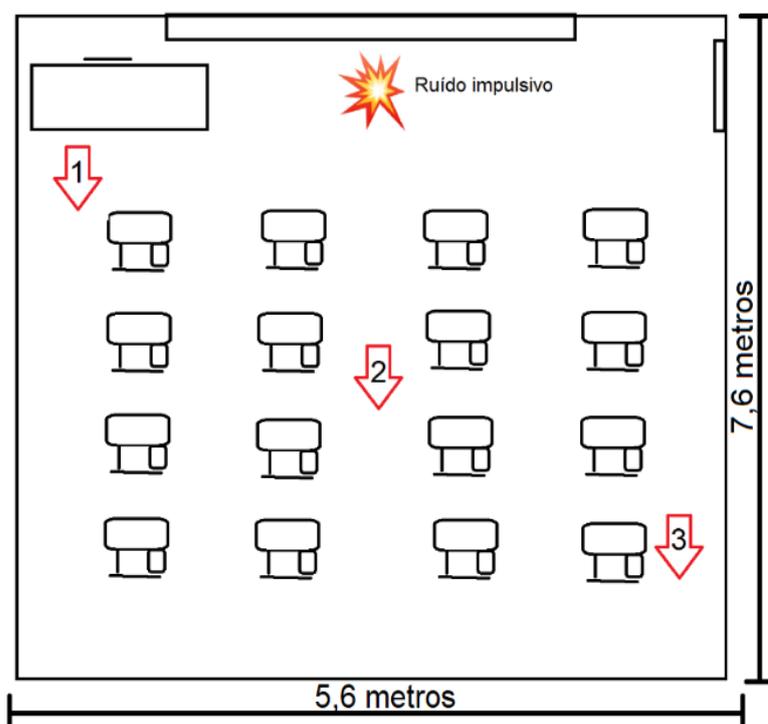


Figura 04: Pontos medição do TR e ponto de emissão do ruído impulsivo. Sala 11, CEF 03.

Após a coleta do TR foi realizada a estimativa do STI. Para isto utilizaremos a fórmula da “curva” que relaciona o TR e o STI para o padrão de sala C1 (equação 4), com janelas fechadas e aparelhos de ar condicionado desligados. Os valores de “a” e “b”, de acordo com as características de medição, valem respectivamente 0,6427 e 0,3616 para o critério de sala (RC) (TANG e YEUNG, 2005).

$$\sqrt{\text{STI}} = a + b \exp(-\text{TR}_{\text{RC}}) \quad (4)$$

Após calculado, o STI foi classificado de acordo com a tabela 1.

Tabela 1: Valor do STI e sua classificação (MÜLLER, 2007).	
Valor do STI	Avaliação segundo a IEC 60268-16
0.75 – 1	Excelente
0.6- 0.75	Bom
0.45 – 0.6	Adequado
0.3 – 0.45	Fraco
0 – 0.3	Péssimo

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Área de estudo

Na escola CEF 3 os NPS foram avaliados em 8 pontos válidos e na escola CEF 8 foram realizadas medidas em 12 pontos.

Considerou-se como pontos internos no CEF 3, figura 1, os localizados nos corredores entre os prédios (pontos A, B e F), no interior de uma das salas de aula (ponto C), na biblioteca (ponto D) e próximo a cantina (ponto E) e como pontos externos os localizados na área verde e na quadra de esportes (pontos G, H e I). Alguns exemplos são apresentados na figura 5.

As medições foram realizadas em salas de aula vazias, entretanto com a escola em funcionamento, no horário de aula, a não ser nas medidas realizadas durante o intervalo do recreio. Os pontos estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos pontos de medida CEF 3.

Ponto	Descrição
A	1º corredor a 14 metros da coordenação;
B	2º corredor a 14 metros da coordenação;
C	Sala de aula 11;
D	Biblioteca;
E	Pátio próximo a cantina;
F	1º corredor a 20 metros da coordenação;
G	Centro da quadra de futsal;
H	Área verde próximo do campo de terra;
I	Campo de terra;

