

## **Previsão de Demanda na fase de Planejamento Antecipado de Projetos de Transporte de Passageiros**

**VAGNER SANCHES VASCONCELOS**  
UNINOVE – Universidade Nove de Julho  
vsvasconcelos@usp.br

**RICARDO LEONARDO ROVAI**  
UNINOVE – Universidade Nove de Julho  
rovaisky@gmail.com

# **Previsão de Demanda na fase de Planejamento Antecipado de Projetos de Transporte de Passageiros**

## **RESUMO**

Considerando que a demanda de passageiros é um dos principais riscos nos empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, este trabalho objetiva validar um modelo de previsão de demanda, baseado em redes neurais artificiais, de forma a contribuir com a gestão de projetos ainda em sua fase de planejamento antecipado. Para isso, foi utilizado o delineamento do tipo *expost facto*, numa pesquisa do tipo descritiva com abordagem quantitativa, onde o grupo de investigação foi formado pelas estações de metrô e de trem da Região Metropolitana de São Paulo. Foram propostas 12 arquiteturas de RNA com 15 configurações diferentes, totalizando assim 180 processos de treinamento, teste e validação. Para cada uma das arquiteturas, foi identificado o menor erro médio quadrado percentual obtido; e para a melhor arquitetura, com uma camada oculta, foi realizado a análise de relevância, pelo método de Garson, das 4 variáveis de entrada do modelo: a população; o número de matrículas escolares; o número de empregos; e a renda per capita. Com o modelo proposto, espera-se contribuir à teoria ao somar aos modelos de previsão de demanda utilizando uma metodologia robusta e, para os gestores, servir como ferramenta de auxílio nos estudos de viabilidade econômico-financeiro desses empreendimentos, ainda em sua fase de planejamento antecipado, como uma ferramenta de tomada de decisão de investimento.

**Palavras-chaves:** Gerenciamento de Projetos, Planejamento Antecipado do Projeto, Previsão de Demanda, Redes Neurais Artificiais.

## **1. INTRODUÇÃO**

Em um país com dimensões continentais como o Brasil a infraestrutura de transportes é fundamental para o desenvolvimento e eficiência de toda a economia. (Padula, 2008). Pastori (2007) relaciona o estímulo do desenvolvimento e bem-estar social de uma sociedade com os projetos de infraestrutura de transportes e logística, sendo que esses podem contribuir para o crescimento sustentável das cidades e regiões. Alinhada com essa ideia, Campos (2013) cita a visão da sustentabilidade urbana dos sistemas de transporte, onde a oferta desses deve ocorrer de forma viável, simultaneamente, na esfera social, ambiental e econômica; isso, em níveis que melhorem a qualidade de vida das pessoas. A falta de planejamento e a priorização ao transporte público levam ao caos urbano nos transportes, e ao crescimento do número de automóveis, aumentando os índices de congestionamento e a poluição. (Padula, 2008).

Uma das formas de diminuição dos congestionamentos é o investimento em infraestrutura de transporte, contudo, com relação aos empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, Alvim, Bilt e Darido (2010) afirmam que a taxa de construção não vem atendendo a demanda necessária, acarretando uma maior lotação nos sistemas existentes, e ainda um aumento significativo nos níveis de congestionamento no trânsito nas principais regiões metropolitanas brasileiras. Os projetos de infraestrutura, segundo Brandão e Saraiva (2007), são afetados fortemente por considerações políticas e regulatórias; isso ocorre devido ao grande volume de recursos e prazos de maturação, e ainda por cobrirem serviços considerados essenciais à sociedade.

Assim, para a iniciativa privada investir em projetos dessa modalidade, o conhecimento e mitigação dos riscos são fundamentais. Para Bonomi e Malvessi (2008), um dos principais processos na realização de um empreendimento é conhecer e dimensionar os seus riscos de

forma a quantificá-los e estabelecer instrumentos de mitigação. Neste mesmo sentido, Pollio (1999 como citado em Campos & Gomes, 2005, p. 109) afirma que uma das atividades primordiais para a implementação de um project finance ou de um green field project é conhecer e dimensionar os riscos do empreendimento e, a partir daí, procurar quantificá-los de forma a mitigá-los de forma eficaz. Uma das formas mais utilizadas para analisar a decisão de investimento é a metodologia do fluxo de caixa descontado (FCD). (Titman & Martin, 2010; Graham & Harvey, 2002). Nela, é necessário, entre outras coisas, a apuração da receita operacional do empreendimento, que no caso dos projetos de infraestrutura de transporte de passageiros depende diretamente da demanda de usuários e do preço pago pela passagem; assim, prever a demanda de passageiros é fundamental para tomada de decisão de investimento nesses empreendimentos.

Conforme constatado por Flyvbjerg (2007) e ratificado por Brandão et al. (2012); Massa (2011); e Campos e Gomes (2005), a demanda de passageiros é um dos principais fatores de risco em projetos de infraestrutura de transporte de passageiros. Segundo Davis, Chase e Aquilano (2001), a previsão de demanda é reconhecida pelas empresas como um importante instrumento de planejamento, em todos os níveis organizacionais, indo do plano operacional ao estratégico. Flyvbjerg (2013) enfatiza a importância da previsão de demanda de passageiros para os gerentes de projetos e tomadores de decisão, uma vez que ela influencia os custos de investimento de capital (CAPEX) e de operação e manutenção (OPEX), além dos riscos da receita operacional do empreendimento, isto é, o seu fluxo de caixa; assim, já na fase de planejamento antecipado (FEL) ela deve ser considerada. Nessa mesma linha, Motta (2013) trata da importância da fase de concepção dos projetos e aborda o método do planejamento antecipado (Front-End Loading – FEL) como um elemento chave para o sucesso de um projeto.

