

MAPA DE PREDICCIÓN DEL RUIDO AMBIENTE EN BELÉM - BRASIL

Elcione L. Moraes (1); Francisco Simón (2); Luis Henrique Guimarães (3)

(1) Pós doutora, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, elcione@hotmail.com
Universidade da Amazônia. Av. Alcindo Cacela, 287, CEP: 66060-902. Tel: (91) 3171 5190.

(2) Doutor Pesquisador Titular do Instituto de Acústica de Madrid, fsimon@ia.cetef.csic.es
Consejo Superior de Investigación Científica de Madrid – España. Tel: (+34) 654237522

(3) Aluno do curso de Arquitetura e Urbanismo, luishenrique_@hotmail.com
Universidade da Amazônia. Av. Alcindo Cacela, 287, CEP: 66060-902. Tel: (91) 8832 8837.

RESUMO

En el año 2002 dio comienzo un programa a largo plazo para el estudio del ruido de la ciudad de Belém. El objetivo no solo es determinar los niveles de ruido en ella, mediante la medición del ruido en la ciudad y la elaboración de un mapa de ruido a través de un modelo de cálculo, sino, además, predecir los niveles de ruido para la próxima década. En este trabajo, se presentan el método y los resultados de dicha predicción y el impacto sonoro producido por la propuesta del Plan Director del Transporte Urbano de la Región Metropolitana de Belém, PDTU2001, en el que se presentan propuestas de ampliación y modificaciones en las vías que deberán ser implantadas hasta del año de 2020. Se han realizado las alteraciones del diseño de las vías que sufrirán cambios, los cálculos de la simulación predictiva, a través de un programa de predicción comercial y, por fin, los análisis del impacto sonoro que serán generados con el plano.

Palabras-clave: mapa acústico, ruido ambiente, predicción sonora,

ABSTRACT

In 2002 a long term program set out to study the environmental noise of Belém, Brasil. The goal is to determine noise levels all around the town empirically and compose a noise map, firstly from the measures and later by the use of a calculation method, but, also, to predict the levels of noise for next decade. In this work, are presented the method, the results of the prediction and the sound impact by the proposal of the Managing Plan of the Urban Transport of the Metropolitan Region of Belém, PDTU2001, in which expansion offers and modifications are presented in the route that will be implanted until 2020. They have been the alterations of the design of the route that will suffer changes, the calculations of the predictive simulation, through a program of commercial prediction and, finally, the analyses of the sound impact that will be generated with the plane.

Keywords: noise map, environmental noise, sound prediction

1. INTRODUÇÃO

En el año 2001 se elaborado el Plan Director para el Transporte Urbano de Belém - PDTU 2001, con el objetivo de reevaluar las directrices propuestas por el PDTU de 1991 para el sistema viario, circulación y especialmente para el transporte público.

El PDTU/2001 (ACIJ, 2001) presenta, entre otras cosas, el diagnóstico de la situación en ese momento de los sistemas de transporte, de circulación y viario de la Región Metropolitana de Belém (RMB). El plan proporciona datos que posibilitan, a corto plazo, la racionalización operacional del sistema de transporte colectivo metropolitano; prevé la demanda futura de los sistemas de transporte y de circulación de la RMB;

recomienda intervenciones a corto plazo en los sistemas de circulación y viario de la RMB; indica tecnología de sistemas compatibles con las condiciones locales, considerando la demanda y las características físicas de los principales ejes viarios.

En el dicho estudio, los investigadores concluyen que el sistema viario de la ciudad no es adaptado a la demanda de vehículos motorizados, en especial en la relación centro-periferia-centro, por la existencia de discontinuidades entre la 1ª Legua Patrimonial y el Área de Expansión de la Región Metropolitana. Estas discontinuidades o escasez de oferta viaria llevan a la saturación de las pocas vías de unión existentes. También consideran, que en la actualidad, las relaciones viarias perimétricas y diametrales a la RMB son precarias; por lo que en el futuro será necesario crear una red viaria de unión más eficiente entre la 1ª Legua y el área de expansión.

Los autores hacen, también, una predicción futura para la RMB y la población. Según los estudios, la población de la ciudad tendrá una tasa de crecimiento de aproximadamente 1.7, lo que corresponde a un 2.6% por año hasta el año 2020. Hoy la mayor parte de la población está concentrada en la 1ª Legua, sin embargo en el año de 2010 habrá un pequeño incremento de la densidad en esta zona, especialmente en los barrios que dan acceso a ella. Para el año de 2020 los investigadores prevén la estabilidad en la población de la 1ª Legua y un aumento en las áreas a lo largo de la vía principal de acceso a la ciudad, la autovía BR-316.

En cuanto a la red viaria, los autores formulan alternativas de intervenciones en el sistema viario, considerando el conjunto de vías ya existentes y las propuestas para la RMB, complementadas por los nuevos ejes de unión entre los principales nudos de circulación. Partiendo de estas propuestas se establecen dos grados jerárquicos para el referido conjunto de vías teniendo en cuenta la función de cada vía y la movilidad de la población.