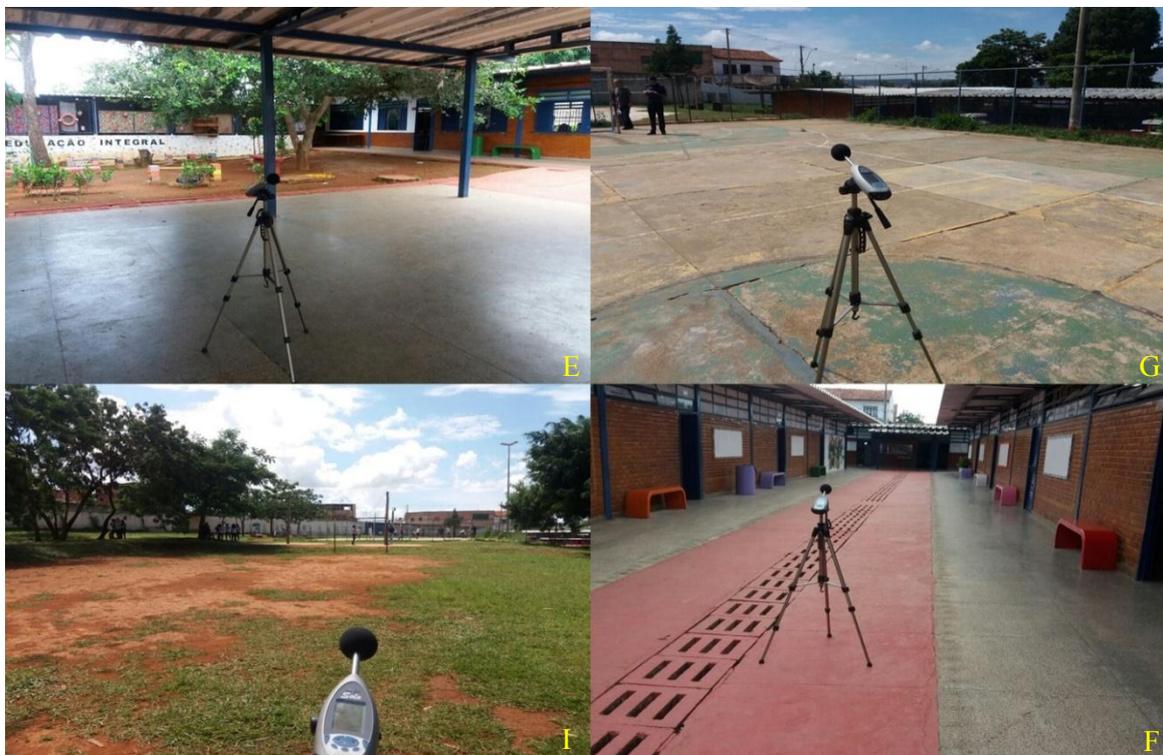


Figura 5: Imagens dos pontos de medição no CEF 03.

Já para escola CEF 8 considerou-se como pontos internos os localizados no interior da área comum, que abriga salas de aula, administração, biblioteca e demais salas, com exceção da quadra de esportes. Na Figura 2 temos na área comum (A, B e C), no interior de uma das salas de aula (ponto F) e na biblioteca (ponto D). Veja alguns pontos na figura 6.

Foram considerados como pontos externos os localizados na área próxima à escola (I, J, K e L) e na quadra de esportes (ponto E). É importante ressaltar que ambas as escolas são cercadas por um muro de alvenaria que em média tem 3,5m. O muro faz a função de barreira acústica. Essa barreira foi considerada na simulação do mapa de ruídos do CEF 8. Os pontos estão descritos na tabela 3.

Tabela 3: Descrição dos pontos de medida CEF 08	
Ponto	Descrição
A	Em frente a sala dos professores;
B	Em frente ao bicicletário (pátio);
C	Em frente a janela central da biblioteca (pátio);
D	Biblioteca;
E	Centro da quadra de esportes;
F	Sala de aula 09;
G	Corredor entre as salas e o muro da escola;
H	Corredor entre a coordenação e o muro da escola;
I	Corredor entre a biblioteca e o muro da escola;
J	Estacionamento em frente ao portão de entrada;
K	Espaço entre o muro da escola e a Via 1
L	Calçada lateral da escola em frente a Via 3



Figura 6: Imagens dos pontos de medição no CEF 08.

5.2 Medidas Ambientais

Os resultados das medidas ambientais são apresentados na Tabela 4 para escola CEF 3 e na Tabela 5 para escola CEF8. A Análise das medidas mostra que a média dos valores de Leq nos ambientes internos a escola está mais de 10dB acima da média de valores no ambiente externo a escola. Verifica-se assim que em ambas as escolas que o ruído é gerado principalmente dentro da escola tanto durante as aulas quanto durante o recreio onde os níveis são ainda maiores.

A escola CEF 3 não possui uma via com fluxo de veículos elevado em suas vizinhanças pois encontra-se em uma área puramente residencial, não existindo também outras fontes significativas de ruído ambiental. Os valores de NPS aferidos no pátio da escola foram de 66,2 dB(A) em média (média energética).

Devido ao sistema de sala ambiente onde os alunos trocam de sala ao final de cada aula, percebeu-se que os níveis de ruído ambiental chegaram a 69,6 dB(A), valor muito elevado para o horário de aula, mas abaixo dos valores máximos atingidos no CEF 8, acima de 70dB(A).

