

**Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística**

Centro de Estatística Aplicada

Relatório de Análise Estatística

RAE-CEA-24P09

RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE O PROJETO:

“Influência do ambiente construído nos níveis sonoros e percepção de conforto acústico nos espaços públicos na cidade de São Paulo”

**Izadora de Geus Monteiro Gomes
Nara Gabriela de Mesquita Peixoto
Leonardo Marques Monteiro
Rafael Bassi Stern**

São Paulo, junho de 2024

CENTRO DE ESTATÍSTICA APLICADA - CEA – USP

TÍTULO: Relatório de Análise Estatística sobre o Projeto: “Influência do ambiente construído nos níveis sonoros e percepção de conforto acústico nos espaços públicos na cidade de São Paulo”.

PESQUISADOR(A): Nara Gabriela de Mesquita Peixoto

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro

INSTITUIÇÃO: Universidade de São Paulo

FINALIDADE DO PROJETO: Doutorado

RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE: Izadora de Geus Monteiro Gomes
Rafael Bassi Stern

REFERÊNCIA DESTE TRABALHO: GOMES, I.G.M; STERN, R.B. **Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Influência do ambiente construído nos níveis sonoros e percepção de conforto acústico nos espaços públicos na cidade de São Paulo”**. São Paulo, IME-USP, 2024. (RAE–CEA-24P09)

FICHA TÉCNICA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A. (2024). **Estatística Básica**. 10.ed. São Paulo: Editora Saraiva.

GUSKI, R.; SCHRECKENBERG, D.; SCHUEMER, R. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. **International journal of environmental research and public health**, **14**, 1539.

KALANSURIYA, C.M.; PANNILA, A.S.; SONNADARA, D.U.J. (2009). Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels. **Proceedings of the Technical Sessions**, **25**, 1-6.

OW, L.F.; GHOSH, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. **Applied Acoustics**, **120**, 15-20.

SHINZATO, P ; DUARTE, D.H.S. (2015). Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, **18**, 197-215.

VAN KEMPEN, E.; CASAS, M.; PERSHAGEN, G.; FORASTER, M. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European region: a systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: a summary. **International journal of environmental research and public health**, **15**, 379.

USP DIGITAL. **Distribuição da população da USP por gênero e por Unidade, em 2023**. Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/anuario/br/tabelas/PDF/2023/T02_16.pdf> Acesso em: 26 de abril de 2024

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (2018). **Environmental noise guidelines for the European Region: executive summary**. Disponível em: <<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/343936/WHO-EURO-2018-3287-43046-60243-eng.pdf?sequence=2>> Acesso em: 30 de abril de 2024.

PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS:

Microsoft Word for Windows (versão 2023)

Rstudio for Windows (versão 2024.04.0+735)

TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS

Análise Descritiva Unidimensional (03:010)

Análise Descritiva Multidimensional (03:020)

Regressão Logística (07:090)

ÁREA DE APLICAÇÃO

Ciências do Ambiente e Ecologia (14:060)

Psicometria (14:090)

Resumo

Pesquisas apontam que o ruído ambiental está estreitamente ligado à redução do bem-estar e da saúde da população mundial (WHO, 2018). Apesar disso, há evidências de que certos fatores, físicos ou psicológicos, podem suavizar o incômodo causado pelo ruído urbano (Kalansuriya et al., 2009; Ow & Ghosh, 2017). Portanto, o estudo explorado no presente relatório busca relacionar a sensação de conforto acústico aos aspectos objetivos e subjetivos percebidos em ambientes externos na cidade de São Paulo. Para isso, foram construídos modelos regressão logística fundamentados sobre princípios de inferência causal. Conclui-se que os aspectos psicológicos em geral e o nível sonoro contínuo equivalente causam impacto significativo sobre o conforto acústico, sendo o nível sonoro a variável mais influente.

Sumário

1. Introdução	7
2. Objetivo	8
3. Descrição do estudo	8
4. Descrição das variáveis	9
5. Análise descritiva	10
6. Análise inferencial	14
7. Conclusões	278
APÊNDICE A	20
APÊNDICE B	24

1. Introdução

O ruído ambiental, considerado o conjunto de sons indesejados, é um grave problema ao bem-estar e à saúde da população mundial (WHO, 2018). Partindo dessa premissa, a autora do projeto, cujos dados são o tema deste relatório, elaborou um questionário visando avaliar a sensação de conforto sonoro em ambientes públicos externos de São Paulo.

O trabalho teve como objetivo avaliar aspectos ambientais e as percepções pessoais que influenciaram a sensação de conforto acústico dos entrevistados. O universo dos indivíduos participantes, fonte de coleta de dados válidos ao trabalho, foi composto por alunos da disciplina de Termoacústica da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP).

Segundo dados do projeto, a exposição ao ruído urbano promove danos à saúde humana, desde deficiência auditiva e irritabilidade (Guski, 2017) até problemas cardiovasculares (Van Kempen et al., 2018). Além de danos à saúde, o ruído ambiental afeta o desempenho cotidiano em seu todo. Entretanto, existem fatores que podem mitigar o incômodo sonoro percebido. Ow e Ghosh (2017) afirmam que sons naturais reduzem esse incômodo, pois mascaram os ruídos do tráfego rodoviário. Os mesmos autores informam, porém, que os benefícios do uso da vegetação estão no campo psicológico, pois a sensação de conforto acústico depende mais de um fator visual do que acústico. Dessa forma, entende-se que a presença de vegetação, não sendo um fator absoluto de redução de ruídos (Kalansuriya et al., 2009), tem o potencial de provocar a “camuflagem” de determinados barulhos. Por sua vez, Shinzato e Duarte (2015) apontam a influência das plantas sobre a temperatura, atribuindo a ela um conforto térmico no ambiente com uma percepção de conforto acústico associada.

Dessa forma, o projeto busca entender a relação entre efeitos físicos e psicológicos advindos do mascaramento de ruídos mecânicos devido à presença de outros fatores em espaços públicos abertos.

2. Objetivos

O objetivo geral do estudo é estabelecer a relação entre a sensação de conforto sonoro e os demais elementos objetivos e subjetivos presentes em determinados espaços públicos de São Paulo. Ou seja, o projeto pretende relacionar a influência de fatores ambientais e as percepções pessoais acerca deles sobre a avaliação do conforto acústico em locais abertos.

De maneira mais específica, o estudo visa compreender a relação entre o nível sonoro contínuo equivalente (L_{aeq}) e o conforto acústico de um espaço aberto. Além disso, pretende quantificar a importância de cada variável, tanto objetiva quanto subjetiva, na definição de conforto acústico.

3. Descrição do estudo

O estudo foi realizado em dezembro de 2023, com alunos da disciplina de Termoacústica da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP). Os estudantes participantes eram voluntários, majoritariamente indivíduos de 20 a 23 anos, do sexo feminino e se submeteram a um experimento constituído de duas etapas.

A primeira etapa ocorreu no dia 04 de dezembro. Nela, os estudantes visitaram 4 espaços abertos da Cidade Universitária, em horário de aula, no período vespertino (entre 16h e 18h), e foram solicitados a preencher um formulário com perguntas pessoais, bem como questões objetivas e subjetivas. Esses quatro pontos, escolhidos pelos pesquisadores, foram:

- 1- A fachada dianteira da FAU;
- 2- A fachada traseira da FAU;
- 3- Os arredores do restaurante universitário do Instituto de Física;
- 4- O parque Esporte para Todos.

