

## **Replicando el comportamiento de una red neuronal artificial entrenada para estimar un índice de potencial de viajes**

**Charlie Williams Rengifo Bocanegra**

MSc. en Transportes, Dep. de Transportes, EESC – Universidad de São Paulo, Brasil

**Antônio Néelson Rodrigues da Silva**

Profesor Asociado, Dep. de Transportes, EESC – Universidad de São Paulo, Brasil

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es explorar procedimientos alternativos capaces de volver más efectiva la aplicación, en planificación de transportes, de un modelo desarrollado a través de Redes Neuronales Artificiales (RNA). Pensar, del punto de vista práctico, que un programa de computador sea imprescindible para la fase de entrenamiento de la red es aceptable, pero depender de ese programa también para estimaciones y simulaciones a partir de la red entrenada es muy restrictivo. De esta forma, lo ideal sería obtener instrumentos capaces de reproducir, fuera del *software* de RNA, el comportamiento de redes entrenadas, integrando la capacidad de predicción de las RNAs a otros ambientes y herramientas. Esto ampliaría los recursos de diferentes herramientas de planificación, permitiendo, por ejemplo, análisis de sensibilidad más simples y directos. Este trabajo será basado en un modelo ya desarrollado en otra investigación, en la cual se entrenó una Red Neuronal Artificial para estimar un Índice de Potencial de Viajes para planificación estratégica de transportes. Se trata de un caso típico en que, aunque la red entrenada conduzca a estimaciones razonables de número de viajes por domicilio a partir de variables que caracterizan la movilidad y la accesibilidad, no se puede realizar otros análisis a partir de los resultados sin hacer uso del *software* en que la Red Neuronal Artificial fue entrenada y obviamente del archivo con la red ya entrenada. De ahí la importancia de desarrollar alternativas capaces de volver más efectivo el uso de ese tipo de modelo. Entre las alternativas aquí exploradas está la reproducción del modelo de RNA en una hoja de cálculo, el desarrollo de un programa en *Visual Basic* y la construcción de ábacos. Todas las alternativas exploradas ilustran bien la ampliación de las posibilidades de realización de análisis de sensibilidad con los modelos de RNA. Es importante destacar todavía que, además de permitir la conducción de análisis de sensibilidad, las alternativas presentadas en este estudio pueden, de cierta forma, ayudar a los planificadores y tomadores de decisión a entender la lógica del modelo.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La solución de diversos problemas de ingeniería a través de Redes Neuronales Artificiales (RNAs) es bastante interesante, tanto por la forma como estos problemas son representados internamente por la red, como también por los resultados que genera, pues pueden llegar a presentar un desempeño superior al de los modelos tradicionales, por ejemplo, análisis de regresión. La posibilidad de *aprender* a través de ejemplos y de *generalizar* la información aprendida son, sin duda, los atractivos principales en la solución de problemas a través de

RNA. La generalización, que está asociada a la capacidad de la red aprender a través de un conjunto reducido de ejemplos y posteriormente dar respuestas coherentes para datos no conocidos, es una demostración de que la capacidad de las Redes Neuronales Artificiales va más allá de un simple mapeamiento de relaciones de entrada y salida. Las Redes Neuronales Artificiales son capaces de extraer informaciones no presentadas de forma explícita, a través de los ejemplos.

No en tanto, mismo siendo razonablemente conocida en diversos ramos de actividades, solamente en esta última década las Redes Neuronales Artificiales pasaron a ser utilizadas con más frecuencia en Ingeniería de Transportes. De acuerdo con los resultados encontrados en la literatura, desde entonces la técnica parece haberse mostrado adecuada también para aplicaciones en esta área. Los modelos construidos a partir de Redes Neuronales Artificiales, no en tanto, son en general oscuros para el usuario final. Además de no ser fácil entender el proceso de aprendizaje, en que los datos de entrada se vuelven los resultados de salida, los “modelos” en general dependen del *software* usado en el proceso de entrenamiento para producir estimaciones y simulaciones. Con los procedimientos propuestos en este trabajo, se espera poder volver más efectiva la aplicación, en planificación urbana y de transportes, de modelos construidos con Redes Neuronales Artificiales.

