

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIÁS



Mestrado Profissional em
Tecnologia de Processos
Sustentáveis



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Jhonatha Junio Lopes Costa

**Monitoramento Ambiental dos Níveis de Pressão Sonora no
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia**

Goiânia, 2015

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Jhonatha Junio Lopes Costa

**Monitoramento Ambiental dos Níveis de Pressão Sonora no
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás (PPGTPS - IFG) -
Dissertação de Mestrado Profissional. Área de
Concentração: Tecnologia de Sistemas de
Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Nonato de Oliveira

Goiânia, 2015

C8233m Costa, Jhonatha Junio Lopes.

Monitoramento Ambiental dos Níveis de Pressão Sonora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Goiânia / Jhonatha Junio Lopes Costa. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2015.
122 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Nonato de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
Inclui apêndice e anexo.

1. Monitoramento ambiental – Nível de Pressão Sonora (NPS) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – Campus Goiânia. 2. Poluição sonora. I. Oliveira, Lucas Nonato de (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa B. Santos CRB1/ 2.266

Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Jhonatha Junio Lopes Costa

**Monitoramento Ambiental dos Níveis de Pressão Sonora no
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás (PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Modelagem de Sistemas Ambientais.

Lucas Nonato 22

Prof. Dr. Lucas Nonato de Oliveira (Presidente)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia

Fernando Schmidt

Prof. Dr. Fernando Schmidt (Membro Interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Inhumas

Jonas Oliveira da Silva

Prof. Dr. Jonas Oliveira da Silva (Membro Externo)
Universidade Federal de Goiás – Campus Goiânia

Julgado: *Anulado* em 09/04/15

DEDICATÓRIA

*Onde mais eu encontraria alguém que toparia meus projetos de vida, malucos e instáveis.
Que não desanimaria quando eu quisesse recomeçar?
Quem mais toparia estar ao lado de uma pessoa cujo cérebro fervilha o tempo todo, que
não para e não dorme?
E será que a vida seria benevolente comigo como você, dando uma segunda, terceira,
quarta... N chances de acertar?
Quem mais estaria ao meu lado e me carregaria quando tudo o que eu queria era apenas
desistir?
Não! Eu não encontraria alguém semelhante em todo o mundo, para ser cúmplice, cuidar
de mim e estar em meus braços quando preciso for. Alguém com quem posso
compartilhar meus sonhos e ambições. Alguém para despertar o que há de melhor em
mim.
Você é a pessoa perfeita para seguir uma caminhada, por um caminho que não dá em
lugar nenhum (mas que tem seu fim).*

À minha esposa Salliza Lopes,
Você é meu tesouro.
Único e intransferível.
De inefável valor!

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Lucas Nonato de Oliveira por toda paciência, dedicação e empenho.

Aos Professores do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis pela contribuição em minha formação.

À secretária Leila Ninon por toda presteza e auxílio dispensado.

Ao Professor Dr. Fernando Schmidt por todas as discussões envolvendo ciência, sempre energéticas e empolgantes.

Ao Professor Dr. Jonas Oliveira Silva da Universidade Federal de Goiás (UFG) por todas as contribuições com o trabalho desde o exame de qualificação.

Ao Professor Dr. Sérgio Botelho de Oliveira, por todas as considerações sobre o trabalho escrito.

À Professora Dr^a. Adelaide de Almeida da Universidade de São Paulo (USP) pelas orientações dispensadas.

À Dr^a. Linda Caldas do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) pelo incentivo.

Ao Comando de Policiamento Ambiental da Polícia Militar de Goiás por todo apoio e incentivo na realização da pesquisa e mestrado como um todo. Agradecimento especial ao Coronel PM Alexandre Teixeira Cândido, Coronel PM Avelar Lopes de Viveiros, Capitão PM Rodrigo Borges Pighini, Capitão PM Marcelo Ribeiro da Cunha, Sargento PM Bruno Lemos Miranda e Soldado PM Vanessa Souza Santos e demais Oficiais e Praças.

À minha mãe Clotildes Lopes Mendes por ter passado o frio da madrugada em uma fila para que eu pudesse ter educação de qualidade desde criança.

Aos colegas de grupo Pedro Aquino e Eriberto Oliveira.

Aos colegas de curso por toda colaboração dispensada não apenas nesse trabalho, mas em toda nossa formação, em especial agradeço à Sueli Souza de Oliveira Soares pela ajuda com as plantas baixas do Campus Goiânia.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Renna Fogaça pelas dicas com o EASE e a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização desse trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – Campus Goiânia, por ter me oportunizado formação gratuita e de excelência.

Ninguém vence sozinho e uma longa caminhada até o sucesso, como é o caso de um Mestrado, só é possível devido ao amparo que é dispensado por familiares e amigos durante a jornada e foram várias as pessoas que contribuíram para que hoje, eu concluísse esse trabalho. Caso por algum lapso de memória eu esqueça de mencionar alguém nessa parte, peço que me perdoe.

TÍTULO: Monitoramento Ambiental dos Níveis de Pressão Sonora no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia.

AUTOR: Jhonatha Junio Lopes Costa

ORIENTADOR: Prof. Dr. Lucas Nonato de Oliveira

RESUMO

A poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema que afeta o maior número de pessoas e, diferente de outros tipos de poluição, não deixa rastros visíveis, sendo diversas vezes imperceptível. Sendo assim, o monitoramento ambiental tem como uma de suas características estudar os níveis de pressão sonora (NPS), e é um importante aliado para diagnosticar possíveis pontos em que o NPS pode ser prejudicial. Na presente pesquisa, cento e vinte e dois pontos situados no perímetro externo, além de pontos internos e externos situados no térreo e primeiro pavimento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG – Campus Goiânia, divididos nos períodos matutino, vespertino, noturno e sábado pela manhã, foram analisados, sendo realizado o monitoramento ambiental dos níveis de pressão sonora equivalente em ambientes internos e externos durante as atividades de rotina. Após a realização das medições, os dados foram comparados com as normas vigentes e os resultados demonstraram que dentro do ambiente do Campus, a maioria dos pontos monitorados estão com nível de pressão sonora equivalente acima dos limites estabelecidos pela legislação municipal de Goiânia, excetuando-se o sábado pela manhã que apresentou um único ponto dentro do perímetro interno em não conformidade com as normas vigentes. No perímetro externo o monitoramento ambiental mostrou-se um maior nível de pressão sonora no período vespertino e menor nível de ruído no período noturno e, no sábado pela manhã, os pontos onde foram encontrados valores de nível de pressão sonora em não conformidade com as normas em vigor se concentram em uma única rua distante de um parque de diversões que, hipoteticamente, seria responsável pela poluição sonora no Campus aos sábados. Também foram realizadas simulações semi-empíricas com o programa de engenharia acústica EASE, as quais se mostraram eficientes para prever os níveis de pressão sonora em ambientes internos, dispondo apenas de medições dos níveis da área externa. Portanto, monitoramento ambiental dos níveis de pressão sonora juntamente com simulações semi-empíricas, podem ser úteis ao IFG, principalmente no planejamento e adequação do ambiente de ensino e trabalho em relação à fonte de poluição sonora.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição Sonora. Monitoramento Ambiental. Nível de Pressão Sonora Equivalente. Modelagem Ambiental.

TITLE: Environmental Monitoring of Sound Pressure Levels in the Federal Institute of Education Science and Technology of Goiás - Campus Goiânia.

AUTHOR: Jhonatha Junio Lopes Costa

ADVISER: Professor Dr. Lucas Nonato de Oliveira

ABSTRACT

Noise pollution is today, after the pollution of air and water, the problem that affects many people and, unlike other types of pollution, leaves no visible traces, and it is imperceptible several times. Thus, environmental monitoring has as one of its features study the sound pressure levels (SPL), and it is an important ally to diagnose possible points where the SPL can be harmful. In the present research, one hundred twenty two points located on the outer perimeter, and internal and external points in the ground and first floor of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - IFG - Campus Goiânia, were analyzed, and carried out the environmental monitoring of equivalent sound pressure levels in indoor and outdoor environments during routine activities. The points were divided into the following periods: morning, afternoon, night and on Saturday morning. After completion of the monitoring, the results were compared with current standards and the results showed that in the campus environment, most points feature sound pressure level equivalent greater than the limits set by the Goiânia municipal law, except for the on Saturday the morning that showed a single point within the inner perimeter in non-compliance with the standards. The external perimeter environmental monitoring showed higher sound pressure level in the afternoon and lowest sound pressure level at night and on Saturday morning, the points where the sound pressure level values have been found in non-compliance with the rules are in a distant street from an amusement park, which hypothetically, would be responsible for noise pollution in the campus on Saturdays. Semi-empirical simulations were performed with the sound engineering program EASE, that have proven effective to predict the sound pressure levels indoors, only having measurements of the levels of the external area. Therefore, environmental monitoring of sound pressure levels along with semi-empirical simulations, can be useful to the IFG, especially in planning and suitability of the learning environment and work in relation to the source of noise pollution.

KEYWORDS: Noise Pollution. Environmental Monitoring. Sound Pressure Level Equivalent. Environmental Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia do ouvido interno	17
Figura 2 - Curva Fletcher-Munson, revisada em 2003 através da ISO 226:2003.....	19
Figura 3 - Gráfico do Ganho (dB) <i>versus</i> Frequência (Hz)	20
Figura 4 - Equipamentos utilizados nas medições do NPS	28
Figura 5 - Medição realizada na área externa	29
Figura 6 - Medição realizada dentro de uma sala de aula vazia.	30
Figura 7 - Sistema de climatização do teatro localizado no pátio interno	33
Figura 8 - Medições realizadas no pátio interno entre o teatro e a biblioteca.	34
Figura 9 - Medições realizadas dentro da sala de estudos individuais da biblioteca.	34
Figura 10 - Medições realizadas no Ginásio de Esportes do IFG – Campus Goiânia.	35
Figura 11 - Processo de aquisição de dados pelo programa <i>Sound Level Meter</i>	41
Figura 12 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	45
Figura 13 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA.	46
Figura 14 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	48
Figura 15 - Medições realizadas dentro de sala de aula em situações diferentes.	49
Figura 16 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	52
Figura 17 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	54
Figura 18 - Atenuação do NPS na sala S-804 do IFG – Campus Goiânia.	56
Figura 19 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	57
Figura 20 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA.	59
Figura 21 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	61
Figura 22 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	64
Figura 23 - Comparação entre o L_{Aeq} de diversas salas de aula.....	66
Figura 24 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	67
Figura 25 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA.....	68
Figura 26 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	70
Figura 27 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	73
Figura 28 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	75
Figura 29 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA	76
Figura 30 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	78
Figura 31 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq}	80
Figura 32 - Atenuação do Nível de Pressão Sonora na sala S-804	81
Figura 33 - Curvas de avaliação de ruído (NC)	83
Figura 34 - Representação em 3D dos ambientes de estudo da biblioteca.	84
Figura 35 - Escala de cores utilizada nas simulações com EASE, em dB.	85
Figura 36 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para áreas definidas da biblioteca.....	85
Figura 37 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para áreas definidas da biblioteca.....	86
Figura 38 - Nível de Pressão Sonora (dB) <i>versus</i> Frequência (Hz), simulados com EASE.....	88
Figura 39 - Representação em 3D do ambiente da sala T-106.	90
Figura 40 - Representação em 3D do ambiente da sala T-106	90
Figura 41 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para área definida da sala T-106.....	91
Figura 42 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para área definida da sala T-106.....	92
Figura 43 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para área definida da sala T-106.....	93
Figura 44 - Nível de Pressão Sonora (dB) <i>versus</i> Frequência (Hz), simulados com EASE.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre pressão sonora absoluta (Pa) e nível de pressão sonora (dB).....	18
Tabela 2 - Classificação do risco de perda auditiva média.....	21
Tabela 3 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	22
Tabela 4 - Nível de Critério de Avaliação estabelecido de acordo com Normas e Leis.....	23
Tabela 5 - Coeficientes de absorção para vários materiais.....	26
Tabela 6 - Descrição dos pontos monitorados no período matutino	31
Tabela 7 - Descrição dos pontos monitorados no período vespertino.....	35
Tabela 8 - Descrição dos pontos monitorados no período noturno.....	37
Tabela 9 - Descrição dos pontos monitorados no sábado pela manhã.....	40
Tabela 10 - Resultados experimentais do perímetro externo.....	44
Tabela 11 - Resultados experimentais realizados no térreo.....	47
Tabela 12 - Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento	53
Tabela 13 - Resultados experimentais do perímetro externo.....	57
Tabela 14 - Resultados experimentais realizados no térreo.....	60
Tabela 15 - Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento	63
Tabela 16 - Resultados experimentais do perímetro externo.....	67
Tabela 17 - Resultados experimentais realizados no térreo.....	69
Tabela 18 - Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento	72
Tabela 19 - Resultados experimentais do perímetro externo.....	75
Tabela 20 - Resultados experimentais realizados no térreo.....	77
Tabela 21 - Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento	79
Tabela 23 - Comparação entre valores experimentais e simulados.	85
Tabela 24 - Comparação entre valores experimentais e simulados.	86
Tabela 25 - Comparação entre valores experimentais e simulados	92
Tabela 26 - Comparação entre valores experimentais e simulados.	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMMA	- Agência Municipal do Meio Ambiente
CADNA	- Control of Accuracy and Debugging for Numerical Applications
CEFET-GO	- Centro Federal de Educação Profissional e Tecnológica de Goiás
EASE	- Enhanced Acoustic Simulator for Engineers
IEC	- International Electrotechnical Commission
IFG	- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
ISO	- International Organization for Standardization
NC	- Curvas de Avaliação de Ruído
NCA	- Nível de Critério de Avaliação
NPS	- Nível de Pressão Sonora
OMS	- Organização Mundial da Saúde
PROEJA	- Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos

LISTA DE SÍMBOLOS

L	- Nível de Pressão Sonora
L_{eq}	- Nível de Pressão Sonora Equivalente
L_{Aeq}	- Nível de Pressão Sonora Equivalente ponderado em A
L_{tot}	- Nível de Pressão Sonora Total
L_{Amax}	- Nível de Pressão Sonora Máximo registrado, ponderado em A
L_{Amin}	- Nível de Pressão Sonora Mínimo registrado, ponderado em A
L_C	- Nível de Ruído Corrigido
v	- Velocidade do som
β	- Módulo de elasticidade volumétrica
ρ	- Massa específica
r	- Distância entre a fonte sonora e o ponto de medição
$\nabla^2 p$	- Laplaciano do campo vetorial p
W	- Potência da fonte sonora
P	- Valor de Pressão Eficaz
P_0	- Pressão Sonora de Referência
A	- Área de Audiência
dB	- Decibéis
$dB(A)$	- Decibéis ponderados em A
T	- Tempo
α	- Coeficiente de absorção sonora
I_A	- Intensidade do som absorvido pelo meio
I_R	- Intensidade do som refletido pela superfície

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
1.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOM	16
1.2 PERCEPÇÃO SONORA	18
1.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE.....	23
1.4 PRINCÍPIOS DE PROPAGAÇÃO DO SOM	24
CAPÍTULO 2. MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1 PONTOS MONITORADOS	30
2.2 CÁLCULO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE.....	41
CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
3.1 PERÍODO MATUTINO	44
3.2 PERÍODO VESPERTINO	57
3.3 PERÍODO NOTURNO.....	66
3.4 SÁBADO PELA MANHÃ.....	74
CAPÍTULO 4. SIMULAÇÕES COM EASE.....	82
4.1 SIMULAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDOS DA BIBLIOTECA.....	83
4.2 SIMULAÇÃO DO AMBIENTE DA SALA T-106.....	89
CAPÍTULO 5. SUGESTÕES.....	96
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES	98
APÊNDICE A – PLANTAS BAIXAS DO TÉRREO E PRIMEIRO PAVIMENTO DO IFG – CAMPUS GOIÂNIA, COM OS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS MEDIÇÕES.....	101
ANEXO A – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	110
REFERÊNCIAS	114

INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição sonora é considerada a terceira colocada dentre os problemas ambientais que afetam a população, ficando atrás apenas da poluição do ar e da água (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003), tornando-se atualmente um problema onipresente que beira o intolerável (PEREIRA *et al.*; 2003).

A poluição sonora pode afetar negativamente a saúde de uma pessoa e produzir efeitos nocivos nos demais seres vivos e no meio ambiente. Dentre os vários problemas de saúde que podem advir dos efeitos causados pela poluição sonora, destacam-se os seguintes (GOINES & HAGLER, 2007; COHEN, & WEINSTEIN, 1981; ISING & KRUPPA, 2004; PASSCHIER-VERMEER & PASSCHIER, 2000):

- a) deficiência auditiva;
- b) distúrbios do sono;
- c) liberação de hormônios do estresse;
- d) distúrbios cardiovasculares;
- e) distúrbios na saúde mental;
- f) déficit no desempenho das atividades laborais;
- g) diminuição do desempenho escolar;
- h) angústia e ansiedade;
- i) comportamento social negativo e irritabilidade.

Tripathy (2008) define poluição sonora como sendo um som indesejado, que é despejado no meio ambiente sem respeito aos efeitos negativos que podem ter, sendo que, dois aspectos principais definem o ruído, denominados aspectos físicos e sociais. O aspecto físico possui características que podem ser expressas de forma quantitativa, por exemplo, sua frequência fundamental (em Hz) e sua intensidade (em dB). Do ponto de vista social, um ruído pode não ser um incômodo, por exemplo, suponhamos um concerto de rock onde as pessoas estão assistindo ao show de sua banda preferida, provavelmente essas pessoas estejam expostas a níveis elevados de ruído, sem necessariamente se sentirem incomodadas. O fato é que o ruído pode trazer danos à saúde e ao meio ambiente mesmo que não seja percebido como um incômodo (LACERDA *et al.*, 2005).

Pesquisas (LACERDA *et al.*, 2005; PASSCHIER-VERMEER & PASSCHIER, 2000) demonstram que a população está cada vez mais habituada ao ruído, não sendo mais

percebida de maneira consciente ou incômoda a exposição contínua e repetida a níveis de pressão sonora¹ (NPS) prejudiciais.

Em ambientes educacionais, níveis sonoros elevados podem resultar em prejuízos tanto para discentes quanto para docentes (SOARES *et al.*, 2014), desse modo, em ambientes diversos, como os educacionais, as pessoas podem estar sujeitas à poluição sonora e suas complicações sem perceberem o problema; sendo assim, o monitoramento ambiental de ambientes institucionais é justificado e possui a finalidade de diagnosticar os níveis de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) aos quais a população está exposta e estabelecer estratégias para correções nos casos em que forem diagnosticados níveis acima dos estabelecidos pelas normas em vigor, bem como planejar ações para evitar que esse problema ocorra novamente nos casos onde o diagnóstico seja negativo.

O monitoramento ambiental consiste na realização de medições e/ou observações específicas, dirigidas a alguns indicadores e parâmetros, com a finalidade de verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo, podendo ser dimensionada sua magnitude e avaliada a eficiência de eventuais medidas preventivas adotadas (BITAR & ORTEGA, 1998) e pode ser utilizado no diagnóstico da poluição sonora.

Nesse sentido, este trabalho visou a realização do monitoramento ambiental dos níveis de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), durante as atividades de rotina desenvolvidas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - Campus Goiânia, nos períodos matutino, vespertino, noturno e sábado pela manhã, e a comparação dos níveis aferidos com as normas em vigor, ou seja, as medições foram comparadas com os limites estabelecidos na NBR 10151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na Instrução Normativa de número 26, de 18 de agosto de 2008 da Agência Municipal do Meio Ambiente de Goiânia (AMMA). Essa pesquisa também visou a comparação de resultados obtidos de forma semi-empírica através de simulações com o programa de engenharia acústica EASE (*Enhanced Acoustic Simulator for Engineers*), e sua comparação com os resultados experimentais obtidos, para o ambiente de estudos da biblioteca e uma sala de aula do IFG – Campus Goiânia. Para isso, os dados que alimentam a simulação são resultados experimentais obtidos do lado de fora das salas analisadas.

No Capítulo 1 são apresentados os aspectos teóricos que regem o som, suas propriedades e termos técnicos relacionados com medições dos níveis de pressão sonora. O Capítulo 2 contempla os materiais e métodos aplicados na pesquisa, equipamentos utilizados e

¹ Em inglês o nível de pressão sonora é representado pela sigla SPL – *Sound Pressure Level*.

técnicas de coletas de dados, resultados e discussões são discorridos no Capítulo 3, no Capítulo 4 são apresentadas as simulações realizadas com o EASE, enquanto no Capítulo 5 são apresentadas sugestões e, por fim, as conclusões se encontram no Capítulo 6.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

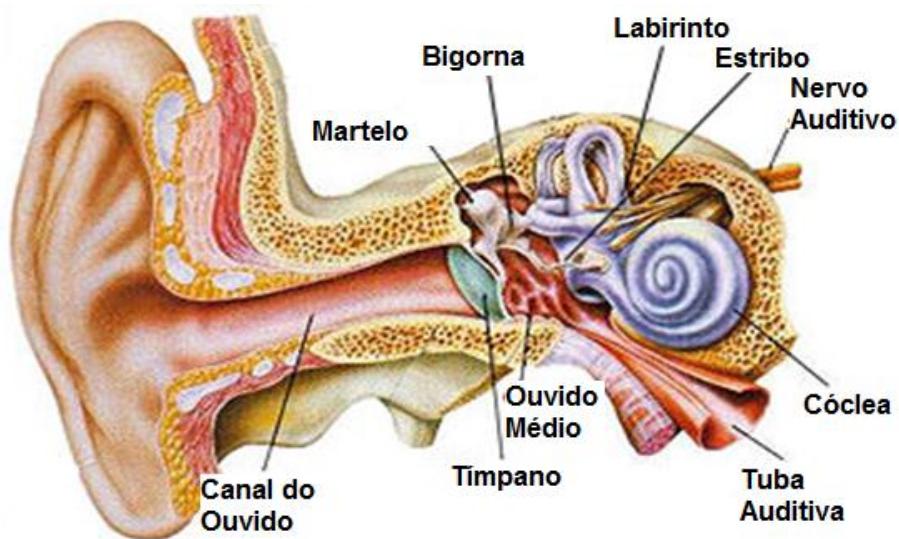
1.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOM

As ondas podem ser classificadas em dois grupos: ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagarem, enquanto as ondas eletromagnéticas podem se propagar sem a necessidade de um meio material sendo classificadas como luz (BERTOLDO, 2009). Ondas sonoras são ondas mecânicas que se propagam em um meio material e obedecem às Leis da Acústica, estando o som audível aos humanos compreendido no intervalo de frequência de 20 até 20000 Hz. Ondas sonoras abaixo de 20 Hz são chamadas de infrassom, enquanto as ondas com frequência superior a 20000 Hz são chamadas de ultrassom e não podem ser ouvidas pelo ser humano (DE OLIVEIRA, 2014).

São extensas as discussões sobre a diferenciação entre som e ruído, alguns autores definem o ruído como sendo todo e qualquer som indesejável, ou qualquer distúrbio à tranquilidade, devido a efeitos auditivos (SINGAL, 2005; TRIPATHY, 2008). Outros autores definem ruído como a combinação de movimentos oscilatórios que, ao se combinarem, resultam em oscilações desarmônicas (PAZ, 2004; KINSLER *et al.*, 2000), entretanto, do ponto de vista físico, não há distinção entre som e ruído (CONCHA-BARRIENTOS, 2004). Para efeitos dessa pesquisa, som e ruído são sinônimos, já que a delimitação da pesquisa não aborda fatores psicossociais relacionados à exposição ao ruído, se enquadrando portanto como uma pesquisa quantitativa.

A propagação do som em um meio material ocorre da seguinte maneira: uma fonte sonora produz uma perturbação no meio, essa perturbação se propaga na forma de onda, gerando compressões e rarefações no ar, o que pode ser definido como flutuações de pressão, ou ainda pressão sonora, cuja unidade é o newton por metro quadrado ($N.m^{-2}$), ou pascal (Pa). Quando propagam pelo ar, as flutuações de pressão são captadas pela orelha, entram pelo canal auditivo, fazendo vibrar o tímpano. Essas vibrações são transferidas aos ouvidos médio e interno, através de ossículos como o martelo, bigorna e estribo, conforme representado na Figura 1. Na cóclea estão presentes cerca de 25 mil cílios imersos em líquido aquoso, livres para vibrar de acordo com as vibrações que penetram o ouvido interno (DORIA & MARINHO, 2006). Ao serem estimuladas, as células ciliares transformaram essa energia captada em sinais neurológicos que, ao chegarem ao cérebro, resultam na sensação de som (KUTRUFF, 2007).

Figura 1 - Anatomia do ouvido interno.



Fonte: Domínio Público.

O nível mínimo de pressão sonora para que o ouvido humano consiga perceber o som é de aproximadamente $2,00 \times 10^{-5}$ Pa. Esse valor é chamado como pressão sonora de referência P_0 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Aumentando-se a energia acústica², eleva-se também o valor da pressão sonora, quando esse valor é de aproximadamente 200 Pa, o ser humano começa a sentir dor no ouvido, esse valor de pressão sonora é chamado de limiar da dor (KINSLER *et al.*, 2000).

É conveniente expressar os níveis de pressão sonora em escala logarítmica, já que os valores em pascal tornariam a escala extremamente extensa. Dessa forma, o nível de pressão sonora L , tendo como unidade de medida o decibel³ (dB) é definido como:

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

em que $P_0 = 2,00 \times 10^{-5}$ Pa é a pressão sonora de referência, para um som tonal⁴ de 1000 Hz, e P é o valor eficaz da pressão em pascal (MÖSER, 2009; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

² Energia acústica é a energia mecânica associada à onda sonora, ou seja, energia cinética das moléculas do meio que oscila somada à energia potencial elástica associada às compressões e rarefações do meio elástico (MÖSER, 2009).

³ O decibel equivale a um décimo de bel, que é uma unidade criada em homenagem ao físico Alexander Graham Bell. O bel (B) é uma escala logarítmica onde 1 bel corresponde a uma relação de 10 em potência.

⁴ Som Tonal é o tipo de som com tons puros ou, de frequência única.

A Tabela 1 apresenta a relação entre a pressão sonora absoluta, em pascal, e o nível de pressão sonora, em decibéis, relacionados a algumas situações cotidianas.

Tabela 1 - Relação entre pressão sonora absoluta (Pa) e nível de pressão sonora (dB).

Pressão Sonora (Pa)	Nível de Pressão Sonora (dB)	Situação
2×10^{-5}	0	Limiares Auditivos
2×10^{-4}	20	Floresta com ventos suaves
2×10^{-3}	40	Biblioteca
2×10^{-2}	60	Escritório
2×10^{-1}	80	Rua movimentada
2×10^0	100	Sirene, Martelo Pneumático
2×10^1	120	Jato durante decolagem
2×10^2	140	Limiar da dor, Perda de Audição

Fonte: Adaptado de MÖSER (2009).

Uma atenção especial deve ser dispensada ao somatório dos níveis de pressão sonora quando há mais de uma fonte produzindo o ruído, pois a soma dos níveis não é feita algebricamente. O nível de pressão sonora total é calculado utilizando-se a equação (2) (MÖSER, 2009):

$$L_{\text{tot}} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right) \quad (2)$$

em que L_{tot} representa o NPS total, N é o número total de fontes incoerentes com nível de pressão sonora L_i . Para o caso por exemplo⁵ de três fontes incoerentes produzindo NPS de 60 dB, o L_{tot} será de 64,8 dB e não 180 dB que seria o resultado da soma algébrica do NPS das três fontes.

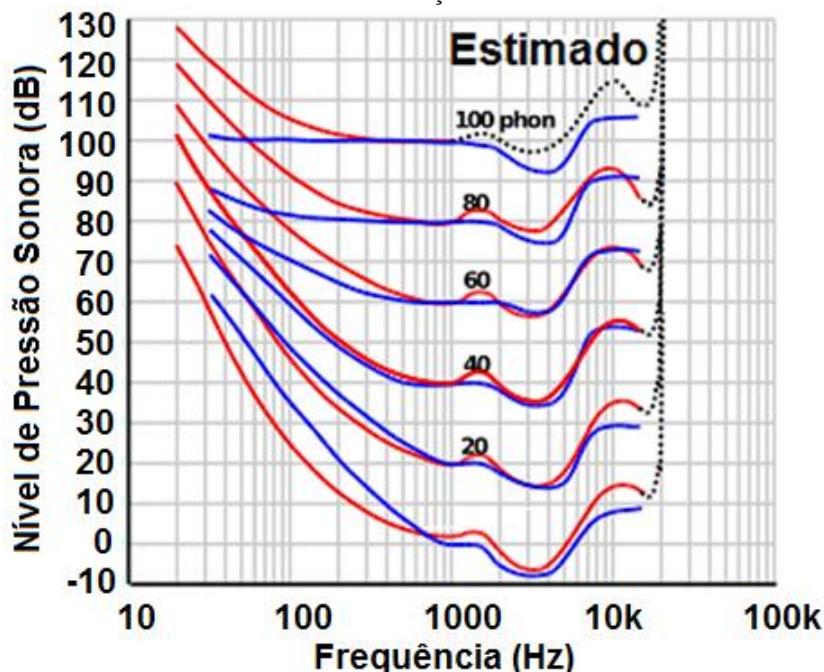
1.2 PERCEPÇÃO SONORA

A percepção subjetiva do som é chamada em acústica de *loudness*, ela é medida em *phon* e representa a audibilidade de um determinado som e não está associada somente ao NPS (MÖSER, 2009). A análise do *loudness* é bastante complexa, pois depende da

⁵ Adaptado de MÖSER (2009).

individualidade de cada ser humano, porém, pesquisas realizadas chegaram a valores estatísticos que verificaram que essa percepção está associada a fatores como a frequência do som e a largura de banda. Desse modo, Fletcher & Munson (1933) estabeleceram uma curva para definir essa relação e, em 2003, a Organização Internacional de Padronizações⁶ refez as curvas de Fletcher-Munson (ISO, 2003), conforme pode ser mostrado na Figura 2, com um acréscimo dos limites principalmente para as frequências mais graves. As curvas originais obtidas em 1933 estão em linha azul, enquanto as revisadas pela ISO 226:2003 estão em linha vermelha.

Figura 2 - Curva Fletcher-Munson, revisada em 2003 através da ISO 226:2003. A unidade de medida *phon* é definida a partir da frequência de 1000 Hz e representa toda a curva a qual está associada, sendo 0 phon o limiar da audição.



Fonte: Adaptado de LINDOS ELETRONICS (2015).

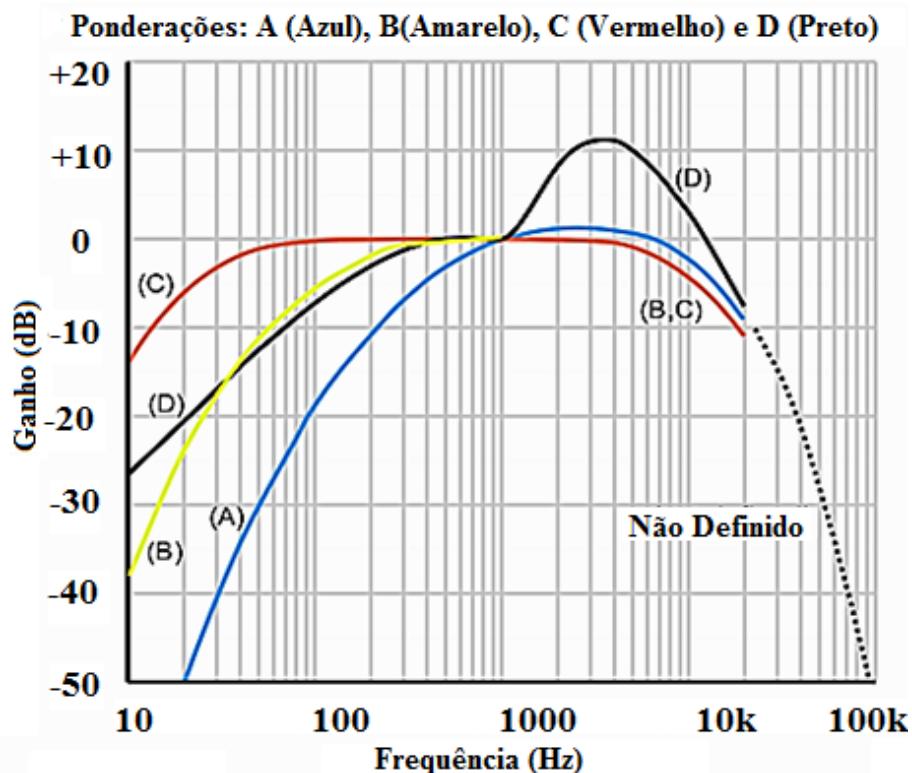
Visando padronizar as medições em Acústica, as frequências foram agrupadas em bandas, sendo todos os cálculos e medições realizados para uma determinada frequência central, tendo os valores obtidos considerados representativos para todas as frequências dessa banda (PINTO, 2011). A norma NBR 10152 determina a análise dos níveis de pressão sonora nas bandas de oitava de 63 até 8000 Hz (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), nesse caso as frequências analisadas serão 63 Hz e suas oitavas correspondentes. Uma oitava equivale ao dobro da frequência fundamental, nesse caso, a

⁶ Em inglês: *International Organization for Standardization - ISO*

próxima oitava é a frequência de 125 Hz, prosseguindo para 250, 500, 1000, 2000, 4000 até 8000 Hz, ou seja, as análises ocorrem em oito faixas centrais de frequência.