Así, se han visto incrementadas las vías secundarias con el fin de ampliar las relaciones entre los ejes principales. Las vías principales y secundarias han sido agrupadas en siete categorías viarias que comunican el área de expansión con la 1ª Legua. De las siete categorías solo uno de ellos afecta al área interna de la 1ª Legua Patrimonial, área de alcance del mapa acústico de Belém.

En cuanto al sistema de tráfico se ha propuesto el Plan de Gestión del Tráfico en el que se reordenará el sistema de circulación actual para ajustarlo a las propuestas de expansión del sistema viario y a la nueva concepción operacional del sistema de transporte colectivo, además de incluir un carril bici, la implantación de elementos urbanos reductores de velocidad y la creación de un moderno sistema de Control del Tráfico en el Área (CTA), para la gestión del sistema de circulación en el área central a través de control de la señalización semafórica *on line*.

Toda la predicción del sistema propuesto solo se ha podido realizar después de las previsiones de la demanda, llevada a cabo por los investigadores. Los autores la realizan por estimación de demanda de transporte privado y del transporte público en la RMB, es decir, por el número total de viajes, en las horas punta, en los años de 2000, 2010 y 2020. Tanto en el caso de los vehículos privados como en el del transporte público, el número de viajes se incrementa a 1.98 y 2.01, respectivamente, que es superior a la tasa de crecimiento de la población para el mismo periodo.

Con la simulación los autores concluyen que habrá una gran concentración de flujo de vehículos y de transporte público en la zona de la 1ª Legua, superior al flujo actual, con lo cual, los futuros proyectos viarios y de transporte necesitarán de refuerzos en los ejes de conexión entre el área de expansión y la 1ª Legua. Las propuestas presentadas en el PDTU/2001 se incrementarán dando prioridad a las situaciones más conflictivas del tráfico y del sistema de transporte público.

Algunos cambios ya han sido implantados en la ciudad. El sistema viario viene pasando por grandes reformulaciones. En este sentido, y por todo lo que ha sido expuesto, en éste artículo se presenta el análisis del impacto sonoro que esos cambios pueden generar, en el año de 2020, en el área de actuación del Mapa Acústico de Belém, es decir, en la zona de la 1ª Legua Patrimonial.

Las áreas afectadas por el PDTU/2001, situado dentro de la 1ª Legua son: la Av. Perimetral; la Av. Almirante Barrosos; el sistema Binario Av. Pedro Álvares Cabral – Av. Senador Lemos; la Calle de Belém y el cruce de las Avenidas Pedro Mirante y Dr. Freitas. En esos tramos se han dibujado los cambios físicos presentados en el proyecto y se ha introducido el flujo de vehículos y las modificaciones del sistema de transporte público, para a continuación calcularse el mapa de ruido predictivo para el año de 2020. En éste trabajo, se presentan el método de predicción y los mapas acústicos resultantes en dos de las principales zonas afectadas por el PDTU2001.

2. OBJETIVO

El objetivo de éste trabajo es analizar el impacto sonoro que los la implantación del proyecto PDTU2001 puede generar, en el año de 2020, en parte del área de actuación del Mapa Acústico de Belém.

3. MÉTODO

3.1. Método de Cálculo del Mapa Acústico de Belém

Para el cálculo predictivo se ha utilizado el *Software Predictor 7810 V. 6.0* da *Brüel & Kjaer* (BRÜEL & KJÆR, 2007) diseñado para la evaluación y predicción de la contaminación acústica generada por fuentes de ruido. El software está diseñado para investigar el resultado de varias hipótesis sobre las medidas del control del ruido y para organizar los datos de forma que se facilite su uso efectivo y continuado.

Se ha probado varios métodos de cálculo y se ha elegido el método ISO 9613.1/2 (*Road Traffic*) por ser el que mejor se adapta a las necesidades del estudio que se plantea, además de permitir la introducción de los valores de las variables climáticas (temperatura de aire, humedad relativa y presión atmosférica), algo importante en nuestro caso. Las normas de cálculo usadas en el módulo de tráfico rodado son:

- ISO 9613- 1: Attenuation of sound during propagation outdoors – part 1: calculation of sound by atmosphere (first edition 1993-06-01).
- ISO 9613- 2: Attenuation of sound during propagation outdoors – part 2: General method of calculation (first edition 1996-12-15).

De acuerdo a la ISO 9613.1/2 (*Road Traffic*) se calcula el nivel sonoro a partir de la fórmula:

$$L_{lt,per} = L_{dw} - C_m \quad (1)$$
$$L_{dw} = L_w - r - A$$

$L_{lt,per}$ = Nivel en octavas (ó 1/3 de octava) a largo plazo en dBA(A) durante el periodo de evaluación.