Na segunda etapa, os mesmos alunos, agora já devidamente treinados para o cumprimento da tarefa, deveriam escolher um local aberto, necessariamente fora da universidade, e responder ao mesmo formulário de perguntas.

Na primeira etapa, entre 163 e 168 alunos participaram. Foram recebidas 663 respostas: 167 para o ponto 1, 168 para o ponto 2, 165 para o ponto 3 e 163 para o ponto 4. Na segunda etapa, houve apenas 153 dados coletados.

4. Descrição das variáveis

Variáveis pessoais:

- Idade (anos);
- Gênero: masculino, feminino, não-binário, prefiro não responder.

Variáveis de ambiente:

As variáveis de ambiente, com exceção da Laeq (nível sonoro contínuo equivalente), foram medidas via satélite.

- Ndvi (adimensional): índice de vegetação, variação de -1 a 1, contínua;
- Ndbi (adimensional): índice de urbanização, variação de -1 a 1, contínua;
- Laeq (dB): nível sonoro do local, medido por aplicativo durante 1 minuto;
- Tsup (°C): temperatura de superfície.

Variáveis subjetivas:

Como o estudo tem por escopo determinar o conforto do padrão sonoro percebido, as variáveis categóricas a seguir sofreram alguns ajustes para que a análise estatística fosse simplificada, sem perda de informações relevantes. Portanto, certos níveis dessas variáveis foram agrupados.

- Sensação térmica:
 - Anterior: muito frio, frio, neutro, quente, muito quente;
 - Posterior: frio, neutro, quente (muito frio e frio agrupados, quente e muito quente agrupados).
- Conforto térmico:
 - Anterior: desconfortável, neutro, confortável;
 - Posterior: não confortável, confortável (desconfortável e neutro agrupados).
- Intensidade sonora:
 - Anterior: muito baixa, baixa, neutra, alta, muito alta;

- Posterior: baixa, neutra, alta (muito baixa e baixa agrupadas, alta e muito alta agrupadas).
- Conforto acústico:
 - Anterior: desconfortável, neutro, confortável;
 - Posterior: não confortável, confortável (desconfortável e neutro agrupados).
- Som máquinas (adimensional): nível de sons tecnológicos ao redor, variação de 0 a 100, discreta;
- Som humano (adimensional): nível de sons humanos ao redor, variação de 0 a 100, discreta;
- Som natural (adimensional): nível de sons naturais ao redor, variação de 0 a 100, discreta;
- Agradabilidade (adimensional): nível de agradabilidade (desagradável/agradável) do ambiente, variação de 0 a 100, discreta;
- Movimentação (adimensional): nível de movimentação (parado/movimentado) do ambiente, variação de 0 a 100, discreta;
- Ânimo (adimensional): nível de ânimo (monótono/animado) do ambiente, variação de 0 a 100, discreta;
- Caos (adimensional): nível de caos (calmo/caótico) do ambiente, variação de 0 a 100, discreta.

5. Análise descritiva

Nesta seção, é apresentada a análise descritiva dos dados de ambas as etapas, o que permite ter uma visão inicial dos resultados do estudo (Bussab e Morettin, 2024).

Na Figura B.1, verifica-se a distribuição da idade dos participantes do experimento. A média é de pouco mais de 21 anos, como se percebe pela linha tracejada. Cerca de 60% dos voluntários têm entre 20 e 21 anos, sendo a idade mínima 19 anos, e a máxima 34 anos. A partir da Figura B.2, é possível examinar a distribuição do gênero dos estudantes. Aproximadamente 57% são do gênero feminino e 39% do gênero masculino.

As variáveis de ambiente para a primeira etapa, de modo geral, são fixas para cada ponto, com exceção do nível sonoro (Laeq), medido por cada aluno, no momento

em que estava no local. As variáveis Ndvi, Ndbi e Tsup são medidas por satélites. O índice de vegetação, quanto mais próximo de 1, indica maior densidade de vegetação e, quanto mais perto de -1, indica corpos d'água ou superfícies artificiais. Valores próximos a zero indicam vegetação escassa. Em contrapartida, o índice de urbanização aponta áreas densamente construídas para valores perto de 1, e regiões naturais ou não urbanizadas para resultados próximos a -1. Valores ao redor de zero indicam pouca predominância tanto de urbanização, quanto de vegetação.

A Figura B.3 apresenta os níveis de vegetação e de urbanização para cada ponto escolhido da etapa 1. Percebe-se que, quanto maior o índice de vegetação, menor o índice de urbanização. Além disso, vale ressaltar que, para esses 4 pontos, nenhum valor da variável Ndbi ultrapassa zero, enquanto Ndvi é pelo menos 0,5. O ponto 3 apresenta o índice de urbanização mais próximo de zero, com baixa predominância de vegetação, e menor ainda de área construída, enquanto o ponto 4 apresenta o índice mais alto de vegetação (0,75). Na Figura B.4, percebe-se que o ponto 2 teve a maior temperatura de superfície (42°C), e o ponto 4, com 39,5°C, revelou a menor temperatura. Esse resultado vai de acordo com a ideia de que a presença de vegetação tende a diminuir a temperatura do ambiente (Shinzato e Duarte, 2015).

Os gráficos na Figura B.5 expõem as distribuições dos níveis sonoros (Figura B.5-a) e dos níveis de percepção de diferentes tipos de sons (Figura B.5-b, c e d). No gráfico "a", percebe-se que, de modo geral, o nível sonoro do ponto 1 é maior (pouco mais de 60 dB), diminuindo a cada ponto, até chegar ao ponto 4 (com mediana igual a 50 dB). O gráfico "b" indica que o ponto 2 (localizado ao lado de uma via habitualmente movimentada) possui níveis mais elevados de sons de máquinas, ao passo que os demais pontos mantêm níveis mais baixos, com variações maiores no ponto 3. Os níveis de som humano (Figura B.5-c) foram altos no ponto 1 – perto de 75 unidades de medida (u.m.), de modo geral – e relativamente baixos nos demais pontos (majoritariamente abaixo de 50 u.m.), apesar da variação acentuada de respostas. Os resultados encontrados para sons naturais foram quase contrários aos observados para sons humanos, com valores baixos no ponto 1, aumentando gradativamente.

Na Figura B.6, são apresentadas as percepções acerca do ambiente externo como um todo. O ponto 1 mostra-se menos agradável do que os demais, além de ser mais

movimentado, animado e caótico, com alta variação de respostas para as quatro variáveis. As respostas do ponto 2 apresentam características similares às do ponto 1, apesar de menos variadas. Os pontos 3 e 4 são altamente agradáveis e pouco movimentados, além de mais monótonos e tranquilos.