Com o intuito de se aproximar da sensibilidade experimentada pelo ouvido humano, nos decibelímetros são criados circuitos para correção dos níveis de energia medidos, sendo classificados como filtros A, B, C e D conforme representado na Figura 3. A curva A se aproxima da curva de audibilidade para baixos níveis de pressão sonora, em torno de 50 dB, sendo a mais utilizada por fornecer boa relação em testes subjetivos. As normas NBR 10151 e NBR 10152 determinam que os aparelhos sejam ajustados para medições na curva A. As curvas B e C são análogas à curva A, porém utilizam níveis de pressão sonora de cerca de 75 dB e 100 dB respectivamente, sendo mais utilizada a curva C para aferição de ruídos de impacto⁷. A curva D utiliza níveis elevados de NPS, da ordem de 120 dB, que possuem aplicações geralmente em aeroportos. Desse modo, quando uma medição é realizada, deve-se referenciar qual foi o filtro aplicado pelo equipamento. Por exemplo, uma medição de 62 dB realizada com curva de ponderação “A”, deve ser representada como “62 dB(A)”.

Figura 3 - Gráfico do Ganho (dB) *versus* Frequência (Hz) das curvas de ponderação A, B, C e D.



Fonte: Adaptado de LINDOS ELETRONICS (2015).

⁷ Ruído de Impacto é o ruído que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 segundo, a intervalos superiores a um segundo (BRASIL, 2009). São exemplos de ruídos desse tipo as operações de um bate estaca, disparo de arma de fogo e marteladas sobre uma superfície.

Segundo Kinsler *et al* (2000), a perda auditiva induzida pode ocorrer de duas maneiras: por trauma e de forma crônica⁸. A perda auditiva por trauma ocorre com sons de alta intensidade como: explosões, disparos de arma de fogo ou ainda motores de jato. Esse tipo de ruído pode romper o tímpano ou danificar ossículos como o martelo e a bigorna, além de destruir as células sensoriais ciliadas. A forma crônica ocorre quando os níveis são abaixo dos necessários para resultar em trauma, mas por um tempo suficientemente longo pode causar disfunção ou destruição das células ciliadas do ouvido interno. A Tabela 2 mostra a relação entre níveis de pressão sonora e o risco de perda da audição.

Tabela 2 - Classificação do risco de perda auditiva média, com relação a níveis de pressão sonora correspondentes às bandas de frequência de 500, 1000 e 2000 Hz.

NPS correspondente às bandas de 500, 1000, e 2000 Hz (dB)	Classificação
Menor que 25	Dentro dos limites normais
26-40	Leve
41-55	Moderado
56-70	Moderadamente Severo
71-90	Severo
Acima de 91	Profundo

Fonte: Adaptado de KINSLER *et al.*, 2000.

A OMS recomenda que o nível máximo de ruído para áreas educacionais seja de até 55 dB(A) (SINGAL, 2005). No Brasil, a norma NBR 10151 da ABNT estabelece que as medições devem ser comparadas com o nível de critério de avaliação (NCA) específico para cada caso. Para áreas estritamente residenciais urbanas, hospitalares ou de escolas, o limite para o período diurno para a área externa é de 50 dB(A), devendo ser reduzido 10 dB(A) quando se tratar de ambiente interno com janelas abertas e redução de 15 dB(A), quando houver janelas fechadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000). No caso de trabalhadores expostos a altos níveis de ruído, o Ministério do Trabalho e Emprego estabelece limites de tolerância máxima para cada NPS, conforme mostrado na Tabela 3.

⁸ O termo “crônica” é utilizado nesse caso devido a relação da perda auditiva com frequências sonoras específicas. Naturalmente perde-se a sensibilidade auditiva nos extremos entre os tons de maior e menor frequência a medida que se envelhece. Em português, o termo “crônico” tem relação com as cores, que fisicamente variam conforme a frequência da onda eletromagnética emitida.

Tabela 3 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

Nível de Ruído em dB(A)	Máxima exposição diária permitível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	8 minutos

Fonte: BRASIL, 2009.

O estabelecimento do horário que define os períodos diurno e noturno, segundo a norma NBR 10151 é de responsabilidade das autoridades de acordo com os hábitos da população. Em Goiânia, esses horários estão estabelecidos na Instrução Normativa de número 26, de 18 de agosto de 2008 da Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA), publicada no Diário Oficial do Município de Goiânia de nº 4437 de 27/08/2008. A portaria estabelece como diurno o horário entre 7 e 22h, exceto domingos e feriados, cujo período se inicia às 9h.

A portaria também determina um limite máximo de 55 dB para Zona Residencial Urbana e 65 dB para o Centro de Goiânia (GOIÂNIA, 2008a).

O Campus Goiânia do IFG está localizado no Setor Central da Capital Goiânia o que, a princípio o classificaria no NCA estabelecido para o Centro de Goiânia que é de 65 dB. No entanto, de acordo com o Artigo 3º da Instrução Normativa número 26, associada à Lei 8617/08 (Plano diretor de Goiânia), a localização onde está situado o IFG – Campus Goiânia é considerada zona residencial urbana (GOIÂNIA, 2008a, 2008b), devendo nesse caso ser estabelecido como NCA o limite de 55 dB para as áreas externas aferidas. Da associação da Lei municipal com a norma NBR 10151, foram estabelecidos os Níveis de Critério de Avaliação constantes na Tabela 4 para essa pesquisa

Tabela 4 – Nível de Critério de Avaliação estabelecido de acordo com Normas e Leis em vigor.

Tipo de Ambiente	Nível de Critério de Avaliação em dB(A)
Ambiente Externo	55
Ambiente Interno com janelas abertas	45
Ambiente Interno com janelas fechadas	40

Fonte: Próprio Autor.

1.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

Os níveis de ruído variam com o tempo, tornando difícil sua avaliação. Para tornar as avaliações mais precisas, instituiu-se na Acústica o nível de pressão sonora equivalente, o qual representa uma média de todos os níveis de pressão sonora medidos ao longo do tempo. Assim pode-se expressar a avaliação sonora através de um número único (LACERDA *et al.*, 2005). O método para efetuar esse cálculo é chamado de nível de ruído contínuo equivalente⁹ (MÖSER, 2009), ou simplesmente nível de pressão sonora equivalente, abreviado por L_{eq} e que pode ser obtido através da equação (3).

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 dT \right] \quad (3)$$

Onde o nível de pressão sonora equivalente é expresso por L_{eq} (dB), P_0 representa a pressão sonora de referência e vale $2,00 \times 10^{-5}$ Pa. P é o nível de pressão eficaz no tempo e T representa o tempo de apuração da medição. Atualmente, há equipamentos capazes de

⁹ Em inglês, “energy-equivalent continuous sound level”.

fornecer um nível de energia integrada total, ou fornecer diretamente um valor de L_{eq} , esses instrumentos são chamados de medidores de dose de ruído, no entanto, a maioria dos equipamentos não fornece essa leitura, fornecendo apenas a leitura do NPS em decibéis por frações de tempo específicas. A norma NBR 10151 da ABNT utiliza a abreviatura L_{Aeq} para se referir ao nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”.

Devido à diversidade nos tipos de equipamentos a ABNT normatizou um procedimento simplificado para o cálculo do L_{Aeq} , descrito a seguir:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \quad (4)$$

em que L_{Aeq} [dB(A)] designa o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A, L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído, enquanto n representa o número total de medições registradas.

A norma ABNT ainda estabelece que deve ser aplicado um nível de ruído corrigido L_c para ruídos de caráter impulsivo ou de impacto, ou que possuam componentes tonais. Para ruídos de impacto deve ser utilizado o maior valor de NPS registrado no equipamento e acrescido o valor de 5 dB(A). Quando se trata de ruído com componentes tonais, deve ser calculado o L_{Aeq} e a esse valor deve ser acrescido 5 dB(A). Quando há simultaneamente ruídos impulsivos e com componentes tonais, deve se aplicar os dois critérios e utilizar o maior valor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000). Desse modo, quando necessário realizar os cálculos de nível de ruído corrigido, o L_{Aeq} assume o valor de L_c . Nesse trabalho, os níveis de pressão sonora corrigidos L_c obtidos experimentalmente serão comparados com os Níveis de Critérios de Avaliação constantes na Tabela 4.

1.4 PRINCÍPIOS DE PROPAGAÇÃO DO SOM

Uma fonte sonora pontual¹⁰ que gera um determinado som faz com que a onda se propague em todas as direções, ou seja, de forma tridimensional e esférica. Basicamente o som se propaga de duas maneiras: propagação livre, que é quando o som se propaga pelo ar sem a presença de obstáculos e, a propagação com obstáculos. Nesse segundo caso, o som encontra obstáculos sólidos ou líquidos pelo caminho. Quando isso ocorre, a onda sonora se

¹⁰ Uma fonte sonora pode ser considerada pontual quando a distância entre ela e o local onde se determinam as intensidades sonoras é muito maior que suas dimensões físicas.

divide sendo parte da energia sonora absorvida pelo meio se transformando em calor, parte do som é refletido e outra parte é transmitida (MÖSER, 2009; KINSLER *et al.*, 2010).

A onda sonora pode ser representada por uma equação de onda que varia no tempo, de acordo com a seguinte equação:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (5)$$

em que v expressa a velocidade do som, definida como $v = \sqrt{\beta/\rho}$, sendo β o módulo de elasticidade volumétrica do meio e ρ a massa específica e $\nabla^2 p$ expressa o laplaciano do campo vetorial da função p , que é a pressão eficaz. A equação (5) é válida para propagação do som em meios onde a velocidade pode ser expressa em função do espaço. Isso vale, por exemplo, para a atmosfera e oceanos (KINSLER *et al.*, 2000) e está representada em sua forma linearizada, sendo a base para análise de propagação da onda sonora em fluidos.

Durante sua propagação, a onda sonora sofre um decréscimo de sua intensidade I , supondo uma fonte pontual com potência W em um campo livre, pode-se escrever que a intensidade sonora num ponto do espaço, à distância r da fonte, é igual à potência sonora da fonte W por unidade de área da superfície esférica de raio r , dada por (MÖSER, 2009; KINSLER *et al.*, 2000):

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (6)$$

Quando uma onda sonora se propaga em um gás a forma de onda não é alterada. Esse tipo de propagação é chamado de não dispersiva, em contrapartida, isso não ocorre em obstáculos como vigas e placas (MÖSER, 2009). Quando o som encontra um obstáculo sólido, como, por exemplo, uma parede, parte de sua energia cinética é convertida em energia térmica, sendo por fim essa energia absorvida pelo material. Essa absorção está relacionada com a velocidade da onda, ou seja, com sua frequência e com características próprias do material. Para análise do conforto acústico de um ambiente, deve-se levar em consideração o coeficiente de absorção sonora α , que relaciona a intensidade sonora absorvida e incidente (HUBER & RUNSTEIN, 2011). Trata-se de um coeficiente adimensional obtido experimentalmente conforme expressa a equação (7), onde I_A é a intensidade absorvida pelo meio, enquanto I_R representa a intensidade do som refletido pela superfície. Quanto maior α

maior será a atenuação da intensidade da onda sonora pelo material. Na Tabela 5 estão alguns valores de coeficientes de absorção específicos de alguns materiais.

$$\alpha = \frac{I_A}{I_R} \quad (7)$$

Tabela 5 - Coeficientes de absorção para vários materiais.

Material	Coeficientes de absorção respectivos a cada banda de frequência					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tijolo, não vitrificado	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Madeira	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,62
Janela de vidro comum	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Bloco de concreto	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25

Fonte: Adaptado de Huber & Runstein (2011).

CAPÍTULO 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa foi realizada no IFG – Campus Goiânia, durante o período de atividades normais, nos três turnos (matutino, vespertino e noturno), além de ter sido feito o monitoramento ambiental no sábado pela manhã. O monitoramento ambiental foi realizado nos seguintes horários: Período matutino das 7 às 9h; período vespertino das 13 às 15h; período noturno das 19 às 21h e, no sábado das 9 às 11h. Durante as medições tentou-se interferir o mínimo possível nas atividades administrativas, escolares e acadêmicas. Para realizar as medições foram utilizados um medidor de nível sonoro com *data logger*, modelo DEC-490 (INSTRUTHERM), e um calibrador acústico, modelo CAL-4000 (INSTRUTERM), ambos com certificado de calibração¹¹ em acordo com a norma NBR/ISO/IEC 17025:2005. O medidor de nível sonoro está em conformidade com a norma IEC 61672:2003, da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC)¹². No Brasil, a NBR 10151 recomenda a utilização da ponderação A em conformidade com a norma internacional IEC 60651:1979 e IEC 60804:1985, porém, a norma IEC 61672:2003 substitui as normas anteriores, devido a essas atualizações, a própria norma NBR 10151 está sendo revisada. O medidor de nível sonoro utilizado se enquadra na classe 2 e possui precisão de $\pm 1,4$ dB e opera na escala de frequência de 31,5 até 8000 Hz, com ponderações A e C. O calibrador está em conformidade com a norma IEC 60942:1988 e opera com saída de 94 e 114 dB na frequência de 1000 Hz e possui precisão de $\pm 0,5$ dB. Na Figura 4 estão representados os equipamentos utilizados nessa pesquisa.

¹¹ Cópia dos certificados de calibração estão disponíveis no Anexo A.

¹² Em inglês: *International Electrotechnical Commission – IEC*.

Figura 4 - Equipamentos utilizados nas medições do NPS: A) Medidor de Nível Sonoro DEC-490 (INSTRUTHERM); B) Calibrador Acústico Cal-4000 (INSTRUTHERM); C) Medidor de Nível Sonoro em procedimento de Calibração.



Fonte: Próprio Autor.

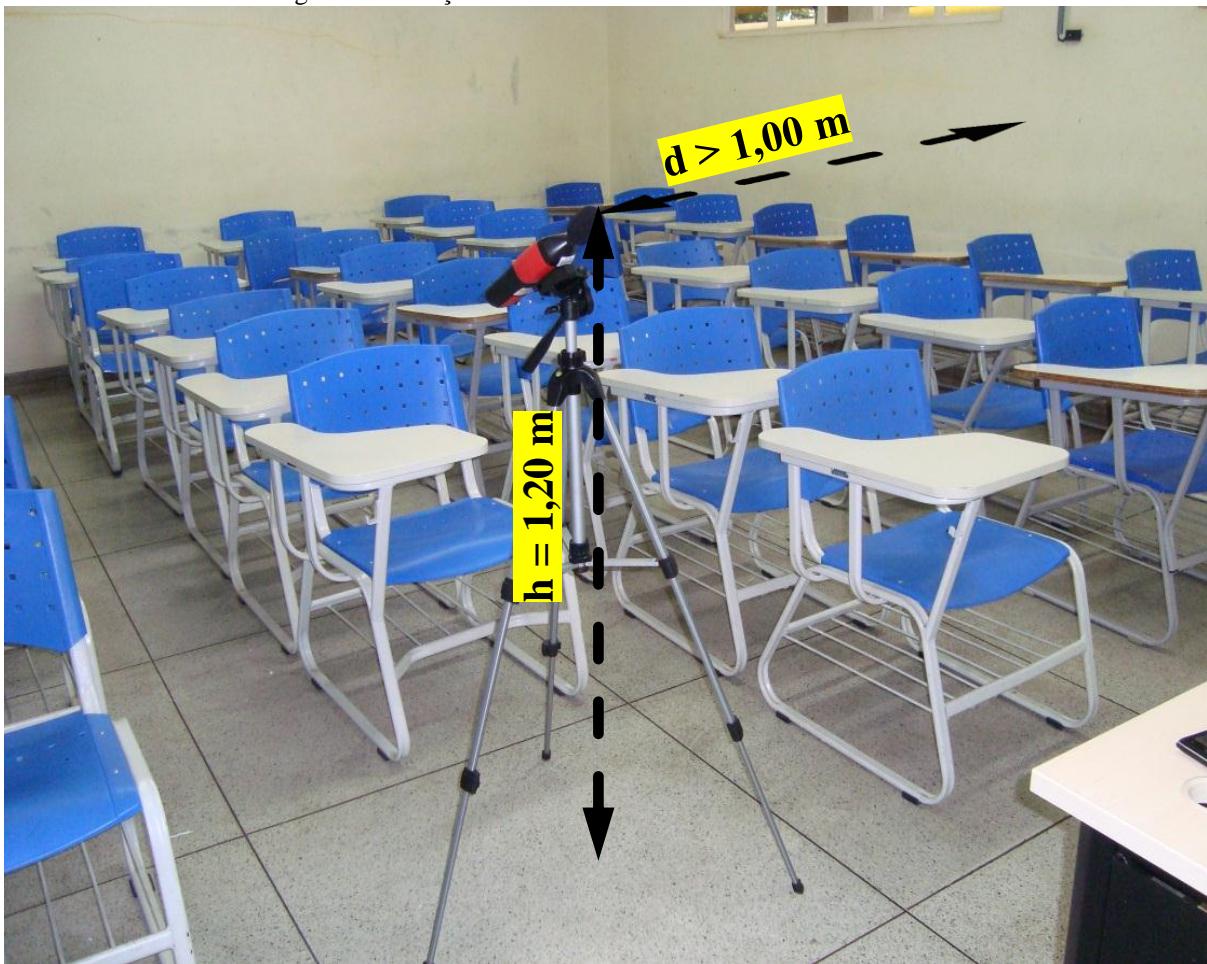
Para o início das medições, o medidor de nível sonoro foi configurado em modo de resposta *fast*, programado para registro dos dados a cada 5 s e as medições foram realizadas durante o período de um minuto. O medidor de nível sonoro foi calibrado utilizando o calibrador acústico antes e após o conjunto de medições, conforme especifica a norma NBR 10151. O equipamento foi acondicionado em um tripé de alumínio próprio para essa finalidade e posicionado a 1,20 m do solo. Nas medições externas foi obedecida a distância mínima de 2,00 m de superfícies refletoras, como muros ou paredes. Nas medições internas foi respeitado o limite mínimo de 1,00 m das paredes e as leituras ocorreram em três pontos distintos do ambiente, com distância de mínima de 0,50 m entre eles, ou seja, todas as medições foram realizadas em acordo com a norma NBR 10151 conforme é mostrado nas Figuras 5 e 6, que ilustram uma medição externa e interna, respectivamente.

Figura 5 - Medição realizada na área externa, esquina da Rua 62 com Rua 79, Centro de Goiânia. Distância superior a 2,00 m de superfícies refletoras e a 1,20 m do solo.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6 - Medição realizada dentro de uma sala de aula vazia.



Fonte: Próprio Autor.

2.1 PONTOS MONITORADOS

Anteriormente à realização das medições optou-se por observar oitenta pontos previamente marcados na planta baixa do IFG – Campus Goiânia, durante os turnos matutino, vespertino, noturno e sábado pela manhã, que resultaria em trezentos e vinte pontos a serem analisados. Com a finalidade de delimitar a população de amostras monitoradas, foram priorizados os locais com maior atividade humana, que resultaram em um número máximo de trinta e três pontos por período. Foram escolhidos oito pontos localizados no perímetro externo da instituição, com a finalidade de monitorar o L_{Aeq} fora dos limites do IFG – Campus Goiânia, os quais foram monitorados em três turnos (matutino, vespertino e noturno) e no sábado pela manhã.

Pequenas adaptações na localização dos pontos localizados no perímetro interno foram realizadas, conforme a migração de atividades correlatas aos horários estabelecidos, sendo escolhido vinte e cinco pontos para os períodos matutino e vespertino, vinte e dois pontos no período noturno e dezoito no sábado pela manhã, totalizando cento e vinte e dois

pontos monitorados. As medições foram realizadas no período entre a última semana de janeiro e a primeira semana de março de 2015, dividindo os pontos monitorados de segunda a quinta feira, sendo as medições aos sábados realizadas no último sábado de fevereiro e primeiro sábado de março de 2015. Em todos os pontos monitorados foram realizadas pelo menos três medições (triplicata).

2.1.1 PERÍODO MATUTINO

Durante o período matutino, um total de trinta e três pontos foram monitorados, divididos em três áreas: oito pontos no perímetro externo, dezessete pontos no térreo, e outros oito pontos no primeiro pavimento, conforme apresentado nas Figuras I e II do Apêndice A e relacionados na Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição dos pontos monitorados no período matutino conforme sua identificação nas plantas baixas disponibilizadas no Apêndice A.

Identificação na Planta	Descrição do Local
M-E1	Perímetro Externo. Rua 75 com 62.
M-E2	Perímetro Externo. Rua 62.
M-E3	Perímetro Externo. Rua 62 com 79.
M-E4	Perímetro Externo. Rua 79.
M-E5	Perímetro Externo. 79 com 66.
M-E6	Perímetro Externo. Rua 66.
M-E7	Perímetro Externo. Rua 66 com 75.
M-E8	Perímetro Externo. Rua 75.
M1	Estacionamento de Professores e servidores, sem trânsito de veículos, e presença de pessoas transitando à pé..
M2	T-106 – Durante aula normal, aproximadamente quinze alunos em silêncio, apenas o professor falando, janelas abertas.
M3	T-107 – Durante intervalo de aula com cerca de dez estudantes conversando.
M4	Corredor do bloco 100 com fluxo de pessoas.
M5	Entrada de professores e servidores com fluxo de pessoas.
M6	Teatro com aula e ensaio de uma peça teatral, cerca de vinte e cinco pessoas.
M7A	Pátio próximo ao sistema de climatização do teatro, com o sistema desligado.

Continua

Continuação da Tabela 6

Identificação na Planta	Descrição do Local
M7B	Pátio próximo ao sistema de climatização do teatro, com o sistema ligado e com sons produzidos por instrumentos musicais
M8A	Pátio em frente à entrada do teatro com o sistema de climatização do teatro desligado e sem a presença de sons de instrumentos musicais.
M8B	Pátio em frente à entrada do teatro com o sistema de climatização do teatro ligado e com sons produzidos por instrumentos musicais.
M9A	Pátio em frente ao complexo de artes com o sistema de climatização do teatro desligado e sem a presença sons de instrumentos musicais.
M9B	Pátio em frente ao complexo de artes com o sistema de climatização do teatro ligado e com sons produzidos por instrumentos musicais.
M10A	Biblioteca – Sala de estudos individuais com o sistema de climatização do teatro desligado e ausente de sons de instrumentos musicais, janelas abertas.
M10B	Biblioteca – Sala de estudos individuais com o sistema de climatização do teatro ligado e sons de instrumentos musicais, janelas fechadas.
M11A	Biblioteca – Sala de estudos coletivos com o sistema de climatização do teatro desligado e ausente de sons de instrumentos musicais, janelas abertas.
M11B	Biblioteca – Sala de estudos coletivos com o sistema de climatização do teatro ligado e sons de instrumentos musicais, janelas abertas.
M12	Biblioteca – Acervo, ausente de pessoas e janelas abertas.
M13	Área de convivência dos estudantes com fluxo de pessoas.
M14	Pátio em frente à sala dos professores com fluxo de pessoas.
M15	Corredor bloco 200, com fluxo de pessoas.
M16	Corredor próximo ao miniginásio, ausente de pessoas.
M17	Ginásio de Esportes, apenas jogadores e professor, cerca de dez pessoas.
M18	S-108, durante aula normal com aproximadamente dez alunos em silêncio e apenas o professor falando.
M19	Corredor Bloco S-100, ausente de pessoas.
M20	Corredor Bloco S-700, ausente de pessoas.
M21	Laboratório de Química, ausência de pessoas e janelas fechadas.

Continua

Continuação da Tabela 6

Identificação na Planta	Descrição do Local
M22	S-804, portas e janelas fechadas, ausência de pessoas e equipamentos eletrônicos desligados.
M23	S-805, aula normal com aproximadamente quinze alunos em silêncio, apenas o professor falando.
M24	Corredor Bloco S-800, com fluxo de pessoas.
M25	Saguão entre os Blocos S-300 e S-400, com fluxo de pessoas.

Fonte: Próprio Autor.

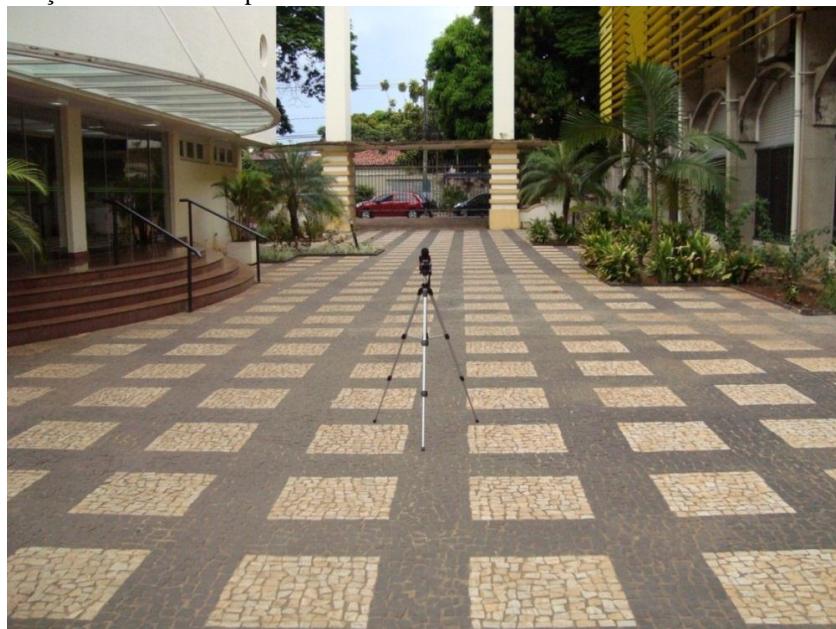
Alguns pontos foram monitorados de forma distinta como: no pátio interno em frente ao teatro e no interior da biblioteca (pontos M7, M8, M9, M10 e M11), onde foram realizadas medições com o sistema de climatização do teatro ligado e desligado, conforme ilustrado nas Figuras 7, 8 e 9.

Figura 7 - Sistema de climatização do teatro localizado no pátio interno, entre o bloco 100 e a biblioteca do IFG – Campus Goiânia.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 8 - Medições realizadas no pátio interno entre o teatro e a biblioteca do IFG – Campus Goiânia.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 9 - Medições realizadas dentro da sala de estudos individuais da biblioteca do IFG – Campus Goiânia.



Fonte: Próprio Autor.

As medições realizadas no Ginásio de Esportes, durante uma aula de basquete foram efetuadas de cima da arquibancada, em diversos pontos, nos locais onde fica a plateia, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Medições realizadas no Ginásio de Esportes do IFG – Campus Goiânia, durante aula de basquete.



Fonte: Próprio Autor.

2.1.2 PERÍODO VESPERTINO

Um total de trinta e três pontos foram monitorados no período vespertino, divididos em três áreas: oito pontos no perímetro externo, dezessete pontos no térreo, e outros oito pontos no primeiro pavimento, conforme apresentado nas Figuras III e IV do Apêndice A e relacionados na Tabela 7.

Tabela 7 - Descrição dos pontos monitorados no período vespertino conforme sua identificação nas plantas baixas disponibilizadas no Apêndice A.

Identificação na Planta	Descrição do Local
V-E1	Perímetro Externo. Rua 75 com 62.
V-E2	Perímetro Externo. Rua 62.
V-E3	Perímetro Externo. Rua 62 com 79.
V-E4	Perímetro Externo. Rua 79.
V-E5	Perímetro Externo. 79 com 66.

Continua

Continuação da Tabela 7

Identificação na Planta	Descrição do Local
V-E6	Perímetro Externo. Rua 66.
V-E7	Perímetro Externo. Rua 66 com 75.
V-E8	Perímetro Externo. Rua 75.
V1	Estacionamento de Professores e servidores, sem trânsito de veículos, com trânsito de pessoas à pé.
V2	T-106 – Durante aula normal, aproximadamente quinze alunos em silêncio, apenas o professor falando, janelas abertas.
V3	T-107 – Ausência de pessoas ou equipamentos eletrônicos funcionando, janelas abertas.
V4	Corredor do bloco 100 com fluxo de pessoas.
V5	Entrada de professores e servidores com fluxo de pessoas.
V6	Pátio em frente à Cinemateca com fluxo de pessoas.
V7	Pátio próximo ao sistema de climatização do teatro, com o sistema desligado.
V8	Pátio em frente à entrada do teatro com o sistema de climatização do teatro desligado, ausência de sons de instrumentos musicais e ausência de pessoas.
V9	Pátio em frente ao complexo de artes com o sistema de climatização do teatro desligado e com sons de instrumentos musicais.
V10	Biblioteca – Sala de estudos individuais com o sistema de climatização do teatro desligado e sem sons de instrumentos musicais, janelas fechadas.
V11	Biblioteca – Sala de estudos coletivos com o sistema de climatização do teatro desligado e sem sons de instrumentos musicais, janelas abertas.
V12	Biblioteca – Acervo ausente de pessoas e janelas abertas.
V13	Área de convivência dos estudantes com fluxo de pessoas.
V14	Pátio em frente à sala dos professores com fluxo de pessoas.
V15	Corredor bloco 200, com fluxo de pessoas.
V16	Corredor próximo ao miniginásio, ausente de pessoas.
V17	Saguão do ginásio, com fluxo de pessoas e algumas pessoas se exercitando na academia, ausente de música.

Continua

Continuação da Tabela 7

Identificação na Planta	Descrição do Local
V18	S-108, durante aula normal com aproximadamente vinte alunos em silêncio e apenas o professor falando.
V19	Corredor Bloco S-100, sem fluxo de pessoas.
V20	Corredor Bloco S-700, sem fluxo de pessoas.
V21	Laboratório de Química, ausente de pessoas e janelas abertas.
V22	S-804, portas e janelas fechadas e ausente de pessoas e equipamentos eletrônicos desligados.
V23	S-805, aula normal com aproximadamente dez alunos em silêncio, apenas o professor falando.
V24	Corredor Bloco S-800, sem fluxo de pessoas.
V25	Saguão entre os Blocos S-300 e S-400, com fluxo baixo de pessoas.

Fonte: Próprio Autor.

2.1.3 PERÍODO NOTURNO

Um total de trinta e um pontos foram monitorados no período noturno, divididos em três áreas: oito pontos no perímetro externo, dezesseis pontos no térreo, e outros sete pontos no primeiro pavimento, conforme apresentado nas Figuras V e VI do Apêndice A e relacionados na Tabela 8. Não foram encontradas atividades no ginásio de esportes nem aulas no bloco S-800, o que reduziu dois pontos com relação aos períodos matutino e vespertino.

Tabela 8 - Descrição dos pontos monitorados no período noturno conforme sua identificação nas plantas baixas disponibilizadas no Apêndice A.

Identificação na Planta	Descrição do Local
N-E1	Perímetro Externo. Rua 75 com 62.
N-E2	Perímetro Externo. Rua 62.
N-E3	Perímetro Externo. Rua 62 com 79.
N-E4	Perímetro Externo. Rua 79.
N-E5	Perímetro Externo. 79 com 66.
N-E6	Perímetro Externo. Rua 66.

Continua

Continuação da Tabela 8

Identificação na Planta	Descrição do Local
N-E7	Perímetro Externo. Rua 66 com 75.
N-E8	Perímetro Externo. Rua 75.
N1	Estacionamento de Professores e servidores, sem trânsito de veículos, baixa movimentação de pessoas.
N2	T-106 – Durante aula normal, aproximadamente quinze alunos em silencio, apenas o professor falando, janelas abertas.
N3	T-107 – Ausente de pessoas ou equipamentos eletrônicos funcionando, janelas abertas.
N4	Corredor do bloco 100 com fluxo de estudantes.
N5	Entrada de professores e servidores com fluxo de pessoas.
N6	Pátio em frente à Cinemateca com fluxo de pessoas.
N7	Pátio próximo ao sistema de climatização do teatro, com o sistema desligado.
N8	Pátio em frente à entrada do teatro com o sistema de climatização do teatro desligado e ausente de sons de instrumentos musicais, com fluxo de pessoas.
N9	Pátio em frente ao complexo de artes com o sistema de climatização do teatro desligado e com sons de instrumentos musicais.
N10	Biblioteca – Sala de estudos individuais com o sistema de climatização do teatro desligado e sem sons de instrumentos musicais, janelas fechadas.
N11	Biblioteca – Sala de estudos coletivos com o sistema de climatização do teatro desligado e sem sons de instrumentos musicais, janelas abertas.
N12	Biblioteca – Acervo, ausente de pessoas e janelas abertas.
N13	Área de convivência dos estudantes com fluxo de pessoas.
N14	Pátio em frente à sala dos professores com fluxo de pessoas.
N15	Corredor bloco 200, com fluxo de pessoas.
N16	Corredor próximo ao miniginásio, ausente de pessoas.
N18	S-108, durante aula normal com aproximadamente vinte alunos em silêncio e apenas o professor falando.
N19	Corredor Bloco S-100, ausente de pessoas.
N20	Corredor Bloco S-700, ausente de pessoas.

Continua

Continuação da Tabela 8

Identificação na Planta	Descrição do Local
N21	Laboratório de Química, ausente de pessoas e janelas abertas.
N22	S-804, portas e janelas fechadas, ausente de pessoas e equipamentos eletrônicos desligados.
N24	Corredor Bloco S-800, ausente de pessoas.
N25	Saguão entre os Blocos S-300 e S-400, com fluxo de pessoas.

Fonte: Próprio Autor.