C_m = Corrección debido a las variables meteorológicas en dBA.

L_{dw} = Nivel continuo equivalente por acción del viento en octava (ó 1/3 de octava) NPS en dBA.

L_w = Nivel de potencia acústica de la fuente en dBA por octava (ó 1/3 de octava), re1pW.

r = Reducción definida por el usuario en dBA por octava (ó 1/3 de octava).

A = Atenuación (banda de octava) en dBA por octava (ó 1/3 de octava).

La atenuación A es calculada a partir de de la fórmula:

$$A = D_c + A_d \quad (2)$$

D_c = Corrección por directividad, en dBA.

A_d = Atenuación sonora debida a distintos efectos geográficos, como distancia, absorción en el seno del aire, presencia de obstáculos, efecto del suelo, etc.

3.2. Modelo Utilizado

Para la realización de la predicción se ha introducido, en un modelo virtual 3D (Figura 1), todos los elementos relevantes en la propagación del sonido en el espacio abierto. Para ello se ha importado la base cartográfica de área de actuación desde el *Autocad* al *Predictor* considerando todas los elementos que dan lugar a la ciudad: la topografía del terreno; las edificaciones (introduciendo la altura de los edificios); la fuente de ruido por categoría de vehículos (en este caso el ruido de tráfico rodado), además de otros factores importantes como el tipo de asfalto y las variables meteorológicas.

Respecto a la introducción de la topografía del terreno se han utilizado las curvas de nivel representadas en la cartografía original facilitada por la Compañía de Administración de la Región Metropolitana de Belém - CODEM.

Para la inserción de las edificaciones, la forma y la altura de cada edificio ha sido definida a partir de la base cartográfica indicada anteriormente. La referida base ha sido actualizada a partir de las fotografías generadas por satélite, disponibles en la página Web del Google Earth y de visitas “*in situ*”.

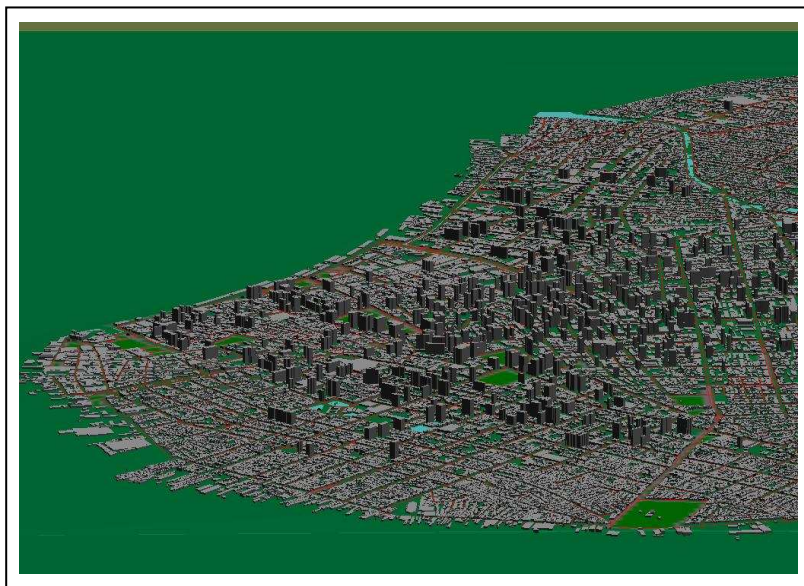


Figura 1. Modelo 3D de la ciudad de Belém.

3.3. Aforos del Tráfico

Para la determinación de los aforos del tráfico (fuente de ruido considerada), debido a la escasa información sobre el número de vehículos en la ciudad, se ha tenido en cuenta el conteo realizado por el propio PDTU 2001 en algunas de las principales vías de tráfico, y el conteo llevado a cabo por la Compañía de Transportes Urbano de Belém (CTBEL) en algunas esquinas de gran flujo de vehículos. En ambos casos los datos eran insuficientes para caracterizar toda la zona de estudio, de modo que, se ha desarrollado una estrategia de estimación de los datos a las zonas carentes de la información necesaria.

La estimación consiste en utilizar el valor del nivel de presión sonora en los puntos medidos como el parámetro de ajuste. Es decir, en las calles en que se conocía el nivel de presión sonora, el número de coches, las características físicas (ancho, tipo de asfalto, altura media de los edificios) y el tipo de uso de la vía (residencial, comercial, mixta) se ha estipulado una categoría de calle, con lo cual, a otras calles con características similares se les asignaba un número de coches similares (MORAES; SIMÓN; GUIMARÃES; FERNANDEZ, 2008).

Además de lo expuesto, y para comprobar la fiabilidad de la estimación, han sido realizados nuevos conteos manuales en algunos puntos importantes de la ciudad.

El cálculo de los niveles de ruido en las calles donde están los puntos de medición ha sido ajustado procurando que el error, con respecto a las medidas, estuviese acotado en ± 2 dBA.