A Figura B.7-a indica que a sensação térmica nos pontos 2, 3 e 4 é considerada neutra por cerca de 70% dos alunos. Em contrapartida, mais de 80% das respostas classificam o ponto 1 com quente. Isso vai de acordo com o que é percebido na Figura B.7-c, em que mais de 50% dos alunos se sentiam termicamente confortáveis nos pontos 2, 3 e 4, enquanto o ponto 1 foi considerado não confortável em 90% das respostas. Finalmente, corroborando com os resultados encontrados a partir das outras variáveis, a Figura B.7-d sugere que os pontos 1 e 2 são considerados acusticamente não confortáveis mais frequentemente – 77% e 59% das respostas, respectivamente – do que os pontos 3 e 4 – 8% e 17%. Esses resultados parecem estar relacionados à percepção de intensidade sonora em cada ponto, como a Figura B.7-b evidencia: para os pontos 1 e 2, a intensidade sonora tende a ser mais percebida como alta, enquanto a maioria das observações dos pontos 3 e 4 consideram a intensidade baixa. Nas Figuras B.8 e B.9, as mesmas variáveis das Figuras B.5 e B.6 são apresentadas novamente, agora divididas entre as categorias confortável e não confortável tanto acústico quanto térmico. Cada ponto colorido expressa a média dessas variáveis para cada categoria. É possível perceber que, em todos os casos, as características consideradas mais negativas são agravadas nas categorias “NCa” (não confortável – conforto acústico) e “NCt” (não confortável - conforto térmico) e as características mais positivas são acentuadas nas categorias “Ca” (conforto acústico) e “Ct” (conforto térmico).

Para a variável L_{aeq} , o ponto 4 tem um nível sonoro médio de aproximadamente 10dB a menos do que o ponto 1, em todas as categorias. Ademais, vale ressaltar que, geralmente, as diferenças entre os pontos 1 e 4 quanto aos níveis médios de percepção de cada variável subjetiva variam de 20 a 40 u.m., com exceção da variável Som máquinas. Nesta variável, os pontos 1 e 4 são bastante similares.

Um resultado interessante também pode ser percebido ao comparar os pontos 1 e 2, cujos níveis sonoros são muito parecidos em todos os casos, sendo um pouco mais distantes nas categorias não confortável. Apesar da pequena diferença de nível sonoro,

o ponto 1 ainda é consideravelmente menos agradável – principalmente nas categorias “Ca” e “Ct”. É possível que essa disparidade tenha ocorrido pela natureza dos sons mais do que por sua intensidade. O ponto 2, mesmo com nível muito maior de sons de máquinas, apresenta, do mesmo modo, alto nível de sons naturais (perto de 80 u.m. e pouco mais de 60 u.m., respectivamente). Já o ponto 1 possui níveis muito baixos de sons naturais (menos de 20 u.m.), acompanhado de sons humanos e tecnológicos moderados. Esses resultados combinados reforçam os estudos que indicam um possível “mascaramento” de ruídos devido à presença de vegetação e sons da natureza no ambiente em detrimento de sua diminuição absoluta (Ow e Ghosh, 2017).

Outra característica a ser evidenciada nos resultados das Figuras B.8 e B.9 é o nível médio das características para pontos muito diferentes. Por exemplo, mesmo para a categoria não confortável do conforto acústico no ponto 4, os seus atributos negativos são menores do que para a categoria confortável no ponto 1. O contrário ocorre para atributos considerados positivos. Finalmente, a variável nível sonoro segue o mesmo padrão, com média consideravelmente mais alta para a categoria confortável do conforto acústico no ponto 1 em comparação com a categoria não confortável no ponto 4.

Com relação à etapa 2, os resultados são descritos nas Figuras B.10 a B.16. Nas Figura B.10 e B.11, é visível que os índices de urbanização em geral são mais elevados do que dentro da Cidade Universitária (Figura B.3), além de o índice de vegetação ser mais baixo e a temperatura de superfície também ser maior nesses pontos (por volta de 45°C). Isso indica, mais uma vez, que regiões com maior densidade urbana e menos vegetação tendem a ser mais quentes.

De acordo com a Figura B.12-a, entende-se que o nível sonoro mediano na etapa 2 é de aproximadamente 56dB, com variação mais concentrada entre pouco mais de 50dB e pouco menos de 75 dB. Os demais gráficos dessa figura indicam que o nível de sons tecnológicos é relativamente alto – de 50 a 80 u.m., os sons humanos são medianos e os sons naturais são mais baixos, com mediana de 25 u.m. e variando entre 20u.m. e 50u.m.

A Figura B.13 representa as percepções das características gerais de ambiente. Nas quatro características há uma disparidade alta de respostas, mas percebe-se que os resultados tendem a estar acima de 50 u.m., exceto para a variável Ânimo. Além disso,

a Figura B.14 aponta que as repostas foram mais bem distribuídas entre conforto e não conforto, tanto térmico quanto acústico, com mais escolhas para o não conforto. A Figura B.14-a indica que a sensação térmica foi considerada neutra em cerca de 43%, e a Figura B.14-c mostra que 45% dos alunos se consideraram termicamente confortáveis. Já na Figura B.14-b, 74% dos alunos perceberam alta intensidade sonora, embora apenas 56% tenham se sentido acusticamente não confortáveis (Figura B.14-d).

Finalmente, as Figuras B.15 e B.16 apresentam um comportamento similar ao encontrado para a primeira etapa, em que atributos negativos tendem a se agravar para a categoria não confortável e os atributos positivos se intensificam para a categoria confortável, tanto de conforto acústico quanto de conforto térmico.

Portanto, os resultados obtidos a partir da análise descritiva seguem um padrão já esperado. Por outro lado, há a possibilidade de haver uma confusão entre conforto térmico e conforto acústico, visto que o tipo de conforto não afetou consideravelmente as percepções dos participantes.

6. Análise inferencial

Inicialmente, os dados das etapas 1 e 2 seriam utilizados conjuntamente. Porém, devido ao fato das variáveis N_{dvi}, N_{dbi} e T_{sup} apresentarem os mesmos valores para todos os participantes em cada ponto, optou-se por eliminar essas três variáveis na análise da primeira etapa.

Nas duas etapas, o objetivo era analisar o efeito causal de certas variáveis em relação à variável conforto acústico. Para isso, foi necessário montar um modelo causal gráfico, escolhendo-se o grafo acíclico dirigido. Esse tipo de modelo causal gráfico apresenta suposições que deveriam ser satisfeitas. São elas:

- Aciclicidade: o fluxo de causalidade é direto, sem possuir ciclos;
- Causalidade direcionada: especifica a direção da relação causal – qual variável é a causa e qual é a consequência;
- Monotonicidade: se há relação de causa e efeito entre duas variáveis, uma causa apenas efeito positivo ou apenas efeito negativo na outra;
- Consistência: a relação de causalidade deve estar de acordo com a literatura e com experiências empíricas.

Além disso, também foi criada a suposição de que variáveis subjetivas não possuem poder de causa sobre variáveis objetivas. A Figura B.17 apresenta o grafo acíclico dirigido que foi construído a partir de um modelo disponibilizado pela pesquisadora. Nele, percebe-se a relação de causalidade empregada para analisar o efeito das variáveis sobre a percepção de conforto acústico. Cada variável é chamada de “nó” e cada seta é denominada “arco”.

Por meio do Critério Backdoor, que pretende identificar o efeito de uma variável sobre outra, é possível encontrar um conjunto de nós que bloqueiem coletivamente todos os caminhos de fuga de correlação entre as duas variáveis em questão. Esse conjunto de nós é formado apenas por nós causadores (diretos ou indiretos) da variável cujo efeito procura-se quantificar. No software R, o grafo foi reproduzido com o pacote *dagitty* e, com a função *adjustmentSets*, foi possível encontrar os possíveis conjuntos de nós bloqueadores para cada variável independente.

Considerando que a variável dependente conforto acústico é binária e assume os valores 1, quando a resposta é “confortável” e 0 quando é “não confortável”, optou-se por utilizar um modelo de regressão logística. Neste modelo, as principais suposições que devem ser satisfeitas são: linearidade da função $logito = \ln \frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}$, que representa o logaritmo natural da chance de uma variável binária ter valor x , e ausência de colinearidade entre variáveis explicativas.

