



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

MATHEUS YUSEF ALI
WILLIAM ALVES CARDOSO

A CONTAMINAÇÃO ACÚSTICA EM ÁGUAS CLARAS DEVIDO AO TRÁFEGO
RODOVIÁRIO

BRASÍLIA
2018



MATHEUS YUSEF ALI
WILLIAM ALVES CARDOSO

**A CONTAMINAÇÃO ACÚSTICA EM ÁGUAS CLARAS DEVIDO AO TRÁFEGO
RODOVIÁRIO**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Sérgio Garavelli

BRASÍLIA

2018

A CONTAMINAÇÃO ACÚSTICA EM ÁGUAS CLARAS DEVIDO AO TRÁFEGO RODOVIÁRIO

Matheus Yusef Ali – UniCEUB, PIC Institucional, aluno bolsista
Yusef.matheus@sempreceub.com)

William Alves Cardoso – UniCEUB, PIC institucional, aluno voluntário
william.alves@sempreceub.com

Sérgio Luiz Garavelli – UniCEUB, professor orientador
Sergio.garavelli@ceub.edu.br

Armando de Mendonça Maroja – Universidade de Brasília, colaborador
amaroja@gmail.com

Resumo

O ruído é um dos grandes problemas ambientais em nosso meio podendo afetar nocivamente os seres humanos, classifica-se como o segundo tipo de contaminação que atinge o maior número de pessoas no mundo, ficando atrás somente da poluição do ar. Com o intuito de avaliar a contaminação acústica na cidade de Águas Claras, Região Administrativa do Distrito Federal, apesar de ser uma cidade planejada e jovem, apresenta uma população de aproximadamente cento e cinquenta mil habitantes e problemas semelhantes aos de grandes centros urbanos já consolidados. Devido ao alto tráfego rodoviário buscou-se adquirir dados dos controladores estáticos de velocidade, que auxiliaram na coleta de dados referente ao fluxo, realizou-se medições acústicas com o sonômetro e filmagens do tráfego nas principais vias. Com o auxílio dos dados aferidos e o software SoundPlan produziu-se o mapa da cidade para identificar os locais mais críticos de ruído. Logo após, foram elaborados os mapas acústicos para os parâmetros Lden e Ln. Também foram determinados os percentuais de pessoas incomodadas (%I) e de pessoas altamente incomodadas (%AI) e os percentuais de pessoas com distúrbios no sono (%DS) e com elevados distúrbios no sono (%EDS). A comparação entre os valores dos níveis de pressão medidos *in situ* e os previstos pelos mapas apresentaram um desvio menor do que 3 dB(A). Os resultados indicam que os ruídos gerados pelo tráfego de veículos estão acima dos limites estabelecidos pela legislação e tem potencial de provocar incômodo e distúrbios no sono de uma parcela significativa da população.

Palavras-Chave: Ruído rodoviário. Mapa acústico. Acústica Ambiental.

Obs. Este trabalho de iniciação científica deu origem a um artigo que foi aceito no Congresso da SOBRAC 2018 – Sociedade Brasileira de Acústica, trabalho completo. Título **A CONTAMINAÇÃO ACÚSTICA EM ÁGUAS CLARAS DEVIDO AO TRÁFEGO RODOVIÁRIO**

Outro artigo completo, também decorrente deste trabalho foi aceito no Congresso internacional: PLURIS 2018 - 8º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: **AValiação DO RuÍDO INTEGRADO NA CIDADE DE ÁGUAS CLARAS EM BRASÍLIA, DF, BRASIL**, http://www.civil.uminho.pt/planning/pluris2018/artigos_aprovados_2018.pdf

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
3. METODOLOGIA	4
3.1. Simulação e Modelagem Das Cartas Acústicas	4
3.3. Medidas Físicas para Validação Dos Mapas Acústicos	6
3.4. Cálculo da população Exposta, por Faixa dos Indicadores Lden e Ln	7
3.5. Funções Dose-Resposta	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	7
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	11

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização ocorrido no Brasil nas últimas décadas, juntamente com o crescimento do tráfego rodoviário agravaram vários problemas ambientais, dentre eles destaca-se o ruído, que nas zonas urbanas é a principal fonte de contaminação acústica. Como exemplo, tem-se Águas Claras – DF, uma cidade com menos de quinze anos de emancipação e aproximadamente 150.000 habitantes [1]. O crescimento rápido da cidade juntamente com alterações significativas no seu projeto original trouxeram consequências negativas como o grande número de veículos circulando nas vias, o que acarreta além dos congestionamentos a contaminação do ar e a poluição sonora. A exposição a níveis de pressão sonora (NPS) elevados é problema grave que atinge a população dos grandes centros urbanos, é considerada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), como um problema de saúde pública, que afeta negativamente à qualidade de vida e à saúde de milhões de pessoas [2].

Resultados de pesquisas científicas avaliando os níveis de pressão sonora [3 - 5] indicam que a contaminação ambiental provocada pelo tráfego rodoviário ultrapassa os limites indicados pela OMS nas principais cidades do mundo e tem potencial de provocar danos à saúde e qualidade de vida da população. Freia et al. [6], investigaram os efeitos da exposição ao ruído do tráfego rodoviário noturno na qualidade do sono, identificaram uma associação entre a qualidade do sono e o incômodo percebido.

Na pesquisa desenvolvida em Bogotá, Colômbia [7] foram encontrados níveis de pressão sonora (NPS) com potencial de afetar negativamente a qualidade de vida e à saúde da população. Okokon et al. [8] concluíram que um percentual considerável de adultos finlandeses se sente altamente incomodados com ruído do tráfego rodoviário e o consideram como um risco significativo à saúde, e à qualidade de vida.

O mapa de ruído é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão relacionada ao planejamento e ordenamento do território e de gestão da poluição sonora em ambientes urbanos. De acordo com as Diretrizes Portuguesas para Elaboração de Mapas de Ruídos [9], o mapa é uma representação geográfica do ruído ambiente exterior, onde se visualizam as áreas às quais correspondem determinadas classes de valores expressos em dB(A), reportando-se a uma situação existente ou prevista.