La estrategia de estimación ha sido probada en todos los puntos de medición localizados en las vías públicas. El resultado de la estimación se puede ver resumido en la figura 2.

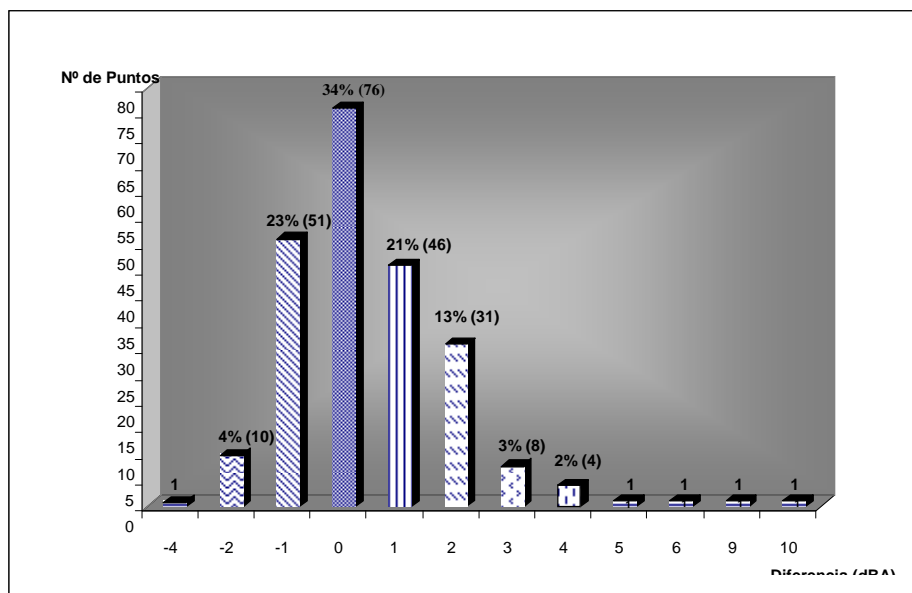


Figura 2. Gráfica con la desviación entre el modelo calculado y el medido (en dBA).

Para el cálculo de la absorción del aire, en función de la influencia de las condicionantes meteorológicas, se ha considerado una temperatura del aire media de 301 K (28°C), humedad relativa de 85% y presión atmosférica de 101,33 kPa. El cálculo ha sido realizado considerando un radio máximo de búsqueda de fuente a 500 metros del punto de cálculo (micrófono).

Para la realización del cálculo el nivel de ruido considerado ha sido el Nivel Equivalente Día L_D (7–20h) en dBA. Se ha elegido una malla de 20X20 metros, lo que ofrece una gran definición del campo de niveles calculados, dado el tamaño de la ciudad, posicionada a una altura de 1,50 metros del suelo.

Debido a la grande dimensión del área de estudio y el tiempo del cálculo, ha dividido la ciudad por barrios y los barrios han sido calculados uno a uno por separado. Se ha obtenido, así, el mapa de ruido a partir de curvas isofónicas para cada barrio de la ciudad que luego han sido unidos a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), generando, por fin, el mapa acústico completo de Belém.

3.4. Predicción del Tráfico de vehículos

Partiendo de los valores del número total de vehículos, facilitados por el Departamento Nacional de Tráfico - DENATRAN, en Brasil, para los periodos anuales 2000, 2001, 2002, 2003, 2006 y 2007. Se ha realizado una interpolación lineal para obtener los valores correspondientes de los años 2004 y 2005. De igual manera se ha realizado una extrapolación, también lineal, para predecir los valores de vehículos en los años sucesivos hasta 2020. Ha sido considerada la velocidad de desplazamiento de los vehículos a partir del aumento del número de coches en una relación inversamente proporcional. Los valores obtenidos y la representación gráfica de la extrapolación están resumidos en la tabla 1 y en la figura 3 abajo.

Tabla 1: Predicción del tráfico hasta el año de 2020 en la ciudad de Belém

AÑOS	2000	2001	2002	2003	2004
Nº de vehículos (Denatran)	135271	166000	153600	159383	
Interpolación (Lineal)	135271	145237	151674	159383	178290
Extrapolación (Lineal)	135271	145237	151674	159383	178290
Porcentaje de Crecimiento (%)		7.37	4.43	5.08	11.86

AÑOS	2005	2006	2007	2008	2009
Nº de vehículos (Denatran)		183614	254000		
Interpolación (Lineal)	197190	220850	253980		
Extrapolación (Lineal)	197190	220850	253980	287110	320240
Porcentaje de Crecimiento (%)	10.60	12.00	15.00	13.04	11.54

AÑOS	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de vehículos (Denatran)					
Interpolación (Lineal)					
Extrapolación (Lineal)	353370	386500	419630	452760	485890
Porcentaje de Crecimiento (%)	10.35	9.38	8.57	7.90	7.32

AÑOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nº de vehículos (Denatran)						
Interpolación (Lineal)						
Extrapolación (Lineal)	519020	552150	585280	618410	651540	684670
Porcentaje de Crecimiento (%)	6.82	6.38	6.00	5.66	5.36	5.08

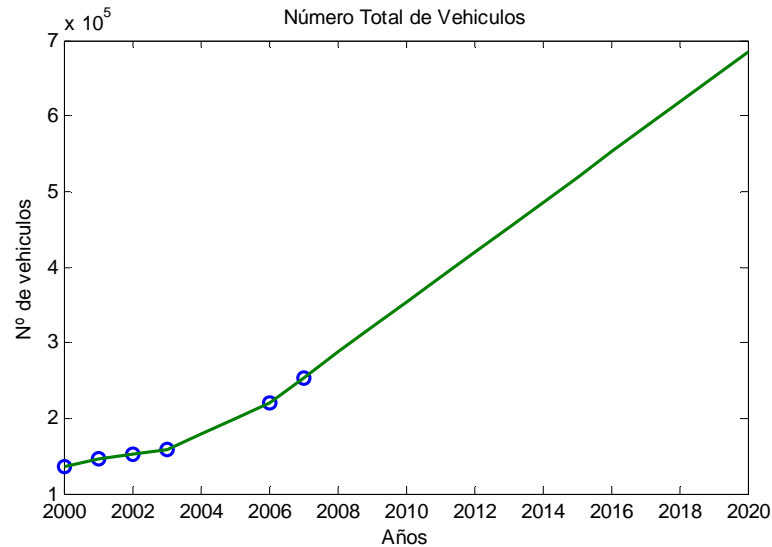


Figura 3: Gráfica de la predicción del tráfico en el año de 2020 en la ciudad de Belém.

4. RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados de dos de las avenidas que van a sufrir grande interferencia en le trazado de las vías, la Av. Perimetral y la Av. Almirante Barroso. La primera será duplicada y la segunda será reestructurada en toda su extensión.

4.1. Av. Perimetral

La Av. Perimetral es la parte Este del arco que rodea la zona de la 1ª Legua, limita con la Av. Almirante Barroso y la Calle Augusto Correa. Actualmente es una vía de doble sentido con un carril para cada sentido. Une la entrada de la ciudad con la ciudad universitaria - UFPA, la estación principal de la Central Eléctrica del Norte de Brasil – ELETRONORTE y la Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria – EMBRAPA. Con un flujo de vehículos muy intenso durante los periodos de mañana y tarde.

En un futuro próximo, será implantado, en terrenos de la Universidad Federal del Pará – UFPA – el Centro de Tecnología del Pará (CT), un complejo de edificios que albergará varios centros de investigación. Con la implantación del CT se prevé que el flujo de vehículos sea dos o tres veces mayor que actual. Así, el estudio PDTU/2001 propone la duplicación de la vía, aumentando el área y la velocidad de circulación de los vehículos.

La propuesta del PDTU/2001 se ha incorporado al diseño del plano introducido en el nuestro modelo y se han calculado los niveles de ruido previstos para el año de 2020. En las figuras 4 y 5 se puede ver el mapa de ruido calculado en la zona de la Av. Perimetral, en el estado actual y una vez introducida las propuestas de modificación.



Figura 4: Detalle del mapa acústico actual en la Av. Perimetral.

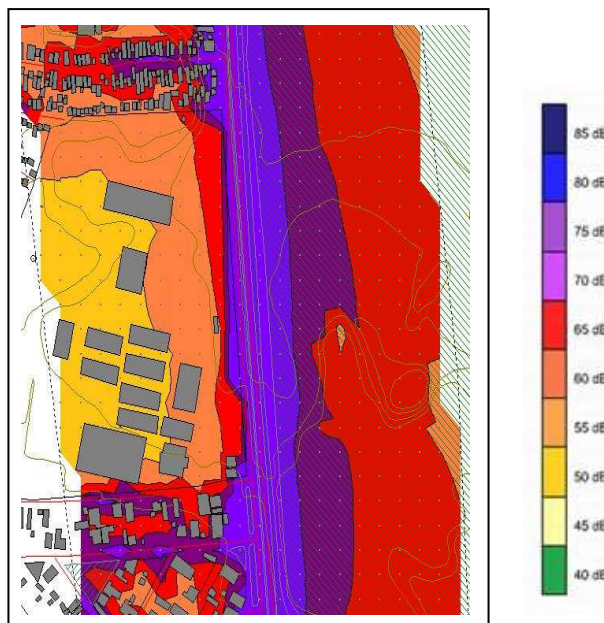


Figura 5: Detalle del mapa acústico predictivo en la Av. Perimetral en el año de 2020.

Los niveles sonoros máximos actuales en la Av. Perimetral están entre los 70dBA y 75dBA, sin embargo, en las calles transversales (secundarias), de uso predominantemente residencial, los niveles están entre los 55dBA y 65 dBA.