Existem várias técnicas de previsão de demanda, Fouto, de Angelo, Zwicker e Luppe (2011) afirmam que elas são complementares, e as áreas de planejamento das organizações mesclam diferentes abordagens de forma a obterem os melhores resultados. Na área de planejamento de transportes, um conjunto de modelos normalmente utilizados para a predição da demanda é o modelo Urban Transportation Model System (UTMS) (Eric, 1995; Laiza et al., 2008). Este modelo utiliza como variáveis de entrada a Pesquisa de Origem-Destino, Dados Socioeconômicos e Dados Viários para estimar a demanda de passageiros. Contudo, dentre as várias técnicas desenvolvidas, as redes neurais artificiais (RNA) têm sido apontadas como eficientes e sendo apresentadas como alternativas de modelagem em diversas áreas do conhecimento. (Corrêa, 2008). Comparando a abordagem das RNA com as das outras técnicas de análise multivariadas de dados, Hair, Anderson, Tatham e Black (2005) afirmam que enquanto as últimas caracterizam os problemas em uma abordagem matemática, as RNA usam uma estrutura de aprendizagem onde os erros de saída realimentam o sistema de forma a ajustá-lo adequadamente.

Sendo assim, buscando potencializar o modelo de previsão mais utilizado (UTMS), foi feita uma adaptação aplicando os dados de entrada do modelo UTMS a um modelo neural de forma a treiná-lo, testá-lo e validá-lo. Dessa forma, objetivo deste trabalho é propor um modelo de previsão de demanda baseado em RNA, utilizando como entradas as variáveis do modelo UTMS para utilização na fase de Estudo de Viabilidade Econômico-Financeiro de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos. Com os resultados obtidos, contribui-se ao corpo teórico da gestão de projetos ao apresentar um novo modelo de previsão utilizando metodologia de RNA, além de fornecer ferramenta para estimativa da demanda de passageiros em futuros empreendimentos de transporte de passageiros, permitindo análises iniciais de viabilidade econômico-financeira desses projetos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Planejamento Antecipado do Projeto

Segundo Shenhar e Dvir (2010), as atividades de uma organização podem ser divididas em operações e projetos; as operações envolvem atividades rotineiras, tais como a produção e os serviços, já os projetos são iniciativas singulares, como o lançamento de novos produtos. A avaliação do sucesso de um projeto deve estar associada com o seu benefício para a organização no decorrer do tempo. Em uma perspectiva de negócios, as expectativas de sucesso devem ser definidas ainda durante a sua fase de planejamento, e mais adiante, o seu sucesso efetivo deve ser avaliado. A equipe do projeto deve abordar, ainda durante a execução, o sucesso do projeto e do resultado do projeto (produto ou serviço). Neste cenário, o gerente do projeto tem sua atuação expandida, passando a responder também pelo sucesso do resultado do projeto para o negócio da empresa, além de continuar com as responsabilidades da execução do projeto. (Shenhar & Dvir, 2010).

O pré-planejamento de projetos ou ainda planejamento antecipado de projeto é o processo que abrange todas as tarefas entre o início do empreendimento e o início do design detalhado (projeto executivo). Esse processo começa com um conceito de projeto para atender uma necessidade de negócio e termina com uma decisão de prosseguir com o detalhamento do projeto proposto. (Gibson Jr., Yu-Ren Wang, Chung-Suk Cho, & Pappas, 2006). Kerzner (2011) fala do planejamento preliminar, também conhecido como definição de requisitos, como a fase em que o esforço é oficialmente definido como um projeto.

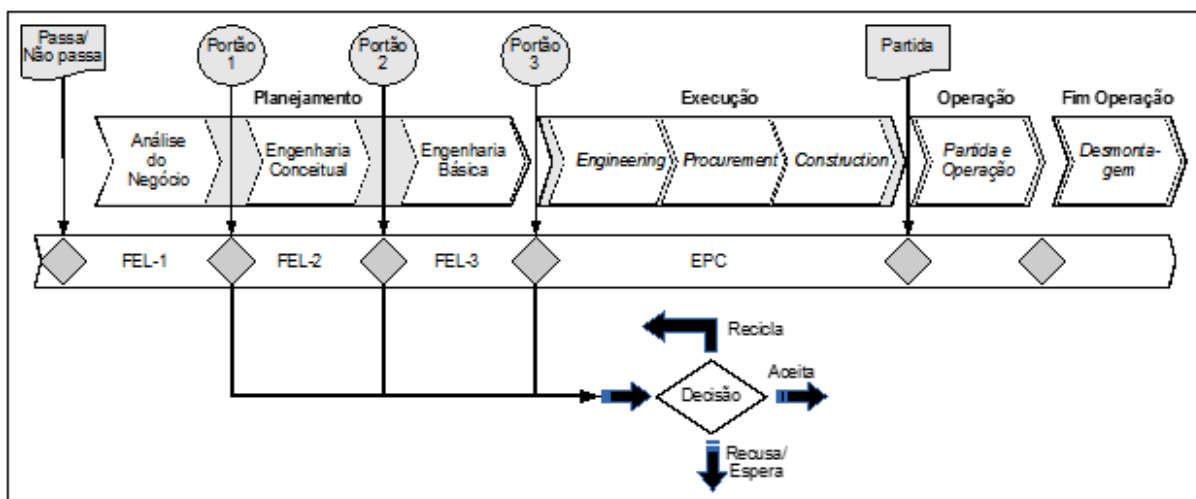
Copper (1993 como citado em Sales e Canciglieri, 2011, pp. 6-7), afirma que a obtenção de um plano eficiente para o desenvolvimento de um novo produto permite: i) a execução com qualidade, já que todo o processo de desenvolvimento é minuciosamente analisado, impactando na redução do retrabalho; ii) a priorização das atividades, uma vez que são selecionadas ações que agreguem valor ao produto, evitando-se assim gastos com projetos desalinhados com a estratégia organizacional e que não trarão o retorno esperado; iii) a execução de atividades paralelamente, já que é possível garantir que atividades sejam realizadas em paralelo sem prejuízos/problemas de qualidade ou retrabalho; iv) o estabelecimento de equipes multifuncionais, propiciando o trabalho em equipe com profissionais das mais diversas competências para o alcance de bons resultados; v) a forte orientação para o mercado, focando o entendimento das necessidades dos consumidores e alcance da demanda pelo produto, e conseqüentemente seu sucesso; e vi) o foco nas atividades iniciais (*front-end*) de desenvolvimento do produto, já que estimula a investigação preliminar, a atenção ao escopo e minimiza alterações no decorrer do projeto que geram grandes custos. Essa abordagem recebeu o nome de modelo *Stage-Gate*® de tomada de decisões. De acordo com Cooper (2008), o modelo *Stage-Gate*® é um mapa conceitual e operacional para o lançamento de ideias de projetos de novos produtos. Ao mesmo tempo, é um modelo de gestão que visa melhorar a eficiência e eficácia do próprio processo de desenvolvimento desses produtos.