2.1.4 SÁBADO PELA MANHÃ

A motivação para realização do monitoramento ambiental no sábado partiu da hipótese de que o ruído produzido no parque Mutirama durante o final de semana pudesse contribuir para o acréscimo do NPS dentro do IFG – Campus Goiânia. O Mutirama é um parque de diversões municipal da Prefeitura de Goiânia-GO, localizado entre as Avenidas Contorno, Araguaia e Independência no Centro de Goiânia (aproximadamente a 20 m do IFG – Campus Goiânia), sendo uma das principais atrações para diversão infantil e familiar da Capital aos fins de semana, com horário de funcionamento das 9 às 19h aos sábados. O Mutirama possui brinquedos familiares, radicais e infantis, totalizando vinte e sete brinquedos além de outras atrações artísticas e culturais que acontecem no parque.

Um total de vinte e seis pontos foram monitorados no sábado pela manhã, divididos em três áreas: oito pontos no perímetro externo, doze pontos no térreo, e outros seis pontos no primeiro pavimento, conforme apresentado nas Figuras VII e VIII do Apêndice A e relacionados na Tabela 9.

Alguns pontos que foram monitorados em outros dias não puderam ser monitorados no sábado como a biblioteca e salas durante aulas, já que não foi encontrado turmas com aulas nos sábados em que o monitoramento ambiental foi realizado, resultando em uma quantidade menor de pontos monitorados. Visando uniformidade e correspondência entre os pontos localizados no mesmo local, mas em dias ou períodos diferentes, as tabelas não são sequenciais. Por exemplo: do ponto S9 a sequência salta para S13, pois correspondem aos pontos M9 e M13 da Tabela 6 e como não houve monitoramento nos pontos correspondentes a biblioteca, seus correspondentes foram omitidos na sequência numérica.

Tabela 9 - Descrição dos pontos monitorados no sábado pela manhã conforme sua identificação nas plantas baixas disponibilizadas no Apêndice A.

Identificação na Planta	Descrição do Local
S-E1	Perímetro Externo. Rua 75 com 62.
S-E2	Perímetro Externo. Rua 62.
S-E3	Perímetro Externo. Rua 62 com 79.
S-E4	Perímetro Externo. Rua 79.
S-E5	Perímetro Externo. 79 com 66.
S-E6	Perímetro Externo. Rua 66.
S-E7	Perímetro Externo. Rua 66 com 75.
S-E8	Perímetro Externo. Rua 75.
S1	Estacionamento de Professores e servidores, sem trânsito de veículos, com pessoas transitando à pé.
S2	T-106 – Ausente de pessoas e equipamentos eletrônicos funcionando, janelas abertas.
S4	Corredor do bloco 100 ausente de pessoas.
S5	Entrada de professores e servidores com fluxo de pessoas.
S6	Pátio em frente à Cinemateca com fluxo de pessoas.
S7	Pátio próximo ao sistema de climatização do teatro, com o sistema desligado, e ausente de pessoas.
S8	Pátio em frente à entrada do teatro com o sistema de climatização do teatro desligado e ausente de sons de instrumentos musicais e ausente de pessoas.
S9	Pátio em frente ao complexo de artes com o sistema de climatização do teatro desligado e com a presença de sons de instrumentos musicais.
S13	Área de convivência dos estudantes com fluxo de pessoas.
S14	Pátio em frente à sala dos professores ausente de pessoas.
S15	Corredor bloco 200, ausente de pessoas.
S16	Corredor próximo ao miniginásio, ausente de pessoas.
S18	S-108, portas e janelas abertas, ausente de pessoas e equipamentos eletrônicos desligados.
S19	Corredor Bloco S-100, ausente de pessoas.
S20	Corredor Bloco S-700, ausente de pessoas.

Continua

Continuação da Tabela 9

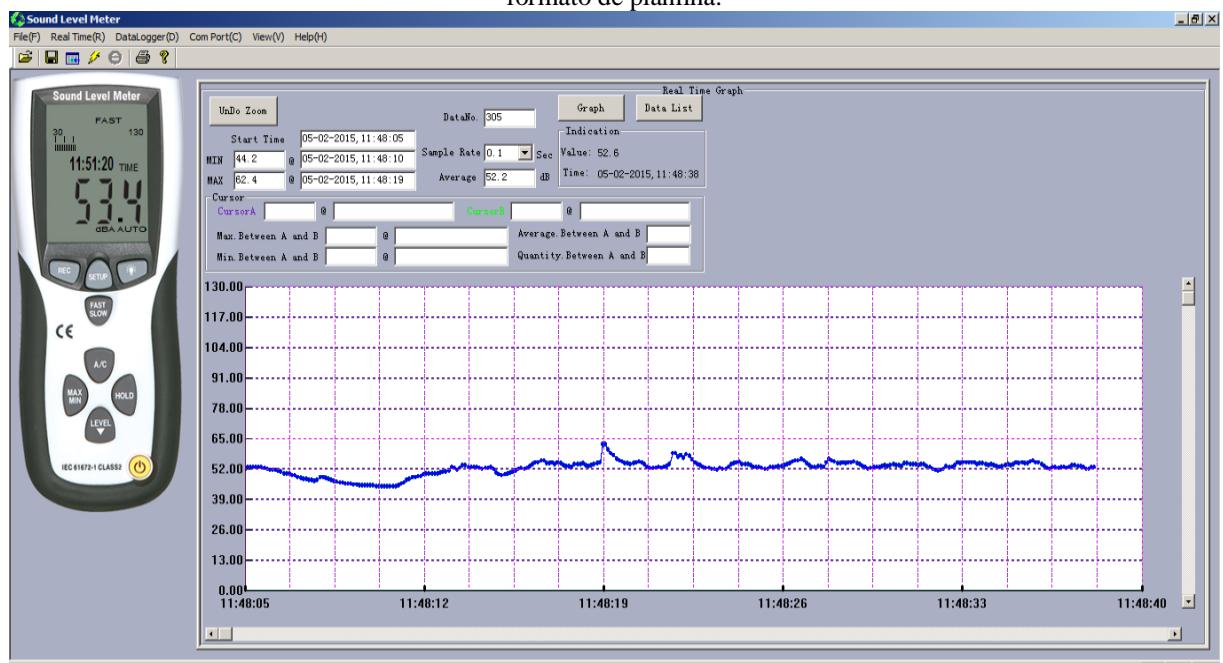
Identificação na Planta	Descrição do Local
S22	S-804, portas e janelas fechadas, ausente de presença de pessoas e equipamentos eletrônicos desligados.
S24	Corredor Bloco S-800, ausente de pessoas.
S25	Saguão entre os Blocos S-300 e S-400, com fluxo de pessoas.

Fonte: Próprio Autor.

2.2 CÁLCULO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

Para cada ponto foram realizadas três medições (triplicata), sendo calculado o L_{Aeq} através da equação (4) e, posteriormente, foi realizado o cálculo da média do L_{Aeq} obtido em cada situação, sendo posteriormente aplicado o nível corrigido L_C , conforme descrito na seção 1.3. do Capítulo 1, e após o cálculo do L_C , este passa a ser o nível de pressão sonora equivalente que será comparado com o NCA. O processo de aquisição dos dados foi realizado através do programa *Sound Level Meter* fornecido pelo fabricante do equipamento que, dentre suas funções, exporta os dados em formato de planilha.

Figura 11 - Processo de aquisição de dados pelo programa *Sound Level Meter*, os dados são exportados em formato de planilha.



Fonte: Próprio Autor.

Após determinado o L_c específico para cada ponto, foi utilizado o programa de simulação computacional EASE (*Enhanced Acoustic Simulator for Engineers*), para realizar a previsão de ruído dentro das salas de estudo coletivo e individual da biblioteca. A simulação foi realizada de forma semi-empírica, tendo como dados de entrada no programa as medições da parte externa das salas da biblioteca e da sala T-106, estas tratadas como fontes pontuais. A edificação foi modelada de forma vetorial em três dimensões, tendo as características de absorção sonora dos materiais que constituem as superfícies interiores da sala definidas através de uma base de dados, baseada nos valores dos coeficientes de absorção sonora α por banda de frequência (PEREIRA, 2010), conforme explanado na seção 1.4 do Capítulo 1. Utilizando a base de dados, e com algoritmos sustentados principalmente pelas equações (2), (3), (5) e (6), o programa é capaz de calcular a atenuação do NPS para uma área de audiência determinada, fornecendo assim, um valor simulado de L_{Aeq} . Com o EASE é possível também simular o comportamento dos níveis de pressão sonora com relação às bandas de oitava e espectro contínuo de frequência, podendo assim ser realizada uma análise das bandas de oitava do ruído, na gama de 63 até 8000 Hz como preconiza a norma NBR 10152, que estabelece níveis para conforto acústico. A maioria dos medidores de nível de ruído não dispõe desses filtros, já que esse recurso encarece bastante o equipamento, sendo que, nesse caso, uma simulação irá reduzir consideravelmente os custos da pesquisa. Depois de obtidos os níveis de pressão sonora simulados, estes foram comparados com os experimentais.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo foi dividido em quatro partes conforme o dia ou horário em que os pontos foram monitorados. Na seção 3.1 são tratados os dados referentes ao período matutino, em seguida na seção 3.2 se encontram os resultados referentes ao período vespertino, seguidos dos resultados do período noturno na seção 3.3 e, por fim, o sábado pela manhã é analisado na seção 3.4.

Nas tabelas apresentadas neste capítulo, $L_{A\max}$ representa a maior leitura registrada pelo equipamento em dB(A), enquanto $L_{A\min}$ expressa o menor registro, também em dB(A) e o erro experimental foi calculado através do desvio padrão resultante da média provenientes dos resultados dos diversos $L_{A\text{eq}}$ calculados para um mesmo ponto. Quando o valor do desvio padrão foi inferior a 1,4 dB(A), adotou-se o valor da precisão do equipamento. Os níveis de critério de avaliação (NCA) adotados foram os descritos na Tabela 4. O valor do nível sonoro corrigido L_C foi aplicado conforme descrito na seção 1.3 do Capítulo 1, e este foi comparado com o NCA em cada caso. O sistema de cores utilizados em todos os gráficos é o mesmo adotado para a coluna “Comparativo com NCA” aplicado nas tabelas, ou seja, vermelho se o $L_{A\text{eq}}$ estiver acima do NCA, amarelo quando está dentro da margem de erro e por fim, verde quando está dentro dos limites estabelecidos. Na parte superior das barras estão representadas as barras de erro. Nas tabelas foram estabelecidas algumas notações:

- na coluna “*Comparativo com NCA*” são utilizadas três cores:
 - vermelho quando L_C está acima do NCA;
 - verde para quando L_C está dentro dos limites estabelecidos e;
 - amarelo quando o L_C está acima do limite, mas dentro da margem de erro experimental calculada;
- na coluna “*Valor quando acima do NCA dB(A)*” é indicado o valor em dB(A) que ultrapassou o limite estabelecido em Lei. Foram utilizadas bandeiras coloridas como marcadores para facilitar a visualização:
 - Bandeira verde: indica um valor de até 4 dB(A) acima do NCA;
 - Bandeira amarela: indica valor entre 5 dB(A) e 10 dB(A);
 - Bandeira vermelha: indica que o L_C ultrapassou o NCA em mais de 10 dB(A).
- Também são utilizadas nas tabelas uma escala com níveis em cores variando de 20,0 a 120 dB(A), que correspondem ao limiar da audição e limiar da dor

respectivamente. As cores variam com os valores de menor intensidade partindo do azul, passando por amarelo em níveis intermediários, até alcançar tons de vermelho para os níveis de ruído mais intensos. Essa escala se relaciona com as colunas onde estão representados o L_{Aeq} e L_C , podendo associar as cores com os níveis de pressão sonora aferidos.

3.1 PERÍODO MATUTINO

3.1.1 PONTOS NO PERÍMETRO EXTERNO

Foram monitorados oito pontos da área externa do IFG - Campus Goiânia no período matutino, sendo eles: M-E1, M-E2, M-E3, M-E4, M-E5, M-E6, M-E7 e M-E8, (representados na Figura I do Apêndice A e descritos na Tabela 6), os resultados obtidos estão na Tabela 10 e Figura 12, onde são mostrados os valores do L_C de todos os pontos localizados na área externa ao IFG – Campus Goiânia e sua comparação com o NCA.

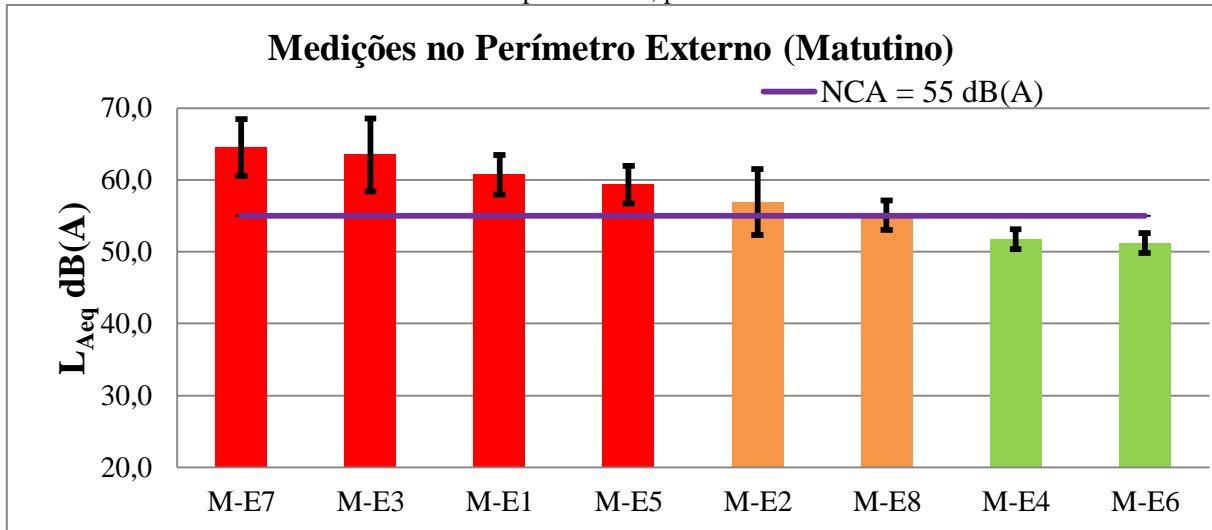
Tabela 10 - Resultados experimentais do perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período matutino.

Ponto de medição	L_{Amax} dB(A)	L_{Amin} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
M-E1	80,0	51,3	60,7	60,7	2,8	55	ACIMA DO NCA	6	120,0
M-E2	72,1	47,4	56,9	56,9	4,6	55	DENTRO DO ERRO	2	110,0
M-E3	70,6	47,3	63,5	63,5	5,1	55	ACIMA DO NCA	8	100,0
M-E4	77,3	48,0	51,8	51,8	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	90,0
M-E5	72,0	45,3	59,3	59,3	2,7	55	ACIMA DO NCA	4	80,0
M-E6	65,1	46,8	51,2	51,2	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	70,0
M-E7	50,7	50,7	64,5	64,5	4,0	55	ACIMA DO NCA	9	60,0
M-E8	63,3	49,9	55,1	55,1	2,0	55	DENTRO DO ERRO	0	50,0
									40,0
									30,0
									20,0
									Mín

Fonte: Próprio Autor.

Dos resultados (Tabela 10 e Figura 12) é possível observar que dos oito pontos verificados na área externa, quatro apresentam valores acima do NCA estabelecido na Lei municipal de Goiânia, dois pontos estão com valores dentro do NCA enquanto outros dois se enquadram na margem de erro experimental, tecnicamente permanecendo dentro dos critérios estabelecidos, ou seja, metade dos pontos estão com L_{Aeq} acima dos limites estabelecidos na Instrução Normativa nº 26 da AMMA (GOIÂNIA, 2008a).

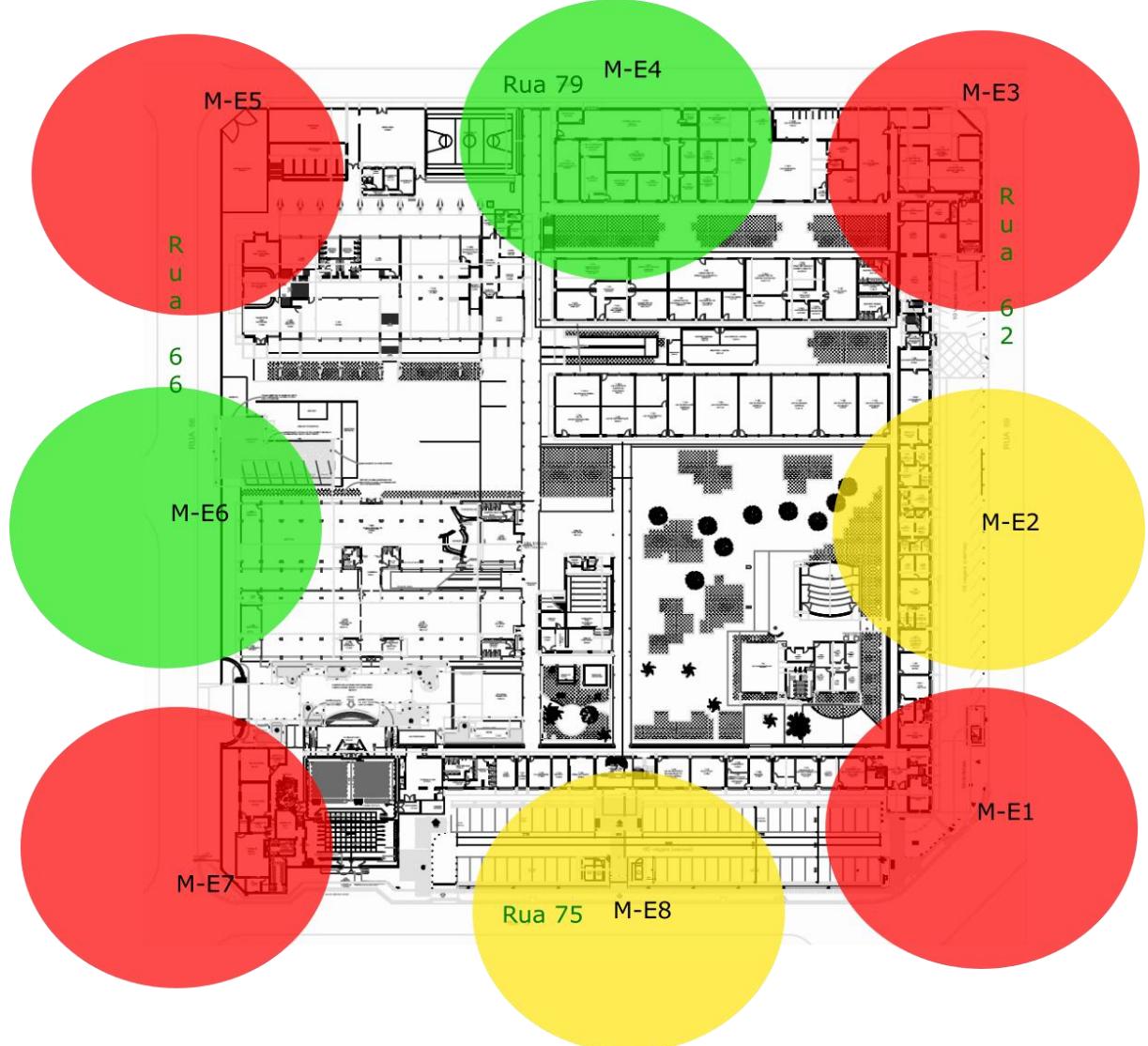
Figura 12 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para os pontos no perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período matutino.



Fonte: Próprio Autor.

Dos resultados provenientes da Tabela 10 e Figura 12, são mostrados na Figura 13 os pontos aferidos na planta baixa do Campus Goiânia utilizando a convenção de cores estabelecida para o comparativo do L_C com NCA, ou seja, vermelho para valores acima dos limites, amarelo para valores dentro do erro experimental e verde para valores dentro dos limites. Os pontos externos de maior L_{Aeq} estão localizados nas esquinas, nas áreas mediais das quadras o L_{Aeq} está dentro dos limites estabelecidos pela Legislação Municipal de Goiânia. Esse fator se deve ao aumento considerável no fluxo de veículos nos cruzamentos das vias. Segundo Bluhm *et al* (2004), o ruído proveniente do tráfego é o principal poluente sonoro ambiental nos dias de hoje. Desse modo, as edificações do Campus localizadas próximo aos vértices da quadra sofrem maior influência do ruído externo no período matutino.

Figura 13 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA na planta baixa do IFG – Campus Goiânia para o perímetro externo, período matutino.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.2 PONTOS NO TÉRREO

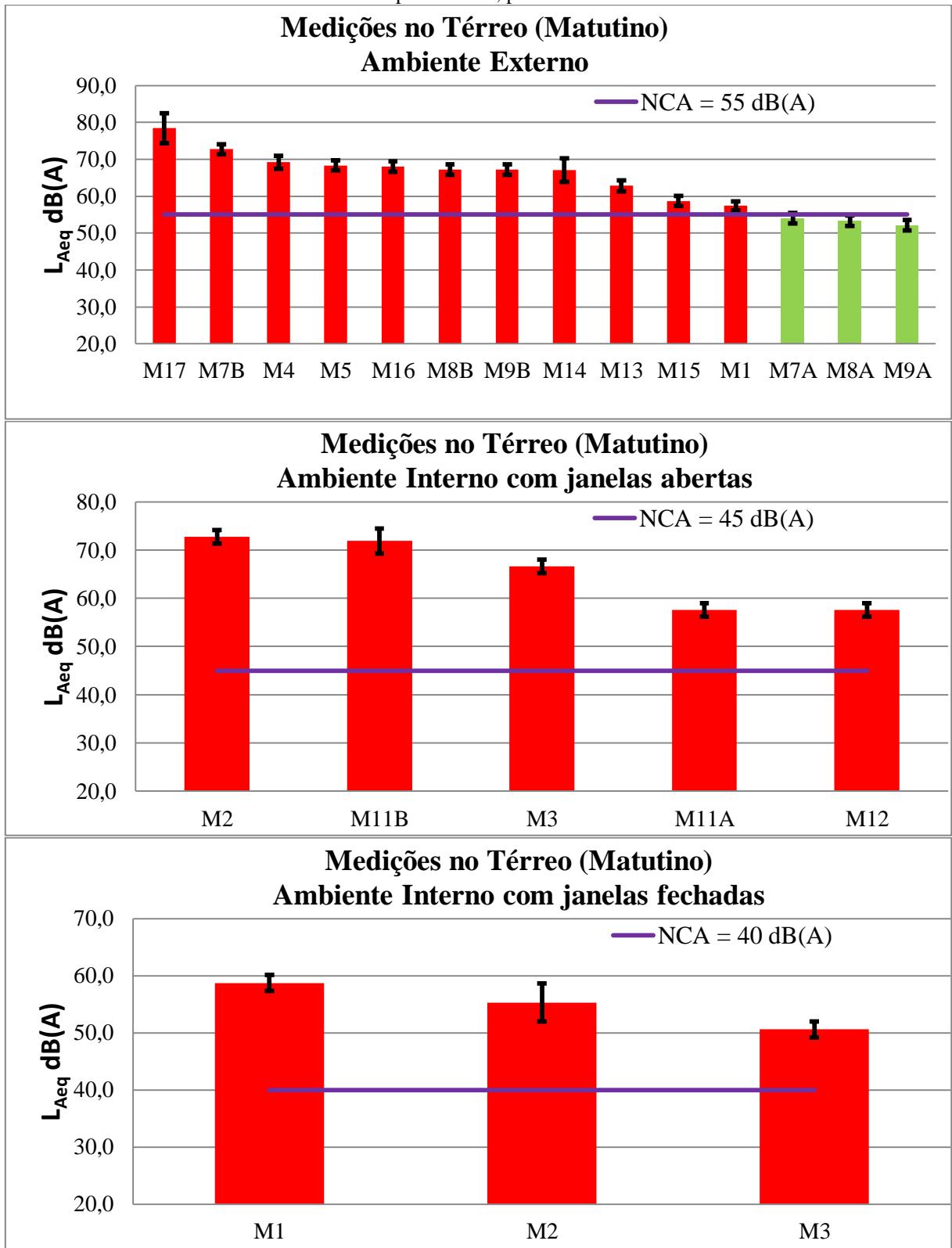
Foram monitorados dezessete pontos no térreo, entre ambientes externos e internos (representados na Figura I do Apêndice A e descritos na Tabela 6). Os resultados obtidos provenientes das medições são mostrados na Tabela 11 e Figura 14, os pontos M7, M8, M9, M10 e M11 foram verificados em situações diferentes: na situação A, o sistema de climatização do teatro se encontrava desligado e não haviam atividades musicais no complexo de artes, já na situação B o sistema de climatização do teatro estava funcionando e os estudantes desenvolviam atividades musicais no complexo de artes, sendo esses 5 pontos analisados separadamente na seção 3.1.2.3 à frente.

Tabela 11 - Resultados experimentais realizados no térreo do IFG – Campus Goiânia, período matutino.

Ponto de medição	L _{Amax} dB(A)	L _{Amin} dB(A)	L _{Aeq} dB(A)	L _C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
M1	60,9	55,3	56,5	56,5	1,4	55	ACIMA DO NCA	1	120,0
M2	73,9	49,9	72,8	72,8	1,4	45	ACIMA DO NCA	28	110,0
M3	81,2	61,3	66,6	66,6	1,4	45	ACIMA DO NCA	22	100,0
M4	86,9	55,3	69,2	69,2	1,8	55	ACIMA DO NCA	14	90,0
M5	71,7	55,0	63,3	68,3	1,4	55	ACIMA DO NCA	13	80,0
M6	63,2	39,5	55,3	55,3	3,3	40	ACIMA DO NCA	15	70,0
M7A	58,4	51,9	54,7	54,7	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	60,0
M7B	72,2	66,5	67,7	72,7	1,4	55	ACIMA DO NCA	18	50,0
M8A	55,6	51,7	53,3	53,3	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	40,0
M8B	68,2	62,5	62,2	67,2	1,4	55	ACIMA DO NCA	12	30,0
M9A	54,3	50,9	52,1	52,1	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	20,0
M9B	67,8	60,5	62,2	67,2	1,4	55	ACIMA DO NCA	12	Mín
M10A	54,3	50,9	50,6	50,6	1,4	45	ACIMA DO NCA	6	
M10B	55,6	52,6	53,7	58,7	1,4	40	ACIMA DO NCA	19	
M11A	61,6	52,7	57,6	57,6	1,4	45	ACIMA DO NCA	13	
M11B	73,3	59,6	66,9	71,9	2,6	45	ACIMA DO NCA	27	
M12	61,6	52,8	57,5	57,5	1,4	45	ACIMA DO NCA	13	
M13	68,4	57,3	62,8	62,8	1,5	55	ACIMA DO NCA	8	
M14	78	60,7	67,1	67,1	3,2	55	ACIMA DO NCA	12	
M15	63,3	52,9	57,9	57,9	1,4	55	ACIMA DO NCA	3	
M16	74,7	59,3	68,0	68,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	13	
M17	78,4	58,5	69,0	78,4	4,1	55	ACIMA DO NCA	23	

Fonte: Próprio Autor.

Figura 14 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no Térreo do IFG – Campus Goiânia, período matutino.



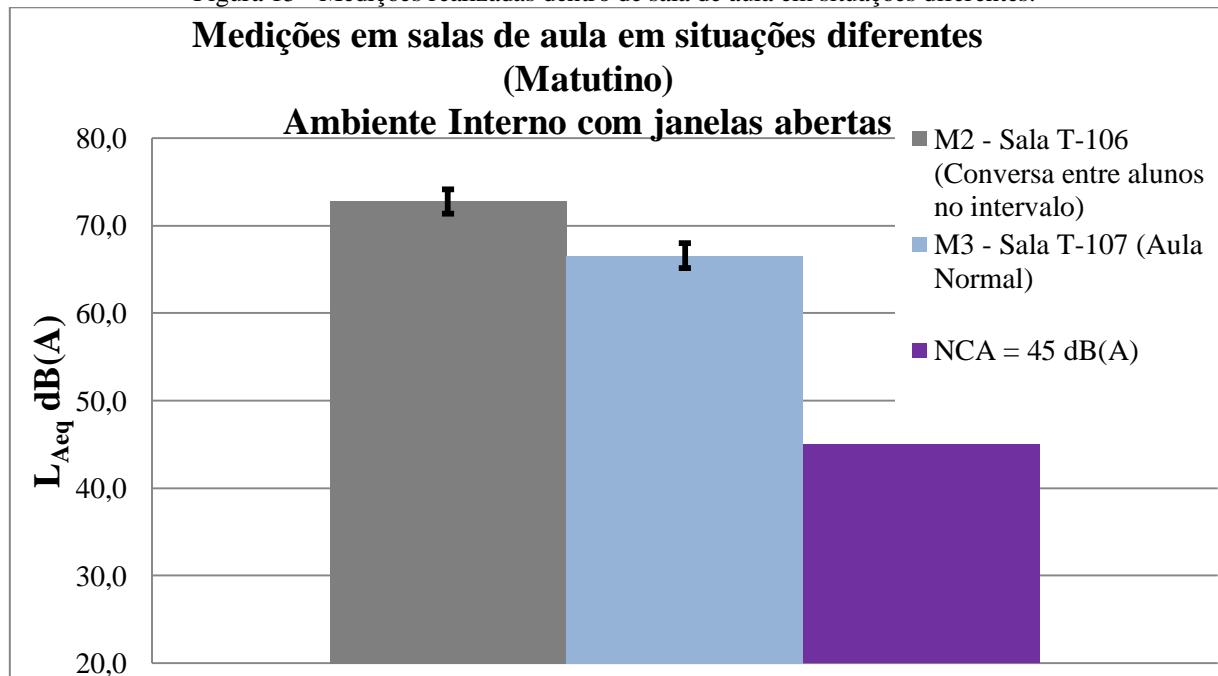
Fonte: Próprio Autor

3.1.2.1 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES INTERNOS DO TÉRREO

Todos os ambientes internos apresentaram L_{Aeq} acima das normas regulamentares entretanto, serão analisados nessa seção os pontos M2, M3, M6 e M17, sendo a análise dos pontos M10, M11 e M12 realizada na seção 3.1.2.3 deste Capítulo.

No térreo foram realizadas medições em duas salas de aula, correspondentes aos pontos M2 e M3, referentes às salas de aula T-106 e T-107 respectivamente. As duas salas se encontram no Bloco 100 e possuem as mesmas características de construção. As medições na sala T-107 ocorreram enquanto transcorria aula normal, já as medições na sala T-106 ocorreram durante intervalo com estudantes conversando sem a presença de um professor. O L_{Aeq} obtido na sala T-106 com os alunos em intervalo foi de $72,8 \pm 1,4$ dB(A), que quando confrontado com a Tabela 2 desperta um alerta para possíveis danos à saúde a que estão sujeitos os professores, servidores e estudantes (KINSLER *et al.*, 2000). Como explanado anteriormente, pesquisas apontam que a população está cada vez mais habituada ao ruído (LACERDA *et al.*, 2005; PASSCHIER-VERMEER & PASSCHIER, 2000), desse modo, embora não percebam, os estudantes estão correndo riscos de danos à saúde. O L_{Aeq} na sala T-107, a qual acontecia uma aula, superou o NCA em 22 dB(A), podendo inferir que o professor competia com o ruído externo para se fazer ser entendido. Na Figura 15 é feita a comparação das salas T-106 e T-107 (pontos M2 e M3) com o NCA correspondente a esses ambientes.

Figura 15 - Medições realizadas dentro de sala de aula em situações diferentes.



Fonte: Próprio Autor.

No teatro (ponto M6) durante ensaio de uma peça foi registrado L_{Aeq} de 15 dB(A) acima do NCA, sendo as medições efetuadas em pontos distintos de onde ficaria o público ouvinte. Embora o valor de $55,3 \pm 3,3$ dB(A) esteja acima do NCA, quando esse valor é comparado com a Tabela 2, infere-se que o nível de ruído é suficiente para causar incômodo, mas não submete os estudantes e professores a risco elevado de perda de audição, ficando a classificação do risco como moderado.

Na área de acervo da biblioteca foi registrado L_{Aeq} de $57,5 \pm 1,4$ dB(A) [13 dB(A) acima do NCA], ficando o risco para problemas auditivos classificado como moderadamente severo de acordo com a Tabela 2.

As medições no Ginásio de Esportes (ponto M17) foram feitas durante uma aula de basquete, sendo os registros efetuados a partir de diversos pontos da arquibancada. Esse ponto foi o que apresentou valor de L_{Aeq} mais elevados com o valor de $78,4 \pm 4,1$ dB(A), que equivale ao nível severo para o risco de perda auditiva descrito na Tabela 2.

3.1.2.2 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES EXTERNOS DO TÉRREO

Os pontos localizados em ambientes externos (pontos M1, M4, M5, M15, M14, M13 e M16) apresentam NCA de 55 dB(A) e, embora os pontos M7, M8 e M9 também sejam ambientes externos, esses recebem análise na próxima seção.

O estacionamento de professores e servidores (Rua 75), foi o ponto com menor registro de L_{Aeq} e, embora esteja classificado como acima do NCA, este local apresentou apenas 1,5 dB(A) acima do nível estabelecido, estando praticamente dentro dos parâmetros ideais, desse modo, infere-se que a área do estacionamento não contribui de forma significativa para o excesso de ruído produzido nas salas T-106 e T-107, que são pontos adjacentes à essa área e presentaram níveis elevados de L_{Aeq} .

Os corredores do Bloco 100 e entrada dos servidores e professores (pontos M4 e M5) apresentaram 14 dB(A) acima do NCA e se classificam em risco moderadamente severo quando comparados com o NPS desses locais (Tabela 2). Isso se deve principalmente ao ruído produzido pelos alunos e a grande movimentação devido à entrada e saída de pessoas pela recepção de alunos e de servidores. Os funcionários que trabalham de forma permanente próximos a esses pontos, como os que ficam nas recepções, estão sujeitos a um risco maior devido ao tempo de exposição ao ruído.