Tabela 4: Medidas de Ruído Ambiental na escola CEF 3 em dB(A)

Pontos	Leq	L _{max}	L _{min}	L ₉₀	L ₁₀
A	66,7	80,1	58,9	61,4	69,1
B	63,4	72,6	57,4	59,7	65,4
C	59,6	66,1	53,2	55,7	62
D	58,9	68,9	49,9	51,9	62,2
E	68,5	76,5	61,4	64,2	71,2
F	69,6	79,7	57,7	63,2	72,5
G	62,4	77,9	46,1	52,6	64,8
H	49,0	57,9	42,7	45,2	51,3
I	57,5	66,7	47,5	50,7	62,1
Recreio	Leq	L _{max}	L _{min}	L ₉₀	L ₁₀
A	85,2	101,2	73,3	76,7	86,2
B	82,1	94,8	68,9	73,6	85

O valor médio para as medidas de Leq no CEF 3 foi de 66,2 dB(A) (Internas) e de 59,0dB(A) (Externas);

Já na escola CEF 8 o ruído interno ficou em média 68,2 dB(A) entretanto o aferido no pátio da escola foi de 71,4 dB(A) e durante o intervalo, no mesmo ponto, chega a 86 dB(A) em média. Entretanto o valor de NPS aferido na Via 1, que é a de maior movimento, não passou de 61 dB(A) mostrando que o tráfego veicular não é a principal fonte do ruído ambiental. O fato dos alunos ficarem concentrados no pátio durante o intervalo resultou em níveis de ruído elevados em comparação ao CEF 3.

Na escola CEF 8 a porta da sala de professores e da secretaria tem de ser fechada durante o intervalo não só para manter a privacidade como também possibilitar a conversa nas salas dados os NPS maiores que 80 dB(A).

O fato da escola possuir um único espaço de recreação onde todas as salas são voltadas para o pátio e os alunos ficam concentrados neste local, que é coberto, acarreta no aumento dos níveis de pressão sonora em relação a escolas com áreas livres como o CEF 3, o que explica em parte a diferença entre os valores referentes ao NPS medido durante o intervalo nas duas escolas analisadas.

Pontos	Leq	L_{max}	L_{min}	L₉₀	L₁₀
A	67,3	77,7	61,0	63,2	69,6
B	71,4	79,8	61,6	65,8	74,7
C	70,0	79,5	61,4	64,7	72,8
D	58,1	67,7	49,7	53,5	60,3
E	50,7	62,8	43,8	45,5	53,7
F	59,5	65,2	55,9	57,3	61,5
G	73,8	86,7	59,2	65,2	76,7
H	61,8	73,6	52,9	55,9	64,3
I	65,8	76,5	55,2	60,0	68,9
J	59,0	69,9	48,2	52,9	61,8
K	60,1	72,6	46,2	49,3	63,1
L	57,1	71,8	48,1	51,6	59,8
Recreio	Leq	L_{max}	L_{min}	L₉₀	L₁₀
B	86,0	92,7	80,9	83,0	87,9
G	63,3	73,3	56,9	59,2	65,4

O valor médio para as medidas de Leq no CEF 8 foi de 68,2 dB(A) (Internas) e de 58.9dB(A) (Externas);

5.3 Mapa de Ruídos

O fluxo de veículos médio na VIA 1, que passa em frente à escola CEF 8, foi determinado a partir de um conjunto de quatro medidas do fluxo de veículos realizadas nos meses de fevereiro e março de 2018 no horário da manhã em posição na frente da escola CEF 8. O fluxo horário médio determinado, tabela 6, foi de 340 veículos leves por hora e de 12 veículos pesados por hora. Esta medição foi realizada nos dias 27/02/2018 e 19/03/2018 com duração de 10 minutos cada medição.

Categorias	Medida fluxo de veículos				Média	Veículos/h
	Via 1					
	27/02/2018		19/03/2018			
	Medida 1	Medida 2	Medida 1	Medida 2		
Moto	8	4	4	7	5,75	34,5
Carro	52	47	41	56	49	294
Van / Caminhonete	2	1	3	2	2	12
Caminhão / Ônibus	2	1	3	2	2	12
				Total	58,75	352,5

Leves	Pesados	Média por hora
340,5	12	

A partir desse fluxo e considerando edifícios, a atenuação das árvores como a barreira proporcionada pelos muros, foi produzido um mapa de ruídos, figura 7, correspondente ao período dia. A tabela 7 compara os valores dos NPS simulados nos receptores externos ao CEF 8 com os valores medidos, já apresentados na Tabela 5. Destaco que os receptores de ruído foram posicionados na mesma posição e altura em relação ao solo das medidas realizadas. Com exceção da medida no ponto K o valor medido está acima do simulado, indicando que o tráfego veicular não é a principal fonte de ruído nas vizinhanças da escola.