Kerzner (2011) afirma que o processo *Stage-Gate*® parece ter sido substituído por fases do ciclo de vida do projeto. Contudo, o processo continua a ser utilizado, agora, internamente dentro de cada uma das fases do ciclo de vida, como uma ferramenta de tomada de decisão. A vantagem desta nova abordagem de utilização é que enquanto as fases do ciclo de vida são iguais para todos os projetos, o processo *Stage-Gate*® pode ser adaptado para cada projeto, de forma a facilitar a tomada de decisões e o gerenciamento dos riscos. Com esta nova utilização, o processo *Stage-Gate*® passa ser parte integrante do gerenciamento de projetos, quando anteriormente era utilizado, primeiramente, no desenvolvimento de novos produtos.

A metodologia de gerenciamento de megaempreendimentos, apresenta na Figura 1, conhecida como *Front-End Loading* (FEL), é um outro modelo baseado em portões de

decisão; que segundo Ribeiro et al. (2013, p. 60–61):

[...] é utilizado em megaprojetos, onde os investimentos são de valor elevados, com a intenção de minimizar os riscos de investimentos em projetos desta natureza. Normalmente ele é aplicado em setores industriais como, por exemplo, mineração, petroquímica, energia e onde os projetos são de alta complexidade e custos excessivos.



**Figura 1:** Ciclo de vida genérico dos empreendimentos com os portões de decisões.  
Fonte: Adaptado de Merrow (2011) e Vale (2011).

Flyvbjerg et al. (2003) relata exemplos de megaprojetos de infraestrutura que experimentaram elevado excesso de custos, identificando como as principais causas disso a deliberação inadequada sobre o risco e a falta de prestação de contas no processo de tomada de decisões do projeto.

Merrow (2011) apresenta a metodologia FEL composta por três fases: fase FEL-1, que trata da análise do negócio – dedicada ao desenvolvimento do *business case* e decisão da viabilidade do investimento de capital no projeto. Uma questão fundamental nesta fase é verificar se o projeto em análise está alinhamento à estratégia do negócio; fase FEL-2, que aborda a engenharia conceitual – é a fase da seleção do escopo e desenvolvimento do projeto conceitual, onde a equipe técnica desenvolverá todos os diagramas da instalação, definindo todo o escopo do projeto, e conseqüentemente melhorando as estimativas de custos; e fase FEL-3, é a fase da engenharia básica – envolve o avanço da engenharia a um nível de detalhamento que permita o avanço para a próxima fase sem futuras alterações.

Após o término das fases do FEL – isto é, a fase do planejamento do projeto – vem as fases da implementação do projeto, conhecida como EPC, também formada por três etapas, sendo elas: i) *Engineering*; ii) *Procurement*; e iii) *Construction*. A fase de transição das etapas de planejamento (FEL) para a execução (EPC) é conhecida como pré-detalhamento do projeto – *Front End Engineering Design (FEED)*. (Ramos, 2006).

Uma das atividades do FEL-1 é o desenvolvimento do plano de negócios da oportunidade (*business case*). O *business case* descreve a justificativa para o empreendimento em termos de valor a ser adicionado ao negócio como resultado de sua implementação. Ele deve listar as restrições associadas ao empreendimento proposto, o orçamento estimado e o alinhamento com as estratégias estabelecidas pela organização, pode incluir benefícios qualitativos (intangíveis) e quantitativos (tangíveis), estimativas de custos e tempo até o ponto de equilíbrio, expectativas de lucros e oportunidades adicionais; pode ainda apresentar os impactos esperados das ações sobre o fluxo de caixa e os métodos e o raciocínio usados para a

quantificação dos benefícios e dos custos. (IIBA, 2011). Especificamente com relação à técnica de análise de risco, seu propósito é determinar se a iniciativa proposta traz mais risco do que a organização está disposta a tolerar, ela foca principalmente os riscos de viabilidade da solução que deve ser revisitada ao longo do projeto; devem ser considerados os riscos: i) técnicos, isto é, se uma tecnologia escolhida e os fornecedores podem entregar as funcionalidades requeridas; ii) financeiros, se os custos excederão níveis que tornam a solução viável ou se os benefícios potenciais podem ser anulados; e iii) organizacionais e de mudança nos negócios. (IIBA, 2011). Nesta mesma linha, Kerzner (2011) afirma que bons *business case* identificam os riscos que o projeto deve considerar. Para o PMI (2013) o *business case* fornece as informações necessárias, do ponto de vista do negócio, para determinar se o investimento no projeto é viável ou não, isto é, é utilizado para a tomada de decisão, por parte da alta direção, em um nível decisório superior ao do projeto.

## 2.2. Projetos de Infraestrutura

Segundo Grimsey e Lewis (2002) os investimentos em infraestrutura são pensados para fornecer os serviços básicos para a indústria e para a sociedade, são os principais insumos na economia e ainda essenciais para as atividades econômicas e para o crescimento do país. Normalmente, as atividades consideradas como investimento em infraestrutura incluem: i) energia (geração de energia e abastecimento); ii) transporte (rodovias, sistemas metroferroviários, pontes e túneis); iii) água (saneamento básico, tratamento de águas residuais e abastecimento de água); iv) telecomunicações (telefones); e v) Infraestrutura social (hospitais, prisões, tribunais, museus, escolas e alojamento governo).

Algumas particularidades dos projetos de infraestrutura em relação aos projetos de investimento tradicional são: i) os grandes volumes de capital envolvidos; ii) os longos prazos de maturação; iii) cobrirem serviços considerados essenciais para a sociedade; e iv) a baixa liquidez. (Grimsey & Lewis, 2002; Brandão & Saraiva, 2007).