Partindo da área de convivência dos alunos, até chegar no bloco 200, passando em frente a sala dos professores (percurso saindo do ponto M13 até o ponto M15), é observado

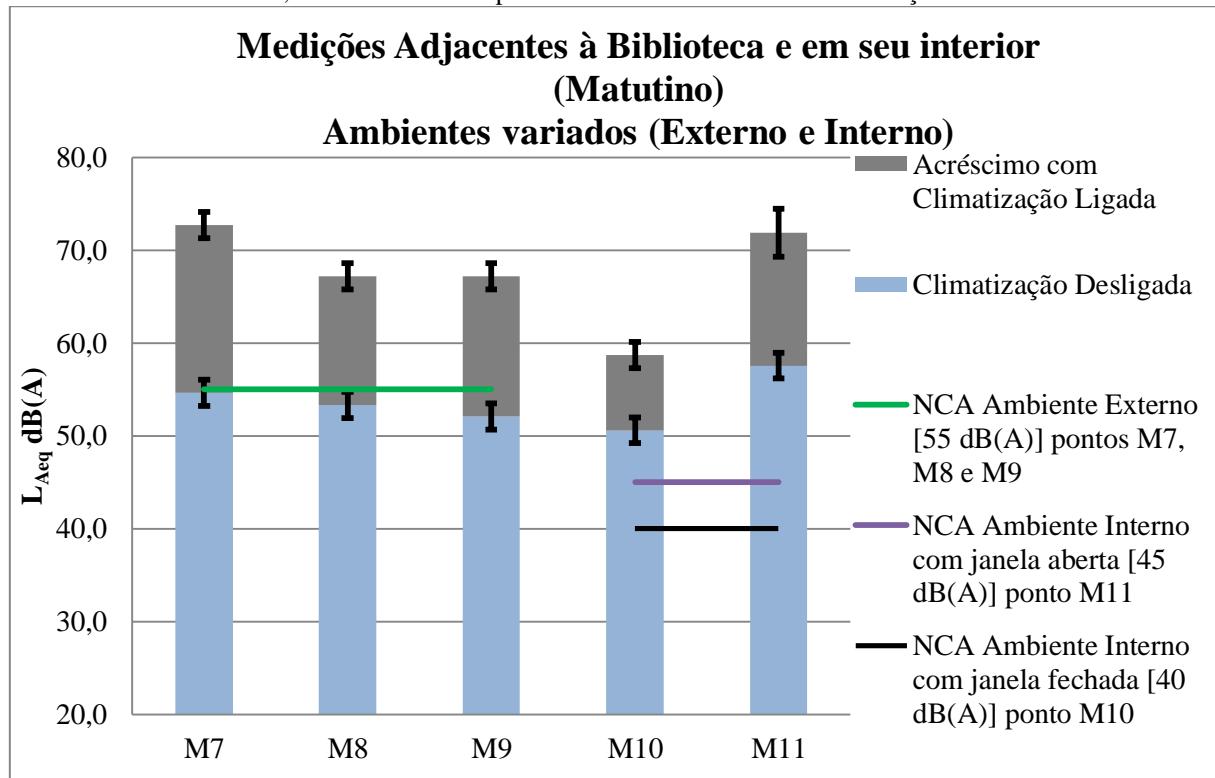
um decréscimo do NPS a partir do ponto 14, que apresentou L_{Aeq} de $67,1 \pm 3,2$ dB(A), ficando os valores mais distantes desse local com valores de NPS inferiores. Isso ocorre principalmente devido ao grande fluxo de pessoas que transita em frente à sala dos professores.

Por fim, o ponto M16, localizado no corredor próximo ao miniginásio de esportes apresentou L_{Aeq} de $68,0 \pm 1,4$ dB(A), podendo ser classificado o risco de perda auditiva para quem permanece nesse local como moderadamente severo, de acordo com a Tabela 2.

3.1.2.3 MONITORAMENTO REALIZADO NA BIBLIOTECA E ADJACÊNCIAS

Os pontos localizados em ambiente externo analisados nesta seção estão localizados adjacentes à biblioteca (lado externo) no pátio localizado entre o teatro, complexo de artes e a biblioteca (pontos M7, M8 e M9), onde há um sistema de climatização do teatro. As medições do L_{Aeq} nesses três pontos ficam em conformidade com as normas quando o sistema de climatização do teatro está desligado, e quando não há sons de instrumentos musicais provenientes do complexo de artes. Entretanto, quando o sistema de climatização é ligado aliado aos sons dos instrumentos musicais executados no complexo de artes, os valores do L_{Aeq} associados a esses três pontos ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação municipal de Goiânia. Isso afeta diretamente as salas de estudo individual e coletivo da biblioteca (pontos M10 e M11) que já apresentavam L_{Aeq} acima do NCA em 6 e 13 dB(A) respectivamente, passando então a ter seus níveis de pressão sonora corrigidos elevados para 19 e 27 dB(A) acima do NCA respectivamente quando o sistema de climatização entra em funcionamento junto com sons provenientes de instrumentos musicais, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para pontos adjacentes e interiores da biblioteca, com o acréscimo após acionamento do sistema de ventilação do teatro.



Fonte: Próprio Autor.

Desse modo, os ambientes da sala de estudos individuais e da sala de estudos coletivos, cuja exposição ao ruído, com relação ao risco de perda auditiva, se enquadravam como risco moderado, passam a se enquadrar como moderadamente severo e severo respectivamente, após o sistema de climatização ser acionado combinado a sons provenientes de instrumentos musicais.

3.1.3 PONTOS NO PRIMEIRO PAVIMENTO

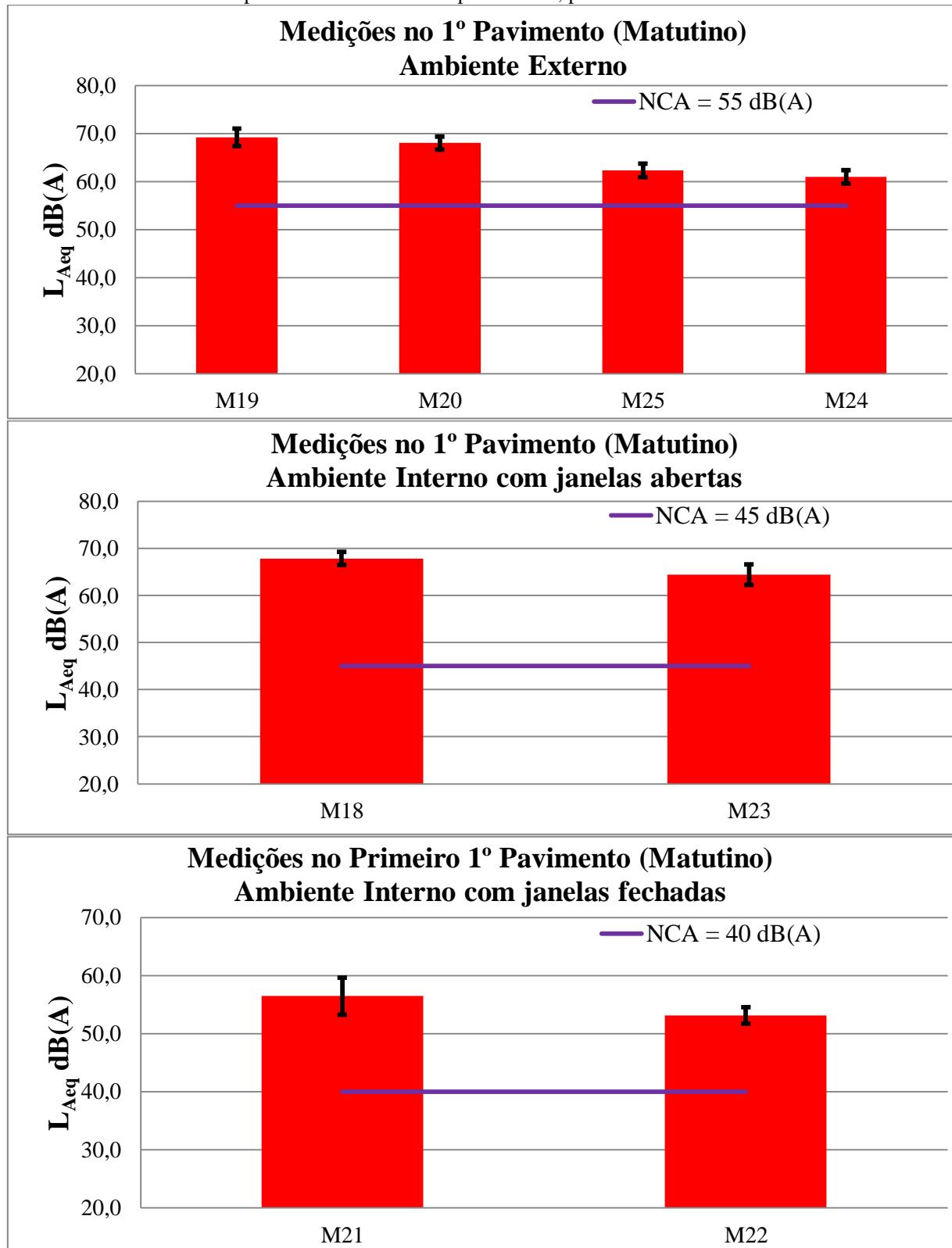
No primeiro pavimento foram monitorados oito pontos (M18, M19, M20, M21, M22, M23, M24 e M25), entre ambientes externos e interno, (representados na Figuras II do Apêndice A e descritos na Tabela 6). Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 12 e Figura 17, não sendo encontrado valores de L_{Aeq} em conformidade com as normas estabelecidas na legislação municipal, dos oito pontos verificados no primeiro pavimento do complexo.

Tabela 12 - Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento, do IFG – Campus Goiânia, período matutino.

Ponto de medição	L _{Amax} dB(A)	L _{Amin} dB(A)	L _{Aeq} dB(A)	L _C dB(A)	Erro ± dB(A)	NAC IN nº 26	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
M18	75,3	60,6	67,8	67,8	1,4	45	ACIMA DO NCA	🚩 23	120,0
M19	74,8	63,5	69,2	69,2	1,8	55	ACIMA DO NCA	🚩 14	110,0
M20	70,0	60,1	63,0	68,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 13	100,0
M21	58,2	49,9	56,5	56,5	3,2	40	ACIMA DO NCA	🚩 16	90,0
M22	62,6	52,3	53,1	53,1	1,4	40	ACIMA DO NCA	🚩 13	80,0
M23	71,0	56,5	64,4	64,4	2,2	45	ACIMA DO NCA	🚩 19	70,0
M24	66,7	57,7	61,0	61,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 6	60,0
M25	69,8	56,2	62,3	62,3	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 7	50,0
									40,0
									30,0
									20,0
									Mín

Fonte: Próprio Autor.

Figura 17 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no primeiro pavimento do IFG – Campus Goiânia, período matutino.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.3.1 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES INTERNOS DO PRIMEIRO PAVIMENTO

Todos os pontos internos do primeiro pavimento analisados (pontos M18, M21, M22 e M23) tratam-se de ambientes de ensino onde ocorrem aulas práticas e teóricas, e apresentaram L_{Aeq} acima do NCA. A sala S-804 (ponto M22) embora seja classificada como ambiente interno do primeiro pavimento teve sua análise realizada na seção 3.1.4.

O laboratório de química (ponto M21) apresentou L_{Aeq} 16 dB(A) acima do NCA, ficando classificado como nível moderadamente severo quando o L_{Aeq} é comparado com a Tabela 2. As salas S-108 e S-805 (pontos M18 e M23) foram monitoradas durante realização de uma aula. As medições resultaram em L_{Aeq} de $67,8 \pm 1,4$ e $64,4 \pm 2,2$ dB(A) respectivamente. Considerando que o L_{Aeq} nos corredores do bloco S-100 e S-800 (pontos M19 e M24) foi de $69,2 \pm 1,8$ e $61,0 \pm 1,4$ dB(A) respectivamente, infere-se que o professor concorre com o ruído externo nessas áreas para poder ser entendido. Esse esforço demasiado para ser ouvido de forma inteligível, aliado à poluição sonora, além dos males já explanados nesse trabalho podem também acarretar problemas nas cordas vocais dos professores (LUCHESSI *et al.*, 2009), expondo o profissional de educação a fatores que podem somar ainda mais para os riscos de saúde em seu ambiente de trabalho.

3.1.3.2 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES EXTERNOS DO PRIMEIRO PAVIMENTO

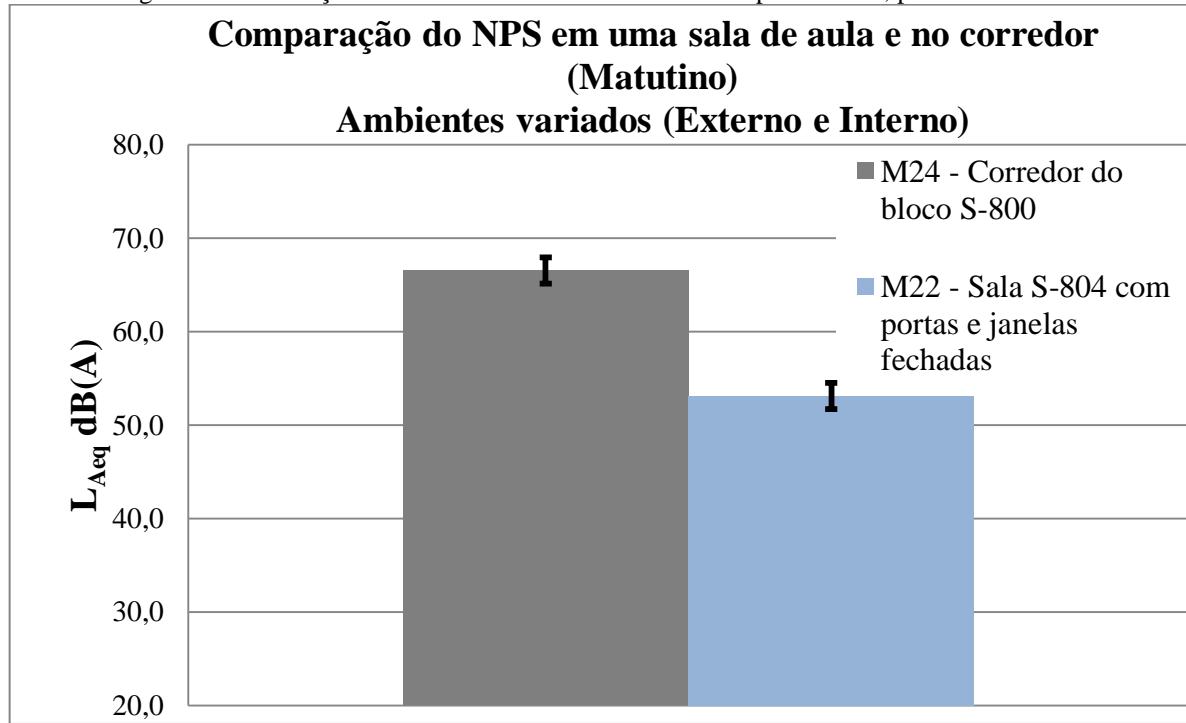
No primeiro pavimento foram monitorados quatro pontos em ambientes externos (pontos M19, M20, M24 e M25), sendo que, dos quatro pontos monitorados, o que apresentou menor L_{Aeq} foi o ponto M25, correspondente ao saguão entre os blocos S-300 e S-400, onde fica localizada uma área de convivência para estudantes. O L_{Aeq} para essa área foi de $62,3 \pm 1,4$ dB(A) o que, comparado com a Tabela 2, apresenta classificação moderadamente severo com relação ao risco de perda auditiva. O L_{Aeq} registrado para os pontos M19, M20 e M24 superaram o NCA em 14, 13 e 6 dB(A) respectivamente, demonstrando uma diminuição no NPS à medida que se afasta do bloco S-100 (ponto M19), correspondente à entrada do IFG – Campus Goiânia.

3.1.4 ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM SALA DE AULA

Para que fosse estudada a atenuação de ruído produzido por uma sala de aula, foi escolhida a sala S-804 (ponto M22), estando ela desocupada, com a porta e as janelas

fechadas e, posteriormente foram feitas medições do NPS no corredor adjacente a referida sala de aula. As medições dentro da sala S-804 (ponto M22) resultaram em NPS próximos aos encontrados no corredor do mesmo bloco (ponto M24). A sala de aula resultou em L_{Aeq} de $53,1 \pm 1,4$ dB(A), enquanto no corredor o resultado foi de $61,0 \pm 1,4$ dB(A), resultando em atenuação de 8 dB(A), valor abaixo do especificado na norma NBR 10151 que é uma atenuação de pelo menos 15 dB(A) quando portas e janelas estiverem fechadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000). Dessa forma, o tratamento acústico das salas de aula do IFG – Campus Goiânia é um fator que interfere diretamente no conforto acústico tanto de alunos quanto de professores, sendo que, quanto melhor a atenuação do ruído externo, menor a interferência deste nas atividades desenvolvidas dentro de sala de aula e, como apresentado, os níveis estão abaixo do recomendado. A Figura 18 ilustra a diferença entre os níveis de pressão sonora do lado de dentro e de fora da sala S-804.

Figura 18 - Atenuação do NPS na sala S-804 do IFG – Campus Goiânia, período matutino.



Fonte: Próprio Autor.

3.2 PERÍODO VESPERTINO

3.2.1 PONTOS NO PERÍMETRO EXTERNO

Foram monitorados oito pontos da área externa do IFG – Campus Goiânia no período vespertino, sendo eles: V-E1, V-E2, V-E3, V-E4, V-E5, V-E6, V-E7 e V-E8, (representados na Figura III do Apêndice A e descritos na Tabela 7), os resultados obtidos estão na Tabela 13 e Figura 19, onde são mostrados os valores do L_{Aeq} e sua comparação com o NCA.

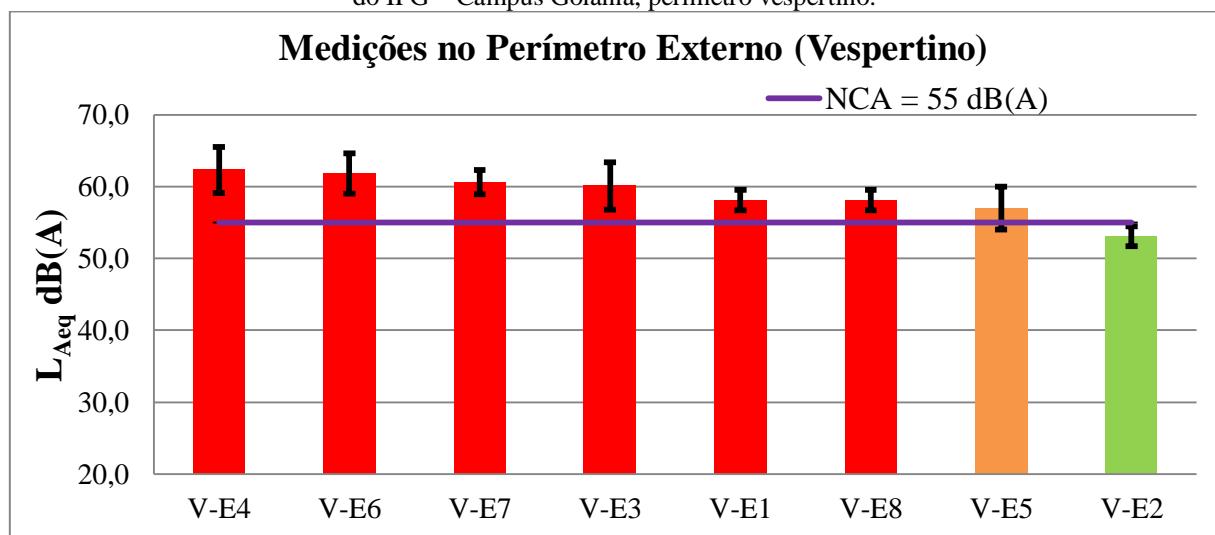
Tabela 13 - Resultados experimentais do perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período vespertino.

Ponto de medição	L_{Amax} dB(A)	L_{Amin} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala
									dB(A)
V-E1	63,3	50,7	58,1	58,1	1,4	55	ACIMA DO NCA	3	Máx
V-E2	57,3	45,5	53,1	53,1	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	120,0
V-E3	73,4	48,5	60,1	60,1	3,3	55	ACIMA DO NCA	5	110,0
V-E4	75,4	48,0	62,3	62,3	3,2	55	ACIMA DO NCA	7	100,0
V-E5	64,8	46,1	57,0	57,0	3,0	55	DENTRO DO ERRO	2	90,0
V-E6	70,6	49,9	61,8	61,8	2,8	55	ACIMA DO NCA	7	80,0
V-E7	67,7	54,1	60,6	60,6	1,7	55	ACIMA DO NCA	6	70,0
V-E8	63,6	50,7	58,1	58,1	1,4	55	ACIMA DO NCA	3	60,0

Escala
dB(A)
Máx
120,0
110,0
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
Mín

Fonte: Próprio Autor.

Figura 19 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para os pontos no perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período vespertino.



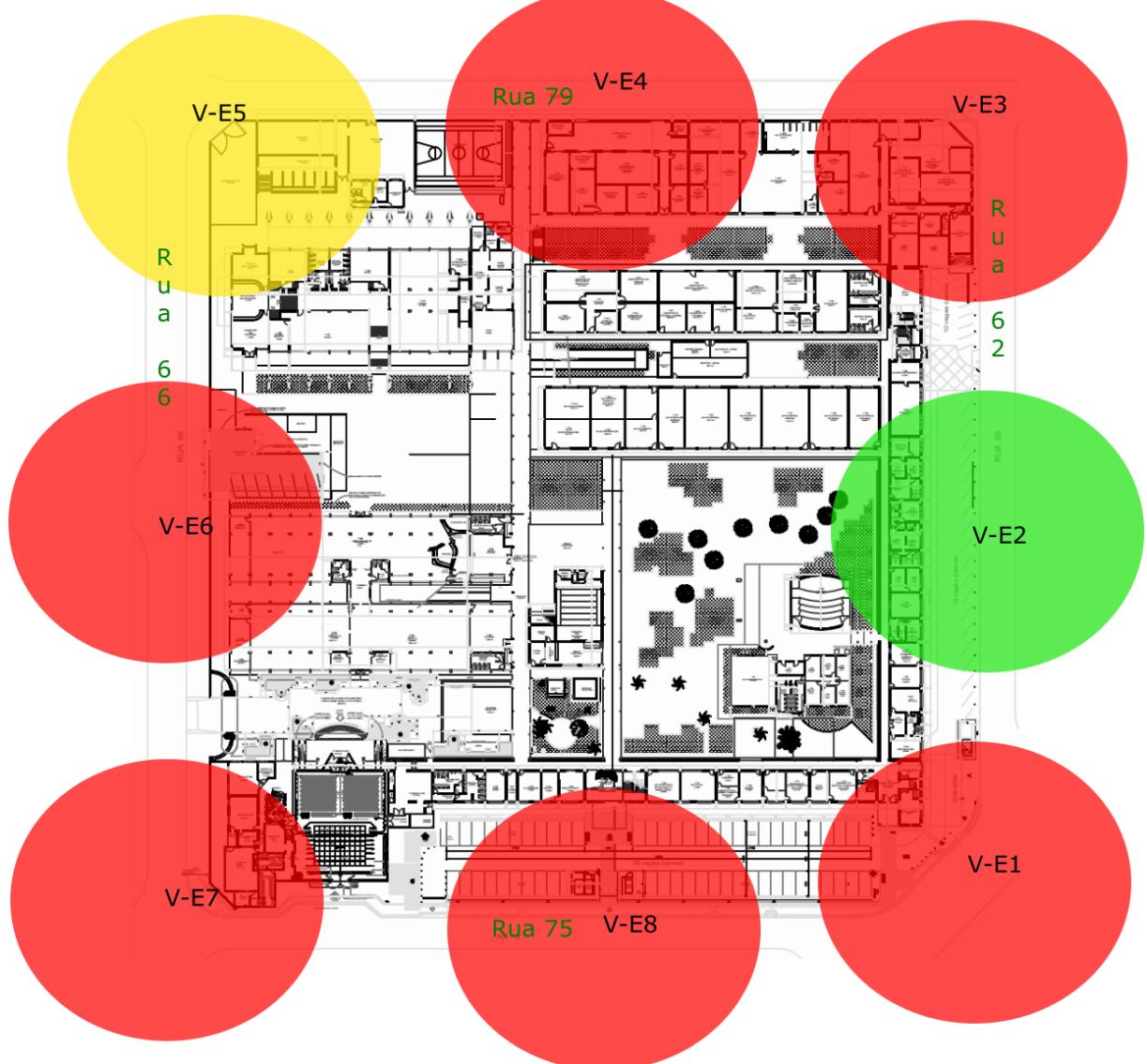
Fonte: Próprio Autor.

Dos resultados (Tabela 13 e Figura 19) é possível observar que dos oito pontos verificados na área externa durante o período vespertino, seis apresentaram valores de L_{Aeq}

acima do NCA estabelecido na Lei municipal de Goiânia, um ponto apresenta valores de L_{Aeq} dentro do NCA enquanto outro ponto se enquadra na margem de erro experimental, tecnicamente permanecendo dentro dos critérios estabelecidos, ou seja, apenas dois pontos estão dentro dos limites estabelecidos na instrução normativa nº 26 da AMMA (GOIÂNIA, 2008a).

Dos resultados provenientes da Tabela 13 e Figura 19, são mostrados na Figura 20 os pontos aferidos na planta baixa do Campus Goiânia utilizando a convenção de cores estabelecida para o comparativo do L_C com NCA, ou seja, vermelho para valores acima dos limites, amarelo para valores dentro do erro experimental e verde para valores dentro dos limites. A zona medial da rua 62 e a esquina da rua 79 com 66 apresentaram níveis mais brandos de L_{Aeq} , enquanto as demais áreas apresentaram níveis mais intensos. O aumento no NPS sonora no perímetro externo está associado ao aumento no tráfego do trânsito no período vespertino nas adjacências do Campus e à maior atividade humana que ocorre nas dependências do IFG – Campus Goiânia, ou seja, o NPS nesses pontos recebe contribuição dos ambientes localizados nos perímetros externos e internos.

Figura 20 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA na planta baixa do IFG – Campus Goiânia para o perímetro externo, período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

3.2.2 PONTOS NO TÉRREO

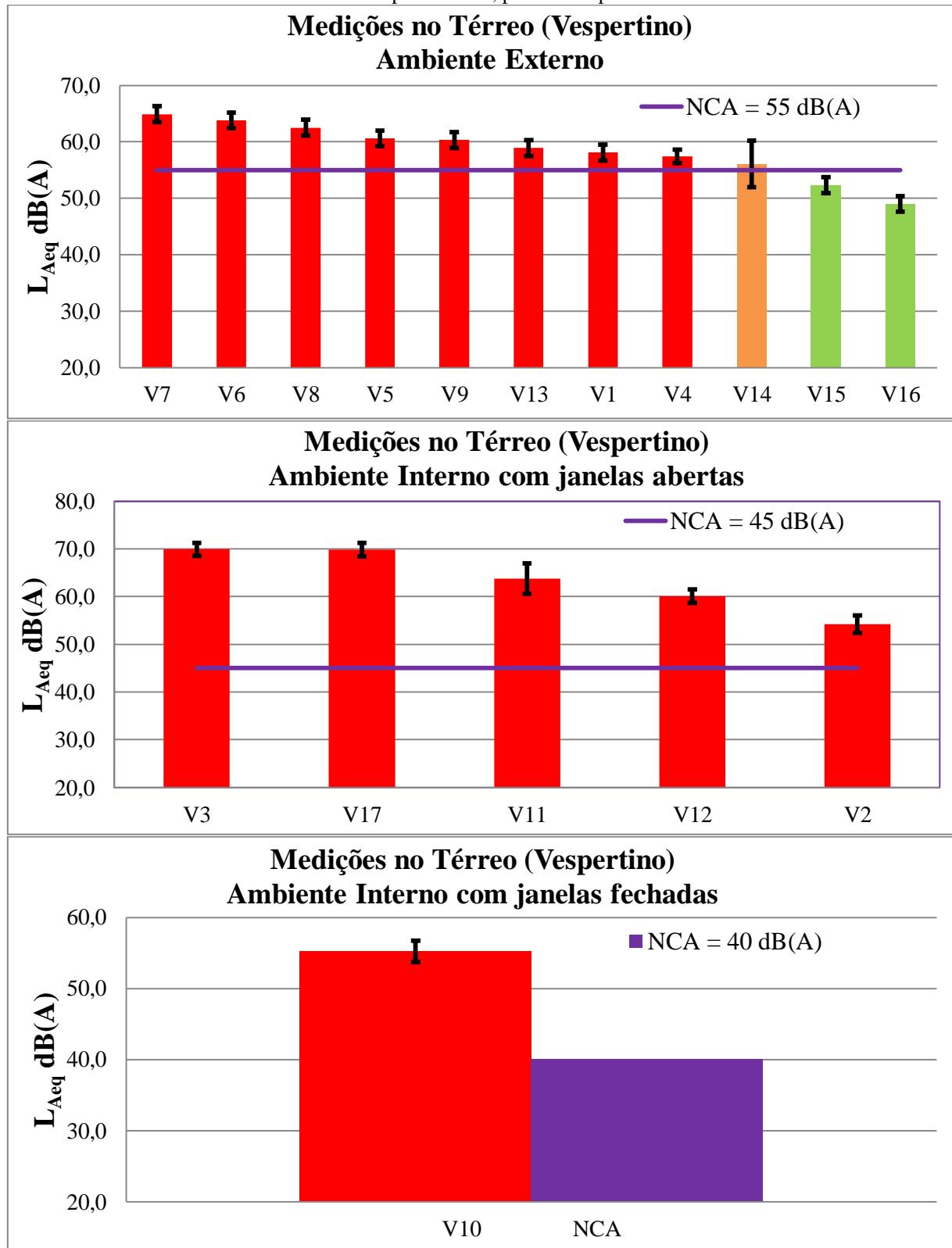
No térreo foram monitorados dezessete pontos, entre ambientes externos e internos (representados na Figura III do Apêndice A e descritos na Tabela 7). Os resultados obtidos provenientes das medições são mostrados na Tabela 14 e Figura 21.

Tabela 14- Resultados experimentais realizados no térreo do IFG – Campus Goiânia, período vespertino.

Ponto de medição	L _{Amax} dB(A)	L _{Amin} dB(A)	L _{Aeq} dB(A)	L _C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
V1	63,6	50,7	58,1	58,1	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 3	120,0
V2	61,3	56,0	54,2	54,2	1,8	45	ACIMA DO NCA	🚩 9	110,0
V3	65,9	64,0	69,9	69,9	1,4	45	ACIMA DO NCA	🚩 25	100,0
V4	62,2	52,7	57,4	57,4	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 2	90,0
V5	69,6	53,0	60,6	60,6	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 6	80,0
V6	70	58,4	63,8	63,8	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 9	70,0
V7	65,9	64	64,9	64,9	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 10	60,0
V8	66,9	61,2	62,5	62,5	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 8	50,0
V9	64,4	56,8	60,3	60,3	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 5	40,0
V10	57,3	52,6	55,2	55,2	1,5	40	ACIMA DO NCA	🚩 15	30,0
V11	70	58	63,8	63,8	3,2	45	ACIMA DO NCA	🚩 19	20,0
V12	65	58,4	60,1	60,1	1,4	45	ACIMA DO NCA	🚩 15	Mín
V13	47,5	51,1	58,9	58,9	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 4	
V14	61,2	50,7	56,1	56,1	4,1	55	DENTRO DO ERRO	🚩 1	
V15	54,6	49,9	52,3	52,3	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	
V16	56,9	43,7	49,0	49,0	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	
V17	74,4	54,6	69,8	69,8	1,4	45	ACIMA DO NCA	🚩 25	

Fonte: Próprio Autor.

Figura 21 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no Térreo do IFG – Campus Goiânia, período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

3.2.2.1 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES INTERNOS DO TÉRREO

Todos os ambientes internos monitorados no período vespertino apresentaram L_{Aeq} acima das normas regulamentares (pontos V2, V3, V10, V11, V12 E V17). Na seção 3.2.4 deste Capítulo será realizada a comparação do NPS entre todas as salas de aula monitoradas enquanto professores lecionavam.

No saguão do ginásio de esportes (ponto V17), há uma academia de musculação onde, nos momentos em que ocorreram as medições, haviam de cinco a dez pessoas que conversavam ou se exercitavam, sem a presença de música. O L_{Aeq} nessa área foi de 69,8 dB(A), superando o NCA em 25 dB(A), ruído este que comparado com a Tabela 2 pode ser classificado como moderadamente severo para o risco de perda auditiva. O mesmo valor de L_{Aeq} [69,9dB(A)] foi encontrado na sala T-106 (ponto V3) durante realização de uma aula, superando em 6 dB(A) o NPS na sala de aula ao lado (ponto V2) que estava desocupada, ou seja, o professor na tentativa de se fazer ser entendido de forma inteligível compete com o ruído nesse ambiente.

Os pontos monitorados na biblioteca (pontos V10, V11 e V12) apresentaram L_{Aeq} acima do NCA sendo que, a sala de estudos individuais e acervo (pontos V10 e V12) superam o NCA em 15 dB(A), enquanto a sala de estudos coletivos (ponto V11) apresentou L_{Aeq} acima do NCA em 19 dB(A), mesmo com o sistema de climatização do teatro desligado e sem sons produzidos por instrumentos musicais no complexo de artes.