Tabela 7: NPS Simulado nos Receptores de Ruído em dB(A).						
Receptor	E	H	I	J	K	L
L_{dia} Simulado	33,5	45,8	36,7	49,0	63,8	47,9
Leq Medido	50,7	61,8	65,8	59,0	60,1	57,1

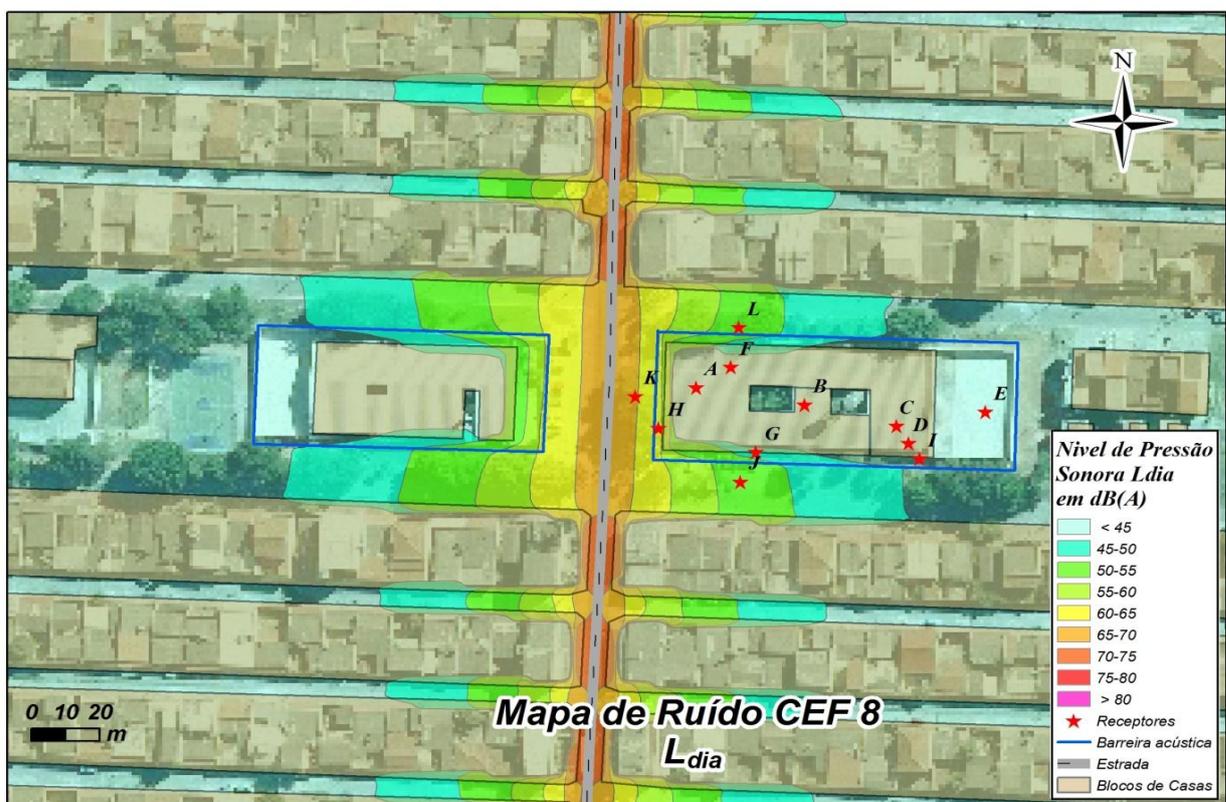


Figura 07: Mapa de ruídos - Escola CEF 08.

5.3 Medida do tempo de reverberação e STI

A tabela 8 resume as medidas dos TR representativas das salas das escolas CEF 3 e do CEF 8. Observa-se nos resultados que as salas de aula no CEF 8 têm TR de acordo com os sugeridos como adequados para salas de aula entre 0,6 s e 0,8s (Bistafa e Bradley, 2000 apud Zannin, 2009). Mesmo para o CEF 3 os valores do TR são compatíveis, estando pouco acima do recomendado. Observa-se assim que a acústica da sala não é o fator ou um dos fatores responsáveis pelos altos valores de NPS encontrados na escola.

Tabela 8: Medidas do tempo de reverberação de acordo com a equação 3.

Frequência (Hz)	Medidas CEF 3		Medidas CEF 8	
	Média (s)	Desvio Padrão (s)	Média (s)	Desvio Padrão (s)
500	0,80	0,03	0,68	0,02
1.000	0,89	0,05	0,56	0,03
2.000	0,93	0,02	0,52	0,00
Média	0,87	0,03	0,59	0,02

Para o cálculo do STI foi utilizado os parâmetros de avaliação C1 propostos por Tang e Yeung (2005) estima a inteligibilidade em uma sala com portas e janelas fechadas, e aparelhos de ar condicionado desligados.