Considerando a definição de complexidade proposta por Baccarini (1996), os projetos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos podem ser classificados como projetos complexos; isto, devido: i) ao grande número de variáveis a serem controladas; ii) o porte do projeto; iii) o nível tecnológico agregado; iv) os longos prazos; e v) o número de especialistas envolvidos. De uma forma mais geral, Leurent (2011) considera todos os sistemas de transporte público de passageiros como sistemas complexos, justificando devido às interações dos tráfegos dos passageiros e dos veículos de transporte.

No Brasil, os serviços de infraestrutura são providos pelo ente público ou delegados a terceiros; a delegação pode acontecer entre dois distintos regimes de contratação, sendo eles: i) contratos de escopo específico; e ii) contratos de concessão. Os contratos de escopo específico são regidos pela Lei 8.666/93 (Lei de Licitações e Contratos). Já as concessões podem ocorrer suportadas pela Lei 8.987/95 (Lei das Concessões Comuns) ou pela Lei 11.079/04 (Lei das Parcerias Público-Privadas). (Marar, Aragão, & Santos, 2004).

Millones (2010) apresenta uma visão geral das fases do ciclo de vida de um empreendimento na modalidade PPP, dividido em quatro etapas: i) a fase de planejamento e exploração que cuida da estrutura da parceria, da definição do escopo do empreendimento e da partilha de riscos entre os parceiros; ii) a fase de projeto, em que o plano do projeto é modelado e os requisitos funcionais e de informações são unificados em especificações do projeto; iii) a fase de construção que contempla a construção das instalações; e iv) a fase de operação e manutenção do sistema de transporte.

Conhecer e dimensionar os riscos de um empreendimento, de forma a desenvolver instrumentos eficazes de mitigação, estão entre os principais processos da sua implementação. (Bonomi & Malvessi, 2008). Nóbrega (2010, pp. 4–5) cita que as fontes de riscos são os fatores que podem influenciar a rentabilidade de um projeto de infraestrutura; nesse sentido, o

autor afirma que:

A grande questão em projetos complexos é determinar como esses riscos serão abordados. Tal questão assume relevo sobretudo em projetos organizados sob a forma de *Project Finance* e mais especificamente em projetos de Parceria Público Privadas. Não por menos, o artigo 5 da lei 11.794/04 determina que os contratos das PPPs devem explicitamente dispor sobre a planilha de riscos.

Um sistema de transporte eficiente precisa prever sua demanda requerida de forma a alinhá-la ao que a sua infraestrutura suporta, deve suprir os passageiros de informação sobre o sistema, assim como reduzir o consumo de energia e as emissões, zelando pela manutenção de elevados padrões de segurança. ANTP e WB (2012). Conforme afirma Krüger (2012, p. 1741): “A principal incerteza nos investimentos em empreendimentos de infraestrutura é se a demanda futura de tráfego será suficiente para cobrir os custos dos investimentos”.

Para a previsão da demanda futura nesse tipo de projeto, o modelo *Urban Transportation Model System* (UTMS), também conhecido como: modelo Clássico de Transportes; modelo Quatro Etapas; e ainda modelo Sequencial, é um conjunto de modelos que normalmente são utilizados na área de planejamento de transportes. (Laiza et al. 2008; Eric, 1995). Este se baseia nas relações, de médio e longo prazo, do transporte com as características socioeconômicas da região.

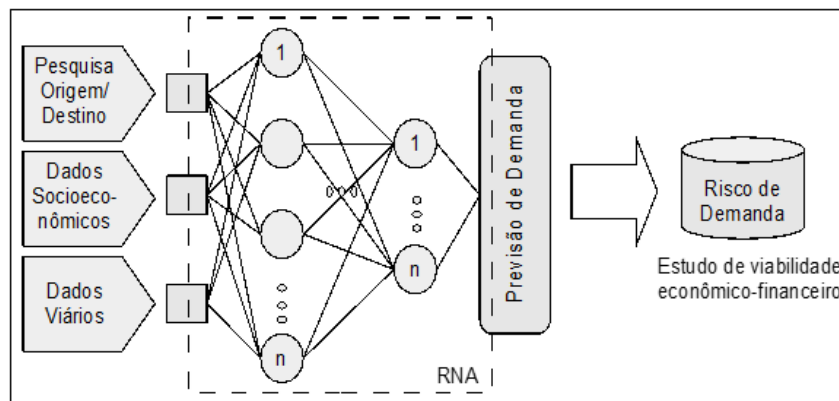
Raia (2000) afirma que processo de planejamento de transportes exige, em geral, uma grande quantidade de informações, tanto dos próprios sistemas de transportes, como das variáveis associadas às questões socioeconômicas da região. Sendo que, essas informações podem ser obtidas de forma secundária, por meio da consulta de pesquisas que já foram realizadas e possuem seus dados publicados – normalmente por órgãos públicos e oficiais – ou quando não existirem, será necessário a coleta de informações nos próprios locais em estudo. Para possibilitar uma análise mais aprofundada, a pesquisa deve incluir: i) dados sobre as pessoas (renda, idade, sexo, profissão, etc); e ii) sobre a viagem (horário, frequência, motivo, modo de transporte utilizado, etc). Se o estudo for sobre transporte de cargas, suas características também deverão ser pesquisadas. Campos (2013).

A primeira etapa do modelo UTMS é a da geração de viagens, onde se estima a quantidade de viagens geradas (produzidas e atraídas) em cada zona de tráfego. A partir do total de viagens geradas em cada zona, verifica-se a distribuição destas entre as demais zonas de tráfego, chegando a uma matriz de origem e destino de viagens. Na sequência, para cada conjunto de viagens realizadas entre pares de zonas de tráfego estima-se a quantidade de viagens nos vários modos de transporte. Finalmente, na etapa de alocação, também considerada como uma análise de equilíbrio entre a oferta e demanda, faz-se a distribuição de viagens por modo de transporte. (Campos, 2013). Com a saída do modelo UTMS – após a etapa de alocação das viagens – estudam-se as alternativas de modos de transportes (ônibus, metrô, trem, monotrilho, etc) a serem propostas de forma a atender à demanda futura da região em análise.