En la nueva situación se puede percibir claramente el incremento en el nivel sonoro con relación a la situación actual, incluso en las vías transversales, en especial en la esquina de la Av. Perimetral con la Av. Almirante Barroso. Se observa que en casi toda la extensión de la avenida los niveles estimados son de 75dBA hasta 84dBA, llegando a alcanzar valores de 90dBA, a excepción del tramo entre la Calle Eneas Pinheiro y Calle Angustura en el que los niveles sonoros son superiores a 70dBA pero no sobrepasan los 80dBA.

En esta zona las edificaciones están alejadas del eje de la vía y se concentran en un lado de la avenida (calle en “L”). Esta forma urbana influye en la propagación del sonido, haciendo que éste se propague mejor hacia un solo lado de la vía, haciendo que haya reflexiones de los rayos sonoros en un solo lado y, por lo tanto, un campo reflejado asimétrico. Las áreas verdes (niveles entre 45 a 50dBA), distribuidas a lo largo de la avenida, hoy protegidas por el ruido debido a su distancia al eje viario, en el futuro estarán expuestas a niveles de ruido de entre 65 y 70dBA, lo que equivale a un incremento de unos 20dBA.

Se supone que con la implantación del conjunto de edificios que integrará el Centro Tecnológico, que será construido dentro de una gran área verde situada en ésta avenida, habrá una mayor circulación de vehículos, generando, así, un aumento en los niveles sonoros producidos por el tráfico rodado. Es importante resaltar que el barrio de Montese, en el que la Av. Perimetral es la vía más importante, es hoy uno de los menos afectados por el ruido.

4.2. Av. Almirante Barroso

Es la principal vía de entrada a la ciudad y una de las de más movimiento, dada su relación directa entre el centro y las autovías BR-316 (Belém-Brasília) y Augusto Montenegro, ejes viarios más importantes en el área de expansión. El ancho de la avenida varía entre 41,20m y 42,49m, es una vía de doble sentido, cada sentido contiene cuatro carriles, separados por una mediana. Hay un gran flujo de autobuses urbanos e interurbano, la mayor parte de la flota local circula por esta avenida.

Actualmente la Av. Almirante Barroso es la vía más problemática de la RMB. El conteo de vehículos realizado por el equipo del PDTU/200 indicó que el flujo diario en la avenida era de 91.600 vehículos y 1.480 bicicletas al día. En el periodo de la mañana, el de mayor flujo, circula más de la mitad del total de vehículos. El flujo diario de bicicletas justifica la construcción de un carril bici en la mediana central.

De las 136 líneas de autobús en la RMB, 69 utilizan la Av. Almirante Barrosos, es decir, un 51% de éstas. El flujo de vehículos es continuo en toda su extensión, interrumpido por la presencia de semáforos en las principales intersecciones.

Teniendo en cuenta la implantación de las líneas troncales en esta avenida, y la demanda del tráfico, el proyecto PDTU/2001 propone la reestructuración de toda su infraestructura, con la implantación de un carril exclusivo para los autobuses en cada sentido, en la parte central de la vía, con anchura de 16,50m y separadas por una pequeña mediana. El carril exclusivo para los autobuses tendrá paradas cada 600m, posibilitando, así, mejor integración y mayor accesibilidad a los viajeros. Debido a los límites físicos de la avenida los dos sentidos de la vía quedarán con tres carriles para el resto de los vehículos, sin carril para paradas y/o aparcamiento.

Debido a los límites físicos de la avenida los dos sentidos de la vía quedarán con tres carriles para el resto de los vehículos, sin carril para paradas y/o aparcamiento. Ver detalle de la vía en la figura 6.

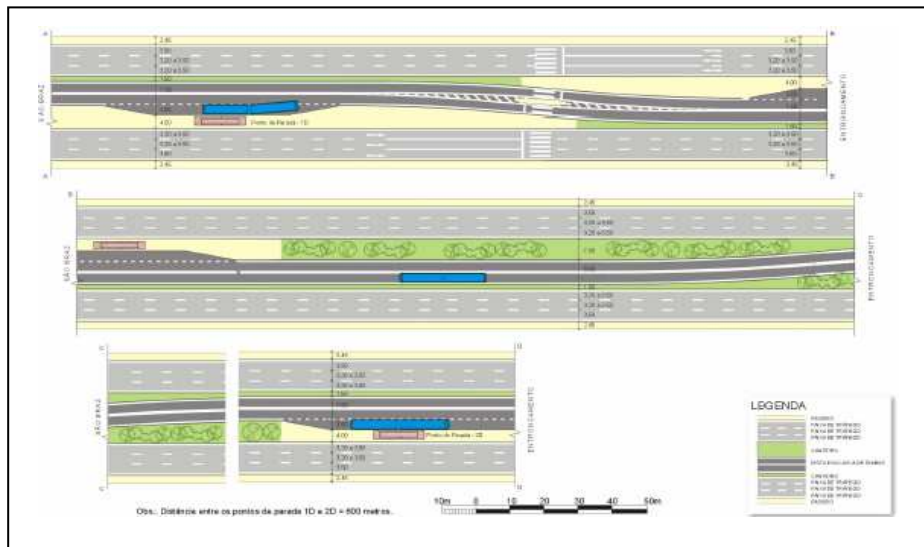


Figura 6: Plan propuesto por el PDTU/2001 para la Av. Almirante Barroso.