Águas Claras é a XX região administrativa do Distrito Federal e engloba os setores: Águas Claras (vertical), Setor Habitacional Arniquireiras e Areal. A cidade é cortada pelos trilhos do metrô do Distrito Federal de um extremo ao outro, possui quatro grandes avenidas, sendo elas, Avenida Castanheiras, Avenida Araucárias, Avenida Boulevard Norte, Avenida Boulevard Sul. Na Figura 1 está apresentada o mapa da cidade.

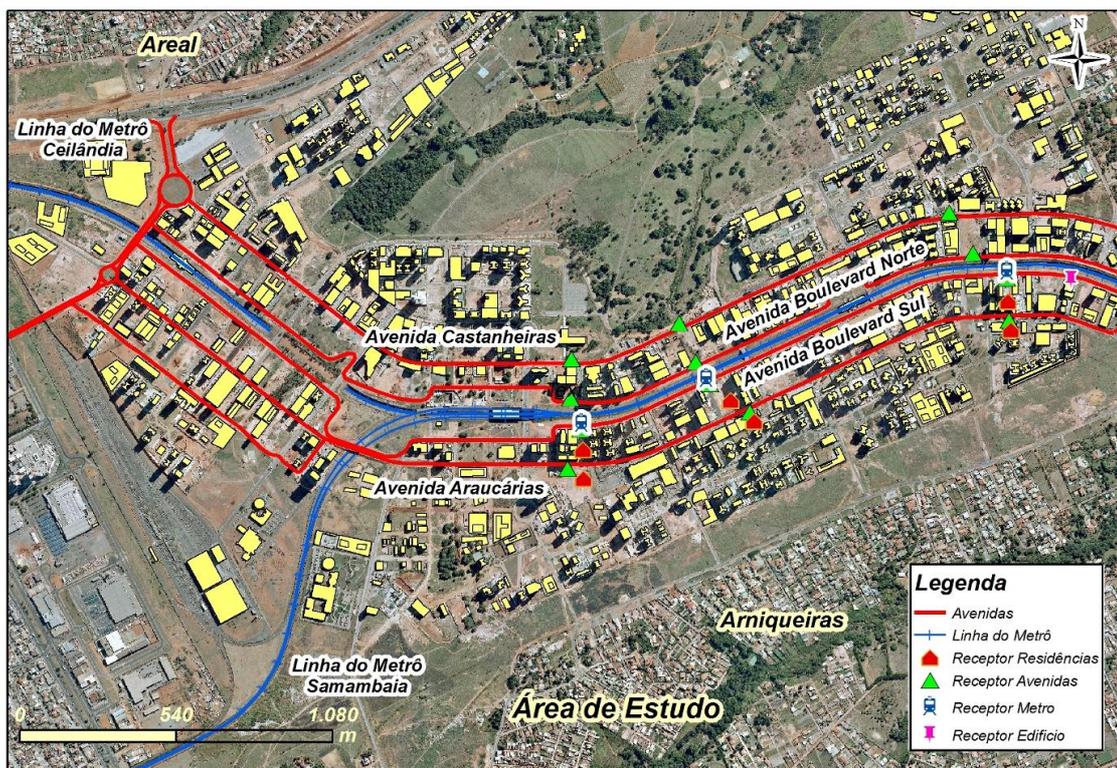


Figura 1 – Mapa da Área de estudo

O mapa de ruído é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão relacionada ao planejamento e ordenamento do território e de gestão da poluição sonora em ambientes urbanos. De acordo com as Diretrizes Portuguesas para Elaboração de Mapas de Ruídos [9], o mapa é uma representação geográfica do ruído ambiente exterior, onde se visualizam as áreas às quais correspondem determinadas classes de valores expressos em dB(A), reportando-se a uma situação existente ou prevista.

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar os impactos dos níveis de pressão sonora produzidos pelo tráfego rodoviário. Além do mapa de ruído para os parâmetros L_{den} e L_n , determinou-se o número de pessoas expostas por faixa dos indicadores acústicos, foi calculado o número de pessoas incomodadas e altamente incomodadas e o número de pessoas com distúrbios no sono em função da exposição ao ruído.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No Brasil, assim como no Chile, são poucas as informações oficiais disponíveis que possam servir de subsídios para gerar mapas estratégicos de ruídos com precisão adequada ($\pm 3\text{dB}$). Por conseguinte, a utilização de métodos simplificados são uma necessidade real para a comunidade acústica nos países em desenvolvimento. Bastián-Monarc, Suárez Enrique e Arenas (2016) elaboraram o mapa de ruídos do tráfego rodoviário, da cidade de Valdivia, no Chile, utilizando uma abordagem alternativa da informação cartográfica sobre edifícios agrupando os agregados familiares num bloco e a classificação dos fluxos de tráfego veicular em categorias para gerar um mapa de ruído. A metodologia utilizada no estudo mostrou-se adequada para ser aplicada quando os recursos para coleta de dados não são insuficientes para os métodos tradicionais serem utilizados. Neste sentido Maroja e Garavelli (Maroja et al, 2011) desenvolveram uma metodologia para a elaboração dos mapas de ruídos utilizando os dados dos controladores eletrônicos de velocidade (CEV), a utilização desta metodologia tornou possível a elaboração do mapa de ruído devido ao tráfego rodoviário da cidade de Brasília (Garavelli et al, 2012; 2014), com recursos limitados para a coleta de dados em campo.

O processo de elaboração de mapas estratégicos de ruídos na Comunidade Europeia está em curso há mais de dez anos. Além das formas tradicionais, há propostas alternativas como a utilização de smartphones para a coleta de dados para a coleta de dados que são integrados ao processo tradicional. Murphy e King (2016) realizaram um estudo comparativo dos mapas gerados usando a abordagem tradicional com aqueles gerados usando dados de medição baseados em smartphones. A vantagem desta última abordagem é que ela tem o potencial de remover a necessidade de dados de entrada exaustivos no modelo de cálculo de fonte para a previsão de ruído. Além disso, o estudo também testa a precisão das medições baseadas em smartphones contra medições simultâneas feitas usando medidores de nível de som tradicionais no campo.