A estimativa disposta em um gráfico, figura 8, forma uma curva que relaciona os valores do tempo de reverberação e o STI de acordo com a Equação 4.

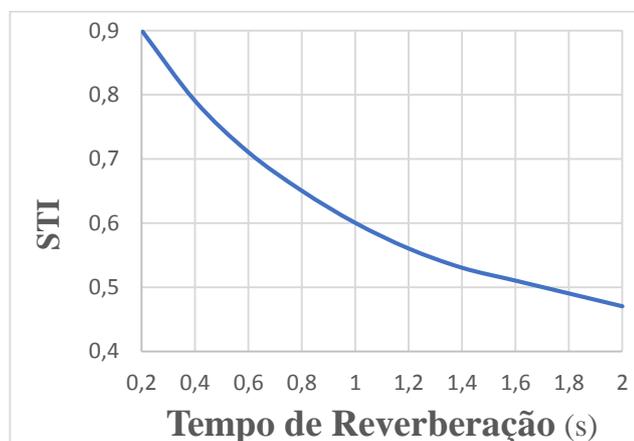


Figura 08: Gráfico da relação entre o STI e o TR na Equação 4.

Nas salas do CEF 03 a média do TR, tabela 8, é de 0.87 segundos com as janelas e portas fechadas, e os aparelhos de ar condicionado, ventiladores desligados. A medida do STI nestes locais, equação 5, ficou aproximadamente 0,67 que segundo a IEC 60268-16 é um índice de inteligibilidade considerado “Bom”.

$$0,6793 = (0,6427 + 0,3616 \exp(-0,87))^2 \quad (5)$$

Já nas salas do CEF 08 a média do TR, tabela 8, é de 0.59 segundos com as janelas e portas fechadas, e os aparelhos de ar condicionado, ventiladores desligados. A medida do STI nestes locais, equação 6, ficou aproximadamente 0,76 que segundo a IEC 60268-16 é um índice de inteligibilidade considerado “Excelente”.

$$0,7623 = (0,6427 + 0,3616 \exp(-0,59))^2 \quad (6)$$

As salas de ambas as escolas apresentam valores de inteligibilidade compatíveis com a função na qual se destinam, conforto acústico para o professor que teoricamente não necessita elevar a voz para que seja compreendido e conforto acústico ao aluno que consegue compreender a fala do professor com clareza. Entretanto esta situação muda caso o ruído ambiental seja gerado dentro da própria escola com valores de NPS elevados como mostra as tabelas 4 e 5 com valores dos níveis para ambas escolas.

6. CONCLUSÕES

Os resultados das medidas dos parâmetros acústicos estudados ao longo deste trabalho, como NPS, demonstraram que as escolas em relação ao ruído ambiental estão em desacordo com os valores sugeridos pelas normas afetando as atividades desenvolvidas. Entretanto os parâmetros de inteligibilidade da fala (STI) juntamente com o tempo de reverberação (TR) mostraram que as salas de aula estão de acordo com os parâmetros de inteligibilidade proporcionando uma acústica adequada a comunicação e a atividade-fim da escola.

Verificou-se que a fonte de ruído ambiental que mais afeta as duas escolas tem origem interna proveniente do seu funcionamento. Para o CEF 3 o ruído interno foi, em média, de 66,1 dB(A) durante o período de aula e durante o intervalo foi de 83,9 dB(A). Para o CEF 8 o ruído interno a escola foi, em média, de 68,2 dB(A) durante o período de aula e 83,0 dB(A) durante o intervalo, enquanto o ruído gerado externamente a escola, onde há uma via com tráfego significativo, não ultrapassou 59 dB(A). Esta via mesmo estando fora dos padrões exigidos não é o ruído preponderante que afeta a escola, como mostra o mapa de ruídos produzido. Nenhuma das escolas está de acordo com os padrões acústicos propostos pela NBR 10151 que propõe que em área de escolas o ruído ambiental não deve ultrapassar 50 dB no período diurno.

Em síntese, as condições de conforto acústico proporcionadas pelas escolas são adequadas, devido ao índice de inteligibilidade e ao tempo de reverberação, sendo classificadas em “Bom” para o CEF 3 e em “Excelente” para o CEF 8. Entretanto os níveis de ruído gerados dentro de ambas as escolas, pelos alunos e pela atual organização da escola, afetam suas atividades com prejuízos na saúde dos profissionais e dos alunos, podendo afetar também no aprendizado e a concentração.