Apesar deste modelo ser bastante difundido (Laiza et al. 2008; Eric, 1995), outras metodologias de previsão têm sido testadas. Alekseev e Seixas (2002 como citado em Aguiar, 2004, p. 64–65) desenvolveram um modelo neural para previsão de demanda de transporte aéreo de passageiros no Brasil obtendo resultados melhores do que aqueles obtidos com o modelo econométrico, utilizado na época. Viglioni (2008) utilizou cinco técnicas de previsão demanda de curto prazo (*short-term*) para a solicitação de demanda de transporte ferroviário, sendo elas: i) média móvel; ii) amortecimento exponencial; iii) suavização exponencial com séries de tendências (método de Holt); iv) regressão linear; e v) redes neurais artificiais, sendo que os melhores resultados foram alcançados com a técnica das RNA. Com uma amostra de dados de 3 anos, a técnica obteve a redução do erro, em média, de 25%, mesmo sem a retirada

dos componentes da tendência e da sazonalidade da série.

Dessa forma, devido à relevância da previsão de demanda na fase de planejamento antecipado dos projetos de infraestrutura de transporte de passageiros, da frequente utilização do modelo UTMS e do potencial dos modelos de previsão baseados em RNA, torna-se interessante analisar a possibilidade de aplicação de um modelo de previsão de demanda baseado em RNA utilizando como entradas as variáveis do modelo UTMS. A Figura 2 ilustra a estrutura conceitual da questão desta pesquisa, onde os dados de entrada do modelo UTMS serão aplicados a um modelo neural de forma a treiná-lo, testá-lo e validá-lo, gerando uma previsão de demanda de passageiros que poderá ser utilizada no estudo de viabilidade econômico-financeiro, servindo como ferramenta para tomada de decisão de investimento.



**Figura 2:** Modelo Proposto  
Fonte: Elaborado pelos autores

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo do trabalho consiste em propor um modelo de previsão de demanda de sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos baseado em RNA, utilizando como entradas as variáveis do modelo UTMS. Para isso foi realizada uma pesquisa quantitativa descritiva do tipo ex-post-facto.

#### 3.1. Variáveis

Como entradas do modelo neural foram utilizadas quatro variáveis independentes baseadas nas variáveis de entrada do modelo UTMS. Todas foram extraídas da base de dados da PMU-RMSP de 2012, e sempre relacionadas com a zona de tráfego em questão; sendo elas: População; Número de Matrículas Escolares; Número de Empregos; e Renda per capita.

Como variável dependente temos a demanda de passageiros. Seus valores foram obtidos da base de dados de entrada de passageiros que foi solicitada aos operadores dos sistemas de transportes considerando os períodos em que a pesquisa PMU-RMSP de 2012 foi realizada. Foram solicitados dados de entradas de todas as estações que fazem parte do grupo de investigação.

#### 3.2. Coleta de dados

Neste trabalho utilizou-se dados de fontes secundários. As variáveis independentes foram coletadas da Pesquisa de Mobilidade Urbana da Região Metropolitana de São Paulo (PMU-RMSP), realizada em 2012. Já a variável dependente – que é a demanda de passageiros – foi coletada na base de dados de entrada de passageiros das estações pertencentes ao grupo de investigação. A pesquisa Origem/Destino é realizada pelo Metrô a cada dez anos; devido às mudanças nos 124 padrões de deslocamentos da metrópole nesse período, uma pesquisa de



aferição é realizada 5 anos após a pesquisa O/D, essa pesquisa de aferição foi realizada em 2012 e recebeu o nome de Pesquisa de Mobilidade 2012. Essa pesquisa abrangeu toda a região metropolitana da cidade de São Paulo e foi composta por duas pesquisas: i) a domiciliar, onde entrevistas foram realizadas com questionário estruturado em amostra de domicílios selecionados por sorteio, investigando assim as características das viagens de moradores em dia útil anterior a pesquisa, e características socioeconômicas (viagens internas à RMSP); ii) a linha de contorno, que são contagens e entrevistas realizadas em pontos de acesso das rodovias à RMSP, investigando assim fluxos de viagens que entram, saem, ou cruzam a região (viagens externas à RMSP). A pesquisa entrevistou 8.115 domicílios em 31 zonas de tráfego (Metrô, 2013).

### 3.3. Técnica de análise de dados

Para analisar os dados, foi utilizado a técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA), seguindo os seguintes procedimentos: a) o pré-processamento dos dados; b) o treinamento, a validação e os testes da rede; e c) o pós-processamento dos dados. Todos os passos e procedimentos foram executados no software Scilab versão 5.4.1.

Durante o pré-processamento, os dados foram normalizados conforme proposto por Valença (2009). Em seguida, o conjunto de dados das zonas de tráfego envolvidas foram divididos, de forma aleatória, em três diferentes grupos, sendo eles: grupo de treinamento, igual a 50% dos dados, grupo de testes, igual a 25% dos dados e grupo de validação, formado pelo restante dos dados. O procedimento em questão seguiu o que foi realizado no trabalho de Raia (2000).

Com relação às definições do número de camadas escondidas e da quantidade de neurônios em cada uma dessas camadas, Kovács (2002) apresenta uma reformulação do teorema de Kolmogorov adaptado às RNA, afirmando que sempre uma RNA com três camadas – isto é, uma camada de entrada, uma de saída e uma escondida (oculta) - pode implementar de forma exata uma função contínua. Contudo, a fim de propiciar maiores comparações, foram propostas tipologias com uma e duas camadas escondidas. Com relação à quantidade de neurônios nas camadas escondidas, existem algumas regras heurísticas que podem ser utilizadas como ponto de partida para a determinação da quantidade de neurônios, isto quando a RNA possuir apenas uma camada oculta (Freiman, 2004, p. 54). Sendo assim, como o modelo neural proposto apresenta quatro variáveis independentes, com base nessas metodologias, foram treinados, testados e validados 12 arquiteturas de RNA, possibilitando sua comparação de forma a identificar qual delas apresentam os melhores resultados.