Vogiatzis e Remy (2014), relatam um trabalho realizado na Grécia nas cidades médias de Volos e Larissa, além dos mapas estratégicos de ruído e planos de ação relevantes que definem as principais estratégias para reduzir a exposição ao ruído dos residentes elaborado seguindo a Directiva Europeia 2002-49-UE, foi realizado um estudo que avaliou a percepção sonora dos residentes em relação ao ruído urbano.

Com o objetivo de facilitar o processo de atualização dos mapas de ruídos, pois são considerados uma ferramenta poderosa para determinar a exposição da população ao ruído ambiental, Zambon e colaboradores (2017) apresentaram os resultados de um processo de sistemas integrados que combinaram a medição e processamento em tempo real para avaliar o impacto acústico de fontes de ruído, denominado Mapeamento Acústico Dinâmico. Ryu e colaboradores (2017) apresentaram um modelo estatístico que permite prever o nível de ruído do tráfego rodoviário em área urbana. O modelo estatístico espacial leva em conta a dependência espacial em áreas geograficamente vizinhas é construído a partir de um mapa de ruído de uma cidade na Coreia do Sul. O sistema conta com células de grade de 250 m \times 250 m é colocado na cidade e os indicadores de nível de ruído e de forma urbana são calculados em média em cada célula. A média ponderada da população do nível de ruído é subsequentemente regredida na forma urbana média.

Os resultados de pesquisas científicas avaliando os níveis de pressão sonora (GARAVELLI et al, 2014; PAUNOVIĆ, BELOJEVIĆ and JAKOVLJEVIĆ, 2014; CARVALHO Jr., GARAVELLI e MAROJA, 2012; SILVA e GARAVELLI, 2012; SOETA e SHIMOKURA, 2012) indicam que a contaminação ambiental provocada pelos modais de transporte ultrapassa os limites estabelecidos pela legislação e tem potencial de provocar danos à saúde e qualidade de vida da população.

(Plan et al.,2009), trabalho realizado na cidade de Hanoi e Ho Chi Minh City, localizadas no Vietnã, a poluição ambiental é um problema nas duas cidades. O ruído provocado pelo tráfego rodoviário incomoda grande parte da sociedade. Neste estudo foram realizadas relações dose-resposta entre Lden e a porcentagem de pessoas incomodadas. Em ambas cidades, o densidade populacional é alta e as residências ficam próximas as vias de grande fluxo de veículos. O pico de ruído ocorre no período da tarde, devido ao grande numero de motos. Os níveis de exposição ao ruído (Lden) foram 70-83 dB em Hanói e 75-83 dB na cidade de Ho Chi Minh.

(Seong et al., 2011) por um modelo tridimensional, o Soundplan, estimou-se as exposições ao ruído da comunidade em todo o município na Geórgia, que agrega dados do tráfego rodoviário, terreno e modelagem do edifício.

(Eunice Y.Lee, 2014) Observaram o ruído devido ao tráfego em três cidades nos Estados Unidos utilizando medições no local e dados disponíveis do órgão de trânsito. Atlanta foi classificada como a mais baixa com 65,1 dB (A), Los Angeles ficou em segundo lugar com 66,4 dB(A), e a cidade de Nova York foi classificada como a mais alta em média de ruído com 69,2 dB(A). Destaca a grande importância de atividades de monitoramento do tráfego para diminuir os efeitos do ruído na sociedade.

3. METODOLOGIA

O método tem como base as simulações e modelagens com elaboração de mapas acústicos e avaliação do incômodo sonoro, realizadas através da estimativa da população exposta por faixa dos indicadores acústicos, utilizando as funções dose-resposta. A seguir está o detalhamento das principais etapas: (i) simulação e modelagem com elaboração de mapas acústicos na métrica Lden e Ln; (ii) medidas físicas para calibração dos mapas acústicos; (iii) cálculo da população exposta, por faixa dos indicadores acústicos; (iv) cálculo do percentual de pessoas incomodadas (%I) e altamente incomodadas (%AI) e percentual de pessoas com distúrbios no sono (%DS) e com elevados distúrbios no sono (%EDS).

3.1. Simulação e Modelagem Das Cartas Acústicas

As cartas acústicas foram elaboradas segundo as recomendações das diretrizes indicadas pela Agência Portuguesa do Ambiente [9] “Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído”, que seguem as recomendações da Diretiva Europeia 2002/49/CE.

Para a elaboração dos mapas foi utilizado o SoundPlan, o modelo digital do terreno foi construído a partir da cartografia base, com as curvas de nível cotadas, a localização e da altura dos edifícios. Foram incorporadas as fontes de ruídos, representativas das principais vias de transporte rodoviário. A altura dos edifícios foi estimada utilizando a convenção de 3 metros para cada piso. A cartografia base usada foi o SICAD 2010 (SIRGAS_2000_UTM_Zone_23L). A base para simulação do mapa de ruídos foi construída de acordo com os seguintes passos: (i) a partir das curvas de nível foi construído o mapa digital do terreno (MDT); (ii) Em seguida inseridos os objetos necessários à simulação, edifícios, fontes de ruído, etc.; (iii) os dados de ocupação do solo e vias são posicionados sobre o MDT, as características de cada objeto, necessárias para produção dos mapas inseridas no software, como a largura das vias, fluxo do tráfego etc.; (iv) inseridas as áreas de atenuação, a absorção do solo, o uso do solo e posicionados os receptores de validação do mapa. As propriedades específicas para cada tipo de objeto, como altura e número de pavimentos dos edifícios, diferenciação entre zonas residenciais e comerciais, também foram consideradas. Na simulação dos mapas o passo da malha foi de 5m, adequado para produção de mapas de ruído com a dimensão de cidades. A altura de cálculo foi de 4m e a resolução espacial foi a maior disponível no software de simulação ambiental, 9x9 (Zannin, 2015). As reflexões foram consideradas até primeira ordem, nos mapas de ruído de fachada e para cálculo dos NPS em pontos isolados foram consideradas reflexões até a terceira ordem.