Como os efeitos de maior interesse são do nível sonoro Laeq e do nível de vegetação Ndvi sobre a percepção de conforto acústico, as primeiras análises foram realizadas com os dados da etapa 2.

De acordo com o grafo construído, essas duas variáveis não possuem nós anteriores. Portanto, o modelo que quantifica o efeito do nível sonoro sobre o conforto acústico é composto apenas pela variável Laeq, enquanto o modelo que analisa o efeito do nível de vegetação é formado apenas por Ndvi. As equações utilizadas foram:

$$logito(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta Laeq \quad (1)$$

$$logito(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta Ndvi \quad (2)$$

As Tabelas A.1 e A.2 apresentam os resultados da regressão logística para Laeq e Ndvi, respectivamente. Nelas, também é possível verificar o valor da razão de chances

(OR = $e^{\beta\Delta X} = e^{\beta}$), que indica a relação entre a variável de interesse e a variável explicativa.

Na Tabela A.1, encontramos OR = 0,876. Esse valor indica que, a cada aumento de 1 unidade de Laeq (1dB), temos uma diminuição de cerca de 12,4% $(1-OR)\times 100$ na chance de a resposta ser “confortável”. O teste de Wald aponta que Laeq é uma variável significativa. Portanto, conclui-se que o nível sonoro apresenta um efeito causal relevante sobre a percepção de conforto acústico.

Já na Tabela A.2, temos OR = 9,775, o que deve ser interpretado como um aumento de 877% na chance de a resposta ser “confortável” a cada aumento de 1 unidade da variável Ndvi. Porém, como Ndvi varia de -1 a 1, uma interpretação mais precisa do coeficiente encontrado seria OR = $e^{\beta\Delta X} = e^{0,1\beta} = 1,256$, ou seja, a cada aumento de 0,1 de Ndvi, há um aumento de aproximadamente 25,6% na chance conforto. Apesar desse resultado, o valor-p e o teste de Wald indicam que não há evidências suficientes para afirmar que o nível de vegetação é uma variável significativa no modelo. Em outras palavras, não é possível concluir que o efeito de Ndvi sobre a percepção de conforto é diferente de zero. Foram construídas equações similares a (1) e (2) para as variáveis Ndbi e Tsup, mas estas variáveis também não foram consideradas como significantes.

Em seguida, ainda com dados da etapa 2, foram analisados os efeitos de outras variáveis que poderiam apresentar informações relevantes a respeito da percepção de conforto acústico. Com o objetivo de captar alguma influência da vegetação sobre o conforto acústico, a variável som natural foi analisada. Pelo Critério Backdoor, foi utilizado o seguinte modelo:

$$\text{logito}(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta_1 \text{som natural} + \beta_2 \text{Ndvi} \quad (3)$$

A Tabela A.3 apresenta os valores dos coeficientes ajustados para a Equação (3). O teste de Wald e o valor-p apresentam evidências de que a variável som natural possui efeito não nulo sobre o conforto acústico. O resultado de OR aponta que o aumento em uma unidade de percepção de som natural causa uma elevação na chance da resposta “confortável” em cerca de 3%.

Outra variável estudada foi conforto térmico, de acordo com a equação abaixo:

$$\text{logito}(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta_1 \text{conforto térmico} + \beta_2 \text{sensação térmica} + \beta_3 \text{Ndvi} \quad (4)$$

A partir da Tabela A.4, percebe-se que a variável conforto térmico apresenta um efeito não nulo sobre conforto acústico. A interpretação de OR evidencia que, se a resposta de conforto térmico for “confortável”, a chance de a resposta também ser “confortável” para conforto acústico aumenta cerca de 2,37 vezes.

Na análise das variáveis som máquinas, ânimo, caos e movimentação, as equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{logito}(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta_1 \text{som máquinas} + \beta_2 \text{Ndbi} \quad (5)$$

$$\text{logito}(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta_1 \text{ânimo} \quad (6)$$

$$\text{logito}(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta_1 \text{caos} + \beta_2 \text{som humano} + \beta_3 \text{som máquinas} \quad (7)$$

$$\text{logito}(\text{conforto acústico}) = \alpha + \beta_1 \text{movimentação} + \beta_2 \text{som natural} + \beta_3 \text{som humano} + \beta_4 \text{som máquinas} \quad (8)$$

As Tabelas A.5, A.6, A.7 e A.8 apresentam seus resultados, respectivamente. As quatro variáveis são significativas para os modelos ajustados, de acordo com o teste de Wald e os valores-p encontrados. O aumento de 1 unidade de cada uma dessas variáveis causa uma diminuição na chance de a resposta de conforto acústico ser “confortável”: 5% para som máquinas, 3,7% para ânimo, 4,5% para caos e 4% para movimentação.

Para os dados da etapa 1, equações similares foram utilizadas, com a diferença de que as variáveis Ndvi, Ndbi e Tsup foram removidas. Para cada ponto, os coeficientes de cada variável estudada estão dispostos nas Tabelas A.9 até A.15. Esses coeficientes foram juntados em uma só tabela para cada variável com o objetivo de facilitar a comparação de resultados. De maneira geral, o sentido dos efeitos dessas variáveis em cada ponto vai de acordo com o que foi percebido na análise da etapa 2.

De acordo com a Tabela A.9, a variável Laeq causa um impacto negativo sobre a percepção de conforto acústico em todos os pontos. Porém, além de os valores desses coeficientes serem bastante diferentes entre si, essa variável apresenta significância estatística apenas para os pontos 1 e 3. Apesar disso, a interpretação dos coeficientes desses pontos é muito semelhante à da etapa 2 realizada anteriormente.

A Tabela A.10 indica os resultados sobre a relação entre conforto acústico e conforto térmico. A partir dela, percebe-se que o efeito de conforto térmico é estatisticamente significativo apenas para o ponto 1, apontando que, se a resposta para conforto térmico for positiva, há um aumento de 442,5% na chance de a resposta para conforto acústico também ser positiva. Esse valor é quase o dobro do valor encontrado para a etapa 2.

Por meio da Tabela A.11, entende-se que há evidências somente de que o som natural influencie nas respostas do ponto 3. A razão de chances indica que, a cada aumento de uma unidade na variável som natural, há um aumento 3,7% na chance de conforto acústico, resultado similar ao encontrado na etapa 2. Já a Tabela A.12 apresenta coeficientes de som de máquinas bastante distintos, sendo negativo para os pontos 1 a 3 e positivo para o ponto 4. Porém, ao considerar a significância estatística, apenas o ponto 2 sofre influência dessa variável. O aumento de 1 unidade em som de máquinas leva a uma diminuição de 4% na chance de a resposta de conforto acústico ser positiva – também relativamente parecido com o detectado na segunda etapa.

As Tabelas A.13, A.14 e A.15 dizem respeito às variáveis ânimo, caos e movimentação, respectivamente. Na Tabela A.13, os coeficientes são significativos nos pontos 3 e 4. Nesses dois pontos, o aumento em 1 unidade de ânimo causa uma diminuição de quase 3% na chance de conforto acústico. Na Tabela A.14, há significância somente para os pontos 1 e 4, em que o aumento de 1 unidade de caos leva a uma diminuição de 1,8% e 2,5%, respectivamente, na chance de a resposta para conforto acústico ser positiva. Finalmente, a Tabela A.15 indica que movimentação é uma variável significativa para os pontos 1, 2 e 4. Nesses pontos, o impacto varia entre 1,8% e 4,9% na diminuição de chance de conforto a cada aumento de 1 unidade de movimentação, sendo o maior impacto no ponto 4 e o menor impacto no ponto 1. De modo geral, os efeitos apresentados nessas últimas três tabelas foram menores do que o percebido na etapa 2.