3.2.2.2 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES EXTERNOS DO TÉRREO

Dentre todos os pontos monitorados em ambiente externo localizado no térreo, durante o período vespertino, três se enquadram dentro do NCA estabelecido na Legislação de Goiânia (pontos V14, V15 e V16). Esses pontos estão localizados no corredor do bloco T-200, em frente à sala de professores e próximo ao miniginásio respectivamente, nesses pontos foram observados uma menor atividade humana durante o período vespertino.

Os pontos localizados nas proximidades da sala de professores e o estacionamento de servidores (pontos V1, V4 e V13) apresentaram níveis menores de L_{Aeq} , permanecendo até 4 dB(A) acima do NCA, em contrapartida, os demais pontos localizados em frente à cinemateca, pátio interno entre teatro, complexo de artes e biblioteca, além da entrada de servidores (pontos V5, V6, V7, V8 e V9) apresentaram níveis menores de L_{Aeq} , permanecendo até 10 dB(A) acima do NCA, nesses pontos também foram observados uma atividade humano e trânsito de pessoas.

3.2.3 PONTOS NO PRIMEIRO PAVIMENTO

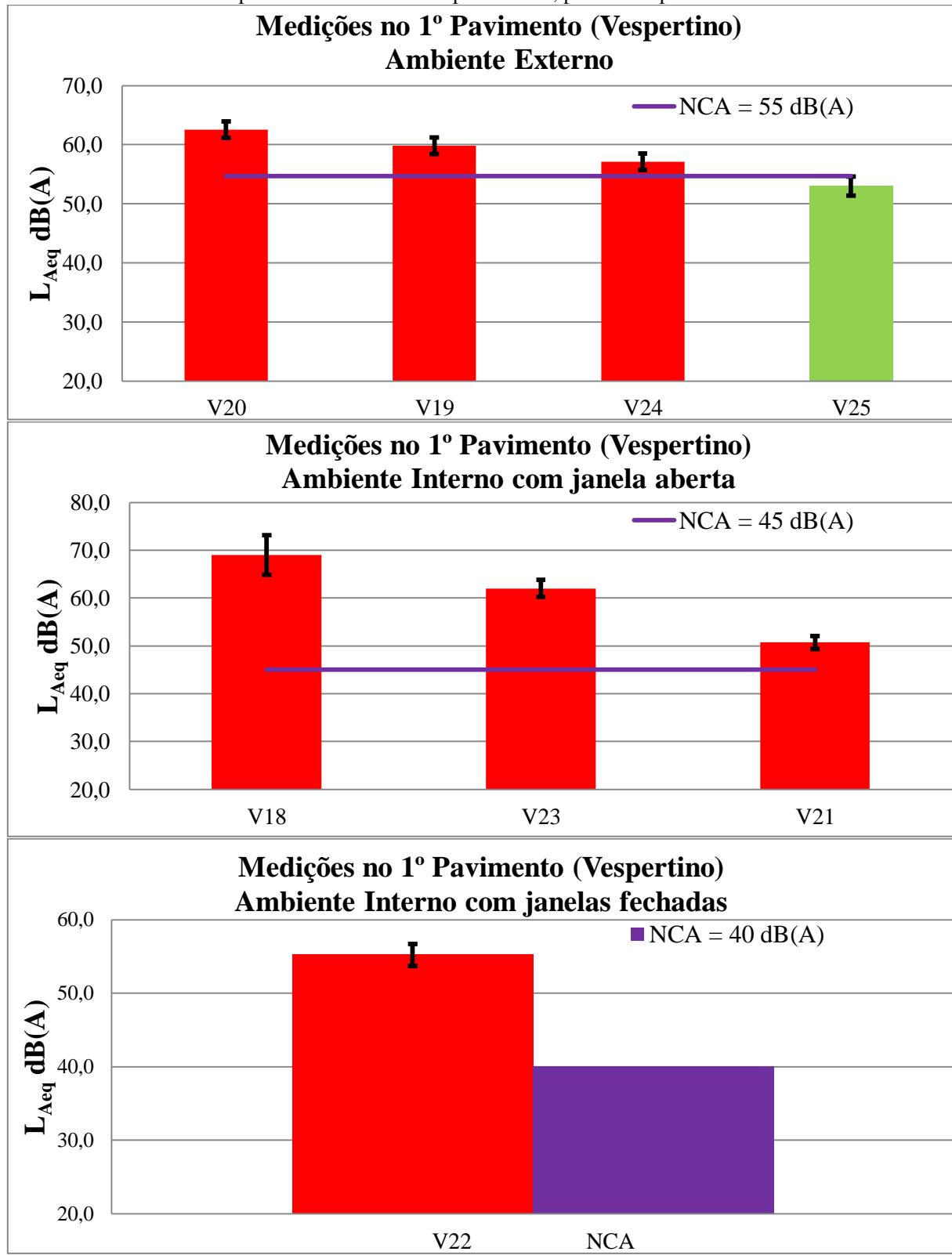
No primeiro pavimento foram monitorados oito pontos (V18, V19, V20, V21, V22, V23, V24 e V25), entre ambientes externos e internos, (representados na Figura IV do Apêndice A e descritos na Tabela 7). Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 15 e Figura 22. Apenas em um ponto (V25) foi encontrado valor em conformidade com a legislação municipal.

Tabela 15- Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento, do IFG – Campus Goiânia, período vespertino.

Ponto de medição	L _{Amax} dB(A)	L _{Amin} dB(A)	L _{Aeq} dB(A)	L _C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
V18	78,4	58,5	69,0	69,0	3,6	45	ACIMA DO NCA	🚩 24	120,0
V19	66,8	53,4	59,8	59,8	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 5	110,0
V20	66,2	60,9	62,5	62,5	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 8	100,0
V21	57,5	48,9	50,7	50,7	1,4	45	ACIMA DO NCA	🚩 6	90,0
V22	55,9	50,7	52,0	52,0	1,4	40	ACIMA DO NCA	🚩 12	80,0
V23	71	56,5	62,0	62,0	1,8	45	ACIMA DO NCA	🚩 17	70,0
V24	61,5	51,4	56,6	56,6	1,4	55	ACIMA DO NCA	🚩 2	60,0
V25	60,3	48,4	53,4	53,4	1,6	55	DENTRO DO NCA	-	50,0
									40,0
									30,0
									20,0
									Mín

Fonte: Próprio Autor.

Figura 22 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no primeiro pavimento do IFG – Campus Goiânia, período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

3.2.3.1 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES INTERNOS DO PRIMEIRO PAVIMENTO

Todos os pontos internos do primeiro pavimento analisados (pontos V18, V21, V22 e V23) tratam-se de ambientes de ensino onde ocorrem aulas práticas e teóricas, e apresentaram L_{Aeq} acima do NCA.

O laboratório de química (ponto V21) apresentou L_{Aeq} de 6 dB(A) acima do NCA, ficando classificado como nível moderado quando o L_{Aeq} é comparado com a Tabela 2, diferente do período matutino, quando as medições indicam nível moderadamente severo. As salas S-108 e S-805 (pontos V18 e V23) foram monitoradas durante realização de uma aula. As medições resultaram em L_{Aeq} de $69,0 \pm 3,6$ e $62,0 \pm 1,8$ dB(A) respectivamente. Resultando em maior risco para o professor que precisa concorrer com o ruído para ser entendido.

3.2.3.2 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES EXTERNOS DO PRIMEIRO PAVIMENTO

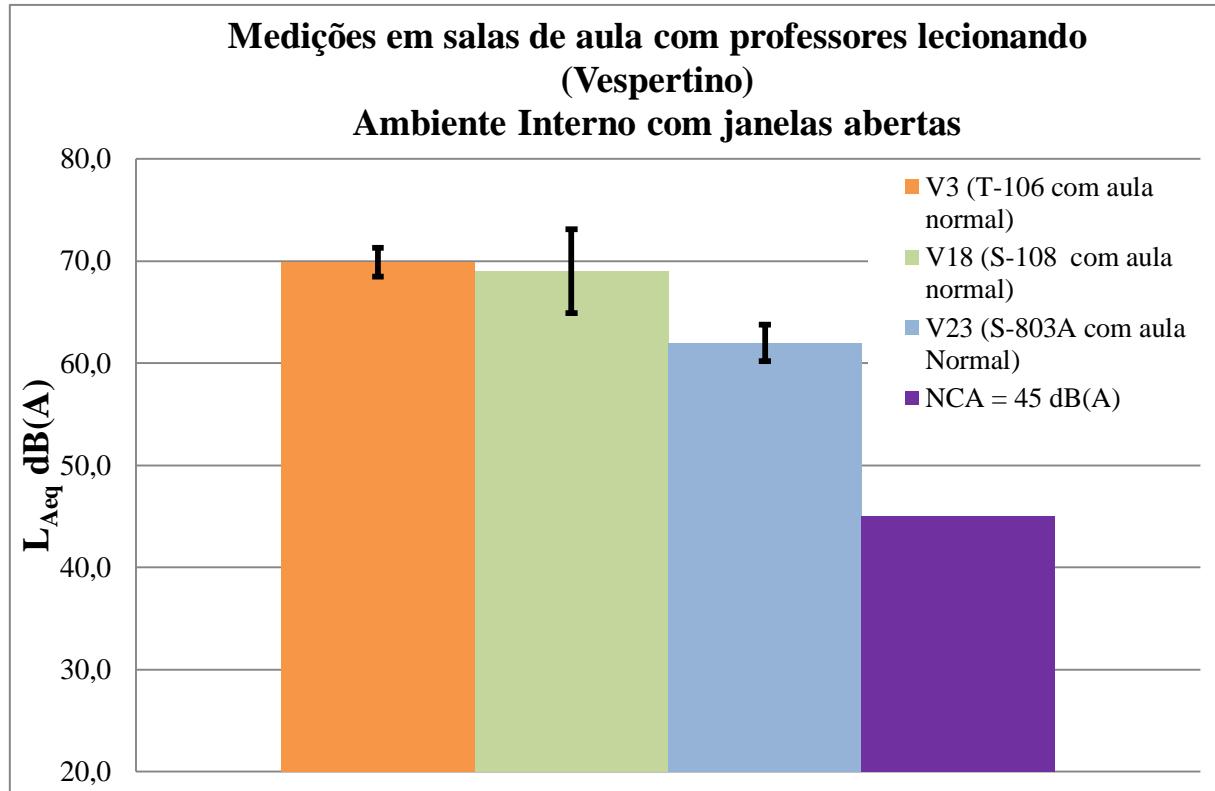
No primeiro pavimento foram monitorados quatro pontos em ambientes externos (pontos V19, V20, V24 e V25), sendo que, dos quatro pontos monitorados, o que apresentou menor L_{Aeq} foi o ponto V25, correspondente ao saguão entre os blocos S-300 e S-400, onde fica localizada uma área de convivência para estudantes, sendo o único ponto no primeiro pavimento que apresentou L_{Aeq} dentro do NCA.

O L_{Aeq} registrado para os pontos V19, V20, V24 superaram o NCA em 5, 8 e 2 dB(A) respectivamente, demonstrando aumento do NPS em direção ao bloco S-700 e redução no NPS em direção aos blocos S-800, S-300 e S400, ou seja, o NPS tem um decréscimo à medida que se adentra nas dependências mais internas e mais longe das entradas do Campus Goiânia.

3.2.4 COMPARATIVO DO L_{Aeq} ENTRE AS SALAS DE AULA

Foram monitoradas três salas de aula com atividades desenvolvidas por professores durante o período vespertino (pontos V3, V18 e V23), sendo realizado o comparativo do L_{Aeq} entre elas na Figura 23. Todas as salas de aula apresentam o L_{Aeq} acima do NCA, no entanto, as salas localizadas no bloco 100 (V3 e V18) apresentam NPS maiores que os níveis encontrados na sala S-803A (V23), localizada no bloco S-800.

Figura 23 - Comparação entre o L_{Aeq} de diversas salas de aula durante realização de aula, no IFG - Campus Goiânia, período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

3.3 PERÍODO NOTURNO

3.3.1 PONTOS NO PERÍMETRO EXTERNO

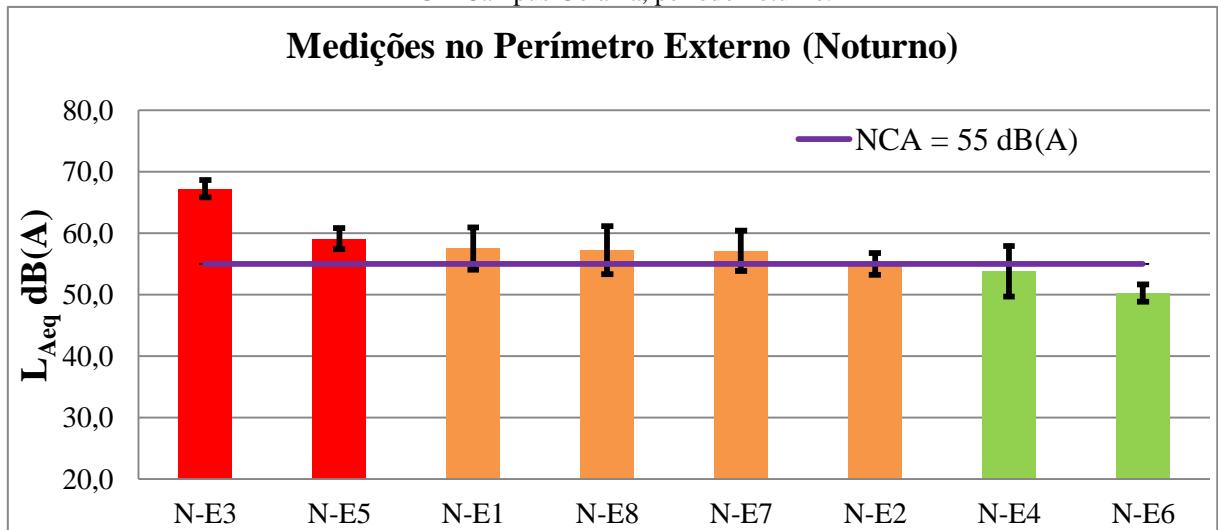
Foram monitorados oito pontos da área externa do IFG – Campus Goiânia no período noturno, sendo eles: N-E1, N-E2, N-E3, N-E4, N-E5, N-E6, N-E7 e N-E8, (representados na Figura V do Apêndice A e descritos na Tabela 8), os resultados obtidos estão na Tabela 16 e Figura 24, onde são mostrados os valores do L_{Aeq} de todos os pontos localizados na área externa ao IFG – Campus Goiânia e sua comparação com o NCA.

Tabela 16 - Resultados experimentais do perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período noturno.

Ponto de medição	L_{Amax} dB(A)	L_{Amin} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
N-E1	69,8	46,3	57,5	57,5	3,4	55	DENTRO DO ERRO	3	120,0
N-E2	64,0	47,9	55,0	55,0	1,8	55	DENTRO DO ERRO	-	110,0
N-E3	77,3	44,9	67,2	67,2	1,4	55	ACIMA DO NCA	12	100,0
N-E4	68,0	47,6	54,3	54,3	6,5	55	DENTRO DO NCA	-	90,0
N-E5	67,1	49,9	59,1	59,1	1,7	55	ACIMA DO NCA	4	80,0
N-E6	63,7	45,6	50,3	50,3	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	70,0
N-E7	68,2	47,9	57,1	57,1	4,1	55	DENTRO DO ERRO	2	60,0
N-E8	64,2	47,9	57,2	57,2	3,9	55	DENTRO DO ERRO	2	50,0

Máx
120,0
110,0
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
Mín

Fonte: Próprio Autor.

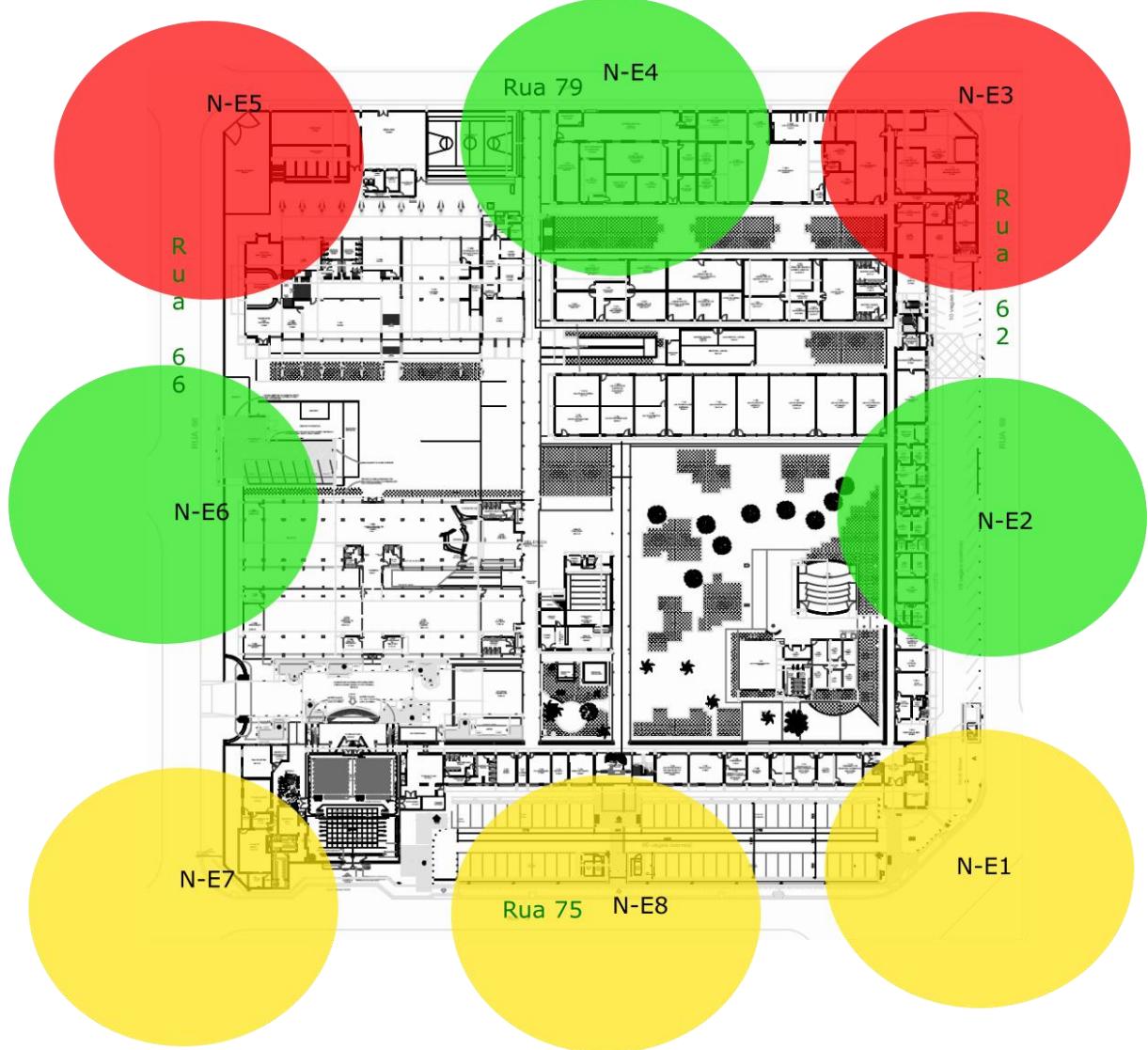
Figura 24- Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para os pontos no perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período noturno.

Fonte: Próprio Autor.

Dos resultados (Tabela 16 e Figura 24) pode-se observar que dos oito pontos verificados no perímetro externo durante o período noturno, apenas dois apresentam valores acima do NCA estabelecido na Lei Municipal de Goiânia, dois pontos estão com valores dentro do NCA enquanto quatro pontos se enquadram na margem de erro experimental, tecnicamente permanecendo dentro dos critérios estabelecidos.

Na Figura 25 são mostrados os pontos aferidos na planta baixa do Campus Goiânia utilizando a convenção de cores estabelecida para o comparativo do L_{Aeq} com NCA, ou seja, vermelho para valores acima dos limites, amarelo para valores dentro do erro experimental e verde para valores dentro dos limites estabelecidos nas normas em vigor.

Figura 25 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA na planta baixa do IFG – Campus Goiânia para o perímetro externo, período noturno.



Fonte: Próprio Autor.

Pode-se observar que apenas as esquinas da Rua 79 (pontos N-E3 e N-E5) apresentam níveis acima do NCA, desse modo, infere-se que o NPS do perímetro externo não é significativo para a contribuição do NPS nas dependências internas do IFG – Campus Goiânia. Os valores menores de NPS em comparação com os períodos matutino e vespertino são resultados da redução do tráfego e atividades comerciais realizadas nas imediações da área monitorada quando anoitece.

3.3.2 PONTOS NO TÉRREO

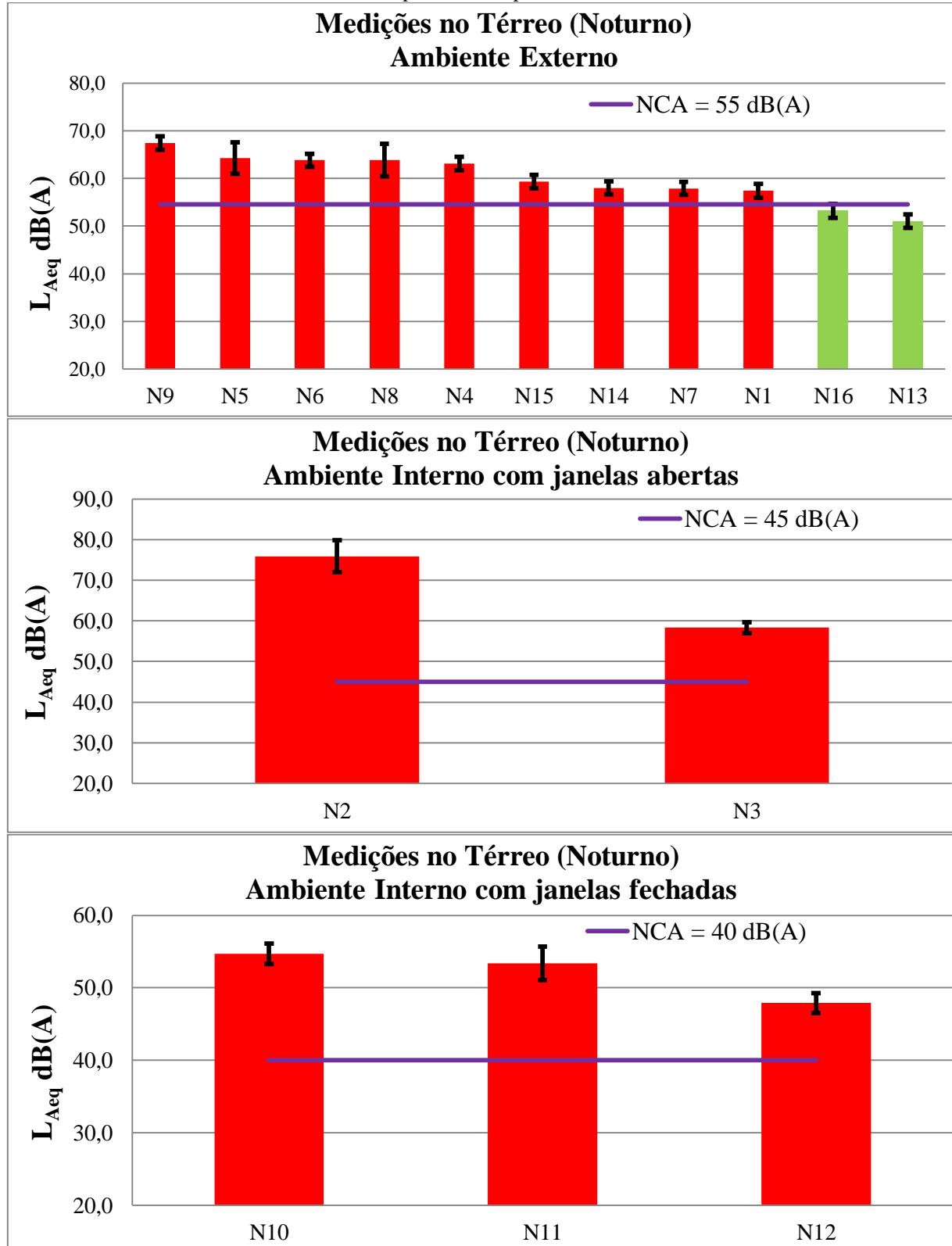
No térreo foram monitorados dezesseis pontos, entre ambientes externos e internos (representados na Figura V do Apêndice A e descritos na Tabela 8). Os resultados obtidos provenientes das medições são mostrados na Tabela 17 e Figura 26. O ponto com sequência numérica 17, correspondente à área do ginásio de esportes (M17 e V17 nos períodos matutino e vespertino) não faz parte da análise realizada no período noturno, devido à ausência de atividades em suas dependências.

Tabela 17- Resultados experimentais realizados no térreo do IFG – Campus Goiânia, período noturno.

Ponto de medição	L_{Amax} dB(A)	L_{Amin} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_C dB(A)	$Erro \pm$ dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
N1	61,3	49,8	57,4	57,4	1,5	55	ACIMA DO NCA	2	120,0
N2	83,7	54,2	75,9	75,9	3,9	45	ACIMA DO NCA	31	110,0
N3	51,2	63,7	58,3	58,3	1,4	55	ACIMA DO NCA	3	100,0
N4	70,8	57,7	63,1	63,1	1,4	55	ACIMA DO NCA	8	90,0
N5	75,6	57,7	64,3	64,3	3,3	55	ACIMA DO NCA	9	80,0
N6	56,8	59,8	63,8	63,8	1,4	55	ACIMA DO NCA	9	70,0
N7	61,2	52,2	57,9	57,9	1,4	55	ACIMA DO NCA	3	60,0
N8	63,9	54,2	58,8	63,8	3,4	55	ACIMA DO NCA	9	50,0
N9	66,9	55,3	62,4	67,4	1,4	55	ACIMA DO NCA	12	40,0
N10	59,3	51,1	54,7	54,7	1,4	40	ACIMA DO NCA	15	30,0
N11	59,1	48,8	53,4	53,4	2,3	40	ACIMA DO NCA	13	20,0
N12	51,3	46,7	47,9	47,9	1,4	40	ACIMA DO NCA	8	Mín
N13	55,2	49,3	51,5	51,5	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	
N14	66,6	54,2	58,0	58,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	3	
N15	70,4	54,6	59,3	59,3	1,4	55	ACIMA DO NCA	4	
N16	60,6	50,6	53,7	53,7	1,5	55	DENTRO DO NCA	-	

Fonte: Próprio Autor.

Figura 26 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no Térreo do IFG – Campus Goiânia, período noturno.



Fonte: Próprio Autor.

3.3.2.1 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES INTERNOS DO TÉRREO

Todos os ambientes internos monitorados no período noturno apresentaram L_{Aeq} acima das normas regulamentares (pontos N2, N3, N10, N11 e N12). O ponto que apresentou NPS mais intenso foi a sala T-107 (N2) com valor de L_{Aeq} de 75,9 dB(A), correspondendo a 31 dB(A) acima do NCA. Quando comparado esse valor com a Tabela 2, tem-se risco classificado como severo para perda de audição. A atividade desenvolvida na sala T-107 era uma aula para o PROEJA (Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos) com aproximadamente sete estudantes adultos. O valor do L_{Aeq} obtido foi superior ao encontrado no ponto M2 que se tratava de uma sala de aula com adolescentes conversando durante um intervalo no período matutino, sem a presença de um professor, desse modo, infere-se que o L_{Aeq} elevado nas salas de aula não estão correlatos à idade dos estudantes.

Os pontos monitorados na biblioteca (pontos N10, N11 e N12) apresentaram L_{Aeq} acima do NCA sendo que, as salas de estudos individuais e coletivos (pontos N10 e N11) superam o NCA em 15 dB(A) e 13 dB(A) respectivamente, enquanto a sala do acervo de livros (ponto N12) apresentou L_{Aeq} acima do NCA em 8 dB(A).

3.3.2.2 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES EXTERNOS DO TÉRREO

Dentre todos os pontos monitorados em ambientes externos localizados no térreo, durante o período noturno, apenas dois se enquadram dentro do NCA estabelecido na Legislação de Goiânia (pontos N13 e N16). Esses pontos estão localizados na área de convivência dos estudantes e próximo ao miniginásio nas áreas ao fundo do Campus.

Nas demais áreas que tiveram L_{Aeq} acima do NCA, os pontos N1, N7, N14 e N15 apresentaram NPS até 4 dB(A) acima do NCA, sendo essas áreas correspondentes ao estacionamento dos professores e servidores, pátio interno próximo ao sistema de climatização do teatro que se encontrava desligado, região próxima a sala dos professores e corredor do bloco 200. A presença de pessoas nessas áreas foi pequena, com pouca movimentação.

Os demais pontos monitorados (N4, N8, N5, N6 e N9) apresentaram valores de L_{Aeq} maiores, sendo que no ponto localizado em frente ao complexo de artes (N9), o L_{Aeq} ficou 12 dB(A) acima do NCA. Havia som de instrumentos musicais proveniente do complexo de artes abertas que se encontrava com as janelas abertas e, observa-se que à medida que se aproxima do mesmo, ou seja, partindo do ponto N7, passando pelo N8 até o ponto N9, há um

acréscimo no NPS, inferindo que o ruído produzido pelos instrumentos musicais contribui de forma significativa para o aumento do L_{Aeq} nessa área do IFG – Campus Goiânia. As demais imediações do bloco T-100 (pontos N4 e N5) apresentaram L_{Aeq} acima do NCA em 8dB(A) e 9dB(A), locais onde foram observados maior movimentação de pessoas com relação aos demais ambientes.

3.3.3 PONTOS NO PRIMEIRO PAVIMENTO

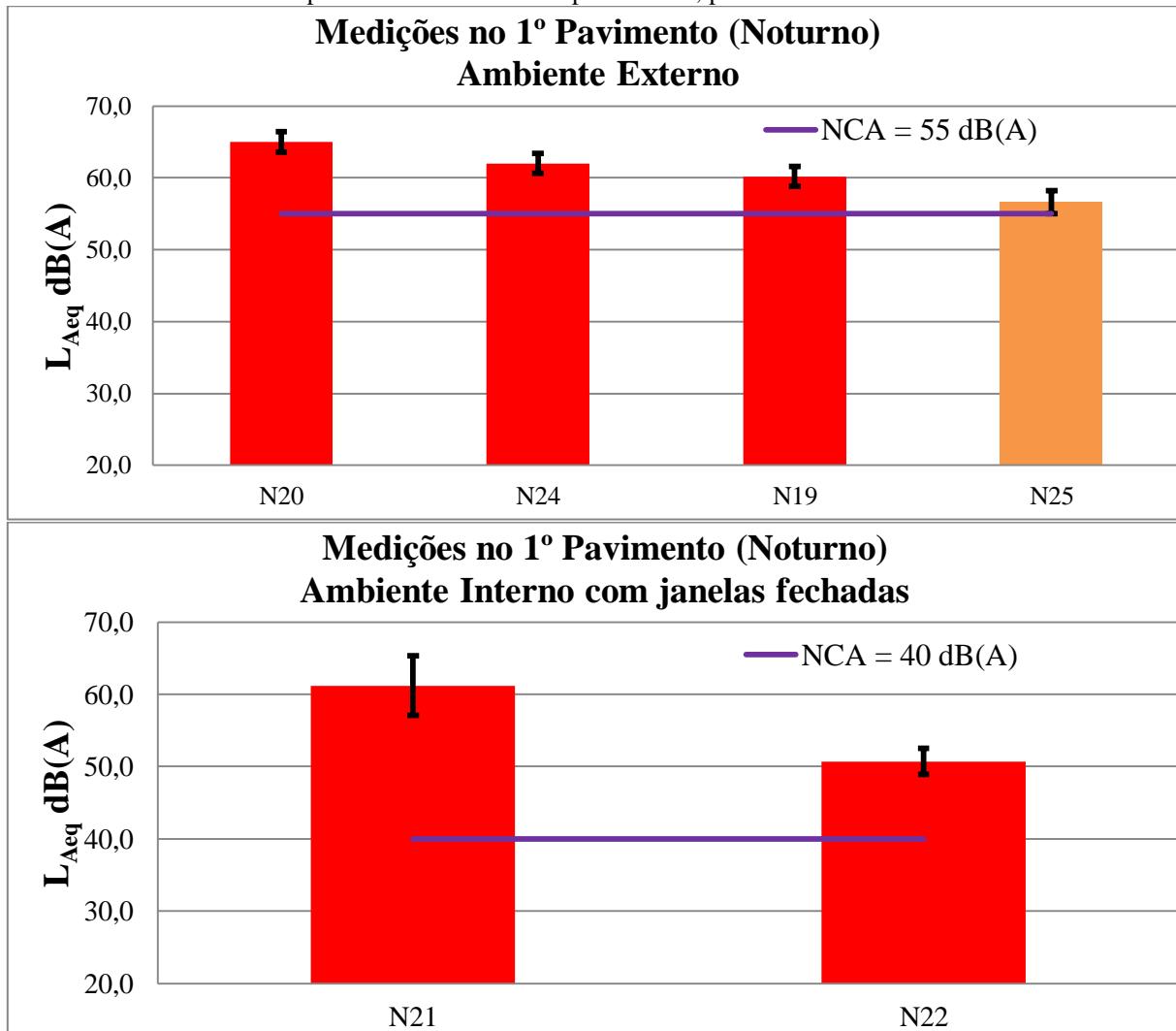
No primeiro pavimento foram monitorados seis pontos, entre ambientes externos e internos, (representados na Figura VI do Apêndice A e descritos na Tabela 8). Os resultados obtidos estão na Tabela 18 e Figura 27 e apenas em um ponto (N25) foi encontrado valor em conformidade com a legislação municipal. Os ponto com sequência numérica 18 e 23, correspondentes às salas de aula S-108 e S-805 não fazem parte da análise realizada no período noturno, devido à ausência de atividades em suas dependências.