Nota-se que ambas as escolas enfrentam problemas em relação ao ruído ambiental, que é gerado dentro das próprias instituições, e que faz parte do cotidiano de alunos e professores. Prejuízos, adjacentes a esta realidade, comprometem o desempenho do professor, desenvolvimento do estudante em sua trajetória educacional e até mesmo a saúde. Ações de conscientização como o projeto “Ruído: a solução está na educação” são de suma importância para que este problema não seja algo incipiente para a comunidade e que munidos de informação possa se tornar possível o exercício da cidadania em relação a esse tema, com ações mitigatórias e mudanças de comportamento que visam a melhoria do panorama acústico nas escolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 2000.

BARROS, A. A. **Um estudo sobre poluição sonora e cidadania**. 2014. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, Fup, Universidade de Brasília, Planaltina DF, 2014.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. xi, 368 p.

CARMO, L. I. C. **EFEITOS DO RUÍDO AMBIENTAL NO ORGANISMO HUMANO E SUAS MANIFESTAÇÕES AUDITIVAS**. 1999. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Audiologia Clínica, Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica Audiologia Clínica, Cefac, Goiânia, 1999.

CHALHUB, S. **Funções da linguagem**. São Paulo: Ática, 1987. 62 p. (Princípios).

DISTRITO FEDERAL. **Lei Distrital Nº 4.092** de 12 de março de 2008: Dispõe sobre o controle da poluição sonora e os limites máximos de intensidade da emissão de sons e ruídos resultantes de atividades urbanas e rurais, 2008. Disponível em: www.sedhab.df.gov.br/sites/300/379/00000924.pdf. Acesso em: 15/04/2018.

ENIZ, A.; GARAVELLI S. L. **A contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil**, *Holos Environment* 2, 137-150, 2006

G1, **Lei do Silêncio: Câmara do DF adia votação do projeto que altera limites de ruído**. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/lei-do-silencio-camara-do-df-adia-votacao-do-projeto-que-altera-limites-de-ruido.ghtml>. Acesso em: 10/06/2018.

G1, **Operação do GDF notifica 4 bares da Asa Norte por poluição sonora**. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2015/12/operacao-do-gdf-notifica-4-bares-da-asa-norte-por-poluicao-sonora.html>. Acesso em: 09/05/2018.

GRACEY and ASSOCIATES (Reino Unido). The Sound And Vibration Instrument Hire And Calibration Specialists (Org.). **Acoustic Glossary**. Disponível em: <http://www.acoustic-glossary.co.uk/sound-pressure.htm>. Acesso em: 12/05/2018.

HALLIDAY, D; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011. 4 v.

HYGGE, S.; KIM, R. Environmental Noise and Cognitive Impairment in Children. In: World Health Organization (WHO) (Dinamarca) (Ed.). **Burden of disease from environmental noise**. Copenhagen: WHO, 2011. Cap. 3. p. 45-54. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf. Acesso em: 20/04/2018.

INAD. **Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído (INAD)** – edição 2014 no Brasil, O Mundo na torcida por menos ruído. Disponível em: <http://www.inadbrasil.org/>. Acesso em: 26/11/2015

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382**: Acoustics -- Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. 2 ed. 1997.

LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M.; ZANNIN, P. H. T. **Ambiente urbano e percepção da poluição sonora**. *Ambient. soc.* [online]. 2005, vol.8, n.2, pp.85-98. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2005000200005>. Acesso em: 13/05/2018.

LEMON, M. B.; FERENGE, M.; STEPHENSON, R. J. **Curso de física: Ondas(som e luz)**. São Paulo, SP: Edgard Blücher 224 p.

MOREIRA, M. A. A teoria da aprendizagem significativa de Rogers. In: MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Epu, 1999. Cap. 9. p. 139-149.

MÜLLER, S. **Avaliação da inteligibilidade com o STI**. Laboratório de acústica e Vibrações, INMETRO, Xerém, Duque de caxias, RJ. 2007.

PEGORER, M. H. M. **Condições de conforto acústico em templos religiosos**: Estudo de caso do Santuário Nossa Senhora do Perpétuo Socorro. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - UniCEUB – Centro Universitário de Brasília, Brasília-DF, 2017.

RABELO, A. T. V.; SANTOS, J. N.; OLIVEIRA, R. C.; MAGALHÃES, M. C. **Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes**. *CoDAS*, vol.26, n.5. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1782/20142014026>. Acesso em: 07/05/2018.

SANTIKA, B. B.; INDRAWATI, S.; SUYATNO; YAHYA, E. **Noise evaluation of traffic flows and its effects to concentration capability of the students in one of private school in Surabaya**. *Engineering Physics International Conference, EPIC*, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817311372>. Acesso em: 10/05/2018.