Una vez concebidos y testados esos procedimientos, para asegurarse que la capacidad de predicción de los modelos de RNAs no fue comprometida al integrarlos o transferirlos para otro ambiente, los modelos pueden ser entonces de hecho explorados como herramientas de análisis, con fuerte apelo práctico. En este trabajo, como un ejemplo del potencial de esta integración de RNA con otros recursos computacionales, serán conducidos análisis de sensibilidad con a alteración de los valores de las variables de entrada de un modelo elaborado por Raia Jr. (2000), destinado a estimar un Índice de Potencial de Viajes a partir de variables de movilidad y accesibilidad. Tres alternativas serán aquí exploradas con base en Bocanegra (2002): reproducción del modelo de RNA en una hoja de cálculo, el desarrollo de un programa en *Visual Basic* y la construcción de ábacos. Antes de detallar estas alternativas, no en tanto, será realizada una breve revisión, presentada en el ítem 2, de los conceptos y de aplicaciones de RNAs en transportes extraída de la literatura. Después de breve discusión del método, en el tercer ítem, son presentados los resultados de la aplicación aquí realizada como estudio de caso, seguidos por las conclusiones del presente artículo.

## **2. REDES NEURONALES Y SUS APLICACIONES EN TRANSPORTES**

Según Braga *et al.* (1998) las Redes Neuronales Artificiales son sistemas paralelos distribuidos, compuestos por unidades de procesamiento simple (nodos) que calculan determinadas funciones matemáticas (normalmente no-lineales). Esas unidades generalmente son conectadas por canales de comunicación que están asociados a determinado peso. Las unidades hacen operaciones apenas sobre sus datos locales, que son entradas recibidas por sus conexiones. El comportamiento “inteligente” de una Red Neuronal Artificial viene de las interacciones entre las unidades de procesamiento de la red. Las Redes Neuronales Artificiales

pueden presentar una o más capas intermedias o escondidas de neuronas. En el tipo de red denominado MLP (*Multilayer Perceptron*) se puede, por ejemplo, según Cybenko (1989), implementar cualquier función continua en una red con una capa intermedia. Ya la utilización de dos capas intermedias permite la aproximación de cualquier función (Cybenko, 1988).

La ventaja que tienen las RNAs es que no necesitan de conocimientos de especialistas para tomar decisiones; ellas se basan únicamente en los ejemplos históricos que les son dados: no es necesario informar porqué tal situación resultó en tal decisión en el pasado, o porqué tal decisión resultó en tal consecuencia. Dependiendo del tipo de problema al cual son sometidas, las RNAs han presentado un desempeño considerado superior a los métodos estadísticos utilizados para el mismo fin (Falas, 1995). En el área de transportes, uno de los primeros estudios de aplicación de RNAs habría sido el de Nakatsuji y Kaku (1989), buscando resolver problemas relacionados con Ingeniería de Tráfico. En seguida, a lo largo de los años 90, el campo de estudios de transporte observó una verdadera explosión en el uso de Redes Neuronales (Dougherty, 1995). La habilidad para trabajar con datos incompletos hace a las RNAs especialmente atractivas para planificación en países en desarrollo, en los cuales algunos estudios están siendo desarrollados.

En el área de planificación y operación de transportes, algunos estudios fueron realizados utilizando RNAs abordando temas que van, desde el comportamiento de los conductores delante de la visualización de la luz amarilla en la aproximación al grupo focal semafórico en intersecciones, hasta el análisis de probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito a partir de parámetros como el flujo, la concentración y velocidades de los vehículos en las vías (Ivan, 1997). Costa y Markellos (1997) usaron RNAs para desarrollar mecanismos para medición del desempeño del transporte público basados en el concepto de eficiencia de la productividad, usando datos sobre el metro de Londres. De particular interés para el presente estudio, no en tanto, es el trabajo desarrollado por Raia Jr. (2000), que utilizó Redes Neuronales Artificiales para estimar un Índice de Potencial de Viajes a partir de variables de movilidad y accesibilidad, con vistas a la planificación estratégica de transportes. Este modelo fue utilizado como base para el desarrollo de los procedimientos alternativos aquí explorados.

### 3. MÉTODO

La primera etapa del procedimiento aquí discutido consiste en evaluar los modelos construidos en el *software* de Redes Neuronales, para la selección de la red de mejor desempeño. Es a partir de estas redes que se debe efectivamente aplicar un procedimiento alternativo capaz de reproducir el comportamiento de la RNA previamente entrenada. Para desarrollarlo, el primer paso es identificar cual función de activación fue utilizada para encontrar los valores de salida.