Tabela 18- Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento, do IFG – Campus Goiânia, período noturno.

Ponto de medição	L_{Amax} dB(A)	L_{Amin} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
N19	69,8	54,0	60,2	60,2	1,4	55	ACIMA DO NCA	🟡 5	120,0
N20	55,3	64,2	60,0	65,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	🟡 10	110,0
N21	61,9	47,9	56,2	61,2	3,1	40	ACIMA DO NCA	🔴 21	100,0
N22	52,8	44,1	50,7	50,7	1,4	40	ACIMA DO NCA	🔴 11	90,0
N24	59,3	51,2	62,0	62,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	🟡 7	80,0
N25	70	51,4	56,6	56,6	3,8	55	DENTRO DO ERRO	🟢 2	70,0

Fonte: Próprio Autor.

Figura 27 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no primeiro pavimento do IFG – Campus Goiânia, período noturno.



Fonte: Próprio Autor.

3.3.3.1 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES INTERNOS DO PRIMEIRO PAVIMENTO

Apenas dois pontos em ambiente interno foram analisados no primeiro pavimento durante o período noturno (pontos N21 e N22). O laboratório de química (ponto N21) apresentou L_{Aeq} de 21 dB(A) acima do NCA, resultado que teve sua contribuição devido aos sons provenientes de instrumentos musicais no complexo de artes que fica localizado no bloco em frente ao laboratório, sendo possível perceber o ruído produzido pelos instrumentos em suas dependências mesmo se forem fechadas portas e janelas. Já no caso da sala S-804 (ponto N22), esta apresentou L_{Aeq} 11 dB(A) acima do NCA estabelecido pela Legislação municipal, mesmo sem a presença de pessoas, equipamentos desligados, porta e janelas fechadas.

3.3.3.2 MONITORAMENTO DOS AMBIENTES EXTERNOS DO PRIMEIRO PAVIMENTO

No primeiro pavimento foram monitorados quatro pontos em ambientes externos (pontos N19, N20, N24 e N25), sendo que, dos quatro pontos monitorados, o que apresentou menor valor de L_{Aeq} foi o ponto N25, correspondente ao saguão entre os blocos S-300 e S-400, onde fica localizada uma área de convivência para estudantes, sendo o único ponto no primeiro pavimento que, apresentou NPS dentro do NCA.

O L_{Aeq} registrado para os pontos N19, N20, N24 superaram o NCA em 5 dB(A), 10 dB(A) e 7 dB(A) respectivamente, demonstrando aumento do NPS em direção ao bloco S-700 e redução no NPS em direção aos blocos S-800, S-300 e S400, ou seja, o NPS tem um decréscimo à medida que se adentra nas dependências mais internas mais distante das entradas do Campus Goiânia.

3.4 SÁBADO PELA MANHÃ

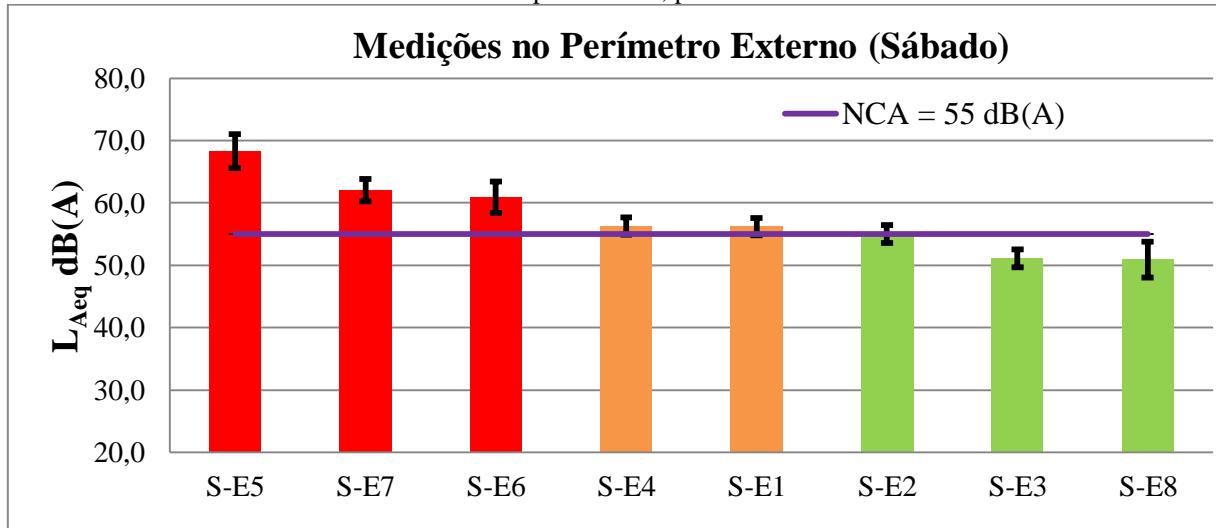
3.4.1 PONTOS NO PERÍMETRO EXTERNO

Foram monitorados oito pontos da área externa do IFG – Campus Goiânia no sábado pela manhã, sendo eles: S-E1, S-E2, S-E3, S-E4, S-E5, S-E6, S-E7 e S-E8, (representados na Figura VII do Apêndice A e descritos na Tabela 9), os resultados obtidos estão na Tabela 19 e Figura 28, onde são mostrados os valores do L_{Aeq} de todos os pontos localizados na área externa ao IFG – Campus Goiânia e sua comparação com o NCA.

Tabela 19 - Resultados experimentais do perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, sábado pela manhã.

Ponto de medição	L _{Amax} dB(A)	L _{Amin} dB(A)	L _{Aeq} dB(A)	L _C dB(A)	Erro ± dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
S-E1	66,1	50,7	56,2	56,2	1,4	55	DENTRO DO ERRO	1	120,0
S-E2	65,5	47,0	55,0	55,0	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	110,0
S-E3	67,0	47,9	51,1	51,1	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	100,0
S-E4	73,6	49,7	56,3	56,3	1,4	55	DENTRO DO ERRO	1	90,0
S-E5	76,5	48,6	68,3	68,3	2,7	55	ACIMA DO NCA	13	80,0
S-E6	67,4	49,9	60,9	60,9	2,5	55	ACIMA DO NCA	6	70,0
S-E7	69,4	50,5	62,0	62,0	1,8	55	ACIMA DO NCA	7	60,0
S-E8	69,7	46,2	50,9	50,9	2,9	55	DENTRO DO NCA	-	50,0
									40,0
									30,0
									20,0
									Mín

Fonte: Próprio Autor.

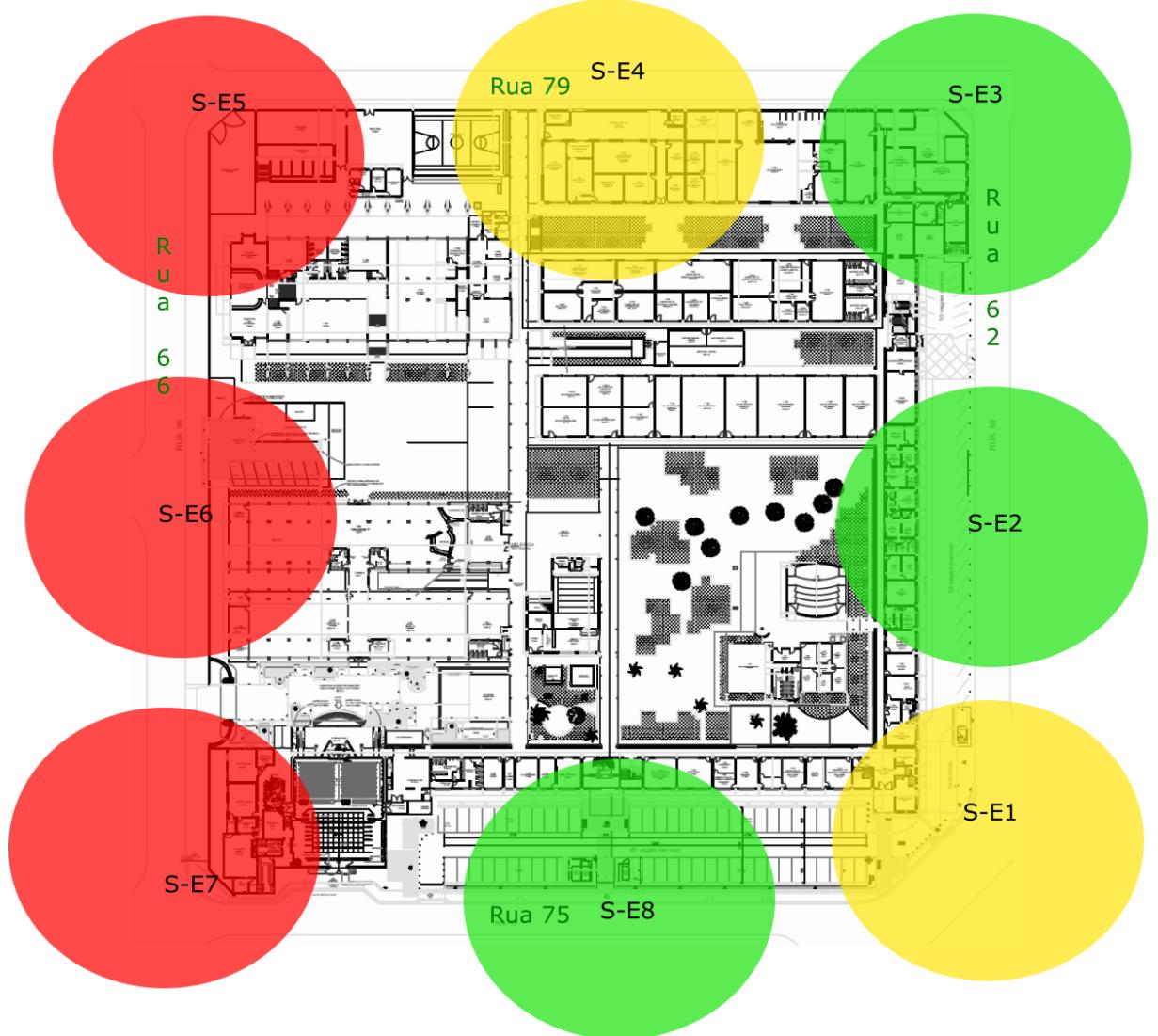
Figura 28 - Gráfico do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para os pontos no perímetro externo do IFG – Campus Goiânia, período noturno

Fonte: Próprio Autor.

Dos resultados (Tabela 19 e Figura 28) pode-se observar que dos oito pontos verificados na área externa durante o sábado pela manhã, apenas três apresentam valores acima do NCA estabelecido na Lei municipal de Goiânia, três pontos estão com valores dentro do NCA enquanto dois pontos se enquadram na margem de erro experimental, tecnicamente permanecendo dentro dos critérios estabelecidos.

Na Figura 29 são mostrados os pontos aferidos na planta baixa do Campus Goiânia utilizando a convenção de cores estabelecida para o comparativo do L_{Aeq} com NCA, ou seja, vermelho para valores acima dos limites, amarelo para valores dentro do erro experimental e verde para valores dentro dos limites.

Figura 29 - Representação por cores da comparação do L_{Aeq} com NCA na planta baixa do IFG – Campus Goiânia para o perímetro externo, sábado pela manhã.



Fonte: Próprio Autor.

Observa-se na Figura 29 que os pontos que estão acima do NCA (pontos S-E5, S-E6 e S-E7) se localizam na rua 66, que é oposta ao lado onde está o parque Mutirama. A área mais próxima ao parque Mutirama são os pontos S-E1, S-E2, S-E3 e S-E8, estando todos com L_{Aeq} dentro do NCA, não prevalecendo assim a hipótese inicial de que o parque Mutirama poderia contribuir de forma significativa para uma possível poluição sonora no IFG – Campus Goiânia durante as atividades realizadas aos sábados.

3.4.2 PONTOS NO TÉRREO

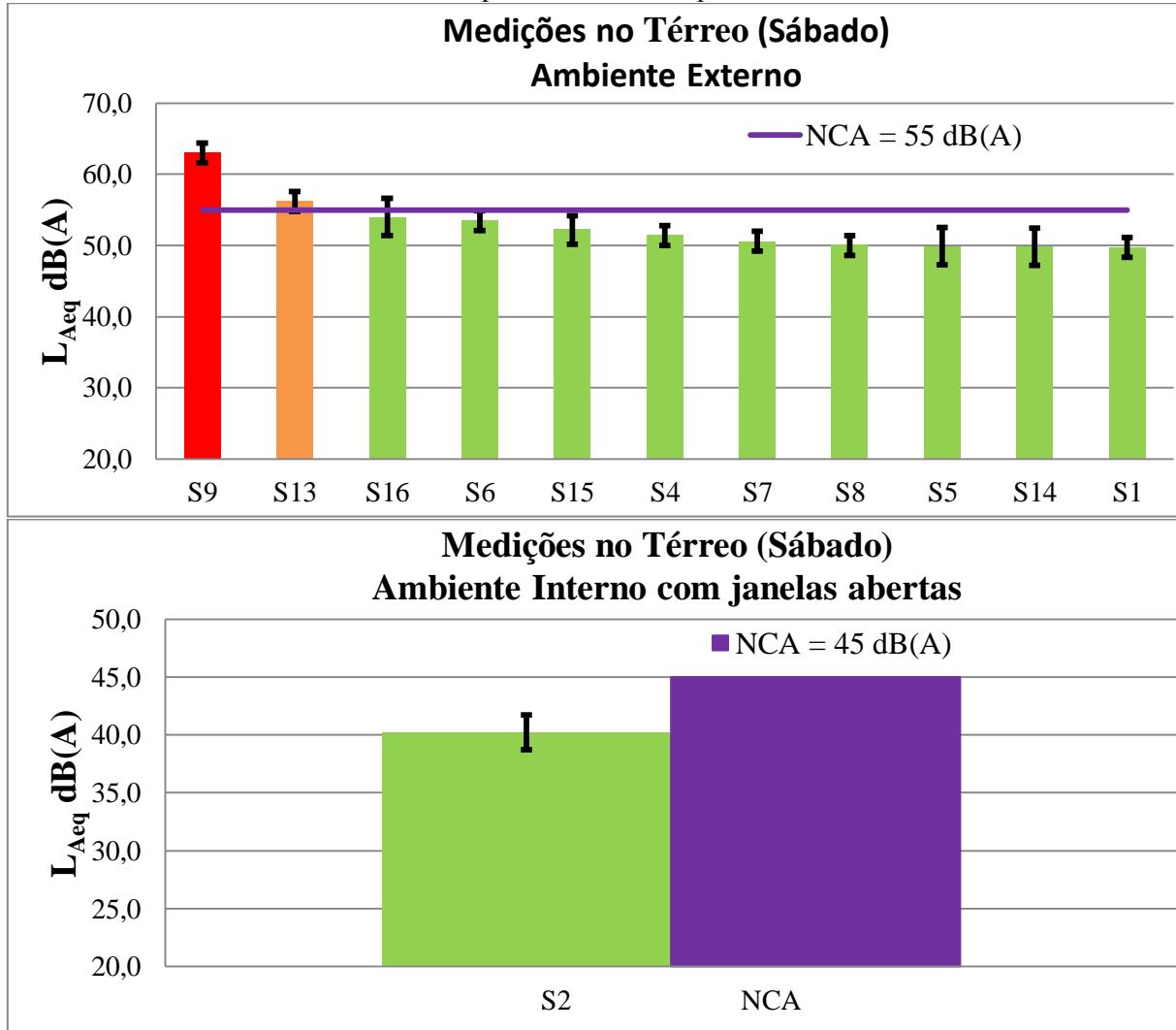
No térreo foram monitorados doze pontos, entre ambientes externos e internos (representados na Figura VII do Apêndice A e descritos na Tabela 9). Os resultados obtidos provenientes das medições são mostrados na Tabela 20 e Figura 30. Os pontos com sequência numérica 3, 10, 11, 12 e 17, correspondentes à sala T-107 durante aula, área interna da biblioteca e ginásio de esportes não fazem parte das análises realizadas no sábado pela manhã, devido à ausência de atividades em suas dependências.

Tabela 20 - Resultados experimentais realizados no térreo do IFG – Campus Goiânia, sábado pela manhã.

Ponto de medição	L_{Amax} dB(A)	L_{Amin} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_C dB(A)	Erro \pm dB(A)	NAC IN nº 26 dB(A)	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
S1	62,9	47,9	49,7	49,7	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	Máx
S2	43,2	36,7	40,2	40,2	1,4	45	DENTRO DO NCA	-	120,0
S4	55,8	48,4	51,4	51,4	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	110,0
S5	63,9	49,3	49,9	49,9	2,6	55	DENTRO DO NCA	-	100,0
S6	63,8	58,7	54,3	54,3	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	90,0
S7	54,6	46,6	50,6	50,6	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	80,0
S8	60,4	44,8	50,0	50,0	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	70,0
S9	71,8	44,9	58,0	63,0	1,4	55	ACIMA DO NCA	8	60,0
S13	60,6	48,1	56,2	56,2	1,4	55	DENTRO DO ERRO	1	50,0
S14	59,1	48,8	49,8	49,8	2,6	55	DENTRO DO NCA	-	40,0
S15	57,6	47,9	52,2	52,2	2,0	55	DENTRO DO NCA	-	30,0
S16	66,6	54,2	54,6	54,6	2,6	55	DENTRO DO NCA	-	20,0

Fonte: Próprio Autor.

Figura 30 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no Térreo do IFG – Campus Goiânia, sábado pela manhã.



Fonte: Próprio Autor.

Como pode ser observado na Tabela 20 e Figura 30, dentre todos os pontos analisados no térreo, em apenas um foi encontrado L_{Aeq} acima do NCA estabelecido pela legislação municipal de Goiânia, sendo este o ponto localizado em frente ao complexo de artes (ponto S9). Nesse ponto foram observados sons de instrumentos musicais, podendo inferir que o ponto S9 ficou com L_{Aeq} acima do NCA em função das atividades musicais desenvolvidas no complexo de artes.

3.4.3 PONTOS NO PRIMEIRO PAVIMENTO

No primeiro pavimento foram monitorados seis pontos, entre ambientes externos e internos, (representados na Figura VIII do Apêndice A e descritos na Tabela 9) e os resultados obtidos estão na Tabela 21 e Figura 31. Todos os pontos monitorados no primeiro pavimento

estão em conformidade com o NCA estabelecido pelas normas em vigor, não havendo indicativos de poluição sonora nesses ambientes.

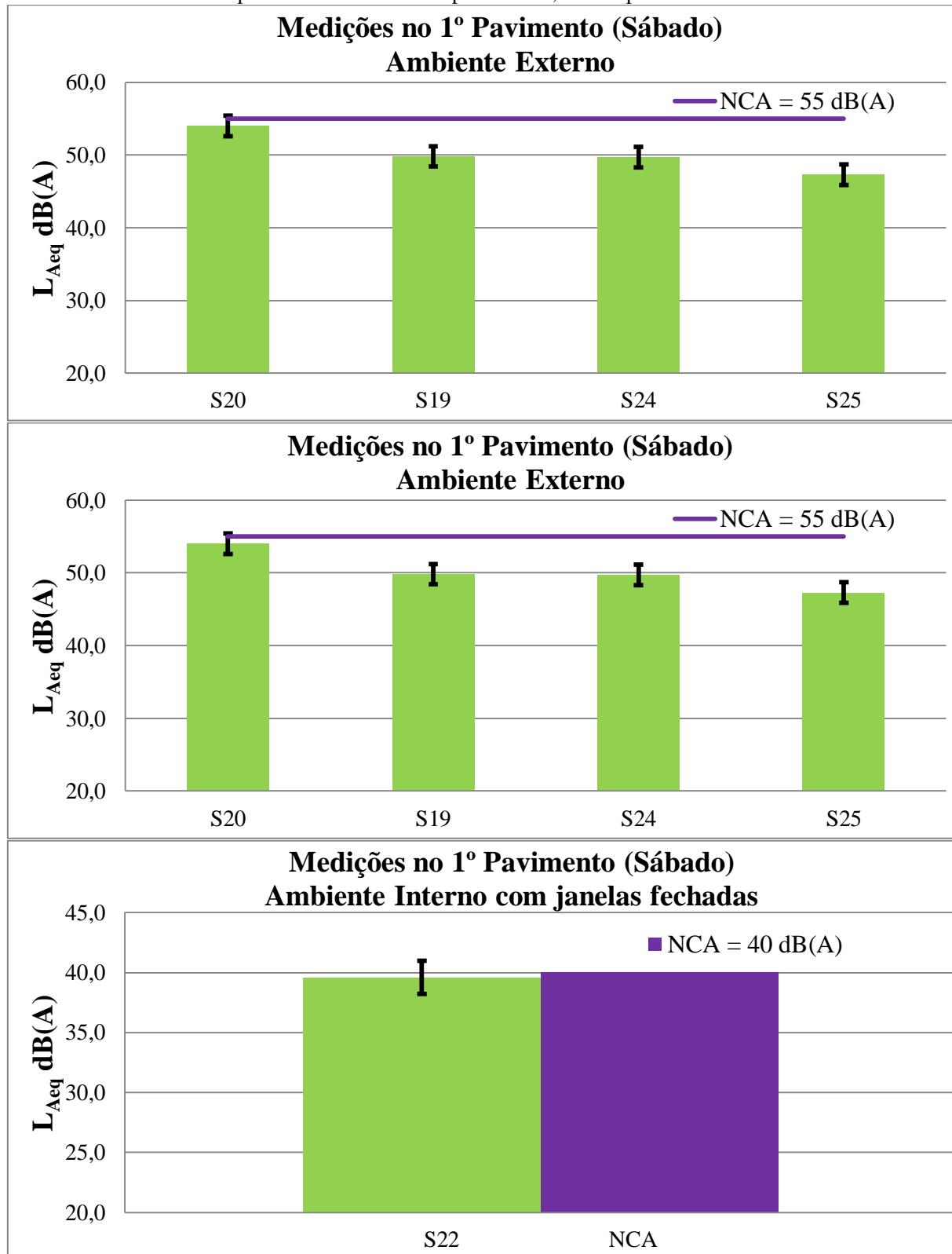
Tabela 21- Resultados experimentais realizados no primeiro pavimento, do IFG – Campus Goiânia, sábado pela manhã.

Ponto de medição	L _{Amax} dB(A)	L _{Amin} dB(A)	L _{Aeq} dB(A)	L _C dB(A)	Erro ± dB(A)	NAC IN nº 26	Comparativo com o NCA	Valor quando acima do NCA dB(A)	Escala dB(A)
									Máx
S18	58,7	46,0	44,9	44,9	1,5	45	DENTRO DO NCA	-	120,0
S19	57,5	46,4	49,8	49,8	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	110,0
S20	62,8	44,1	54,0	54,0	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	100,0
S22	47,0	35,5	39,6	39,6	1,4	40	DENTRO DO NCA	-	90,0
S24	58,8	42,6	49,7	49,7	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	80,0
S25	66,3	56,9	47,3	47,3	1,4	55	DENTRO DO NCA	-	70,0

60,0
50,0
40,0
30,0
20,0

Fonte: Próprio Autor.

Figura 31 - Gráficos do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} [dB(A)] para diversos pontos no primeiro pavimento do IFG – Campus Goiânia, sábado pela manhã.

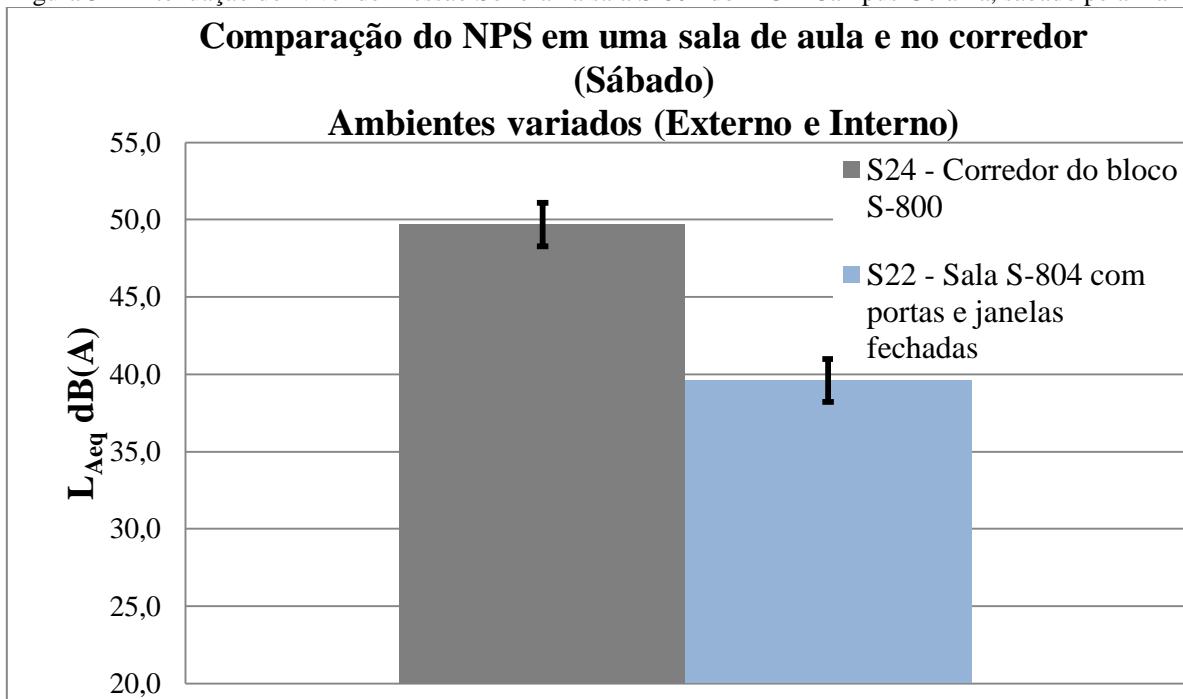


Fonte: Próprio Autor.

3.4.4 ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM SALA DE AULA

Para que fosse estudada a atenuação de ruído produzido por uma sala de aula, foi escolhida a sala S-804 (ponto S22), estando ela desocupada, com a porta e as janelas fechadas e, posteriormente foram feitas medições do NPS no corredor adjacente a referida sala de aula. As medições dentro da sala S-804 (ponto S22) resultaram em NPS próximos aos encontrados no corredor do mesmo bloco (ponto S24). A sala de aula resultou em L_{Aeq} de 39,6 dB(A), enquanto no corredor o resultado foi de 49,7 dB(A), resultando em atenuação de 10 dB(A), atenuação ligeiramente maior que a encontrada no período matutino nas mesmas condições (Seção 3.1.4) que foi de 8 dB(A), mas ainda permanece com o valor abaixo do especificado na norma NBR 10151 que é uma atenuação de pelo menos 15 dB(A) quando portas e janelas estiverem fechadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000). A Figura 32 ilustra a diferença entre os níveis de pressão sonora do lado de dentro e de fora da sala S-804 durante o sábado pela manhã.

Figura 32 - Atenuação do Nível de Pressão Sonora na sala S-804 do IFG – Campus Goiânia, sábado pela manhã.



Fonte: Próprio Autor.

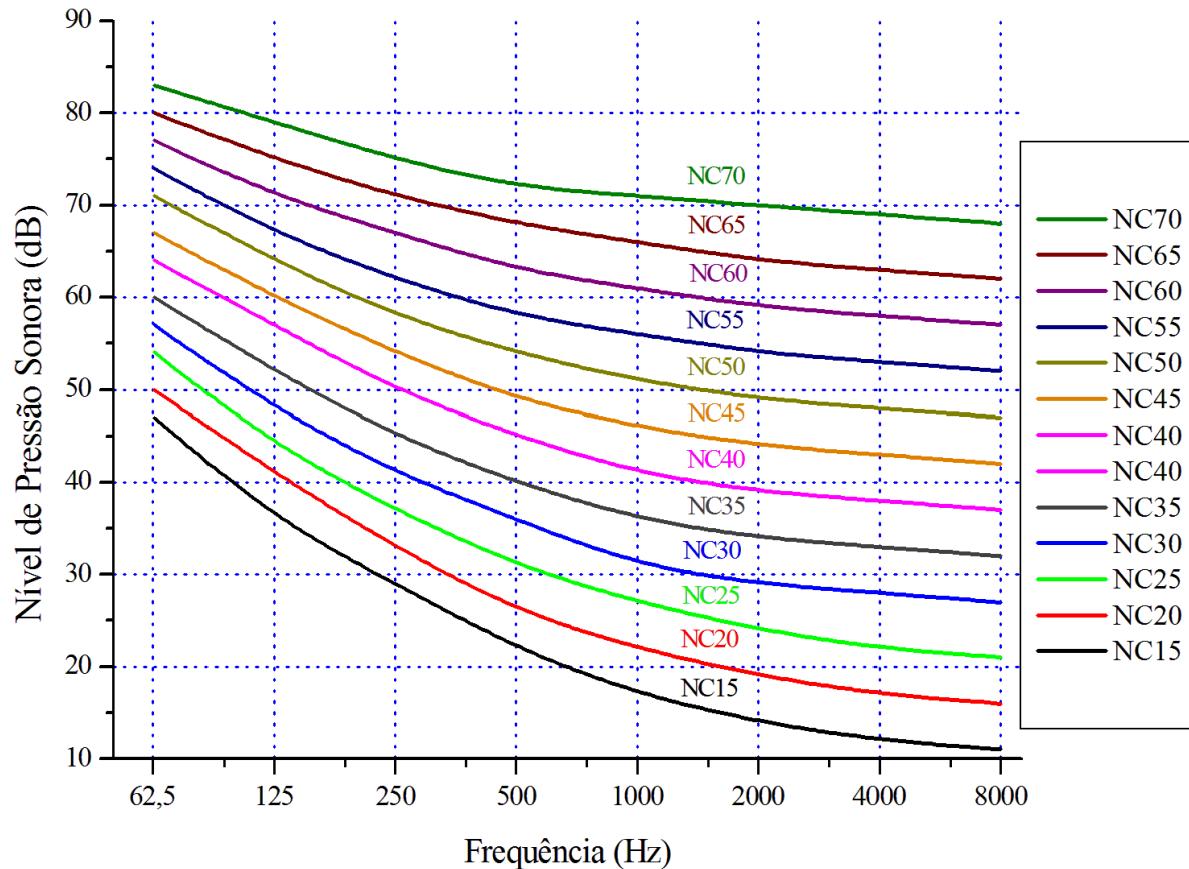
CAPÍTULO 4. SIMULAÇÕES COM EASE

As características acústicas de um recinto são quantificadas objetivamente por diversos parâmetros físicos definidos no Capítulo 1. Para simular diversos ambientes, o EASE da empresa *Acoustic Design Ahnert* (Alemanha) utiliza cálculos, baseando-se nos coeficientes de absorção e volumes dos modelos (TAMANINI, 2011) e isto possibilita a visualização dos resultados sob a forma de mapa de cores da distribuição espacial do parâmetro em questão (PEREIRA, 2010).

O objetivo principal deste Capítulo é simular o NPS, dentro das salas de estudo individual e coletivo da biblioteca em duas situações: com o sistema de climatização do teatro ligado e desligado e, posteriormente, comparar os resultados obtidos com a simulação com aqueles obtidos experimentalmente. Em segundo momento, pretende-se utilizar a simulação para analisar o NPS no ambiente de uma sala de aula, sendo escolhido a sala T-106 com dados experimentais do período vespertino e sábado pela manhã (pontos V2 e S2). A banda de frequência utilizada para análise do NPS simulado foi de 1000 Hz, por ser a banda de frequência estabelecida para adoção dos limites referentes aos limiares da audição e limiar da dor (FLETCHER & MUNSON, 1933; MÖSER, 2009).

Pretende-se também simular o espectro sonoro nos ambientes propostos, tendo como critério a norma NBR 10152, que trata dos níveis de ruído para conforto acústico. Para análises de espectro sonoro são adotadas curvas de avaliação de ruído (NC), conforme mostrado na Figura 33. Em bibliotecas o critério para os limites inferior e superior correspondem às curvas NC 30 e 40 respectivamente, sendo o limite inferior considerado o padrão para conforto acústico e, o limite superior, o nível sonoro aceitável para a finalidade, com tolerância de ± 1 dB. Para salas de aula, os limites adotados correspondem às curvas NC 35 a 45. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

Figura 33 - Curvas de avaliação de ruído (NC)



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987).

Nesta pesquisa, os resultados das medições externas aos ambientes monitorados foram inseridos no programa como fontes esféricas e pontuais de som e, pela primeira vez, foram realizadas simulações semi-empíricas utilizando EASE em que a fonte sonora encontra-se do lado externo do prédio onde está localizada a área de audiência, desse modo, o modelo semi-empírico apresentado nesse trabalho é o início para que pesquisas semelhantes possam ser desenvolvidas com a finalidade de investigar a possibilidade do uso dessa ferramenta computacional em avaliações do NPS em ambientes diversos, dispondo de medições de pontos externos às edificações.