7. Conclusões

De modo geral, os resultados encontrados a partir da análise inferencial condizem com as expectativas iniciais e as observações preliminares do estudo. Além disso, foi

possível concluir que variáveis que representam características positivas não apenas estão relacionadas a um aumento no percebimento de conforto, como possuem efeito de causa sobre esse aumento. Os efeitos examinados na etapa 1 não podem ser generalizados devido ao controle do local em que as respostas foram dadas. Contudo, são utilizados para sustentar os resultados encontrados na etapa 2, não controlada e portanto mais relevante para a análise do estudo.

A percepção de conforto acústico pode ser influenciada por diversos fatores. Entre eles, um que se destaca é o nível sonoro contínuo equivalente, afirmação apoiada pelos resultados encontrados nas duas etapas do estudo, em que Laeq apresentou um efeito causal maior do que as demais variáveis analisadas na percepção de conforto acústico para os dados da segunda etapa, além de o efeito dessa variável na primeira etapa ser bastante similar ao percebido na segunda. Os resultados da variável N_{dvi} podem ser considerados inconclusivos, uma vez que não foi possível usá-lo na modelagem da etapa 1 e o coeficiente encontrado na etapa 2, apesar de positivo, não apresentou significância estatística.

Para as demais variáveis, os resultados encontrados por meio da análise inferencial apoiam a análise das estatísticas descritivas. Além disso, mesmo que o índice de vegetação não tenha apresentado o efeito esperado, o fator som natural mostrou que a vegetação, ainda que indiretamente, causa um aumento na percepção de conforto acústico na etapa considerada não controlada. Finalmente, entende-se também que o conforto térmico pode se confundir com o conforto acústico. O modelo de regressão logística baseado no Critério Backdoor indica que a percepção de conforto térmico tem efeito causal positivo sobre a percepção de conforto acústico.

APÊNDICE A

Tabelas

Tabela A.1 Resultado da estimação do modelo da equação (1)

Variável	Conforto acústico		
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	7,863	1,539	< 0,001
Laeq	-0,132	0,025	< 0,001
Teste de Wald		< 0,001	
OR (Laeq)		0,876	

Tabela A.2 Resultado da estimação do modelo da equação (2)

Variável	Conforto acústico		
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	-0,859	0,408	0,036
Ndvi	2,280	1,396	0,103
Teste de Wald		0,105	
OR (Ndvi)		9,775	

Tabela A.3 Resultado da estimação do modelo da equação (3)

Variável	Conforto acústico		
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	-1,751	0,503	< 0,001
Som natural	0,029	0,007	< 0,001
Ndvi	1,373	1,575	0,383
Teste de Wald		< 0,001	
OR (Som natural)		1,030	

Tabela A.4 Resultado da estimação do modelo da equação (4)

Variável	Conforto acústico		
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	-1,491	0,544	0,006
Conforto térmico (confortável)	1,215	0,441	0,006
Sensação térmica (neutro)	0,135	0,462	0,771
Sensação térmica (quente)	-1,068	0,597	0,074
Ndvi	3,106	1,643	0,059
Teste de Wald			0,007
OR (Conforto térmico)			3,369

Tabela A.5 Resultado da estimação do modelo da equação (5)

Variável	Conforto acústico		
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	3,212	0,673	< 0,001
Som máquinas	-0,052	0,009	< 0,001
Ndbi	3,936	2,656	0,138
Teste de Wald			< 0,001
OR (Som máquinas)			0,950

Tabela A.6 Resultado da estimação do modelo da equação (6)

Variável	Conforto acústico		
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	1,694	0,434	< 0,001
Ânimo	-0,038	0,008	< 0,001
Teste de Wald			< 0,001
OR (Ânimo)			0,963

Tabela A.7 Resultado da estimação do modelo da equação (7)

Variável	Conforto acústico		
	Coefficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	4,365	0,877	< 0,001
Caos	-0,047	0,100	< 0,001
Som humano	-0,002	0,008	0,809
Som máquinas	-0,030	0,010	0,002
Teste de Wald			< 0,001
OR (Caos)		0,955	

Tabela A.8 Resultado da estimação do modelo da equação (8)

Variável	Conforto acústico		
	Coefficiente	Erro padrão	Valor-p
Intercepto	3,333	0,929	< 0,001
Movimentação	-0,040	0,011	< 0,001
Som natural	0,028	0,009	0,001
Som humano	-0,0004	0,009	0,965
Som máquinas	-0,035	0,010	0,001
Teste de Wald			< 0,001
OR (Caos)		0,960	

Tabela A.9 Resultado da estimação do modelo para Laeq em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Laeq			
	Coefficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	-0,119	0,055	0,030	0,888
2	-0,050	0,040	0,219	0,952
3	-0,085	0,0521	0,093	0,919
4	-0,033	0,054	0,546	0,968

Tabela A.10 Resultado da estimação do modelo para Conforto térmico em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Conforto térmico (confortável)			
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	1,691	0,826	0,041	5,425
2	0,463	0,389	0,234	1,588
3	1,138	0,723	0,115	3,121
4	0,942	0,616	0,126	2,565

Tabela A.11 Resultado da estimação do modelo para Som natural em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Som natural			
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	0,008	0,235	0,438	1,008
2	0,002	0,007	0,831	1,002
3	0,037	0,016	0,018	1,037
4	0,012	0,012	0,348	1,012

Tabela A.12 Resultado da estimação do modelo para Som de máquinas em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Som de máquinas			
	Coeficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	-0,018	0,011	0,101	0,983
2	-0,041	0,013	0,002	0,960
3	-0,014	0,012	0,235	0,986
4	0,007	0,013	0,603	1,007

Tabela A.13 Resultado da estimação do modelo para Ânimo em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Ânimo			
	Coefficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	-0,0002	0,009	0,983	0,999
2	-0,008	0,008	0,356	0,992
3	-0,026	0,015	0,080	0,974
4	-0,028	0,010	0,005	0,972

Tabela A.14 Resultado da estimação do modelo para Caos em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Caos			
	Coefficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	-0,026	0,009	0,004	0,982
2	-0,023	0,009	0,016	0,978
3	-0,017	0,010	0,103	0,983
4	-0,026	0,009	0,003	0,975

Tabela A.15 Resultado da estimação do modelo para Movimentação em cada ponto da etapa 1

Ponto	Estimação de Movimentação			
	Coefficiente	Erro padrão	Valor-p	OR
1	-0,022	0,010	0,027	0,978
2	-0,018	0,011	0,092	0,982
3	-0,010	0,017	0,531	0,990
4	-0,031	0,011	0,004	0,951