SILVA, C. M.F. **O tempo de reverberação e a inteligibilidade da palavra**. Caso de estudo: Salas de aula da FEUP. Dissertação mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2013.

SILVA, J. Q.; ULHÔA, H. R.; MAROJA, A. M.; GARAVELLI, S. L.; SILVA, D. M. S.; PORTO, F. S. **Conscientização sobre o ruído ambiental em escolas de educação básica**. Trabalho submetido à Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC. Porto Alegre. 2018.

SILVA, L. T.; OLIVEIRA, I. S.; SILVA, J. F. **The impact of urban noise on primary schools. Perceptive evaluation and objective assessment.** Elsevier Journal, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X15003679>. Acesso em: 12/05/2018.

SILVA, S. T. **Poluição visual e poluição sonora: aspectos jurídicos.** Revista de Informação Legislativa: v. 40, n. 159, 2003. Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/881>. Acesso em: 05/04/2018.

TANG, S. K.; YEUNG, M. H. **Reverberation times and speech transmission indices in classrooms.** Department of building Services Engineering. Hong Kong Polytechnic University. Hong Kong. People's Republic of China. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Burden of disease from environmental noise,** 2011. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf. Acesso em: 20/04/2018.

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, A. M. C.; SANT'ANA, D. Q. **Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes.** Associação Nacional de tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 125-139, 2009.

Anexo 1: Análise dos parâmetros acústicos dos níveis de pressão.

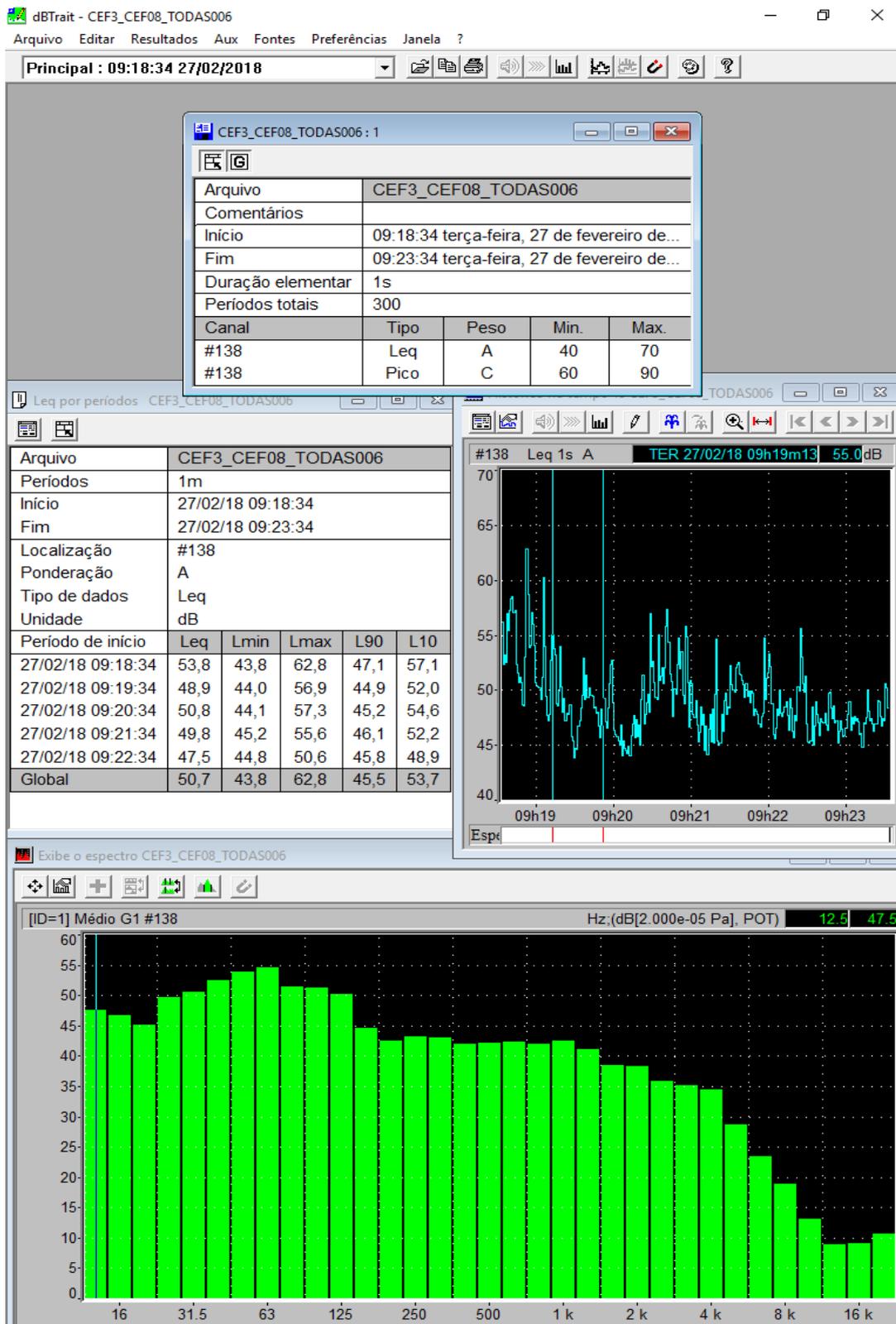


Figura 9: Análise dos parâmetros acústicos dos níveis de pressão do ponto E, CEF 8.