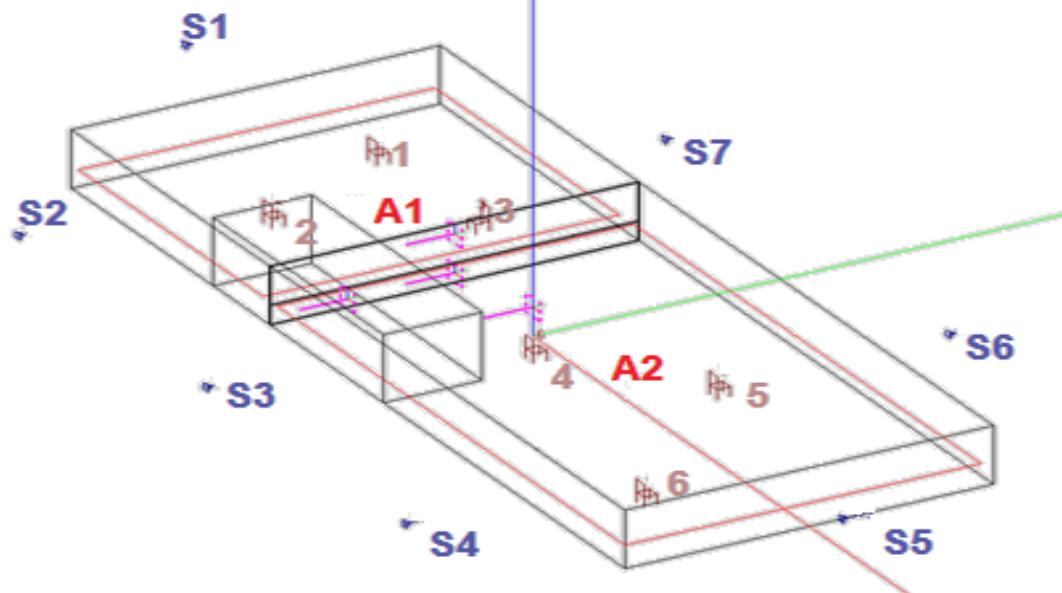
4.1 SIMULAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDOS DA BIBLIOTECA

Para o desenvolvimento dessa etapa, as duas salas de estudo da biblioteca foram desenhadas em 3D no EASE e, para cada face geométrica do desenho foi designado um tipo de material específico conforme as características da construção. Depois de modelada a estrutura, são definidas áreas de audiência onde serão realizadas as análises acústicas pertinentes.

4.1.1 SIMULAÇÃO DO NPS

A Figura 34 apresenta o diagrama da biblioteca em 3D, com os pontos em azul (S1 a S7) representando os locais onde foram realizadas medições externas. No programa esses pontos foram tratados como fontes pontuais de som, as cadeiras 1 a 6 expressam os pontos onde foram realizadas medições internas. Na simulação esses pontos serão tratados como pontos de medição sonora, tendo os retângulos vermelhos A1 e A2 definidos como áreas de audiência analisadas pelo EASE, a área A1 representa a sala de estudos individuais, enquanto a área A2 a sala de estudos coletivos. No desenho da estrutura foram ignorados os móveis, colunas dentre outros obstáculos, com a finalidade de simplificar a simulação. As duas salas conjugadas formam um paralelepípedo oco de modo que, às paredes paralelas maiores foram designadas faces com janelas de vidro comum, às paredes paralelas menores foram configuradas no programa como alvenaria comum, enquanto teto e piso foram designados como concreto. As salas internas foram desenhadas como paredes de vidro comum. A divisória interna possui a parte inferior definida como madeira simples e a parte superior como vidro comum.

Figura 34 - Representação em 3D dos ambientes de estudo da biblioteca. A entrada das salas fica entre os pontos S7 e S6. As faces próximas aos pontos S2, S3 e S4, correspondem à parede localizada em frente ao teatro e complexo de artes, a face próxima ao ponto S1 está próxima ao muro da Rua 66, enquanto a face próxima ao ponto S5 corresponde à parede próxima ao corredor interno.



Fonte: Próprio Autor.

Foram realizadas duas simulações: a primeira com os dados do sistema de climatização desligado e ausência de aulas no complexo de artes e, a segunda, sons produzidos por instrumentos musicais e o sistema de climatização do teatro ligado.

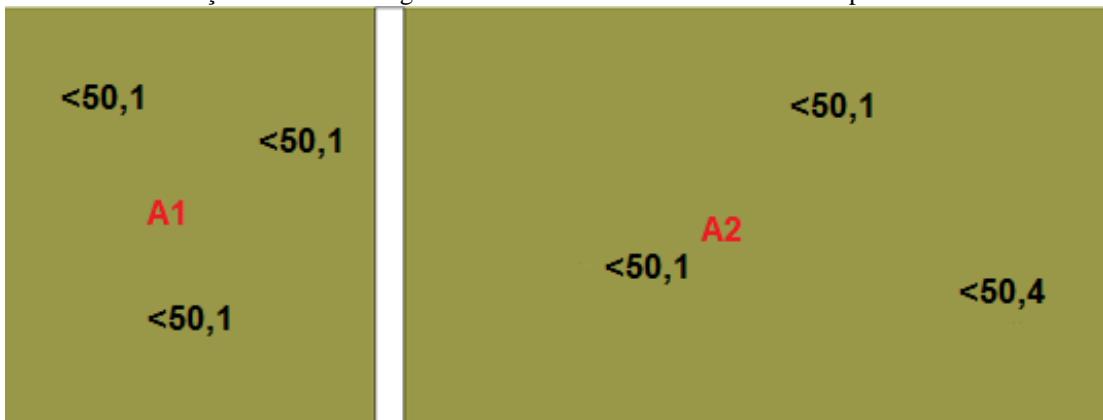
Para análise do NPS simulado foi adotada a escala de cores constante na Figura 35. A Figura 36 apresenta o NPS para os dois ambientes propostos, sem sons produzidos por instrumentos musicais no complexo de artes e com o sistema de climatização do teatro desligado.

Figura 35 - Escala de cores utilizada nas simulações com EASE, em dB.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 36 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para áreas definidas da biblioteca com sistema de climatização do teatro desligado e sem instrumentos musicais no complexo de artes.



Fonte: Próprio Autor.

Para análise do NPS na simulação foi adotada a banda de frequência de 1000 Hz. O valor encontrado de NPS para a sala de estudos individuais, e para a sala de estudos coletivos foi de 50,1 dB. Na Tabela 22 é feita a comparação entre o valor simulado e o valor experimental para as duas salas.

Tabela 22 - Comparaçao entre valores experimentais e simulados.

Valor do NPS na Sala de Estudos Individuais			Valor do NPS na Sala de Estudos Coletivos		
Simulado	Experimental	Diferença	Simulado	Experimental	Diferença
50,1 dB	50,6 ± 1,4 dB(A)	0,9%	50,2 dB	57,6 ± 1,4 dB(A)	13%

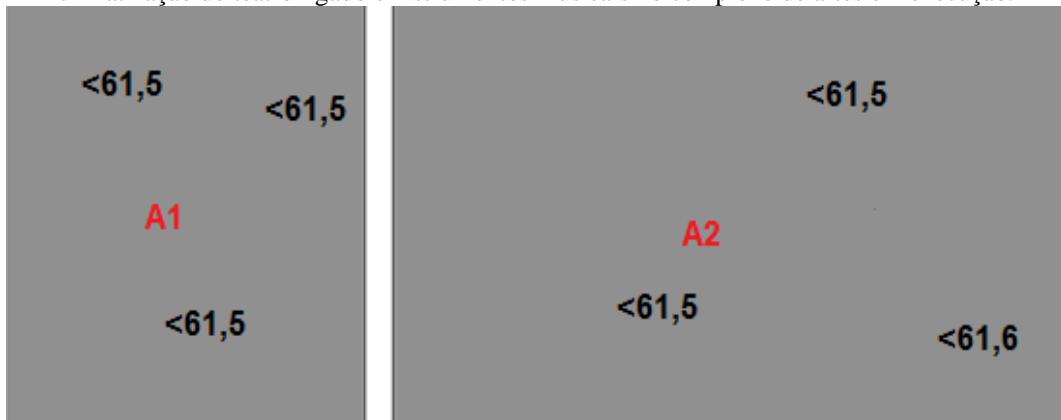
Fonte: Próprio Autor.

O NPS simulado para a sala de estudos individuais quando comparado com o valor obtido experimentalmente, se enquadra dentro da margem de erro de $\pm 1,4$ dB(A), resultando

em uma diferença percentual menor que 1,0%, já no caso da sala de estudos coletivos a diferença foi de 13%.

A simulação também foi feita com sons produzidos por instrumentos musicais no complexo de artes e com o sistema de climatização do teatro funcionando, o resultado é apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para áreas definidas da biblioteca com sistema de climatização do teatro ligado e instrumentos musicais no complexo de artes em execução.



Fonte: Próprio Autor.

Novamente a simulação não fez distinção de valores para os ambientes da sala de estudos individuais e coletivos. Isso se deve ao fato dos dois ambientes possuírem a mesma estrutura acústica. Dessa vez o NPS simulado foi de 61,5 dB, na banda de frequência de 1000 Hz. Na Tabela 23 os resultados experimentais e simulados são comparados.

Tabela 23 - Comparaçao entre valores experimentais e simulados.

Valor do NPS na Sala de Estudos Individuais			Valor do NPS na Sala de Estudos Coletivos		
Simulado	Experimental	Diferença	Simulado	Experimental	Diferença
61,5 dB	$58,7 \pm 1,4$ dB(A)	4,7%	61,5 dB	$71,9 \pm 2,6$ dB(A)	14%

Fonte: Próprio Autor.

Observa-se um acréscimo na diferença entre os valores experimentais e simulados quando são inseridos valores maiores de NPS na simulação. Para a sala de estudos individuais, houve uma ampliação de 0,9% para 4,7% na diferença entre valor simulado e experimental e, para a sala de estudos coletivos, o a diferença foi ampliada de 13% para 14%, quando foram inseridos dados com valores de NPS maiores.

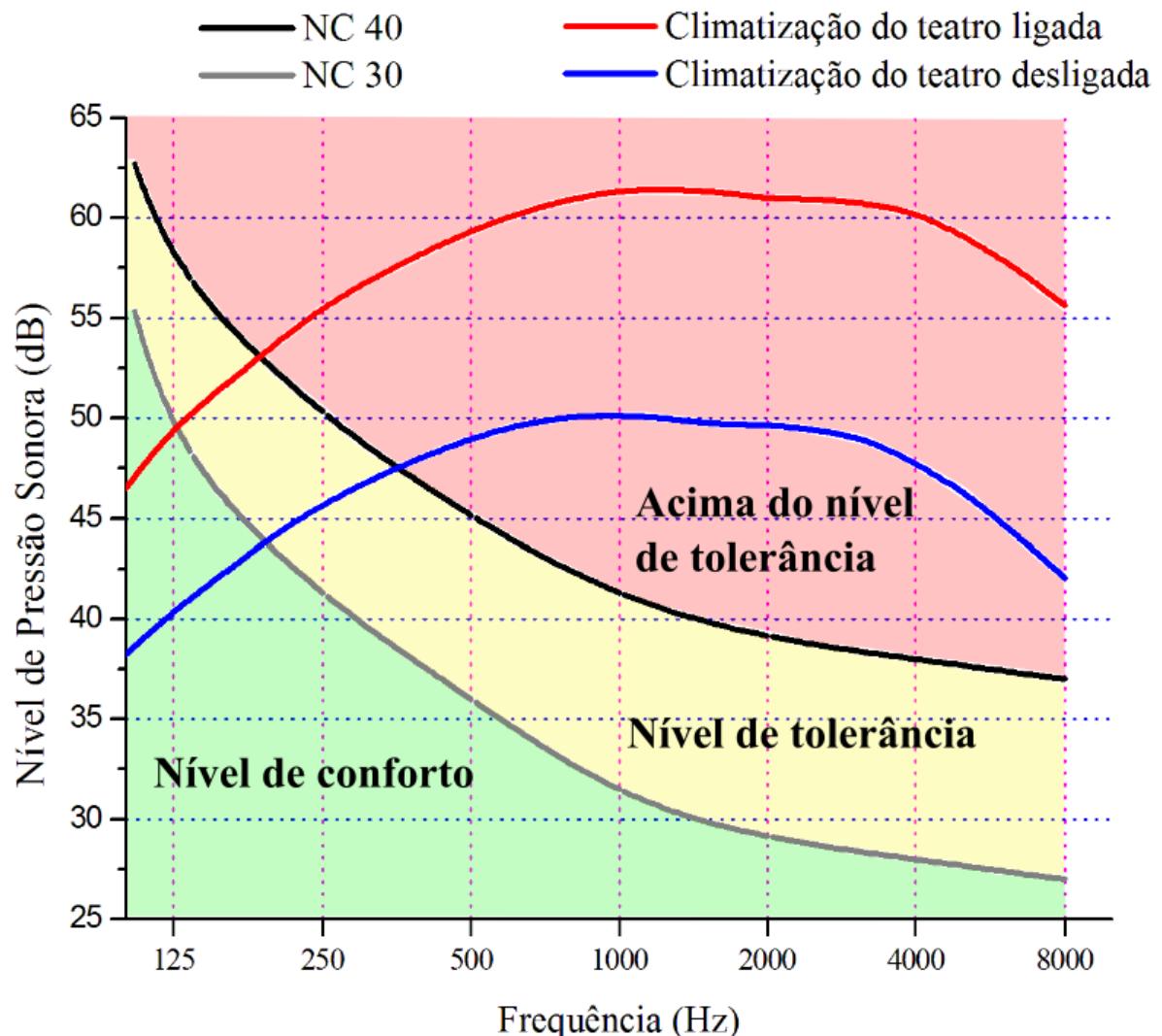
Deve ser observado o fato que na sala de estudos individuais os estudantes estudam com silêncio absoluto, enquanto na sala de estudos individuais há debates e discussões o que, logicamente, produz ruído. Desse modo, o EASE pode ser utilizado para simular o NPS de fundo dentro de edificações, a partir de medições do ruído externo. Também com suporte das simulações pode-se estudar a contribuição do ruído interno produzido quando há atividades sendo realizadas dentro dele, como conversas e equipamentos ligados. Por exemplo, se não for possível realizar as medições com o ambiente vazio, é possível simular o ruído de fundo nessa situação com boa aproximação entre o resultado simulado e experimental.

4.1.2 SIMULAÇÃO DO ESPECTRO SONORO

A Figura 38 mostra a análise simulada do espectro sonoro, em ponderação A e bandas de 100 a 8000 Hz para a sala de estudos individuais nas duas situações propostas, ou seja, com o sistema de climatização do teatro ligado e desligado, a área verde corresponde ao nível de conforto, de amarelo a região correspondente ao nível de tolerância e, de vermelho, a área que representa valores acima do nível de tolerância, conforme as curvas de avaliação constantes na norma NBR 10152.

A análise de frequências de um ruído sempre é importante para objetivos de avaliação e adoção de medições de correção ou redução do nível sonoro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Entretanto, equipamentos que fazem análise espectral do som possuem custo elevado, e os medidores de níveis de ruído de preços mais acessíveis não dispõem dessa análise. Essa parte da simulação não pôde ser comparada com resultados experimentais devido à ausência de equipamentos que fazem análise de espectro sonoro com precisão satisfatória.

Figura 38 - Nível de Pressão Sonora (dB) *versus* Frequência (Hz), simulados com EASE para a biblioteca. De preto a curva de avaliação NC 40, de cinza a curva de avaliação NC 30, de vermelho os valores simulados com o sistema de climatização do teatro ligado e, de azul os valores simulados com o sistema de climatização do teatro desligado.



Fonte: Próprio Autor.

Dos resultados provenientes da simulação observa-se que, antes de ser acionado o sistema de climatização do teatro, sons com intervalos de frequências até 400 Hz permanecem em conformidade com as normas em vigor, ou seja, abaixo da curva NC 40, entretanto, ao ser acionado o sistema de climatização, o intervalo de frequência é reduzido para até 200 Hz. As bandas de frequência entre 500 até 4000 Hz apresentam NPS mais intenso, sendo esse intervalo onde o ouvido humano é mais sensível ao som conforme demonstrado na Figura 2 através da curva Fletcher-Munson, revisada em 2003 através da ISO 226:2003. (FLETCHER E MUNSON, 1933; ISO, 2003). A média da frequência fundamental da voz humana em situações de conversa ou canto varia de 80 Hz até 440 Hz (DE CAMARGO *et al.*, 2007). Desse modo, segundo a simulação, as barreiras físicas existentes nos ambientes analisados da

biblioteca possuem boa absorção nessa faixa de frequência, no entanto, para ruídos como carros transitando que emitem frequências da ordem de 1000 Hz (SOARES, 2014) e instrumentos musicais como o piano que emite frequência de ordem de 27,5 Hz a 4186 Hz (HÜMMELGEN, 1996), segundo a simulação, as barreiras físicas possuem menor absorção sonora, de modo que o som proveniente dessas fontes contribui de forma significativa para o aumento do NPS no interior da biblioteca. Pode-se inferir que a estrutura analisada não apresenta boa absorção para as frequências geradas pelo trânsito presente na rua 66, ruídos produzidos pelo sistema de climatização do teatro e sons produzidos pelo complexo de artes. .

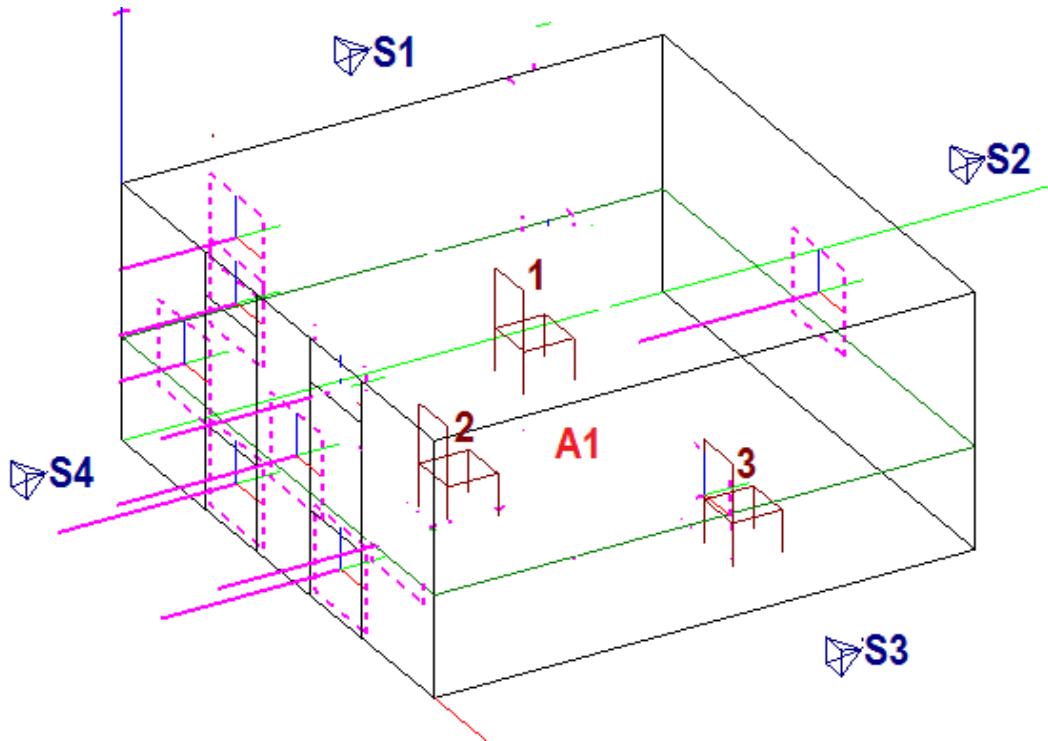
4.2 SIMULAÇÃO DO AMBIENTE DA SALA T-106

4.2.1 SIMULAÇÃO DO NPS

Para simulação do ambiente da sala T-106 foram desenhados dois diagramas vetoriais em 3D sendo que, o primeiro (Figura 39) apresenta janelas abertas, como encontrado no período de coleta de dados (ponto V2), enquanto o segundo desenho (Figura 40) foi confeccionado em formato de cuboide oco, sem portas ou janelas. Os pontos em azul (S1 a S4) representam os locais onde foram realizadas medições do lado de fora da sala de aula e, no programa, tais pontos foram tratados como fontes pontuais de som. As cadeiras 1 a 3 expressam os pontos onde foram realizadas medições do lado de dentro da sala de aula e, na simulação, esses pontos foram tratados como pontos de medição sonora, tendo o retângulo vermelho A1 definido como áreas de audiência analisadas pelo EASE.

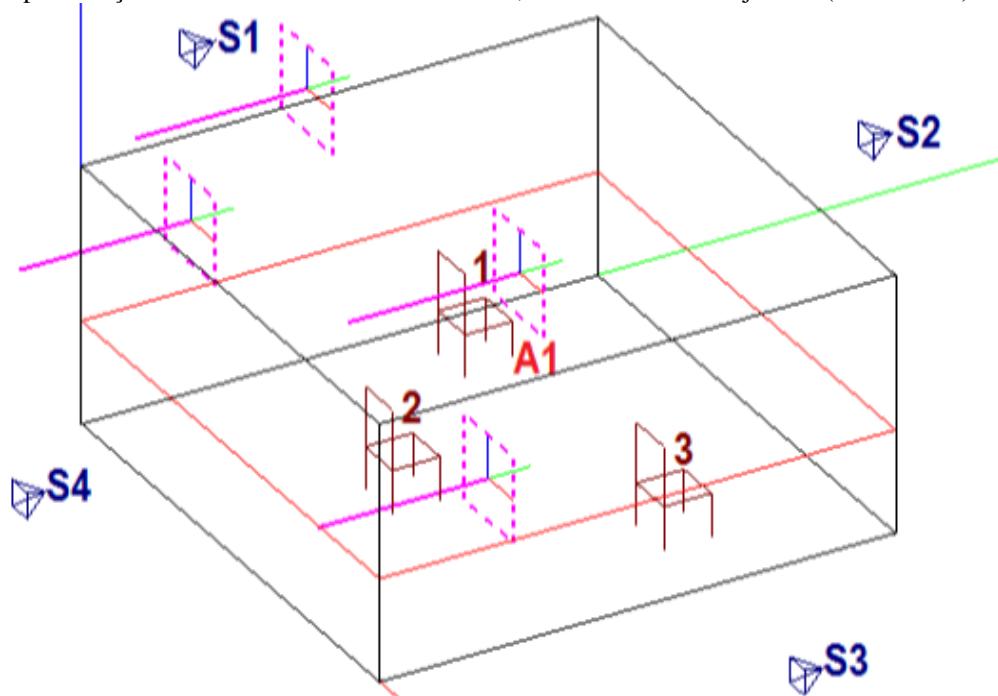
No desenho da estrutura foram ignorados os móveis, com a finalidade de simplificar a simulação e à todas as paredes foram designadas no EASE como alvenaria comum, tendo as janelas abertas na Figura 39 representadas por lacunas e, por fim, teto e piso foram designados como concreto.

Figura 39 - Representação em 3D do ambiente da sala T-106, considerando janelas abertas.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 40 - Representação em 3D do ambiente da sala T-106, desconsiderando as janelas (cuboide oco).



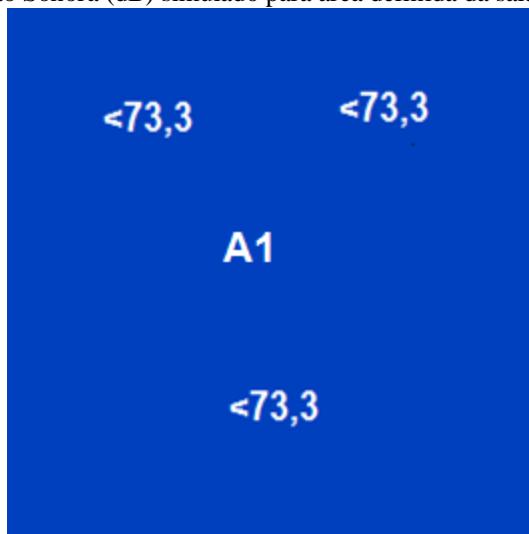
Fonte: Próprio Autor.

Foram realizadas três simulações: a primeira com os dados coletados durante o período vespertino considerando as janelas abertas, ou seja, conforme a representação vetorial da Figura 39; a segunda simulação utilizou os mesmos dados, porém com a estrutura cuboide

sem janelas representada na Figura 40; por fim, a terceira simulação utilizou a estrutura cuboide (Figura 40) com os dados coletados no sábado pela manhã. Em todas as situações, os dados simulados são comparados com os dados experimentais obtidos com a sala T-106 na ausência de pessoas. Para análise do NPS simulado em todas as situações foram adotadas as escalas de cores constante na Figura 35 além de ter sido adotada a banda de frequência de 1000 Hz.

O valor simulado do NPS para a T-106 com lacunas no desenho vetorial representando as janelas abertas, representado na Figura 41, foi de 73,3 dB.

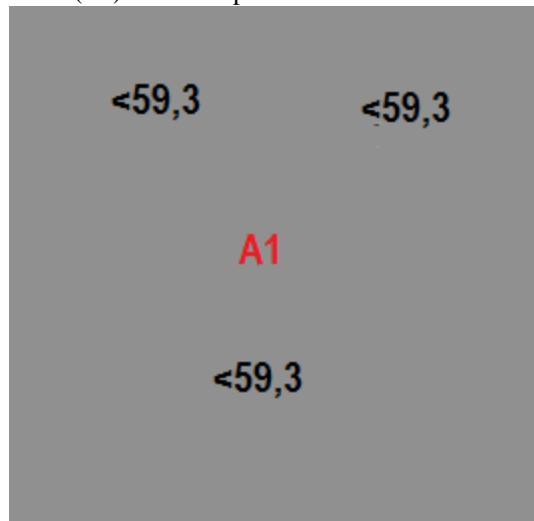
Figura 41 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para área definida da sala T-106 com janelas abertas.



Fonte: Próprio Autor.

Utilizando a estrutura de um cuboide oco para representar a sala T-106, eliminando-se assim as janelas, obteve-se um valor simulado inferior ao encontrado utilizando lacunas nas interfaces. O valor simulado do NPS para a T-106, utilizando o desenho vetorial de um cuboide, representado na Figura 41, foi de 59,3 dB.

Figura 42 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para área definida da sala T-106 sem janelas (cuboide oco).



Fonte: Próprio Autor.

Na Tabela 24 foi feita a comparação entre o valor simulado e o experimental para as duas estruturas modeladas, ou seja, simulando as janelas e cuboide oco.

Tabela 24 - Comparaçao entre valores experimentais e simulados, para a sala T-106 com desenhos vetoriais diferentes.

Valor do NPS na Sala T-106 simulando janelas			Valor do NPS na Sala T-106 sem janelas		
Simulado	Experimental	Diferença	Simulado	Experimental	Diferença
73,3 dB	$54,2 \pm 1,8$ dB(A)	35 %	59,3 dB	$54,2 \pm 1,8$ dB(A)	9,4%

Fonte: Próprio Autor.

A simulação utilizando lacunas para representar janelas resultou em NPS simulado 35% superior ao valor experimental enquanto que, utilizando uma estrutura mais simples para o desenho da estrutura (cuboide oco) o valor da diferença reduz para 9%, tornando o desenho de um cuboide oco mais adequado para esse tipo de simulação.

Na Figura 43 está representado o NPS simulado para a sala T-106 durante o período do sábado pela manhã, tendo a simulação fornecido o valor de 43,3 dB(A). Na Tabela 25 é feita a comparação entre o valor simulado e o experimental.

O valor da diferença entre o valor experimental e simulado foi de 7,7%. De forma semelhante ao observado nas Tabelas 22 e 23, da seção 4.1.1 desse capítulo, valores menores de NPS também resultam em uma diferença menor entre os valores simulados e experimentais.

Figura 43 - Nível de Pressão Sonora (dB) simulado para área definida da sala T-106 sem janelas (cuboide oco), no sábado pela manhã.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 25 - Comparação entre valores experimentais e simulados.

Valor do NPS na Sala T-106 sem janelas – Sábado Pela Manhã		
Simulado	Experimental	Diferença
43,3 dB(A)	$40,2 \pm 1,4$ dB(A)	7,7%

Fonte: Próprio Autor.

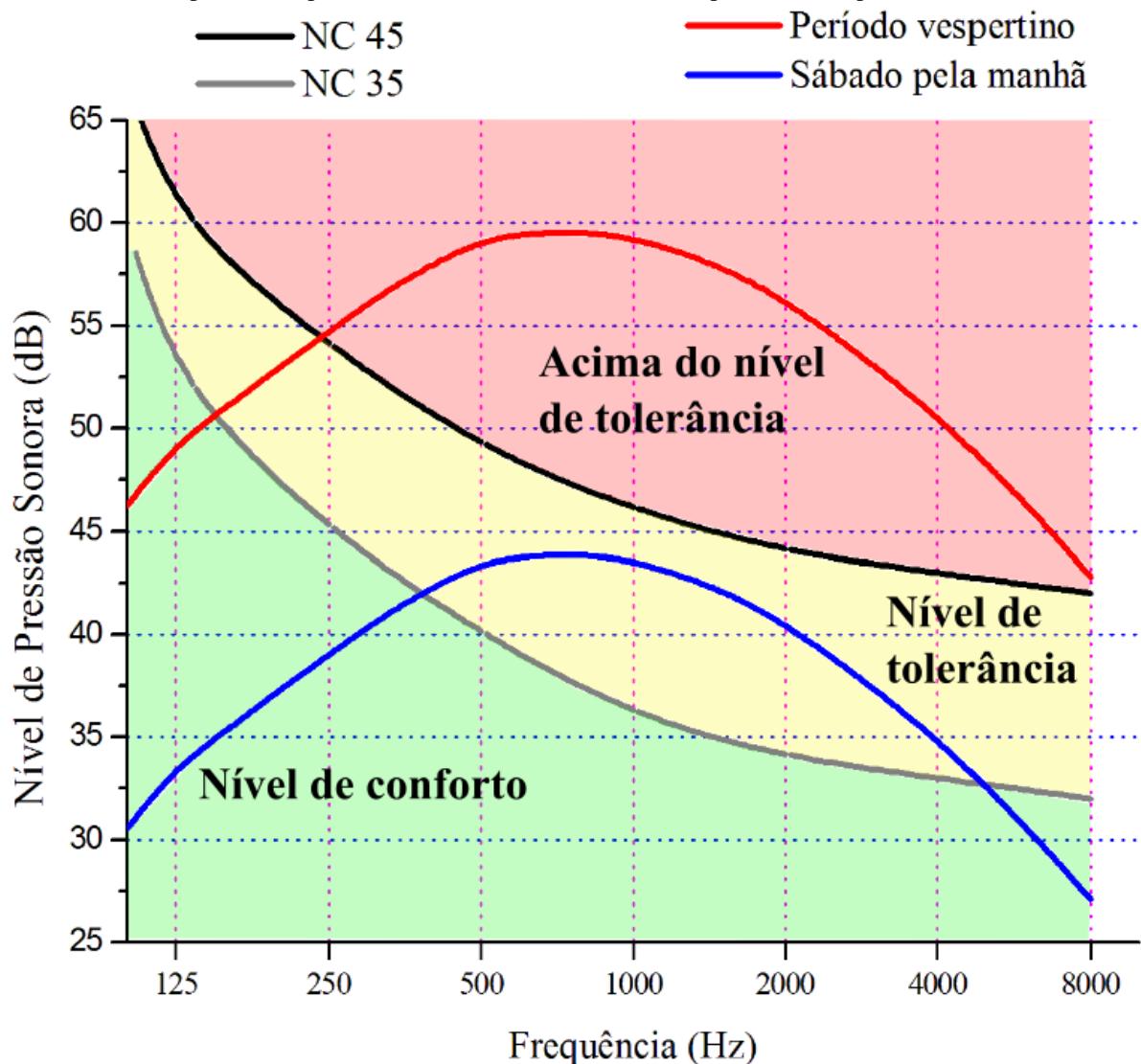
Dos resultados apresentados nas Tabelas 24 e 25, bem como nas Figuras 41, 42 e 43, observa-se que o EASE pode ser utilizado para simular o nível de pressão sonora de fundo dentro das salas de aula, com boa margem de erro relativo entre os resultados simulados e experimentais, desde que seja utilizada uma representação adequada da estrutura no programa. Recomenda-se durante a elaboração dos desenhos vetoriais, a simplificação visando melhor processamento por parte do programa, já que quanto mais detalhes, maior será a quantidade de recursos e tempo necessários para o processamento dos dados (TAMANINI, 2011). Desse modo, no futuro o EASE pode se tornar uma boa ferramenta para Engenheiros e Arquitetos quanto ao desenvolvimento de ambientes acadêmicos escolares que visem conforto acústico e prevenção da poluição sonora, bastando para tal, o desenvolvimento de novas pesquisas.

4.2.2 SIMULAÇÃO DO ESPECTRO SONORO

A Figura 44 mostra a análise simulada do espectro sonoro, em ponderação A e bandas oitava de 100 até 8000 Hz para a sala T-106, utilizando a estrutura cuboide oco, que foi o desenho vetorial que mais se aproximou do NPS experimental, a área verde corresponde

ao nível de conforto, de amarelo a região correspondente ao nível de tolerância e, de vermelho, a área que representa valores acima do nível de tolerância, conforme as curvas de avaliação constantes na norma NBR 10152. Essa parte da simulação não pôde ser comparada com resultados experimentais devido à ausência de equipamentos que fazem análise de espectro sonoro com precisão satisfatória.