La predicción para el tráfico es de un incremento del 56% para autobuses, cerca de un 87% de motos, un 40% de coches de turismo y de un 100% para los camiones pequeños incluyendo las furgonetas de transporte de viajeros. Las figuras 7 y 8 muestran la simulación de los niveles sonoros en la actualidad y la predicción para el año 2020.

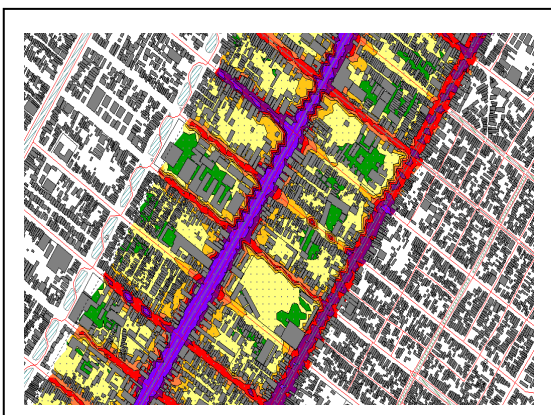


Figura 7: Detalle del mapa acústico actual para la Av. Almirante Barroso

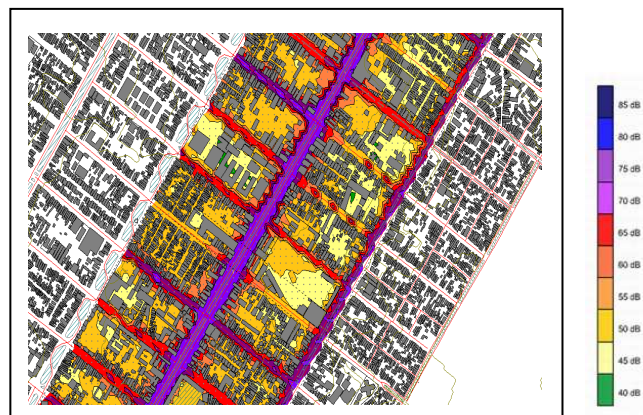


Figura 8: Detalle del mapa acústico predictivo para la Av. Almirante Barroso, año 2020.

La avenida Almirante Barroso es hoy una de las vías más contaminada por el ruido en la ciudad. Los niveles sonoros son superiores a 85dBA, y llegan a 90dBA en las horas punta y en las zonas de tráfico más intenso, considerando un incremento medio de 55% en el número total de vehículos que por ella circulan.

Las vías transversales a ella, especialmente las que la cruzan, tiene un flujo de vehículos constante y altos niveles sonoros, entre 70dBA y 85dBA. Los tramos más afectados son las esquinas de la Av. Perimetral, la Av. Dr. Freitas y la Av. Almirante Barroso con el complejo de Sao Brás, en todos los casos los niveles sonoros pueden alcanzar los 90dBA.

En el futuro, como se puede observar en el mapa predictivo (Figura 8), los índices sonoros llegarán a los 88dBA, un incremento de 3dBA aunque podrá superar los 90dBA en puntos específicos como las intersecciones. Sin embargo, con el tiempo la vía no soportará un gran incremento en el número de vehículos en circulación, de modo que, gran parte de los vehículos buscarán vías alternativas de tráfico, ocasionando, así, el aumento del flujo y, en consecuencia, de los niveles sonoros en estas vías, que podrán llegar a superar 70dBA y alcanzar los 80dBA.

5. CONCLUSIONES

En general, la calidad del mapa predictivo depende también de la calidad y precisión de los datos de entrada suministrados al modelo, esa tarea no siempre es fácil. Existen procedimientos para ajustar los modelos a situaciones reales no previstas a la hora de diseñarlo, pero los resultados no son siempre satisfactorios. Los aspectos más relevantes de la información necesaria para la elaboración del mapa giran en torno de la cartografía disponible, los datos de tráfico y de población, los aspectos normativos y los medios disponibles.

Algunos parámetros necesitan de una correcta caracterización o se puede comprometer la fidelidad del resultado, especialmente la base cartográfica, -con alzado 3D-, incluyendo las líneas topográficas, la altura de las edificaciones, el tipo de suelo y todos obstáculos a la propagación (pantallas, muros, taludes, etc.). También la caracterización del tráfico de vehículos es importante, de hecho éste es el aspecto más relevante en la realización del mapa acústico a través de modelos matemáticos. En resumen, es importante tener un conocimiento profundo de todos los aspectos relacionados con la zona en que se va a intervenir, en caso contrario la acumulación de inexactitudes hará que los resultados sean poco fiables.