Todas as redes utilizadas são do tipo perceptron de múltiplas camadas, isto é, multilayer perceptron (MLP), visto sua capacidade de com uma camada oculta aproximar qualquer função contínua; e com duas camadas ocultas aproximar qualquer função matemática. (Braga et al., 2000). A função de ativação escolhida foi a do tipo Sigmoidal, visto que, essa função fornece uma saída entre 0 e 1.

Em relação a segunda etapa do processo de análise – treinamento, a validação e os testes da rede – o algoritmo de aprendizado utilizado para o treinamento de todas as RNA foi o backpropagation (Braga et al., 2000; Aguiar, 2004). O treinamento ocorreu em duas fases, conhecidas como fase forward e fase backward. Dois parâmetros importantes do algoritmo de aprendizado são: i) a taxa de aprendizagem (learning rate), que representa a suavidade da atualização dos pesos da rede; e ii) o termo momento (momentum) que tem a função de, se necessário, acelerar o treinamento da rede (Raia, 2000). Neste trabalho, foram testados para todas as redes os seguintes valores para a taxa de aprendizagem: 0,01; 0,5; e 0,9. Já para o termo momento, foram testados os seguintes valores: 0,5; e 0,9. Como critérios de parada para o treinamento foram adotados a tolerância do erro e o número de épocas. A tolerância do erro adotada foi de 0,0001 e o número de épocas foi de 10.000 iterações. Para todas as arquiteturas

de RNA definidas, os três conjuntos de dados foram aplicados, verificando qual o melhor resultado alcançado, identificando assim a melhor arquitetura, que foi a que possui o menor erro quadrático médio (EQM) na etapa de validação.

Durante o Pós-processamento dos dados, foi analisada a relevância de cada variável de entrada do modelo por meio do método proposto por Garson (Raia, 2000). Uma vez identificadas as variáveis relevantes, uma nova rede foi treinada, testada e validada considerando-se apenas estas variáveis como entrada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, os dados precisam ser pré-processados. Esta etapa envolve normalização e reagrupamento dos dados. Em seguida são gerados três grupos de dados: dados 1; dados 2; e dados 3, que são resultado do reagrupamento em ordem randômica dos dados normalizados. Eles são apresentados na Tabela 1, onde para cada um dos conjuntos são apresentados os dados de quais zonas de tráfego foram utilizados para o treinamento, o teste e a validação dos modelos neurais. Independentemente das arquiteturas de RNA propostas neste trabalho, os conjuntos de dados utilizados nas etapas de treinamento, teste e validação foram sempre os mesmos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1:

##### Grupos de dados de treinamento, teste e validação.

	Zonas de Tráfego		
	Conjunto de Dados 1	Conjunto de Dados 2	Conjunto de Dados 3
Treinamento	4, 11, 7, 10, 16, 15, 24, 5, 8, 31, 17 e 6	9, 14, 20, 24, 2, 21, 16, 5, 18, 8, 31 e 17	13, 24, 2, 6, 17, 9, 18, 26, 16, 7, 15 e 27
Teste	2, 13, 19, 18, 22 e 14	7, 1, 26, 13, 10 e 11	8, 23, 1, 10, 20 e 14
Validação	26, 1, 20, 27, 9, 23 e 21	4, 15, 22, 27, 23, 19 e 6	19, 31, 22, 4, 5, 21 e 11

**Nota.** Fonte: Elaborado pelos autores.

Para cada uma das 12 arquiteturas de RNA propostas, as etapas de treinamento, teste e validação foram executadas alterando a combinação da taxa de aprendizagem e do momento, e aplicando os conjuntos de dados da Tabela 1. Foram adotados cinco combinações para a taxa de aprendizagem/momento e três conjuntos de dados. Assim, para cada arquitetura de RNA foram executados os processos de treinamento, teste e validação 15 vezes; totalizando assim, para as 12 arquiteturas, 180 processos. Para cada um deles foram calculados os valores previstos na fase de validação do modelo, isto é, a saída do modelo neural. Com esses valores, foram estimados o coeficiente de Correlação ( $r$ ) e Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), os gráficos do erro em função das épocas de treinamento e teste da rede, e os gráficos de dispersão dos valores reais, obtidos nas bases de dados dos operadores dos sistemas metroferroviários da RMSF, com valores previstos na saída dos modelos neurais.

##### 4.1. Análise das Arquiteturas de RNA

A Tabela 2 apresenta um resumo, ordenado de forma crescente pelo EQM%, com os resultados das melhores arquiteturas obtidas em cada uma das configurações executadas. Nela se observa que a melhor arquitetura, dentre as propostas neste trabalho, foi a arquitetura 12

(Arq-12) com a taxa de treinamento e momento iguais a 0,9, utilizando o conjunto de dados 3, obtendo um erro quadrático médio percentual de 0,045%. No outro extremo, está a arquitetura 04 (Arq-04), que obteve o pior resultado, com um erro quadrático médio percentual de 0,543%.

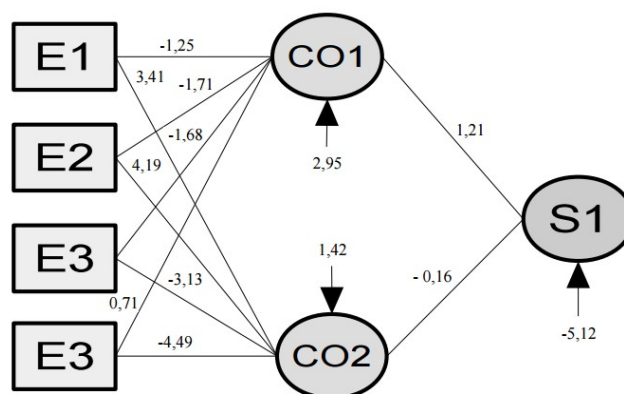
Tabela 2:

**Resumo dos melhores resultados obtidos ordenados pelo EQM%**

Arquitetura		Taxa de Aprendizagem/ Momento	Conjunto de Dados	Tempos [s]		EQM%	Coeficientes	
Nº	Topologia			Treina-mento	Teste		Validação	r
Arq-12	[4, 5, 10, 1]	0,9/0,9	Dados 3	62,231	35,655	0,045	0,478	0,228
Arq-06	[4, 9, 5, 1]	0,5/0,5	Dados 3	63,983	36,438	0,050	0,288	0,083
Arq-05	[4, 3, 2, 1]	0,9/0,5	Dados 3	62,761	36,673	0,053	0,209	0,043
Arq-09	[4, 3, 6, 1]	0,5/0,9	Dados 3	63,387	36,257	0,053	0,480	0,230
Arq-07	[4, 2, 1, 1]	0,9/0,5	Dados 3	61,079	35,006	0,057	0,145	0,021
Arq-11	[4, 2, 4, 1]	0,9/0,5	Dados 3	63,052	36,037	0,061	0,031	0,001
Arq-08	[4, 5, 3, 1]	0,5/0,5	Dados 3	143,882	35,634	0,064	0,419	0,175
Arq-03	[4, 2, 1]	0,9/0,9	Dados 3	48,511	28,976	0,078	0,290	0,084
Arq-10	[4, 9, 18, 1]	0,5/0,5	Dados 3	67,105	38,176	0,109	0,491	0,241
Arq-02	[4, 9, 1]	0,5/0,9	Dados 3	54,290	38,148	0,138	0,605	0,366
Arq-01	[4, 3, 1]	0,5/0,9	Dados 3	57,853	39,561	0,189	0,459	0,210
Arq-04	[4, 5, 1]	0,5/0,5	Dados 3	49,475	29,454	0,543	0,052	0,003

**Nota.** Fonte: Elaborado pelos autores.

Depois de analisar as arquiteturas, de maneira a dar maior validade aos resultados obtidos, foi empregado o Método de Garson, que permite uma análise de relevância de cada uma das variáveis de entrada de um modelo neural. Para isso foi utilizada a arquitetura 03 por ser a arquitetura que obteve melhor performance apresentando apenas uma camada oculta. A Figura 3 representa a RNA proposta na Arq-03, com o detalhamento dos pesos de cada uma das conexões e das bias dos dois neurônios da camada escondida e da saída.



**Figura 3:** Arquitetura 3 com pesos e bias.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O primeiro passo é calcular a contribuição de cada entrada na saída da rede neural, passando sempre pelos neurônios escondidos. A importância relativa de cada uma das entradas da RNA é obtida pela divisão do somatório da contribuição relativa de cada entrada

pelo somatório total das contribuições relativas. Seguindo esta metodologia, é possível encontrar os seguintes de contribuição relativa: Matrículas Escolares (29,74%), Empregos (25,94%), População (22,88%) e Renda per capita (21,44%).

Para testar a influência das variáveis menos relevantes nos resultados do modelo neural foram realizados dois testes. Inicialmente excluiu-se somente a variável menos relevante do modelo, no caso a renda per capita; e depois excluiu-se as duas variáveis menos relevantes do modelo, restando apenas as variáveis matrículas escolares e empregos. Em ambos os testes as RNA foram treinadas na melhor configuração já obtida para a Arq-03. Os EQM percentuais obtidos com essas novas arquiteturas foram de 0,086 para a Arq-3.1 e 3,662 para a Arq-3.2. Conforme apresentado na Tabela 2, o EQM percentual obtido pela Arq-03 foi de 0,078%; assim, comparando com os seus resultados, as arquiteturas Arq-3.1 e Arq-3.2 obtiveram resultados piores, aproximadamente em 10% e 4595%, respectivamente, demonstrando que o modelo completo, com as quatro variáveis independentes, População, Matrículas Escolares, Empregos e Renda per capita, é o mais adequado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo propor um modelo de previsão de demanda baseado em RNA para utilização na fase de estudo de viabilidade econômico-financeiro de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos. As arquiteturas propostas foram implementadas e validadas na ferramenta SciLab com o toolbox ANN.

A identificação das variáveis de entrada (variáveis independentes) que explicam a demanda de passageiros foi realizada por meio da análise dos resultados da PMU-RMSP de 2012, onde foi evidenciado que as variáveis: população na zona de tráfego; número de matrículas escolares; número de empregos; e renda per capita, poderiam explicar a demanda de usuários nas estações metroferroviárias.

Este trabalho traz implicações gerenciais e acadêmicas. Para os gestores, fornece um modelo de previsão de demanda, com o qual seria possível estimar os custos de capital de investimento (CAPEX) e para operação e manutenção do sistema (OPEX), bem como a sua receita operacional, e assim montar o fluxo de caixa do projeto. A partir disto, utilizando alguma abordagem de análise, tal como o Fluxo de Caixa Descontado, a Teoria de Opções Reais, a Criação de Valor ao Acionista, entre outras, chegar-se a indicadores que possam servir como ferramenta de auxílio na tomada de decisão de investimento no projeto ainda na fase de concepção do empreendimento. Para o parceiro privado isso pode ser um valioso conhecimento para a tomada de decisão de investimento de capital em um projeto de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, principalmente na modalidade Parceria Público-Privada (PPP), e ainda nas Manifestações de Interesse Público (MIP), onde o setor privado identifica uma oportunidade e propõem um projeto ao setor público.

Para a academia, contribui para a gestão de projetos de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos, mais especificamente na fase FEL-1 da metodologia FEL, oferecendo uma ferramenta no estudo de viabilidade econômico-financeiro do projeto com metodologia inovadora e que traz robustez ao processo, auxiliando na tomada de decisão.

Entre as limitações da pesquisa encontra-se o processo de coleta de dados que contou com 31 zonas de tráfego das 460 utilizadas nas pesquisa Origem-Destino realizada pelo Metrô em 2007. Para pesquisas futuras sugere-se refazer as etapas de treinamento, teste e validação das arquiteturas propostas neste trabalho, utilizando agora dados da pesquisa O-D completa e aplicar o modelo neural proposto em outras regiões que possuam um sistema metroferroviário, de forma a verificar os resultados das previsões realizadas, validando-os em outros contextos.