O coeficiente de absorção do solo g (ground factor), é um fator que varia de zero a um, sendo “0” para solo duro, como asfalto e água, onde a onda sonora incidente é completamente refletida e “1” para solo macio, como areia e grama, onde a onda incidente é completamente absorvida. A atenuação varia de 0,05 a 0,1dB/m, nas regiões com vegetação foi considerada uma atenuação de 0,05dB/m, já que a densidade da vegetação é baixa, nas demais regiões apenas a atenuação devido à atmosfera conforme a ISO-9613. Foi considerado como fonte de ruídos o tráfego veicular, os dados referentes ao fluxo e composição de veículos foram obtidos através dos controladores eletrônicos de velocidades (CEV) e filmagem in situ. As filmagens ocorreram de forma a completar os locais/vias não cobertas pelos controladores. Os pontos escolhidos para as filmagens estão marcados com os fixadores amarelos, como podemos verificar na figura 2, Os veículos foram classificados em leves (veículos de massa líquida inferior a 3,5 toneladas) e pesados (veículos de massa líquida igual ou superior a 3,5 toneladas). Já os CEV, estão localizados com os fixadores vermelhos, conforme a Figura 2. Os dados disponibilizados foram referentes ao um período de dezoito meses. Do banco de dados foram analisados a velocidade média, volume de veículos e o volume de veículos por porte, separados por período de uma hora. Nas tabelas situadas no apêndice está apresentado um resumo dos dados referente a um CEV, para todos os pontos de coleta de dados foram geradas tabelas semelhantes.

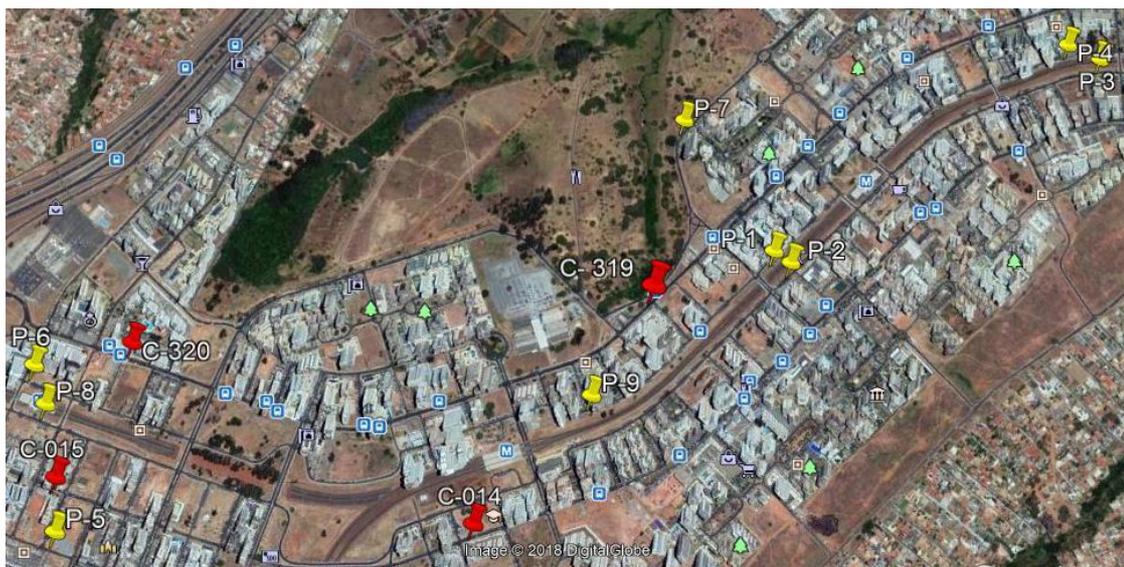


Figura 2 –Pontos de Coleta de Dados

3.2. Métricas Utilizadas

Segundo a Diretiva Europeia 2002/49/EC o Lden (ou DENL) é definido pela equação:

$$L_{den} = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \quad (1)$$

O L_d é o nível de pressão sonora equivalente e contínua referente a um período corresponde às 12h avaliado entre 6h e 18h; L_e é NPS referente às 4h avaliado entre 18h e 22h (entardecer); L_n o NPS corresponde às 8h avaliado entre 23h e 7h. O parâmetro Lden representa o NPS nas 24h do dia, com a aplicação de uma ponderação diferenciada para os ruídos emitidos durante o período do anoitecer/entardecer (correção + 5 dB) e da noite (correção + 10 dB).

3.3. Medidas Físicas para Validação Dos Mapas Acústicos

Os locais das medidas de validação foram georreferenciados com a utilização de GPS, os dados foram coletados em dias da semana, sem chuva e baixa velocidade do vento. As medições ocorreram nos horários de pico, sendo que em dois locais foram realizadas medições de longo prazo, 24 horas. As medidas foram efetuadas no exterior das edificações, pelo menos a 1,5 m de qualquer estrutura refletora. O tempo de cada medição foi de 10 min e o microfone do sonômetro posicionado a uma altura de 1,5 m acima do solo, conforme indica a APA [11]. As medidas de longo prazo, 24 horas, foram realizadas a 1,5 metros da fachada dos edifícios nos andares 6 e 8. Os locais para a validação foram escolhidos de forma que o ruído predominante foi o oriundo do tráfego rodoviário. Os equipamentos utilizados para as medidas de validação foram: sonômetro, Solo e Fusion da 01dB, com protetores de vento e tripé, calibrador Acústico da 01dB e GPS.

3.4. Cálculo da população Exposta, por Faixa dos Indicadores Lden e Ln

A metodologia para o cálculo da população exposta por faixa de indicador acústico foi baseada no método indicado pela APA [9]. Foi utilizado o software ARQGIS e a base de dados estatísticos dos setores censitários, manual descritivo do PDAD [1].