APÊNDICE B

Figuras

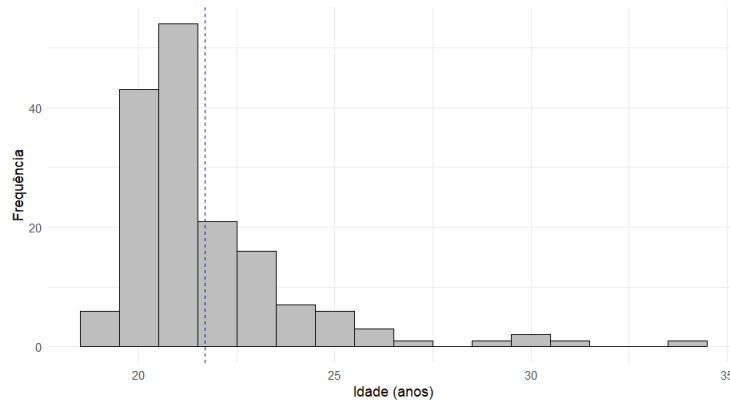


Figura B.1 Histograma da Idade (anos) dos participantes do estudo

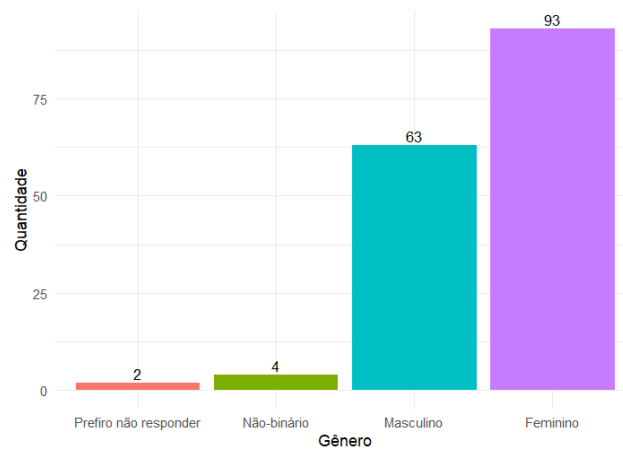


Figura B.2 Gráfico de barras de Gênero dos participantes do estudo

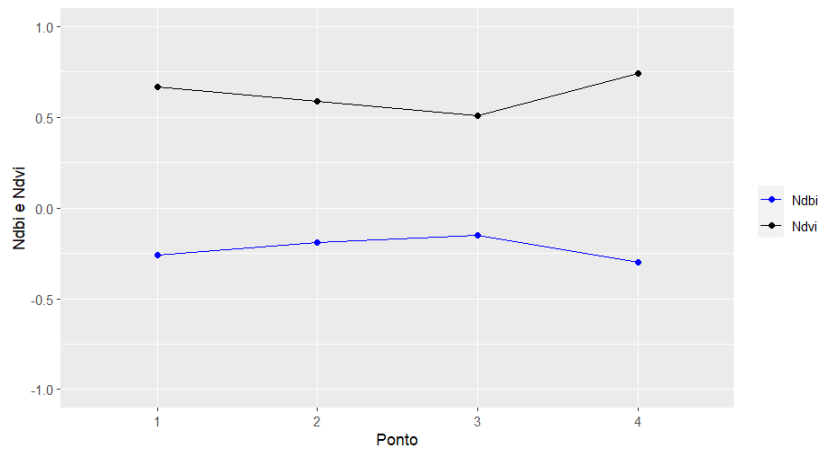


Figura B.3 Gráfico de linhas com pontos sobrepostos para os Índices de vegetação (Ndbi) e de urbanização (Ndvi) em cada ponto da etapa 1

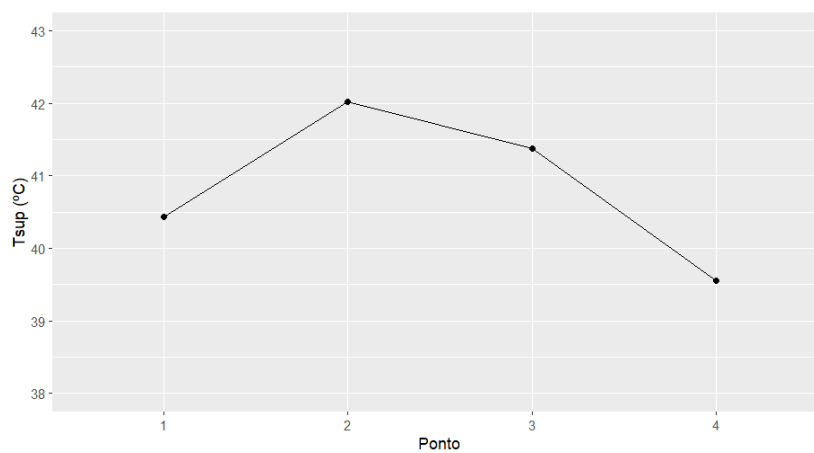


Figura B.4 Gráfico de linhas com pontos sobrepostos para a Temperatura de superfície (Tsup) em cada ponto da etapa 1

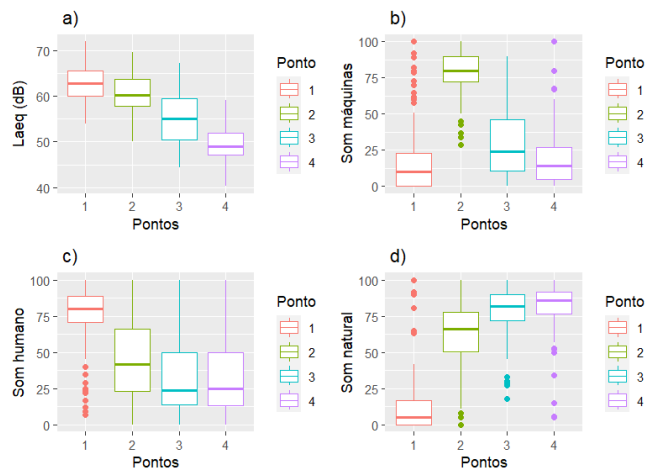


Figura B.5 *Box plots* de Laeq (dB), Som máquinas, Som humano e Som natural em cada ponto da etapa 1

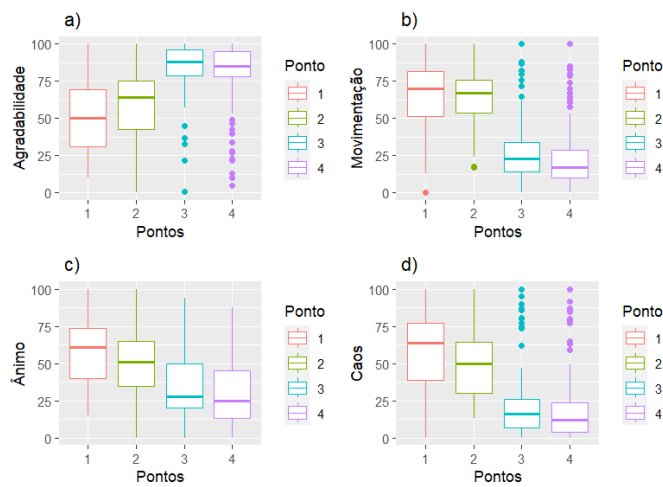


Figura B.6 *Box plots* de Agradabilidade, Movimentação, Ânimo e Caos em cada ponto da etapa 1