Figura 44 - Nível de Pressão Sonora (dB) versus Frequência (Hz), simulados com EASE para a sala T-106. De preto a curva de avaliação NC 45, de cinza a curva de avaliação NC 35, de vermelho os valores simulados para o período vespertino e, de azul os valores simulados para o sábado pela manhã.



Fonte: Próprio Autor.

Na simulação observa-se valores maiores de NPS em bandas de frequência entre 500 e 2000 Hz. Há uma melhor atenuação nas bandas de 2000 até 4000 Hz com relação aos valores simulados para as salas de estudo da biblioteca. A atenuação difere devido aos materiais diferentes nas paredes dos dois ambientes, sendo janelas de vidro para a biblioteca e

alvenaria para a sala de aula. Ou seja, o coeficiente de absorção α é diferente para cada caso simulado. Desse modo, segundo a simulação, as barreiras físicas existentes nos ambientes analisados da sala T-106 possuem boa absorção na faixa de frequência da voz humana, no entanto ruídos como carros transitando e instrumentos musicais podem penetrar com maior facilidade nas barreiras físicas contribuindo de forma significativa para o aumento do NPS no interior da sala T-106. Entretanto, devido à localização da sala de aula estar mais afastada da rua e do complexo de artes, frequências produzidas por fontes como carros e instrumentos musicais não devem contribuir significativamente para o aumento do NPS no local analisado, mesmo estando ao lado do estacionamento, já que o ruído da ordem de 1000 Hz produzido por veículos, que é mencionado por Soares (2014), é gerado pelo atrito dos pneus com o solo e dentro do estacionamento do IFG – Campus Goiânia a velocidade dos veículos é reduzida.

Dos resultados da simulação, observa-se que no período vespertino, somente os ruídos com frequências abaixo de 250 Hz se enquadram dentro dos critérios estabelecidos pela norma NBR 10152, no entanto, para os valores do sábado pela manhã, todas as bandas de frequência se enquadram dentro dos critérios estabelecidos, ou seja, abaixo da curva NC 45, que é o limite de tolerância.

CAPÍTULO 5. SUGESTÕES

Nesse Capítulo são apresentadas sugestões que podem contribuir para reduzir o NPS dentro do IFG – Campus Goiânia, visando uma produção mais sustentável através da melhora da qualidade de vida dentro da instituição.

O IFG foi criado pela Lei Federal nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008 e possui suas atribuições pautadas pelo tripé Ensino, Extensão e Pesquisa (BRASIL, 2008) e é responsável por grande parte da produção técnica e científica do Estado de Goiás. No entanto, a história do IFG data mais de um século, tendo início em 23 de setembro de 1909 com a criação de um conjunto de 19 Escolas de Aprendizes Artífices (uma para cada Estado do País), sendo a do Estado de Goiás instalada na antiga Capital Vila Boa, atual Cidade de Goiás (PACHECO *et al.*, 2009). Em 1942, já tendo Goiânia como nova Capital de Goiás, a Escola de Aprendizes Artífices é transferida passando a se chamar Escola Técnica de Goiânia, ofertando cursos técnicos integrados na área industrial. Em 1959, através da Lei nº 3552/59 tornou-se autarquia federal, sendo denominada em 1965 como Escola Técnica Federal e, por fim, em 1999, foi transformada em Centro Federal de Educação Profissional e Tecnológica de Goiás (CEFET-GO) sendo, por fim, transformada em IFG no final de 2008 (PEREIRA, 2011).

Desse modo, o complexo onde está localizado o IFG – Campus Goiânia é um conjunto de edificações antigas, sendo realizadas alterações ao longo dos anos que pudessem contemplar a nova demanda atribuída pelas mudanças. Sendo assim, como forma de melhorar o desempenho, reduzir e prevenir a poluição sonora são apresentadas as seguintes sugestões:

- a) Reavaliar o projeto arquitetônico da região do pátio interno entre a biblioteca e o teatro, bem como complexo de artes, visando soluções acústicas que possam reduzir de forma eficaz o L_{Aeq} produzido nas imediações da biblioteca;
- b) Reavaliar os projetos arquitetônicos das salas de aulas e laboratórios com foco em conforto acústico;
- c) Realização de campanhas educativas que visem conscientizar para os males causados pela poluição sonora, com a finalidade de conscientizar a comunidade acadêmica sobre os riscos do excesso de ruído produzido, posteriormente podendo ser mensurado os resultados de forma qualitativa e quantitativa através de pesquisas;
- d) Incentivo à criação de grupos de pesquisas multidisciplinares que possam aprofundar as pesquisas que envolvam poluição sonora, não apenas com relação

aos níveis de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), mas também com relação à outros fatores quantitativos relacionados ao som, como análise espectral do som, tempo de reverberação em salas, desenvolvimento de materiais destinados ao conforto acústico, desenvolvimento de equipamentos de medição, dentre outras pesquisas. Podem ser envolvidos Docentes e Discentes do programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, dos cursos de Engenharia Ambiental, Civil, de Controle e Automação, Elétrica e Química, além das Licenciaturas em Física e em Música;

- e) Envolvimento dos cursos da área de Tecnologia da Informação visando aprofundar as pesquisas sobre simulações acústicas visando o controle do NPS, não apenas com EASE, mas também com outros programas como o ANSYS, CADNA (*Control of Accuracy and Debugging for Numerical Applications*), bem como desenvolvimento de algoritmos baseados em redes neurais artificiais e;
- f) Compra de equipamentos que possam ser utilizados no monitoramento ambiental e pesquisas relacionadas ao ruído no IFG – Campus Goiânia, como medidores de nível de pressão sonora, dosímetros de ruído, analisadores de espectro sonoro, fontes sonoras com amplificadores e programas computacionais.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada analisou o nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) em cento e vinte e dois pontos do IFG – Campus Goiânia distribuído entre os turnos matutino (33 pontos), vespertino (33 pontos), noturno (30 pontos) e sábado pela manhã (26 pontos), localizados no perímetro externo, térreo e primeiro pavimento. Optou-se por selecionar os pontos dentro do perímetro interno do Campus onde ocorre maior atividade humana, havendo ligeiras variações quanto a alguns ambientes internos, conforme os turnos.

Os pontos analisados no perímetro externo ao Campus compreenderam as esquinas e zonas mediais das ruas que cercam o complexo do IFG – Campus Goiânia, totalizando oito pontos que foram monitorados em quatro períodos distintos (matutino, vespertino, noturno e sábado pela manhã). Durante o período matutino, os pontos localizados nas esquinas apresentaram L_{Aeq} acima do NCA, permanecendo as zonas mediais das ruas em torno do Campus dentro dos critérios estabelecidos pelas normas em vigor. No período vespertino, os valores de NPS na área externa são maiores, permanecendo um ponto dentro do NCA (ponto V-E2) e outro dentro da margem de erro experimental (V-E5), de modo que todos os demais pontos no perímetro externo apresentaram valores de L_{Aeq} acima dos estabelecidos pela legislação municipal de Goiânia. No período noturno, apenas dois pontos localizados nas esquinas da Rua 79 (N-E3 e N-E5) apresentaram valores de L_{Aeq} acima do NCA, estando os demais pontos em conformidade com as normas em vigor. Possivelmente os valores menores de NPS no período noturno estejam associados ao encerramento das atividades comerciais nas adjacências do Campus, além do menor tráfego de veículos. No sábado pela manhã, os pontos no perímetro externo que apresentaram L_{Aeq} acima do NCA estão localizados na Rua 66 (pontos S-E5, S-E6 e S-E7), indicando que o parque Mutirama, vizinho ao Campus não contribui para que haja poluição sonora no IFG – Campus Goiânia nesse período.

O monitoramento ambiental realizado no período matutino indicou apenas três pontos dentro do NCA (M7A, M8A, e M9A), correspondente ao pátio interno localizado entre o teatro, complexo de artes e biblioteca, no entanto, ao ser acionado o sistema de climatização do teatro, os níveis mudaram, ficando acima dos limites estabelecidos. Dentro do ambiente da biblioteca (pontos M10, M11 e M12) foram identificados níveis de pressão sonora acima dos aceitáveis sendo que, ao ser acionado o sistema de climatização do teatro, houve considerável acréscimo no L_{Aeq} para o ambiente em questão. Todos os demais pontos monitorados no período matutino apresentaram L_{Aeq} acima do NCA e medições realizadas no bloco S-800 demonstraram isolamento acústico ineficiente em sala de aula.

O monitoramento ambiental realizado no período vespertino apresentou quatro pontos em conformidade com as normas vigor (pontos V14, V15, V16 e V25), sendo que, esses pontos se localizam em ambientes externo os quais, neste período, apresentam menor movimentação de pessoas. Os demais pontos monitorados, tanto em ambiente externo como interno apresentaram L_{Aeq} acima do NCA e uma comparação realizada entre as salas onde aconteciam aulas (pontos V3, V18 e V23) mostrou que o NPS é maior nas salas localizadas no bloco 100, que está localizado na entrada do Campus, enquanto a sala de aula localizada internamente no complexo, ou seja, no bloco 800, apresentou L_{Aeq} menor, inferindo que o NPS no IFG – Campus Goiânia, decai à medida que se adentra nas dependências mais internas do complexo no período vespertino.

No período noturno, o monitoramento ambiental apontou apenas três pontos em conformidade com o NCA (pontos N13, N16 e N25), sendo pontos em ambientes externos com baixa movimentação de pessoas no período noturno. Todos os demais pontos apresentaram L_{Aeq} acima dos níveis recomendados pelas normas em vigor e foi possível observar que o NPS é maior nas imediações dos blocos 100, 300 e 400.

Medições foram realizadas também no sábado pela manhã onde foi observado pouca movimentação sendo que, apenas um ponto (S9) permaneceu com L_{Aeq} acima do NCA, tratando-se da área do pátio externo em frente ao complexo de artes que, no momento do monitoramento, apresentou som proveniente de instrumentos musicais. Todos os demais pontos monitorados no sábado pela manhã não apresentaram L_{Aeq} em desconformidade com a legislação municipal de Goiânia. Não foi possível realizar medições durante atividade de docência nesse período, devido ausência de aulas.

De forma geral, todas as salas de aula apresentaram L_{Aeq} acima do recomendado tendo, em alguns casos valores de NPS que classificam o risco de perda auditiva como moderadamente severo com valores que chegam a 76 dB(A) (ponto N2), não havendo distinção entre curso, turno ou faixa etária, de modo que todas as salas de aula do IFG – Campus Goiânia apresentam níveis de poluição sonora em maior ou menor grau.

Foram poucos os pontos monitorados que apresentaram L_{Aeq} em conformidade com a legislação municipal de Goiânia, sendo exceção o monitoramento realizado no sábado pela manhã, o que indica que o principal fator que contribui para que haja poluição sonora dentro do IFG – Campus Goiânia são as atividades humanas realizadas na instituição, sendo assim, as fontes de ruído não são provenientes do perímetro externo ao Campus.

Por fim, simulações realizadas com o EASE se mostraram eficientes para predizer o NPS em ambientes fechados, no caso de possuir apenas os níveis de pressão sonora da área

externa. O uso do programa EASE se mostrou adequado para predizer o nível de ruído gerado pelas atividades laborais em ambientes fechados, com análise do espectro sonoro também podendo ser simulada, estimando as possíveis fontes sonoras que podem causar maior incômodo. Entretanto, pesquisas mais aprofundadas poderão melhorar os resultados que podem ser obtidos com esse tipo de aplicação ainda não explorada com esse programa.

Sugere-se a revisão do projeto arquitetônico das regiões onde o L_{Aeq} está acima do recomendado na Legislação, elaboração de campanhas educativas que visem conscientização dos males provenientes da poluição sonora, a criação de grupos de pesquisa com foco em soluções voltadas ao conforto acústico e compras de softwares e equipamentos para análise de ruído e simulações.

No futuro, o aprofundamento das pesquisas relativas à poluição sonora no IFG – Campus Goiânia, principalmente com relação à outros elementos referentes à qualidade do som como, espectro sonoro e tempo de reverberação, bem como simulações computacionais poderão contribuir de forma à amenizar os níveis de pressão sonora encontrados no momento.

**APÊNDICE A – PLANTAS BAIXAS DO TÉRREO E PRIMEIRO
PAVIMENTO DO IFG – CAMPUS GOIÂNIA, COM OS PONTOS ONDE
FORAM REALIZADAS MEDIÇÕES.**

Nas Figuras deste apêndice, as estrelas amarelas representam os pontos que foram verificados fora dos limites do Campus, os círculos vermelhos correspondem aos pontos em ambientes externos dentro dos limites do Campus e, por fim, os retângulos verdes expressam as medições realizadas em ambientes internos. A descrição dos pontos está disponível nas Tabelas 6, 7, 8 e 9, localizadas no Capítulo 3, Materiais e Métodos.

Figura I - Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (térreo), com os locais onde foram realizadas medições durante o período matutino



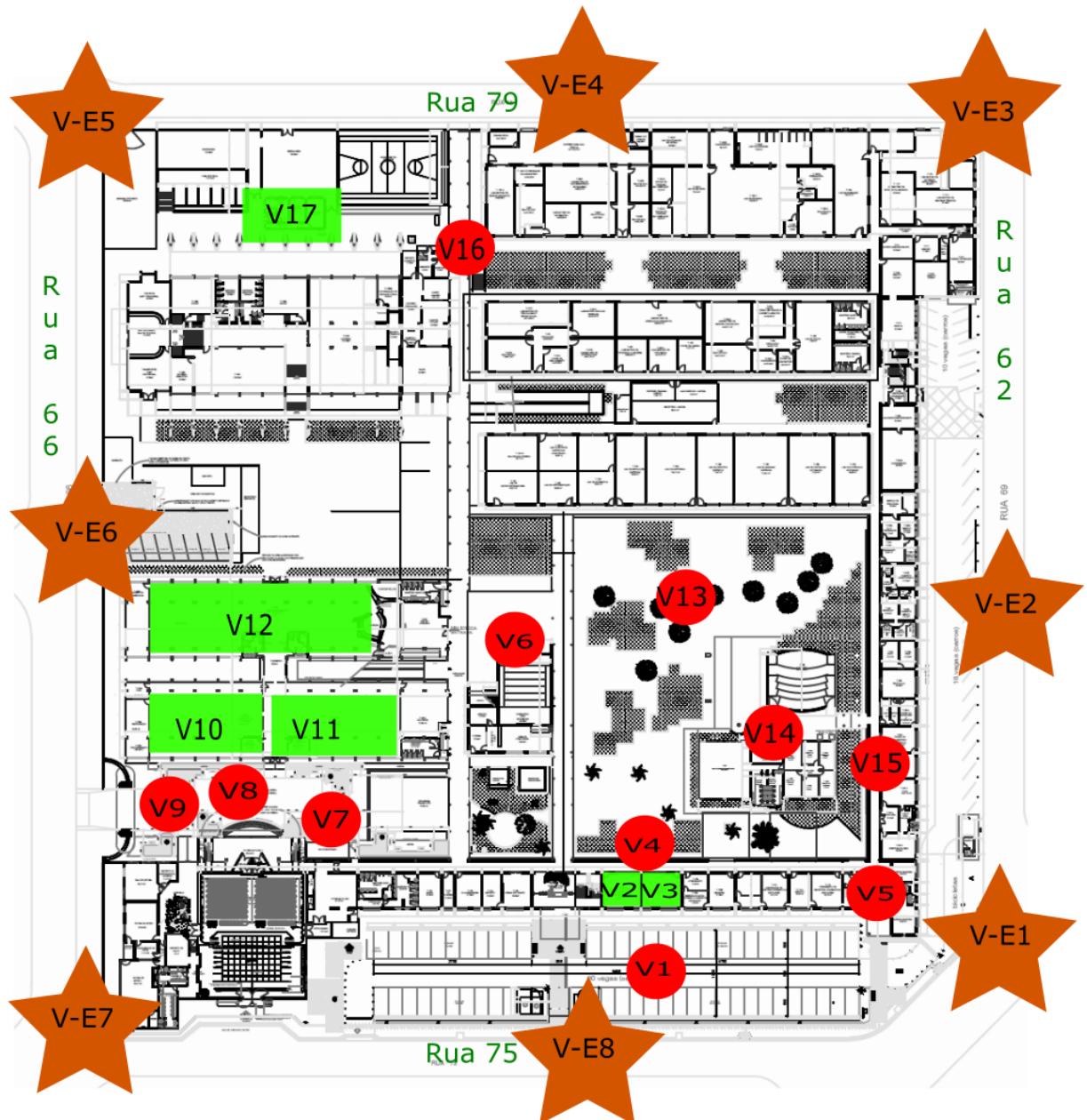
Fonte: Próprio Autor.

Figura II - Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (1º Pavimento), com os locais onde foram realizadas medições durante o período matutino.



Fonte: Próprio Autor.

Figura III - Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (térreo), com os locais onde foram realizadas medições durante o período vespertino



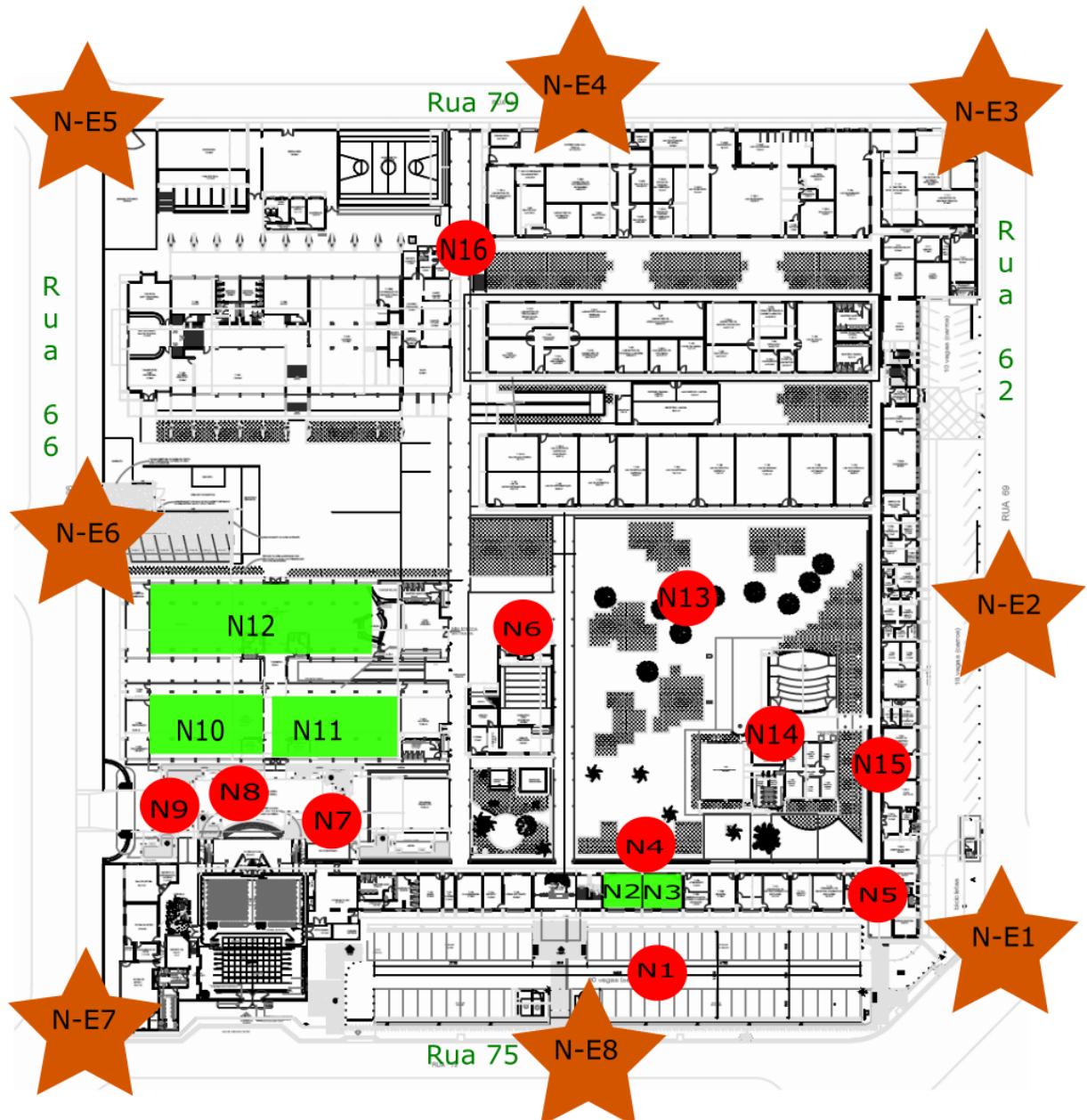
Fonte: Próprio Autor.

Figura IV - Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (1º Pavimento), com os locais onde foram realizadas medições durante o período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

Figura V- Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (térreo), com os locais onde foram realizadas medições durante o período noturno



Fonte: Próprio Autor.

Figura VI - Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (1º Pavimento), com os locais onde foram realizadas medições durante o período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

Figura VII- Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (térreo), com os locais onde foram realizadas medições durante o sábado pela manhã



Fonte: Próprio Autor.

Figura VIII - Planta baixa do IFG - Campus Goiânia (1º Pavimento), com os locais onde foram realizadas medições durante o período vespertino.



Fonte: Próprio Autor.

ANEXO A – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS



Certificado de Calibração

Certificado Nº: 56.866.A-01.15

Página 1 de 2

Dados do Cliente:

Nome: Jhonatha Junio Lopes Costa
Endereço: XXXXXXXXXX
Cidade: Goiânia/GO

Dados do Instrumento Calibrado:

Instrumento: Medidor de nível sonoro digital
Marca: Instrutherm

Modelo: DEC-490
Número de série: 140627276

Procedimento de calibração: PCV-001 Rev. C

Método de Calibração: Medição por comparação com os padrões abaixo relacionados. Realizam-se três medições para cada ponto e calcula-se o desvio padrão.

Padrões de Calibração:

034 – Analisador de Frequência, marca: Cel, modelo: CEL-450, Tipo: 1 número de série: 016881, certificado de calibração número: 50.118, emitido pelo laboratório Chrompack (RBC/INMETRO), com validade até maio de 2015.

037 – Microfone Capacitivo, marca: Casella, modelo: CEL-251, número de série: 2234, certificado de calibração número: 50.119, emitido pelo laboratório Chrompack (RBC/INMETRO), com validade até maio de 2015.

Condições Ambientais:

Temperatura: 22,0°C ±0,2°C
 Umidade Relativa do Ar: 60% ±5%

Notas:

A incerteza expandida de medição é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência “k”, corresponde a um nível de confiança de 95,45%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com o “Guia para Expressão da Incerteza de Medição”, Terceira Edição Brasileira.

Serviços executados no laboratório de calibração da Criffer Comércio Locação e Serviços Ltda. CNPJ: 11.478.982/0001-48, Rua 24 de agosto, 521/203, Centro, Esteio/RS, com padrões de calibração, calibrados em laboratórios acreditados pela Rede Brasileira de Calibração (RBC/INMETRO), em acordo aos requisitos da NBR-17025.

Esse certificado refere-se exclusivamente ao item calibrado, não sendo extensivo a quaisquer lotes.

O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo integrais e sem alterações.

Conforme especificação do fabricante, a recalibração desse instrumento deve ser feita até 01 ano após a data de emissão deste certificado.



Certificado de Calibração

Certificado Nº: 56.866.A-01.15

Página 2 de 2

Resultado da calibração:

Nível sonoro em dB(A)

dB(A)	Valores obtidos nas medições		± Incerteza
	94,0	114,0	
1º Ensaio	94,0	114,0	0,3
2º Ensaio	94,0	114,0	0,3
3º Ensaio	94,0	114,0	0,3
Média	94,0	114,0	0,3
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0

Nível sonoro em dB(C)

dB(C)	Valores obtidos nas medições		± Incerteza
	94,0	114,0	
1º Ensaio	94,0	114,0	0,3
2º Ensaio	94,0	114,0	0,3
3º Ensaio	94,0	114,0	0,3
Média	94,0	114,0	0,3
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0

Data da calibração: 16/01/2015

Data de emissão: 16/01/2015

Técnico Executante
Emerson Oliveira

Responsável Técnico
Felipe Silva



Certificado de Calibração

Certificado Nº: 57.064..A-02.15

Dados do Cliente:

Página 1 de 2

Nome: Criffer Instrumentos de Medição
Endereço: Rua: 24 de Agosto, 521/203 - Centro
Cidade: Esteio/RS

Dados do Instrumento Calibrado:

Instrumento: Calibrador acústico
Marca: Instruherm

Modelo: CAL-4000
Número de série: 12012074

Procedimento de calibração: PCA-006 - Rev. B

Método de Calibração: Medição por comparação com os padrões abaixo relacionados. Realizam-se três medições para cada ponto e calcula-se o desvio padrão.

Rastreabilidade:

062 – Calibrador de nível sonoro, marca: Casella, modelo: CEL-120, número de série: 0721157, certificado de calibração número: A0098/2013, emitido pelo laboratório LABELO (RBC), com validade até abril de 2015.

028 – Multímetro digital, marca: Agilent, modelo: 34401A número de série: 3146A43878, certificado de calibração número: E2020/2014, emitido pelo laboratório LABELO (RBC), com validade até dezembro de 2016.

Condições Ambientais:

Temperatura: 22,0°C ±0,2°C
 Umidade Relativa do Ar: 60% ±5%

Notas:

A incerteza expandida de medição é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência "K", corresponde a um nível de confiança de 95,45%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com o "Guia para Expressão da Incerteza de Medição". Terceira Edição Brasileira.

Serviços executados no laboratório de calibração da Criffer Comércio Locação e Serviços Ltda. CNPJ: 11.478.982/0001-48, Rua 24 de agosto, 521/203, Centro, Esteio/RS, com padrões de calibração, calibrados em laboratórios acreditados pela Rede Brasileira de Calibração (RBC/INMETRO), em acordo aos requisitos da NBR-17025.

Esse certificado refere-se exclusivamente ao item calibrado, não sendo extensivo a quaisquer lotes.

O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo integrais e sem alterações.

Conforme especificação do fabricante, a recalibração desse instrumento deve ser feita até 01 ano após a data de emissão deste certificado.



Certificado de Calibração

Certificado Nº: 57.064..A-02.15

Página 2 de 2

Resultados da calibração:

Nível sonoro em (dB)

dB	Valores obtidos nas medições		± Incerteza
	94,0	114,0	
Ensaio 1	93,9	114,1	0,9
Ensaio 2	93,9	114,0	0,9
Ensaio 3	93,9	114,0	0,9
Média	93,9	114,0	0,9
Desvio padrão	0,0	0,0	0,0

Freqüência em (Hz)

Valor Verdadeiro Convencional	Valor no instrumento em calibração	Erro (%)	± Incerteza (%)
1000	999	0,10	0,06

Data da calibração: 09/02/2015

Data de emissão: 09/02/2015

Assinatura de Emerson Oliveira

Soluções Inteligentes em Instrumentos para Análise
de Riscos Físicos, Químicos, Biológicos e Ergonômicos

Assinatura de Felipe Silva

REFERÊNCIAS

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

_____. **Níveis de ruído para conforto acústico:** NBR 10152:1987. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração:** NBR ISO/IEC 17025, 2005.

BERTOLDO, LEANDRO. **Fenômenos Ondulatórios.** Clube de Autores, 112 p., 2013.

BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.D. **Gestão Ambiental.** In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

BRASIL, **Lei 11.892 de 29 de dezembro de 2008 - Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências.** Brasília, 2008.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-15 – Atividades e Operações Insalubres.** Segurança e Medicina do Trabalho - Manual de Legislação Atlas. 63ª. Edição, 2009.

BLUHM, G; NORDLING, E; BERGLUND, N. **Road traffic noise and annoyance-an increasing environmental health problem.** Noise & Health, V. 6, p. 49-49, 2004.

COHEN, S. WEINSTEIN, N. **Nonauditory effects of noise on behavior and health.** Journal of Social Issues. V. 37, nº 1, p. 36-70, 1981.

CONCHA-BARRIENTOS, M.; CAMPBELL-LENDRUM, D; STEENLAND, K. **Occupational noise: assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels.** Geneva, World Health Organization, 2004.

DE CAMARGO.; T. F. BARBOSA, D. A.; TELES, L. C. S. **Características da fonotografia em coristas de diferentes classificações vocais.** Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia. V. 12, nº1, p. 10-17, 2007.

DE OLIVEIRA; Jarbas, Rodrigues; **Biofísica: para ciências biomédicas.** 4ª Edição, Edipucrs, Porto Alegre, 299 p., 2014.

DORIA, M. M.; MARINHO, F. DA C.; **Ondas & Bits.** Editora Livraria da Física, São Paulo, 127 p, 2006.

FLETCHER, G.; MUNSON, W. A. **Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation.** The Bell System Technical Journal. V. 12, nº 4, p. 377-410, 1933.

GOIÂNIA. Instrução Normativa nº 26 de 18 de agosto de 2008 – AMMA. Estabelece parâmetros que visam a organização e a execução dos serviços relacionados a ação da Fiscalização Ambiental no cumprimento da Leis Complementar nº 132/2004. Diário Oficial do Município, nº 4437, Goiânia, p. 4, 2008a.

_____. **Lei nº 8617, de 09 de janeiro de 2008.** Dispõe sobre a regulamentação do controle das atividades não residenciais e dos parâmetros urbanísticos estabelecidos para a Macrozona Construída, conforme art. 72 da Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007 – Plano Diretor de Goiânia e dá outras providências. Diário Oficial do Município, nº 4286, Goiânia, 2008b.

GOINES, L. HAGLER, L. **Noise pollution: a modern plague.** Southern Medical Journal, V.100, nº 3, p. 287-294, 2007.

HUBER, D. M.; RUISTEIN, R. E. **Técnicas Modernas de Gravação de Áudio.** Taylor & Francis, 672 p. 2011.

HÜMMELGEN, I. A. **O Clarinete – Uma introdução à análise Física do instrumento.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física. V. 13, nº 2, p. 139-153, 1996.

ISING, H. KRUPPA, B. **Health effects caused by noise: Evidence in the literature from the past 25 years.** Noise & Health. V.6, nº 22, p. 5-13, 2004.

ISO International Organization for Standardization. **ISO 226: Acoustics — Normal equal – loudness - level contours.**, 2003.

INTERNATIONAL ELETROTECHINCAL COMISSION. **IEC 61672-1: Electroacoustics – sound level meters – Part 1: Specifications**, 2002.

KINSLER, L.; FREY, A.; COPPENS, A.; SANDERS, J. **Fundamental of Acoustics.** USA, John Wiley & Sons, Inc., 4^a edição, 2000.

KUTRUFF, H. **Acoustics: As introduction.** New York, USA: Taylor & Francis, 2007.

LACERDA, A. B. M. MAGNI, C. MORATA, T. C. MARQUES, J. M. ZANNIN, P. H. T. **Ambiente urbano e percepção da poluição sonora.** Ambiente & Sociedade. V. 8, nº 2, p. 1-13, 2005.

LINDOS ELETRÔNICS. **A-weighting in detail.** Disponível em: <http://www.lindos.co.uk/test_and_measurement/SOURCE=Articles/SOURCE=Articles%7CVIEW=full%7Cid=2> Acesso em 01 de fevereiro de 2015.

LUCHESI, K. F.; MOURÃO, L. F.; KITAMURA, S.; NAKAMURA, H. Y. **Problemas Vocais no Trabalho: prevenção na prática docente sob a óptica do professor.** Saúde e Sociedade, V. 18, nº 4, 2009.

MÖSER, Michael. Trad. Stefan Zimmenrman and Rebecca Ellis. **Engineering Acoustics: An Introduction to Noise Control.** 2^a Ed. Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 2009.

PACHECO, E. M; PEREIRA, L. A. C. SOBRINHO, M. D. **Educação profissional e tecnológica: das Escolas de Aprendizes Artífices aos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia.** T&C Amazônia, Ano VII, nº 16, p. 2-7, 2009.

PASSCHIER-VERMEER, W. PASSCHIER, W. F. **Noise exposure and public health.** Environmental Health Perspectives. V. 108, nº 1, p. 123-131, 2000.

PAZ, E. C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego.** 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, 417 p.

PEREIRA, R. P; TOLEDO, R. N; DO AMARAL, J. L. G; GUILHERME, A. **Qualificação e quantificação da exposição sonora ambiental em uma unidade de terapia intensiva geral.** Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, V.69, nº 6, p. 766-771, 2003.

PEREIRA, R. N. **Caracterização Acústica de Salas.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física e Tecnológica). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 107 p.

PEREIRA, J. V. **O PROEJA no Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia: Um estudo sobre os fatores de acesso e permanência na escola.** 2011. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade de Brasília, Brasília, 154 p.

PINTO, A. X. G. F. R. **Programa de cálculo automático para implementação das normas EM 12354 na verificação do RGR em edifícios.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 102 p.

SOARES, P.; RIBEIRO, R.; DOS SANTOS, G.; CONSTANTINI, A.; ZANNIN, P. H. T. **Análise espectral do ruído no entorno do Campus Politécnico da Universidade Federal do Paraná.** RA'E GA: O Espaço Geográfico em Análise. V. 32, p. 73-94, 2014.

SINGAL, S. P. **Noise pollution and control strategy.** Alpha Science International Ltd., New Delhi, India, 2005.

TAMANINI, C. A. M. **Reconstrução acústica das salas de cinema projetadas pelo arquiteto Rino Levi.** 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Paulo, 152 p.

TRIPATHY, Debi Prasad. **Noise Pollution.** APH Publishing Corporation, New Delhi, India, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Résumé D'orientation Des Directives De l'oms Relatives Au Bruit Dans l'environnement,** 2003.