3.5. Funções Dose-Resposta

Na literatura científica há diversos trabalhos que estabelecem relações entre o ruído ambiente, segundo a sua fonte (aéreo, rodoviário e ferroviário) e o percentual de pessoas incomodadas e altamente incomodadas [12]. Os modelos dose-resposta utilizados são apresentados pelas equações 2 e 3, que descrevem o percentual de pessoas incomodadas (PI) e de pessoas altamente incomodadas (PAI) em função do indicador Lden [13].

$$\%I = 1,795 \cdot 10^{-4}(L_{den} - 37)^3 + 2,110 \cdot 10^{-2}(L_{den} - 37)^2 + 0,5353(L_{den} - 37) \quad (2)$$

$$\%PAI = 9,868 \cdot 10^{-4}(L_{den} - 42)^3 - 1,436 \cdot 10^{-2}(L_{den} - 42)^2 + 0,5118(L_{den} - 42) \quad (3)$$

A OMS através de um grupo de especialistas [14] analisou diversos trabalhos científicos e fez recomendações indicando limites para o ruído noturno, este trabalho teve como objetivo subsidiar futuras legislações para os países membros da comunidade europeia. O valor de 55 dB(A) foi indicado quando o limite de 40 dB(A) para o Ln não pode ser alcançado num curto prazo, neste trabalho será adotado como referência este limite. As equações 4 e 5 apresentam o modelo dose-resposta para pessoas incomodadas e altamente durante o sono devido ao ruído rodoviário [15].

$$\%PIS = 13,8 - 0,85L_n + 0,01670L_n^2 \quad (4)$$

$$\%PAIS = 20,8 - 1,05L_n + 0,01486L_n^2 \quad (5)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta o mapa de ruídos de fachada numa região da área de estudo. Para toda a área de estudo foram posicionados receptores semelhantes, sendo que estes resultados foram utilizados para o cálculo da população exposta por faixa dos indicadores Lden e Ln.