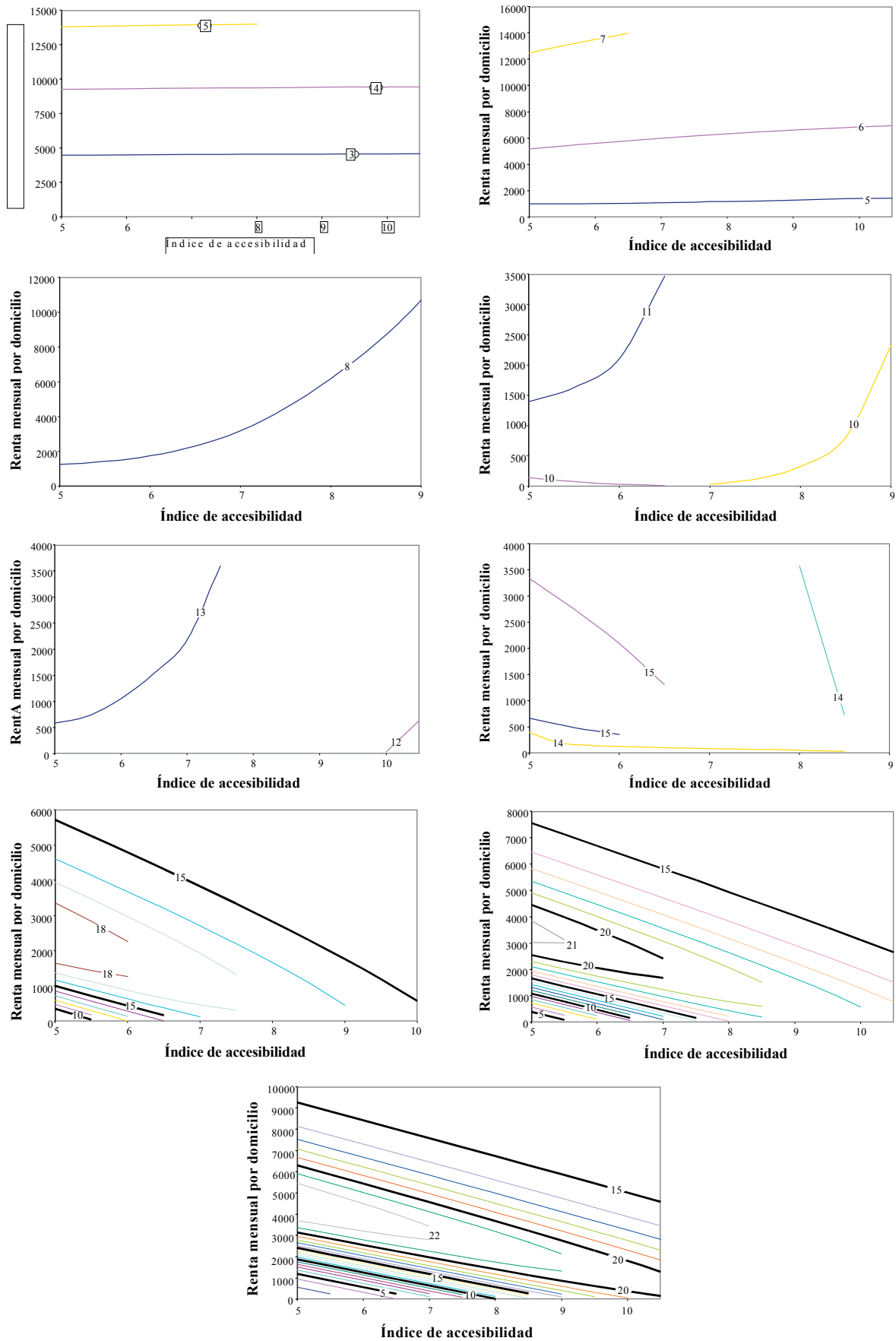
En el caso estudiado, el simulador *EasyNN* (desarrollado por Stephen Wolstenholme, en el Reino Unido) utiliza la función sigmoideal logística. Inicialmente se encuentra, con esa función, el valor de salida entre la capa de entrada y la capa oculta y, usando ese resultado, se vuelve a usar la función logística para encontrar los valores después de la camada de salida. Así, los resultados de salida obtenidos con las ecuaciones pueden ser entonces confrontados

con los resultados generados por el *software* en que la red fue entrenada. Esta verificación debe ser hecha antes que cualquiera de los procedimientos aquí propuestos. Se el procedimiento fue realizado correctamente, los resultados deben ser idénticos, conforme fue verificado con el modelo que presentó el mejor desempeño para previsión del Índice de Potencial de Viajes, aquí estudiado. En el caso aquí descrito, el primer procedimiento es hecho a través de una HOJA DE CÁLCULO. Un segundo procedimiento que puede facilitar o uso de modelos construidos a partir de Redes Neuronales Artificiales es la elaboración de PROGRAMAS DE COMPUTADOR, desarrollados específicamente para estimar los resultados a partir de los datos de entrada, teniendo por base los parámetros del modelo(s) obtenido(s) de la red entrenada. En el caso aquí estudiado, un ejemplo de este tipo de solución fue desarrollado con recursos del *software Visual Basic*. Mismo con un programa elaborado por técnicos sin gran experiencia de programación es posible obtener un producto final que permite realizar análisis de sensibilidad de forma rápida y simple. Además, puede ser usado por personas sin gran conocimiento de ese *software*, pues la interfaz es totalmente predefinida por el programador. El tercer procedimiento consiste en construir un grupo de ÁBACOS, cuyo número dependerá de las variables de entrada del modelo. Los resultados obtenidos con la aplicación de los tres procedimientos serán presentados y comentados en el próximo ítem.