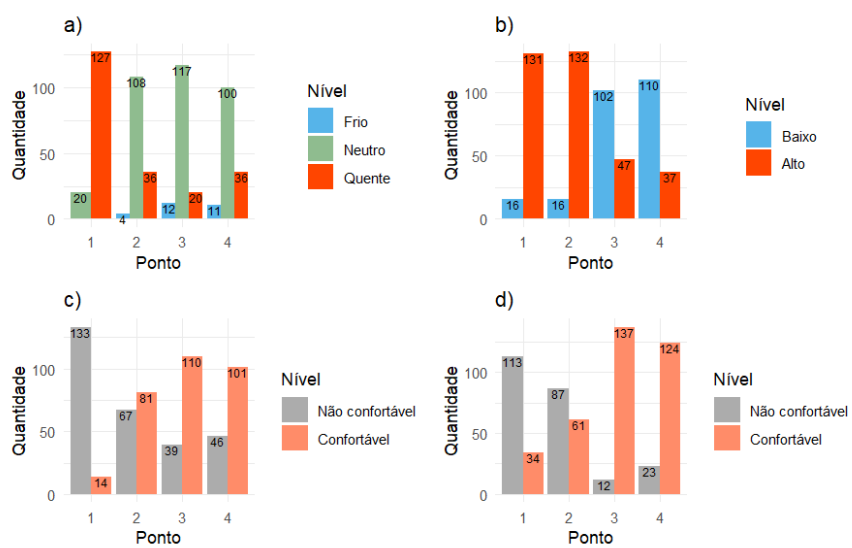


Figura B.7 Gráfico de barras para Sensação térmica (a), Intensidade sonora (b), Conforto térmico (c) e Conforto acústico (d) em cada ponto da etapa 1

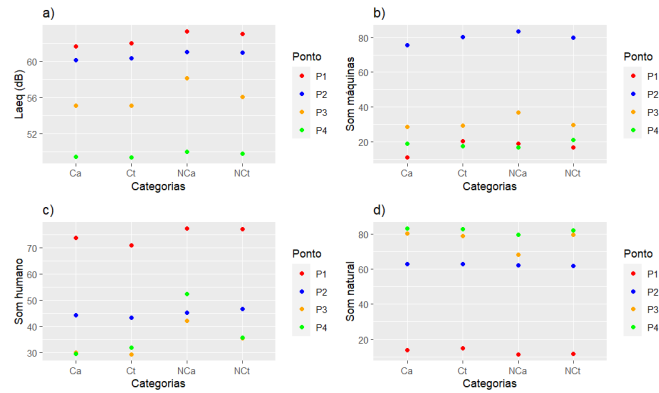


Figura B.8 Gráficos das médias das variáveis Laeq (dB), Som máquinas, Som humano e Som natural por Conforto térmico e Conforto acústico em cada ponto da etapa 1

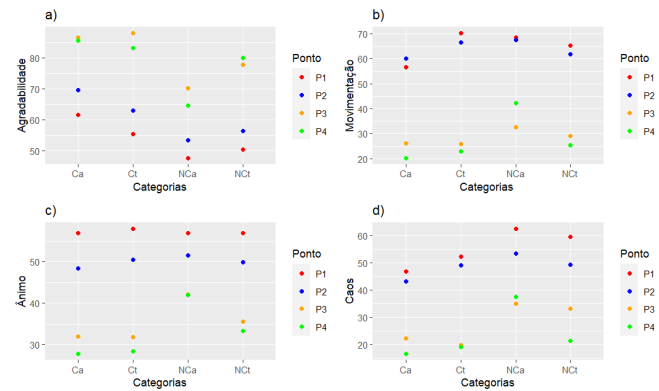


Figura B.9 Gráficos das médias das variáveis Agradabilidade, Movimentação, Ânimo e Caos por Conforto térmico e Conforto sonoro em cada ponto da etapa 1

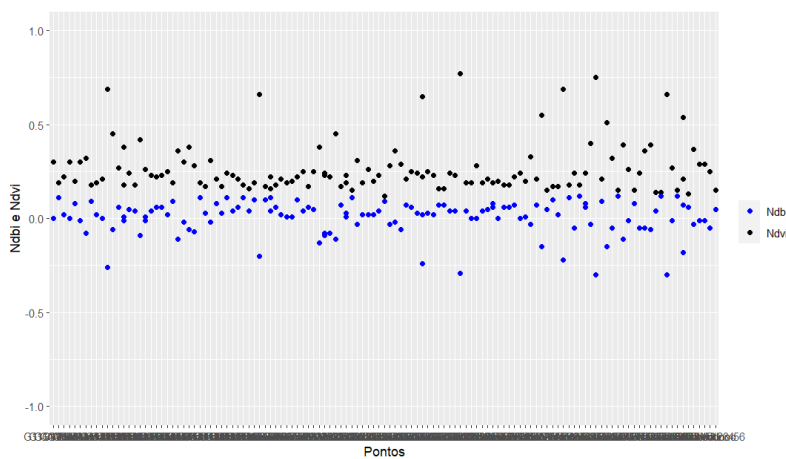


Figura B.10 Gráfico de dispersão dos Índices de vegetação (Ndbi) e de urbanização (Ndbi) para a etapa 2

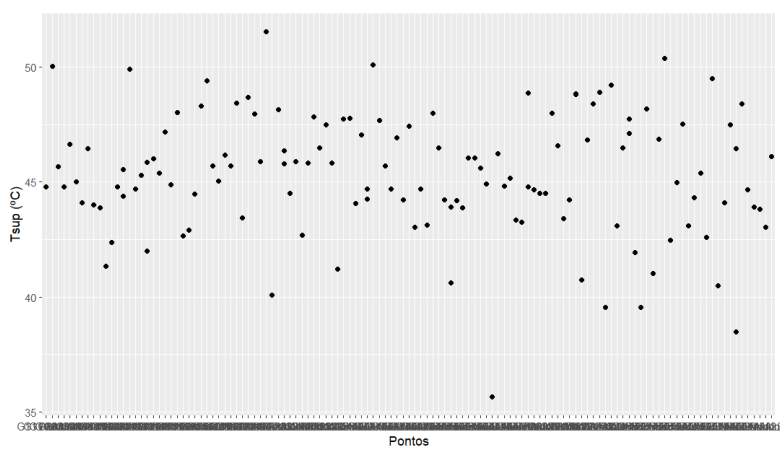


Figura B.11 Gráfico de dispersão da temperatura de superfície (Tsup) para a etapa 2

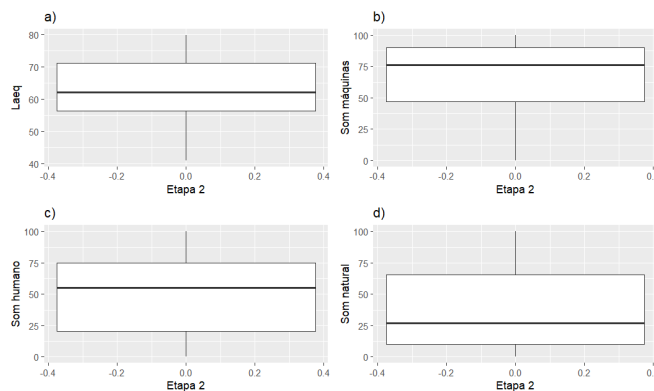


Figura B.12 *Box plots* de Laeq (dB), Som máquinas, Som humano e Som natural por Conforto térmico e Conforto acústico para a etapa 2