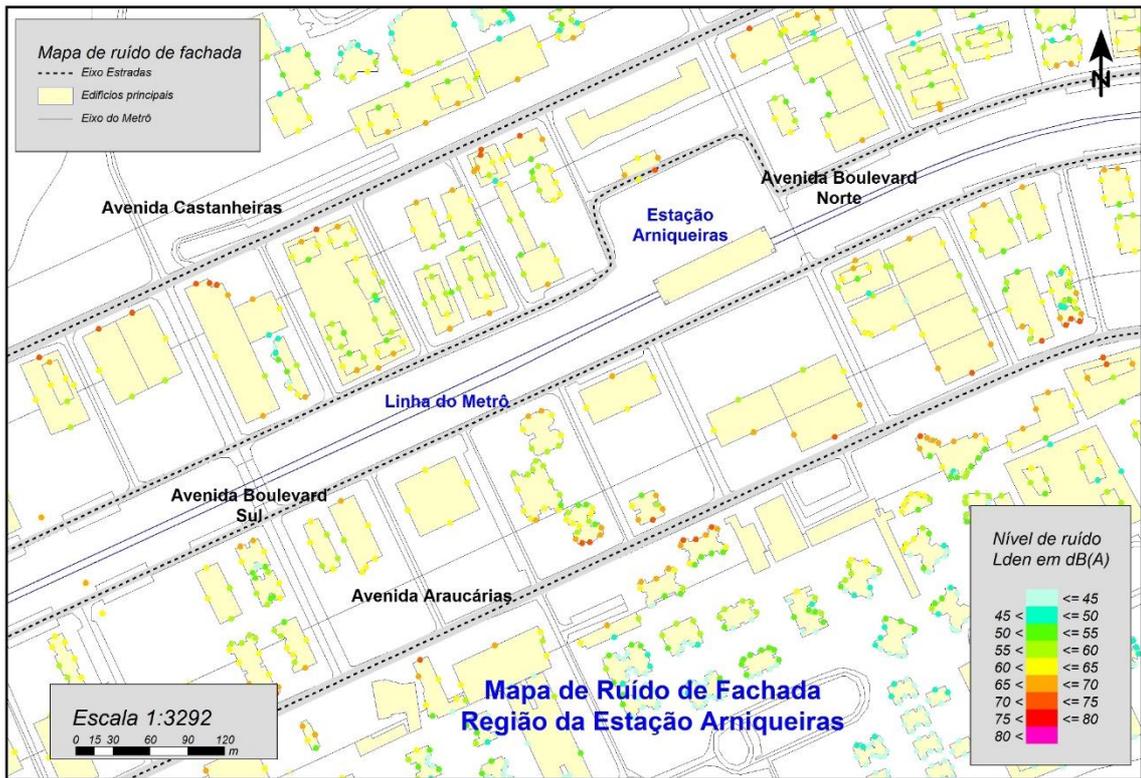


Figura 3 – Mapa de ruído de fachada

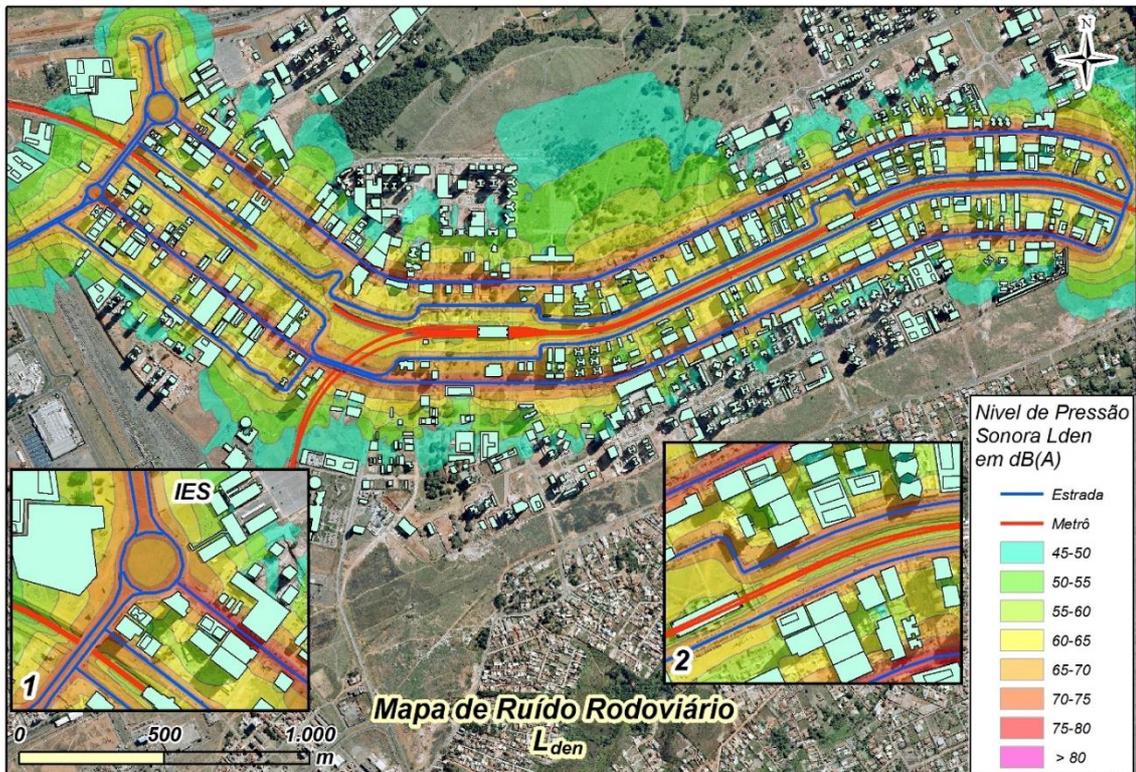


Figura 4 – Mapa de ruído parâmetro Lden

Os mapas referentes ao Lden e Ln estão apresentados nas Figuras 4 e 5, pode-se observar que as margens das duas grandes avenidas, Araucárias e Castanheiras, os NPS que atinge as

áreas residenciais estão acima de 65 dB(A) para o parâmetro Lden e acima de 55 dB(A) para o período noturno.

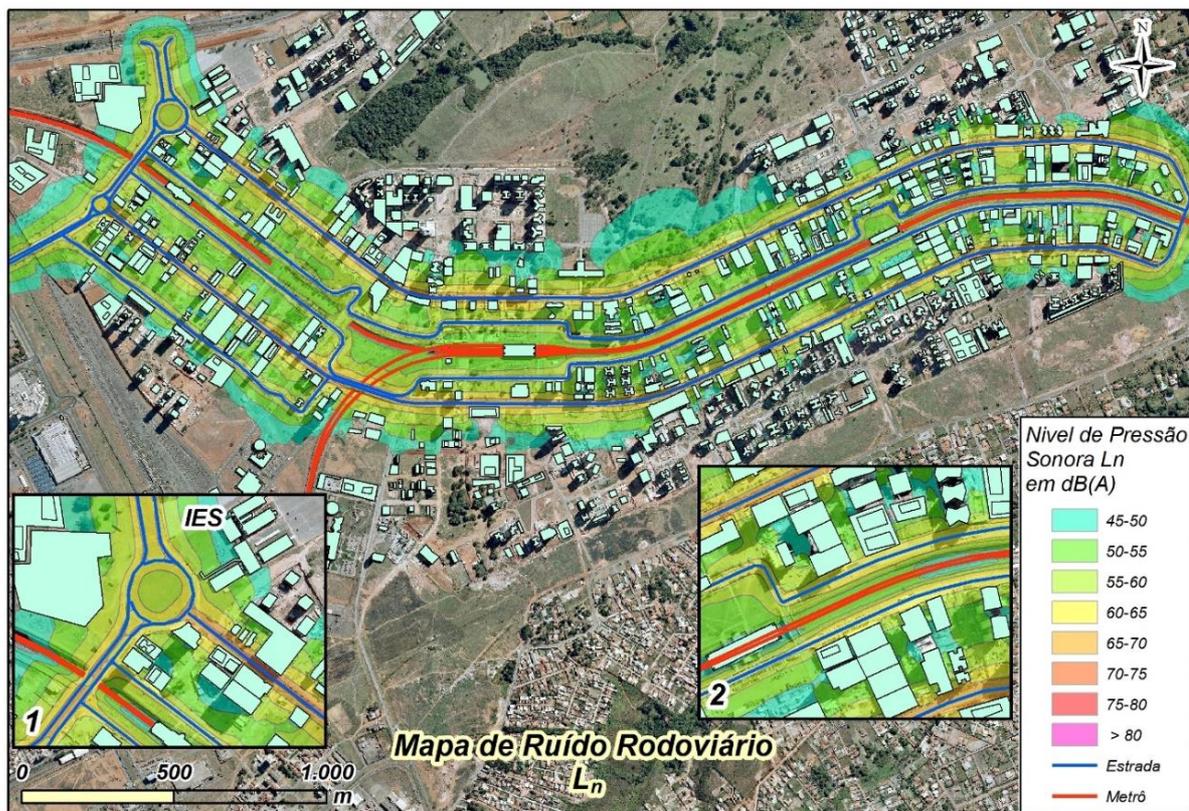


Figura 5 – Mapa de ruído parâmetro L_n

Na Tabela 1 estão apresentados os NPS medidos *in situ* e os previstos na simulação, os valores de 1 a 6 correspondem ao Leq para os horários de pico, enquanto os resultados 7 e 8 representam o Lden, avaliado no período de 24 horas. Conforme pode ser observado na Tabela 1, o maior desvio foi de 2,9 dB(A), indicando que o mapa foi calibrado com desvio menor que 3 dB(A).

Tabela 1 – Comparação dos NPS medidos e previsto na simulação

Medida	Leq_{previsto} dB(A)	Leq_{medido} dB(A)	Diferença dB(A)
1	71,4	70,8	0,6
2	72,3	71,6	0,7
3	74,8	71,9	2,9
4	71,0	68,2	2,8
5	71,9	69,3	2,6
6	71,2	69,0	2,2
7*	67,8	66,9	0,9
8*	71,2	69,2	2,0

*As medidas 7 e 8 referem-se ao Lden

Os resultados da avaliação da população exposta por faixa de valores dos indicadores de ruído Lden e L_n é apresentado na Tabela 2. A população que habita a área de estudo é de 97.915 [1], que corresponde à Águas Claras vertical.