#### 4. PROCEDIMIENTOS EXPLORADOS

Después de analizar exhaustivamente las bases de datos utilizadas por Raia Jr. (2000) y acrecentar o retirar variables a los modelos por él propuestos, se concluyó que el desempeño de los modelos con más de tres variables no presentó mejora significativa en relación a los modelos anteriores. Así, se optó por trabajar aquí con el modelo simplificado original, en el cual eran utilizadas solamente tres variables de entrada (renta mensual, número de personas e índice de accesibilidad de tipo separación espacial, índice que refleja la distancia promedio recorrida entre un nodo cualquiera de la red vial de la ciudad y todos los demás, por lo tanto cuando menor la distancia mejor el índice de accesibilidad) y una variable de salida (número total de viajes por domicilio). Este modelo tiene un  $R^2$  igual a 0,69 y un Error Cuadrático Medio igual a 3,86. Fue a partir de este modelo que se pudo efectivamente aplicar los procedimientos alternativos capaces de reproducir el comportamiento de la RNA previamente entrenada para generar Índices de Potencial de Viajes con base en variables de movilidad y accesibilidad, como discutido anteriormente. Para tal, la ecuación (1), donde los valores en negrito son los pesos de las conexiones entre neuronas y aquéllos en *italico* son los valores de los *bias* asociados a cada neurona, fue construida con datos extraídos directamente del *software* de RNA. En las Figuras 1 y 2 se muestran las interfaces de los procedimientos desarrollados en hoja de cálculo y en *Visual Basic* basados en la ecuación 1. En la Figura 3 se muestran los ábacos desarrollados para diferentes domicilios (con una, dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho y nueve personas).



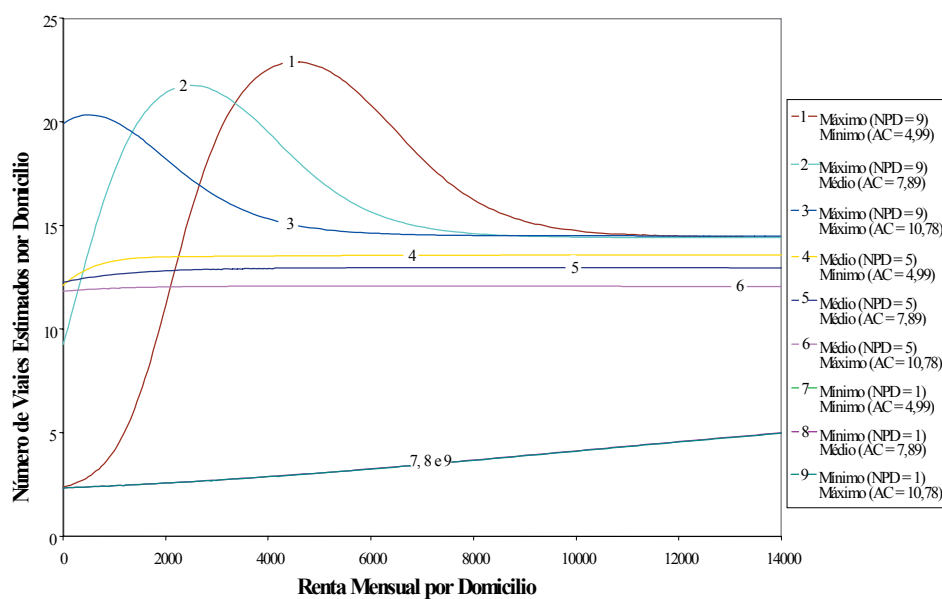


**Figura 3 - Impacto de la renta y del índice de accesibilidad en el número de viajes generados en domicilios con diferentes números de miembros**

## 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para demostrar como se puede conducir análisis de sensibilidad de forma simple y directa con los dos primeros procedimientos presentados, se tomó como ejemplo el caso de la renta mensual por domicilio. Como mostrado en la Figura 4, fueron realizados varios tests usando valores constantes para las variables número de personas por domicilio e índice de accesibilidad. Del gráfico presentado se puede extraer, por ejemplo, lo siguiente: adoptándose valores medios de esas variables como constantes (Curva 5) se observa una tendencia de que, cuanto mayor la renta, mayor el número de viajes. Esto ocurre, no en tanto, hasta un cierto valor, después del cual la tendencia se invierte, aunque de manera muy suave, disminuyendo ligeramente el número de viajes cuando aumenta la renta mensual. Esta misma tendencia se repite con las Curvas 6, 4, 3, 2 y 1).