Por eso, en este trabajo y se han recogido y analizado con detenimiento los parámetros antes expuestos. El tráfico se ha clasificado por categoría de vehículos, mediante muestreo espacial y temporal y se ha estimado la velocidad de circulación. Además se han registrado las características de la vía (anchura y tipo de pavimento), también las características de las edificaciones (su altura, distancia hasta la vía pública y entre edificaciones, anchura,...) Por último también se registraron las condicionantes meteorológicas (humedad relativa del aire y temperatura).

Para valorar los resultados calculados se han comparado los resultados con los obtenidos experimentalmente en los 246 puntos de la campaña experimental. De esta comparación se observa que en un 94% de los puntos la diferencia entre ambos no supera los ± 2 dBA. Además en los casos en que la diferencia es mayor -en algún caso se ha llegado a 10 dBA- se han identificado las causas que, en general, están relacionadas con la deficiente definición o caracterización de otros tipos de fuente de ruido urbano que no son contempladas por el programa informático utilizado.

Toda la base cartográfica y de datos ha sido montada en un Sistema de Información Geográfica, en concreto se ha utilizado el programa *ArcMap*, lo que permite la integración entre todos los parámetros que influyen en el resultado y facilita el análisis de todo el conjunto o de partes concretas del modelo, así como, la elaboración de planes de actuación en materia de ruido. Además, dada la gran dimensión de la base cartográfica con los datos de cálculo, esta herramienta ha permitido la integración en un único mapa de todos los resultados parciales que se han ido obteniendo mediante cálculo.

El levantamiento de las curvas isofónicas en las áreas modificadas a partir del estudio sobre el desarrollo futuro de la ciudad ha permitido predecir cual será el impacto acústico del nuevo diseño viario de la ciudad, estimando la contribución de las intensidades sonoras debido al tráfico generado en esas zonas. Esto ha su vez puede servir para mejorar los criterios en los que se basa la toma de decisiones sobre la mejora del tráfico de vehículos.

Con ello se ha podido concluir que en las principales avenidas en que habrá un cambio significativo, como en la Av. Perimetral en la que habrá un incremento de cerca de 12%. El aporte mayor de las intensidades sonoras en los tramos alterados ha sido generado por los autobuses, debido el aumento de la frotta y al tipo de modelos.

A pesar de los beneficios técnicos y a la tendencia general a favor del empleo de métodos de previsión, los métodos de medición difícilmente pueden sustituirse completamente por los de cálculo, especialmente cuando se requiere una evaluación del ruido en situaciones complejas con múltiples fuentes. Sin embargo, la obtención de gran cantidad de datos mediante cálculo (si se hace con las garantías adecuadas y apoyados en datos experimentales) permite la realización de análisis más precisos sobre el impacto del

ruido en un área urbana específica.

Toda la información generada por el mapa predictivo, en forma de distribución espacial, podrá ser vista y analizada a partir del banco de datos creado en el GIS, que permitirá consultar todas las informaciones geográfica y planillas (tablas) y podrán utilizarse como apoyo en fases posteriores enfocadas hacia el desarrollo de un plan de gestión y la implicación de las distintas áreas municipales en el plan de acción contra el ruido.

5. REFERENCIAS

- ACIJ – AGÊNCIA DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL DO JAPÃO. Plano Diretor de Transportes Urbanos. Região Metropolitana de Belém. Relatório Final. Belém, 2001.
- BRÜEL & KJÆR. Software Predictor 7810 Versión 5.4 y 6.0. BRÜEL & KJÆR, 2007.
- DENATRAN. Evolução da frota de veículos, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios das Capitais - 1990 a 2003. Disponível em: < <http://201.24.24.73:8080/renaest/detalheNoticia.do?noticia.codigo=113>>. Acesso em: 20 abr. 2007.
- MORAES, Elcione; LARA, Neyla. Mapa Acústico de Belém. Relatório de Pesquisa - FIDESIA, UNAMA: Belém, 2004.
- MORAES, Elcione; SIMÓN, Francisco. Mapa acústico de Belém: Previsión del nivel de ruido ambiental a través de un método de simulación computacional. Madrid: Trabajo final de estancia posdoctoral: Belém, 2008.
- MORAES, Elcione; SIMÓN, Francisco; GUIMARÃES, Luis; FERNANDEZ, María José. Caracterización del ruido de la ciudad de Belém. In: TECNIACUSTICA2008, 2008, Coimbra: SPA, 2005.
- PINTO, Jose R. Frota de veículos em Belém cresceu 53% em apenas 7 anos. www.paranegocios.com.br/anterior_cont.asp?id=2315. Acesso em: 04 jul. 2007.