Tabela 2 - População exposta por faixa dos indicadores Lden e Ln

Intervalo em dB(A)		<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80
Lden	Habitantes	14.136	10.379	8.354	8.697	10.966	17.343	16.655	11.043	343
	%	14,4	10,6	8,5	8,9	11,2	17,7	17,0	11,3	0,4
Ln	Habitantes	22.181	8.409	8.443	9.903	15.738	17.319	14.473	1.438	11
	%	22,7	8,6	8,6	10,1	16,1	17,7	14,8	1,4	0,01

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos com outros autores, foram utilizados como limites os estabelecidos para o tráfego veicular na União Europeia, 65 dB(A) para o período diurno e 55 dB(A) para o noturno [16,17 e18]. Na da Tabela 2 somando-se os percentuais da população exposta a NPS acima de 65 dB(A), no período diurno encontra-se 29%, enquanto que no período noturno 50% extrapolam o limite de 55 dB(A).

Na Tabela 3 é apresentada uma comparação dos resultados do presente trabalho com o de outros países na Europa e Ásia, Lee *et al.* [17]. Em Tainan, Taiwan, mais de 90% da população está exposta a NPS acima de 63 dB(A) [19]. Em Brasília [3], cidade também planejada, os valores são 13% e 15%, bem abaixo dos NPS encontrados em Águas Claras. Na comparação é possível verificar que Águas Claras apresenta os maiores índices, tanto para o Lden como para Ln.

Tabela 3 – Comparação dos resultados deste trabalho com outros

Local	Lden ≥ 65 dB(A)	Ln ≥ 65 dB(A)
Seul	16%	35%
Londres	15%	19%
Berlin	7%	10%
Madrid	15%	20%
Porto (Pt)	24%	-
Brasília	13%	15%
Águas Claras	29%	50%

Na Tabela 4 são apresentados os percentuais de pessoas incomodadas e altamente incomodadas pelo tráfego rodoviário, na Tabela 5 estão os percentuais de pessoas com distúrbios no sono.

Tabela 4 – Pessoas incomodadas pelo tráfego rodoviário

dB(A)		<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	Total
I	Habitantes	255	375	681	1.221	2.345	5.163	6.837	5.922	343	23.132
	%	14,4	10,6	8,5	8,9	11,2	17,7	17,0	11,3	0,4	23,6
AI	Habitantes	0	26	213	429	895	2.247	5.038	4.733	186	13.767
	%	0,0	0,0	0,2	0,4	0,9	2,3	5,1	4,8	0,2	14,1

Os resultados expressos na Tabela 4, indicam que 38% da população que habita a cidade é incomodada pelo tráfego rodoviário da cidade. O ruído devido ao tráfego noturno provoca distúrbios no sono em 25% da população da cidade.

Tabela 5 – Pessoas com distúrbios no sono

dB(A)		<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	Total
DS	Habitantes	659	938	1.506	3.170	4.487	4.706	575	5	1.6045
	%	0,7	1,0	1,5	3,2	4,6	4,8	4,8	0,0	16,4
EDS	Habitantes	376	376	657	1.504	2.290	2.552	2.552	3	7.963
	%	0,3	0,4	0,7	1,5	2,3	2,6	2,6	0,0	8,1

Tabela 6 – Comparação entre Águas Claras, Brasília e Cidade do Porto, Lden dB(A)

	≤ 50	50 - 55	55 - 60	60 – 65	65 - 70	≥ 70	Σ >55
Águas Claras	32.869 33,2%	8697 8,9%	10966 11,2%	17343 17,7%	16655 17,0%	11.386 11,7%	56.350 57,6%
Brasília	138.252 60,4%	47.851 20,9%	17.882 7,8%	11.428 5,0%	7.772 3,4%	4.709 2,1%	41.791 18,3%
Cidade do Porto*	56.339 21,4%	52.901 20,1%	54.825 20,8%	36.817 14,0%	30.478 11,6%	31.771 12,1%	153.891 58,5%

*Fonte: Afonso, [20] adaptado

Os resultados indicam que Águas Claras, apesar de jovem e planejada, apresenta níveis de pressão sonora elevados quando comparados com outras cidades, mesmo as não planejadas e já consolidadas. A comparação com Brasília, cidade vizinha indica que a verticalização da cidade pode implicar em maiores níveis de contaminação acústica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a contaminação acústica devido ao tráfego rodoviário em Águas Claras é grande e que as áreas vizinhas as duas grandes avenidas da cidade estão em desconformidade com a Legislação, tanto para o período diurno, quanto noturno. O processo de verticalização pode acarretar um aumento significativo nos NPS numa região.

A contaminação acústica, incomoda 38% da população residente na cidade e provoca distúrbios no sono em 25% dos habitantes, o que prejudica a qualidade de vida e a saúde da população.

Políticas públicas no sentido da implantação de um plano de redução de ruídos devido ao tráfego rodoviário são recomendadas para cidade.

REFERÊNCIAS

- [1] PDAD – Águas Claras (2016). Disponível em http://www.aguasclaras.df.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/PDAD_Aguas_Claras_2016.pdf. Acesso em 25/04/2017.
- [2] World Health Organization (WHO) (1999). In: Berglund B, Lindvall T, Schwela D, eds. *Guidelines for Community Noise*. Geneva: World Health Organization; 1999.
- [3] GARAVELLI, S. L., MAROJA, A M., COSTA, C. A., CARVALHO Jr, E. B. O Projeto de Lucio Costa para Brasília – DF e a Contaminação Acústica. *6º. Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável*. 2014. v.1. p.1597 1608.