En los tres últimos casos citados la tendencia es muy evidente, lo que tal vez sea una indicación de la complejidad del modelo y de como las variables deben de hecho ser consideradas simultáneamente. O tal vez esta aparente paradoja sea una indicación de que el modelo no debería ser usado en los intervalos de renta muy elevados, toda vez que los datos usados para entrenamiento son pocos y sujetos a grande imprecisión, sea porque los viajes son tantos que el entrevistado no declaró todos para el investigador, sea porque hubo una información distorcida cuanto a la renta. Ya en la Curva 7, con valor mínimo del número de personas y valor mínimo del índice de accesibilidad, en la Curva 8, con valor mínimo de número de personas y valor medio del índice de accesibilidad, y en la Curva 9, con valor mínimo del número de personas y valor máximo de accesibilidad, la tendencia es homogénea, donde cuanto mayor la renta, mayor el número de viajes. Además, los resultados de las estimaciones del número de viajes son prácticamente idénticos para las tres curvas.



**Figura 4 - Variación de la renta media mensual por domicilio, para diferentes condiciones de accesibilidad (AC) y número de personas por domicilio (NPD).**

## 7. CONCLUSIONES

A través de los estudios realizados hasta el momento, se verifica que la investigación propuesta en este trabajo podrá contribuir en mucho con los planificadores o tomadores de decisión en la aplicación práctica de modelos de Redes Neuronales Artificiales. Así, como consecuencia de esto se vuelve más fácil hacer análisis de sensibilidad con datos encontrados a partir de un modelo hecho en una RNA. El ejemplo presentado en el ítem 6 es apenas uno de los casos explorados por Bocanegra (2002), el cual, a su vez, también investigó un número limitado de casos. Es importante destacar todavía que, además de permitir la conducción de análisis de sensibilidad, las alternativas presentadas en este estudio pueden, de cierta forma, ayudar a los planificadores y tomadores de decisión a entender la lógica del modelo. También es importante mencionar que los procedimientos alternativos podrán ser adaptados a otros casos en otras áreas, no siendo restricto a transportes, por lo cual se puede decir que estos procedimientos alternativos son flexibles. Además, son de fácil uso, por lo cual personas que no son muy conocedoras de herramientas como las RNAs podrán utilizarlos para hacer cualquier análisis de sensibilidad y ver el comportamiento de las variables del modelo.

## 8. REFERENCIAS

- BOCANEGRA, C.W.R. (2002) *Procedimentos para tornar mais efetivo o uso de redes neurais artificiais em planejamento de transportes*. São Carlos. 97 p. Dissertação (Mestrado)– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BRAGA, A.P.; A.P.L.F. CARVALHO y T.B. LUDERMIR (1998) *Fundamentos de redes neurais artificiais*. XI Escola Brasileira de Computação, UFRJ.
- CYBENKO, G. (1988) Continuous valued neural networks with two hidden layers are sufficient. *Technical Report*, Dep. Computer Science, Tufts University, Medford, EEUU.
- CYBENKO, G. (1989) Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals and Systems* 2 (4), pp.303-314.
- COSTA, A. y R.N. MARKELLOS (1997) Evaluating public transport efficiency with neural networks models. *Transportation Research, Part C* 5 (5), pp.301-312.
- DOUGHERTY, M. (1995) A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research, Part C* 3 (4), pp.247-260.
- FALAS, T. (1995) Neural networks in empirical accounting research: an alternative to statistical models. *Neural Network World* 5 (4), pp.419-432.
- IVAN, J.N. (1997) Neural network representations for arterial street incident detection data fusion. *Transportation Research, Part C* 5 (3/4), pp.245-254.
- JONES, S.R. (1981) Accessibility measures: a literature review. *TRL Publications*, Report 967. Transport and Road Research Laboratory, UK.
- NAKATSUJI, T. y T. KAKU (1989) Application of neural network models to traffic engineering problems. *Proceeding of Infrastructure Planning* 12, pp.297-304.
- RAIA JR., A.A. (2000) *Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais*. São Carlos. 202 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.