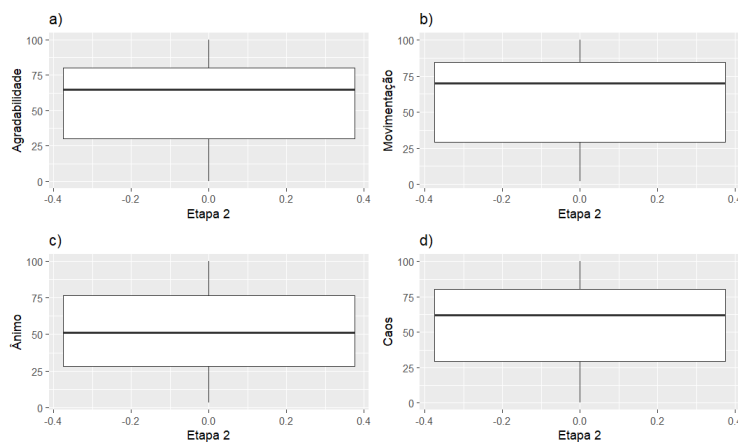


Figura B.13 *Box plots* de Agradabilidade, Movimentação, Ânimo e Caos por Conforto térmico e Conforto sonoro para a etapa 2

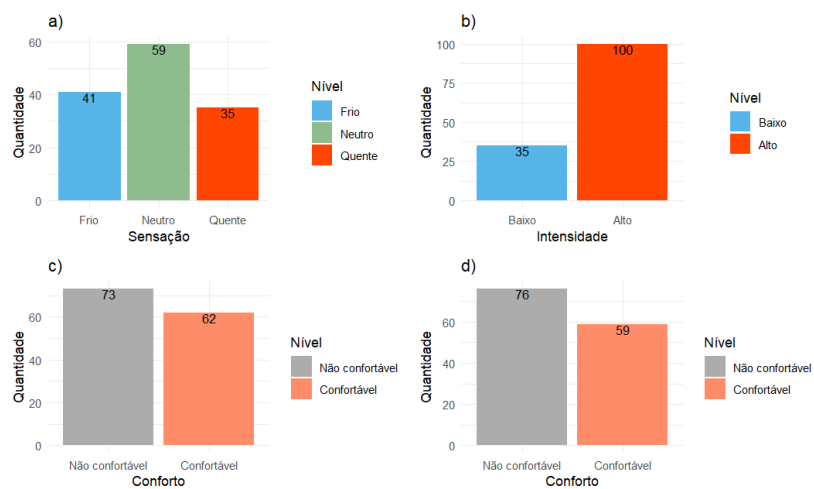


Figura B.14 Gráfico de barras da Sensação térmica (a), Intensidade sonora (b), Conforto térmico (c) e Conforto acústico (d) para a etapa 2

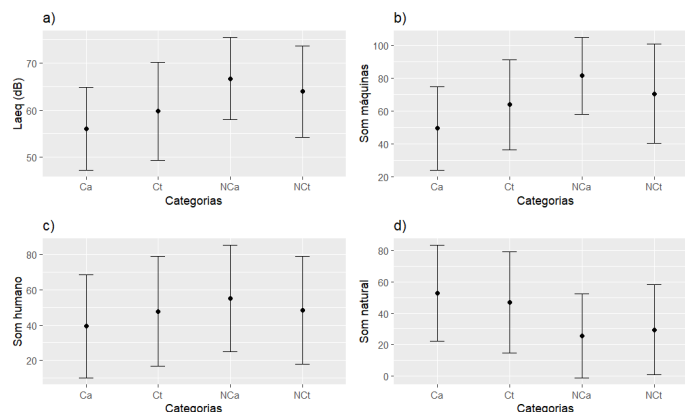


Figura B.15 Gráficos da média com barras de erro padrão para Laeq (dB), Som máquinas, Som humano e Som natural por Conforto térmico e Conforto acústico, por Conforto térmico e Conforto acústico – etapa 2

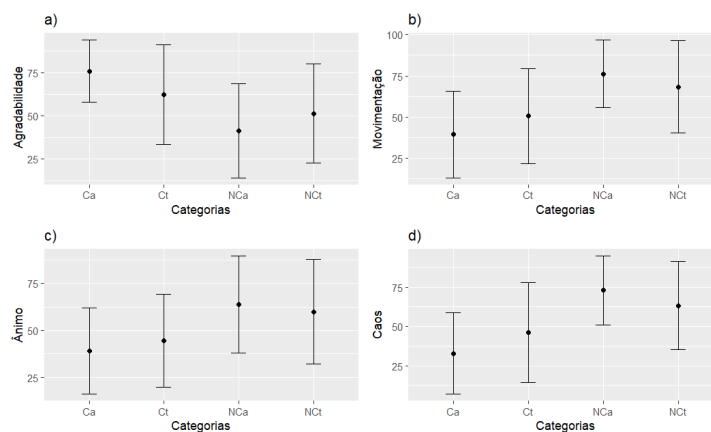


Figura B.16 Gráficos de média com barras de erro padrão para Agradabilidade, Movimentação, Ânimo e Caos por Conforto térmico e Conforto sonoro – etapa 2

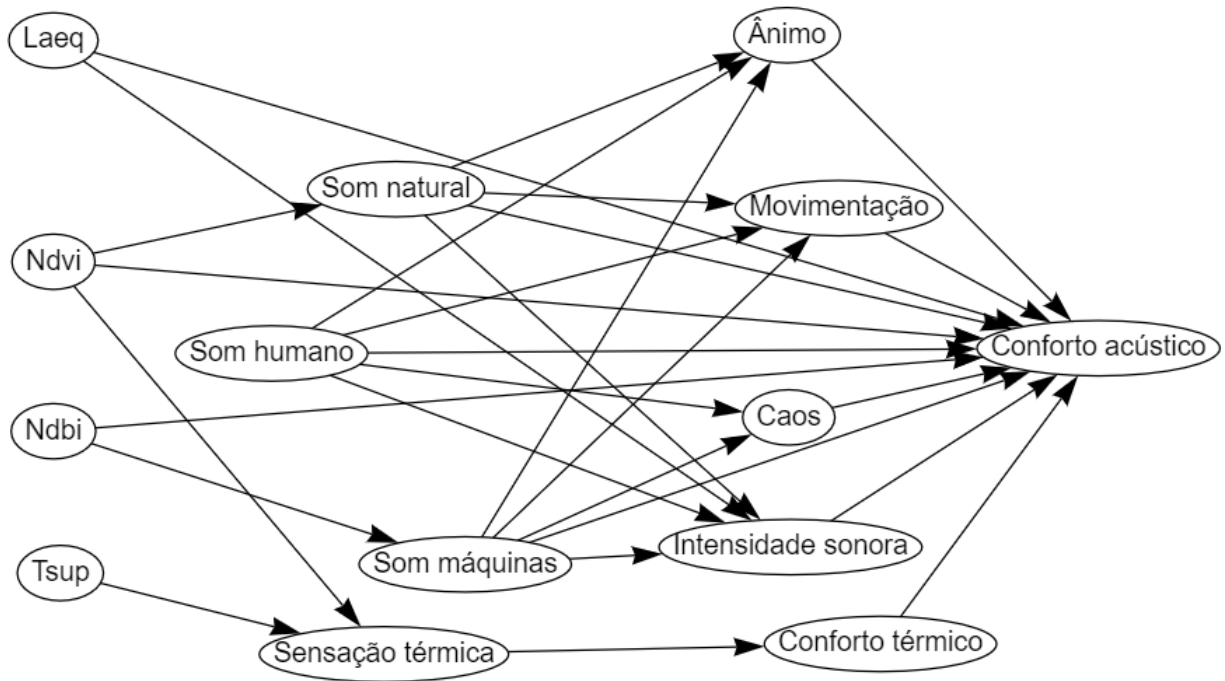


Figura B.17 Grafo Acíclico Dirigido (DAG) utilizado para inferência causal da etapa 2