- [4] PAUNOVIĆ K., BELOJEVIĆ G., JAKOVLJEVIĆ B., (2014) Noise annoyance is related to the presence of urban public transport. *Science of The Total Environment*, 481, 479-487.
- [5] GARAVELLI, S. L., MAROJA, A M., COSTA, C. A., CARVALHO Jr, E. B. *Estudo do ruído ambiental, com foco no ruído veicular* (2012). Disponível em <http://www.ibram.df.gov.br/component/content/article/310.html>
- [6] FREIA, P., MOHLERA E, ROOSLIA M. (2014). Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 217, (2-3), 188–195.
- [7] GONZÁLEZ, A. R e CALLE E. A. D. (2014). Objective and subjective indicators of traffic noise pollution in chapinero district (Bogotá city, Colombia). *Gestión y Ambiente*, Volumen. 17 (2): 45-54.
- [8] OKOKON E., TURUNEN A., UNG-LANKI S., VARTIAINEN A., TIITTANEN P., LANKI T. (2105) Road-Traffic Noise: Annoyance, Risk Perception, and Noise Sensitivity in the Finnish Adult Population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12(6)5712.
- [9] APA (2004) Agência Portuguesa do Ambiente. *Diretrizes para elaboração de mapas de ruído*. Disponível em: http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/Proj_Pil_Map_Ruido.pdf . Data de acesso: 12 de março de 2011.
- [10] World Health Organization WHO - *Night Noise Guidelines for Europe*, 2009. Disponível em <www.euro.who.int/document/e92845.pdf>. Acesso em 21 de Abril de 2010.
- [11] APA. Agência Portuguesa do Meio Ambiente. *Guia prático para medições de ruído ambiente*, 2011. Disponível em: < http://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/
- [12] BENTO E. F. M. A incomodidade do ruído: relações com o nível de exposição sonora e identidade de lugar. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 92pg, 2011.
- [13] EC (2002) *Position paper on dose-response relationships between transportation noise and annoyance*. European Commission - EU's Future Noise Policy, WG2 – Dose/Effect. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noise_expert_network.pdf Data de acesso: 09 de abril de 2011.
- [14] World Health Organization WHO (2000). *Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for WHO European Region*, W.H.O. Copenhagen, Denmark.
- [15] ECWG - European Commission Working Group. Position Paper On Dose-Effect Relationships for Night Time Noise, European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects, 2004. Disponível em <ec.europa.eu/.../noise/pdf/positionpaper.pdf >
- [16] World Health Organization (WHO). Burden of disease from environmental noise, 2011. Disponível em <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf>. Acesso em 20/04/2018.
- [17] Lee, J.; Gu, J.; Park, H.; Yun, H.; Kim, S.; Lee, W.; Han, J.; Cha, Jun-Seok (2014) Estimation of Populations Exposed to Road Traffic Noise in Districts of Seoul Metropolitan Area of Korea. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 11, 2729-2740.
- [18] Arana, M.; Martin, R. S.; Salinas, J. C. (2014) People exposed to traffic noise in European agglomerations from noise maps. *A critical review*. *Noise Mapp* 1:40–49.
- [19] Tsai, K.; Lin, M.; Chen, Y. (2009). Noise mapping in urban environments: a Taiwan study. *Applied Acoustics* 70, 960-972.
- [20] Afonso, E. S. S. *Critérios de priorização para intervenções ao nível dos PMRR*, Dissertação de mestrado. Universidade do Porto, 2010. Disponível em <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58907/1/000145655.pdf>> Acesso em 15 de setembro de 2012.
- [21] Eunice Y. Lee, M. Z. (2014). *Assessment of traffic-related noise in three cities in the United States*. Elsevier, 182-189.
- [22] Plan, H. Y., Yano, T., et al., (22 de junho de 2009). *Community responses to road traffic noise in Hanoi and Ho Chi Minh City*.

[23]Seong, J.C.,Park,T.H.,etal.,2011.Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA. *Environ.Int.* 37(8), 1336–1341.

APÊNDICE A – Fotos de Saída de Campo



Figura 1 –Ponto de Coleta da Avenida Castanheiras período da manhã



Figura 1 –Pontos de Coleta da Avenida Castanheiras no período da noite



Figura 1 –Pontos de Coleta de uma das avenidas Boulevard Sul



Figura 1 –Pontos de Coleta Avenida Araucárias no período vespertino

APÊNDICE B – Tabelas**Tabela 3 – Média da Velocidade veicular**

Horário(h)	Média Periodo
00:00 às 01:00	46
01:00 às 02:00	47
02:00 às 03:00	47
03:00 às 04:00	47
04:00 às 05:00	47
05:00 às 06:00	46
06:00 às 07:00	45
07:00 às 08:00	44
08:00 às 09:00	44
09:00 às 10:00	44
10:00 às 11:00	44
11:00 às 12:00	43
12:00 às 13:00	43
13:00 às 14:00	43
14:00 às 15:00	44
15:00 às 16:00	44
16:00 às 17:00	43
17:00 às 18:00	41
18:00 às 19:00	39
19:00 às 20:00	41
20:00 às 21:00	43
21:00 às 22:00	43
22:00 às 23:00	44
23:00 às 00:00	45

Tabela 4 – Média do volume veicular

Horário(h)	Média Período
00:00 às 01:00	373
01:00 às 02:00	207
02:00 às 03:00	128
03:00 às 04:00	88
04:00 às 05:00	77
05:00 às 06:00	145
06:00 às 07:00	572
07:00 às 08:00	1078
08:00 às 09:00	1105
09:00 às 10:00	1194
10:00 às 11:00	1314
11:00 às 12:00	1510
12:00 às 13:00	1725
13:00 às 14:00	1615
14:00 às 15:00	1484
15:00 às 16:00	1510
16:00 às 17:00	1565
17:00 às 18:00	1705
18:00 às 19:00	1812
19:00 às 20:00	1716
20:00 às 21:00	1552
21:00 às 22:00	1370
22:00 às 23:00	1196
23:00 às 00:00	638

Tabela 5 – Média total do volume por porte

Média Período Motos	Média Período Pequeno	Média Período Médio	Média Período Grande	Média Período Sem Def	Média Período Total
6	346	1	1	15	369
3	193	0	0	8	204
2	118	0	0	5	126
1	80	0	0	4	86
1	67	1	0	5	76
2	124	2	5	10	143
10	482	9	24	41	565
16	954	5	26	68	1068
17	973	5	23	75	1094
19	1060	6	18	79	1183
19	1171	7	15	96	1309
18	1336	7	13	129	1503
18	1506	12	12	171	1718
17	1411	8	12	154	1602
16	1302	4	15	134	1472
17	1336	5	15	128	1501
19	1392	4	19	122	1556
20	1504	4	21	144	1693
19	1596	6	16	158	1794
18	1545	3	15	118	1700
16	1422	2	11	86	1537
14	1265	1	9	70	1359
13	1105	1	8	60	1187
8	592	1	3	29	633