## Referências

- ANTP, A. N. de T. P., & World Bank, B. M. (Orgs.). (2012). *Sistemas Inteligentes de Transportes*.
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201–204.
- Bonomi, C. A., & Malvessi, O. (2008). *Project Finance no Brasil: Fundamentos e estudo de casos*. Atlas.
- Braga, A. de P., Carvalho, A., & Ludermir, T. B. (2000). *Redes neurais artificiais: teoria e aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- Brandão, L. E. T., Bastian-Pinto, C. de L., Gomes, L. L., & Salgado, M. S. (2012). Incentivos governamentais em PPP: uma análise por opções reais. *Revista de Administração de Empresas*, 52(1), 10–23.
- Brandão, L. E. T., & Saraiva, E. C. G. (2007). Risco privado em infra-estrutura pública: uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos. *RAP—Revista de Administração Pública*. Rio de Janeiro, 41(6), 1035–67.
- Campos, L. C. de S., & Gomes, L. F. A. M. (2005). Avaliação de risco no transporte urbano: uma aplicação ao Metrô do Rio de Janeiro. *Revista de Administração Contemporânea*, 9(1), 103–124.
- Campos, V. B. G. (2013). *Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Corrêa, F. (2008). *Aplicação de redes neurais artificiais no setor de transportes no Brasil (Dissertação (mestrado) em Engenharia Urbana)*. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- De Aguiar Júnior, S. R. (2004). *Modelo RAPIDE: uma aplicação de mineração de dados e redes neurais artificiais para a estimativa da demanda por transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil (Dissertação (Mestrado) em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação)*. Universidade Católica de Brasília, Brasília.
- Eric, I. P. (1995). *The Geography of Urban Transportation*. (S. Hanson, Org.) (2o ed). New York: Guilford Press.
- Flyvbjerg, B. (2007). *Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure* (arXiv e-print No. 1303.7402).
- Flyvbjerg, B. (2013). Quality control and due diligence in project management: Getting decisions right by taking the outside view. *International Journal of Project Management*, 31(5), 760–774.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & Rothengatter, W. (2003). *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Fouto, N. M. M. D., de Angelo, C. F., Zwicker, R., & Luppe, M. R. (2011). Séries temporais e redes neurais: uma análise comparativa de técnicas na previsão de vendas do varejo brasileiro. *BBR-Brazilian Business Review*, 8(2), 1–21.
- Freiman, J. P. (2004). *Utilização de Redes Neurais Artificiais na Previsão de Indicadores Financeiros para Avaliação Econômica de Negócios em Situação de Risco (Dissertação (Mestrado) em Ciências em Engenharia de Produção)*. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- Gibson Jr., G. E., Yu-Ren Wang, Chung-Suk Cho, & Pappas, M. P. (2006). What Is Preproject Planning, Anyway? *Journal of Management in Engineering*, 22(1), 35–42.
- Grimsey, D., & Lewis, M. K. (2002). Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 20(2), 107–118.
- Hair, J. F. J., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2005). *Análise multivariada de dados* (5o ed). Porto Alegre: Bookman.

- IIBA. (2011). Um guia para o Corpo de Conhecimento de Análise de Negócios(TM) (Guia BABOK®). IIBA.
- Kerzner, H. (2011). GERENCIAMENTO DE PROJETOS - Uma Abordagem Sistêmica para Planejamento, Programação e Controle. EDGARD BLUCHER.
- Kovács, Z. L. (2002). Redes Neurais Artificiais. Editora Livraria da Física.
- Krüger, N. A. (2012). Estimating traffic demand risk—A multiscale analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1741–1751.
- Laiza, M. C. de M., Duarte, E. J., Silva, C. V. G. da, Rubira, J. A. de C., & Bueno, J. de F. (2008). Os estudos de previsão de demanda no Metrô SP. *Engenharia*, 587, 122–125.
- Leurent, F. (2011). Transport capacity constraints on the mass transit system: a systemic analysis. *European Transport Research Review*, 3(1), 11–21.
- Marar, J. R., Aragão, J. J. G., & Santos, E. M. (2004). Licitação para contratação de parcerias público-privadas em infra-estrutura de transportes no Brasil. In ANPET—CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES (Vol. 18, p. 1393–1404). Florianópolis.
- Merrow, E. W. (2011). *Industrial megaprojects: concepts, strategies, and practices for success*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Metrô. (2013). Relatório de Sustentabilidade 2012 (p. 95). São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo.
- Millones, G. M. (2010). *Breaking Down Factors of Public-Private Partnership in Urban Rail: Experience from Latin American Cases* (Dissertação (mestrado)). Delft University of Technology, Delft - Netherlands.
- Motta, O. M. (2013). *Estudo de práticas com ênfase na estratégia empresarial para a gestão de megaprojetos: o caso das organizações envolvidas com engenharia e construção* (Dissertação (mestrado) em Sistemas de Gestão). Niterói.
- Nóbrega, M. (2010). Riscos em projetos de infraestrutura: incompletude contratual; concessões de serviço público e PPPs. *Revista brasileira de direito público*, 8(28), 69–92.
- Padula, R. (2008). *Infra-estrutura I: Transportes*. Brasília: CONFEA.
- Pastori, A. (2007). As PPPs como ferramenta para viabilizar projetos de infra-estrutura de transporte de passageiros sobre trilhos. *Revista do BNDES*, 14(28), 93–120.
- PMI. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide* (5o ed). Pennsylvania: Project Management Institute, Incorporated.
- Raia Junior, A. A. (2000). *Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas*. (Tese (Doutorado) em Engenharia Civil – Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Ramos, R. (2006). *Gerenciamento de projetos: ênfase na indústria de petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Ribeiro, R. L. O., Valle, A. B. do, Soares, C. A. P., & Santos, J. A. N. dos. (2013). From idea to benefit: project portfolio management using front end loading, the standard for portfolio management and PRINCE2. *International Journal of Management (IJM)*, p. 60–68.
- Shenhar, A. J., & Dvir, D. (2010). *Reinventando gerenciamento de projetos - A abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos*. São Paulo: Harvard Business School Press - M. Books.
- Vale. (2011). *Metodologia FEL* (p. 40). Rio de Janeiro: Vale S.A.
- Viglioni, G. M. C. (2008, abril). Comparação entre redes neurais e técnicas clássicas para previsão de demanda de transporte ferroviário. *Revista de Inteligência Computacional Aplicada (RICA)*, (1).