Anexo 2: Análise dos tempos de reverberação para cada faixa de frequência.

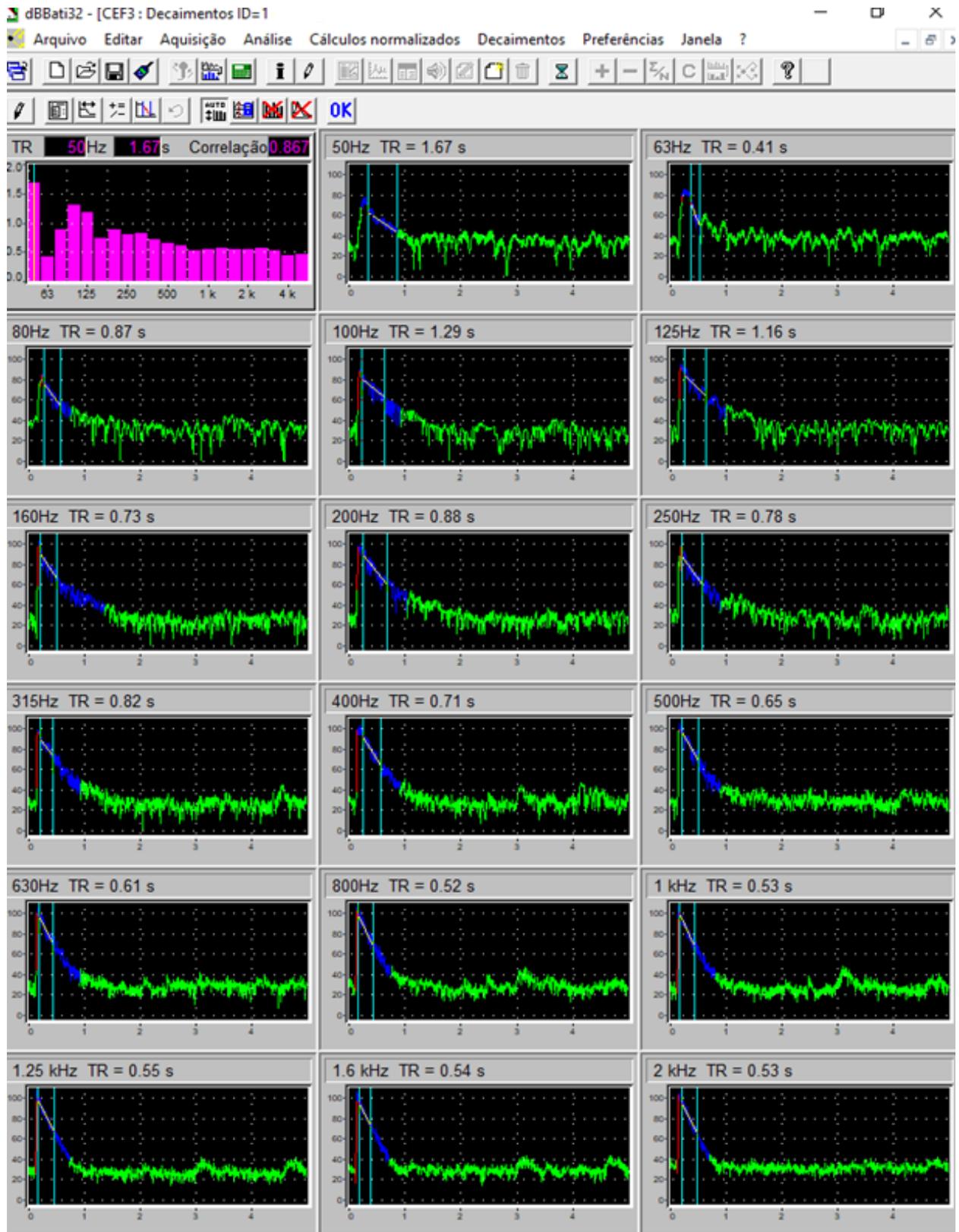


Figura 10: Imagem da análise dos dados do TR feitas na sala do CEF 03.