

Previsões de Demanda na Indústria Automotiva: Um estudo bibliográfico entre 2005 e 2014

Valquiria Constancio Batista (UFRGS) valk_batista@hotmail.com

Liane Werner (UFRGS) liane.werner@ufrgs.br

Resumo:

A previsão de demanda é um dos principais instrumentos para orientar as atividades das organizações. Assim, o uso de ferramentas e previsões constituem as principais ferramentas para o planejamento estratégico da produção, vendas e finanças dos processos produtivos das empresas. Nesse contexto diante da importância dos métodos de previsão de demanda, esse artigo propõe como objetivo através de um levantamento bibliográfico no período de 2005 a 2014, identificar as técnicas de previsões de demanda que são normalmente aplicadas na indústria automotiva. Através dos resultados obtidos foi possível destacar que 65% dos artigos encontrados na bibliográfica, referente à previsão de demanda na indústria automotiva, optam pelo uso de técnicas quantitativas em seus estudos.

Palavras chave: Técnicas, Previsão de Demanda, Indústria Automotiva

Demand forecasts in Automotive Industry: A bibliographic study between 2005 and 2014

Abstract

Demand forecasting is one of the main instruments to guide the activities of organizations. Thus, the use of tools and forecasts are the main tools for strategic planning of the production, sales and finance the production processes of companies. In this context on the importance of demand forecasting methods, this article proposes the objective through a literature review from 2005 to 2014 to identify the demand forecasting techniques that are commonly applied in the automotive industry. Through the results highlight that 65% of the articles found in the literature regarding the demand forecast in the automotive industry opt for the use of quantitative techniques in their studies.

Key-words: Technical, Demand Forecasting, Automotive Industry

1. Introdução

A formulação de planejamentos e o direcionamento estratégico das empresas dependem da identificação e previsão correta das mudanças emergentes no ambiente de negócios, o que torna a previsão de demanda um elemento chave na tomada de decisão gerencial (LEMOS, 2006).

Segundo Mancuso (2013), a previsão de demanda é uma das principais ferramentas para a eficiência do gerenciamento das organizações, afetando diretamente a lucratividade do negócio. O atual nível competitivo das empresas requer previsões cada vez mais acuradas, sendo estas um diferencial para o sucesso empresarial. Além disso, a previsão de demanda é importante para otimizar a utilização de máquinas e equipamentos, para a reposição de materiais, a quantidade certa e todas as demais atividades necessárias ao bom funcionamento do processo industrial, com suas ações adequadamente programadas (MARTINS; LAUGENI,

2005).

Um setor que tem notoriedade no mercado mundial é o setor automotivo. Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2015), a produção mundial de veículos em 2014 foi de 89,7 milhões de unidades, dos quais 3,1 milhões foram produzidos no Brasil, o que o classifica como 8º maior produtor mundial de veículos, além de apresentar uma participação de 23 % no PIB Industrial e de 5 % no PIB Total.

Mesmo para um setor com grande relevância, ele apresenta os mesmos problemas relacionados à previsão de demanda, que é a escolha do método de previsão a ser implementado, uma vez que o uso de previsões de demanda dá suporte no apoio à tomada de decisões (LEMOS, 2006). Muitos são os métodos de previsão de demanda, contudo, a grande maioria desses métodos analisa as informações utilizando uma única técnica de previsão. Nos tempos atuais, em que é necessário fazer uso de toda e qualquer informação de que se dispõe, uma única técnica pode não ser suficiente. Previsões confiáveis podem exigir a utilização de vários métodos, permitindo abranger a maior quantidade de informações disponíveis (WERNER ; RIBEIRO, 2006).

Pellegrini ; Fogliatto (2001) descrevem que previsões de demanda são formadas utilizando métodos quantitativos, qualitativos ou combinações de ambos. Métodos quantitativos fundamentam-se com base em modelos matemáticos. Estes modelos podem ser modelos econométricos que tem como base em variáveis econômicas ou então, na análise de séries temporais (dados que descrevem a variação da demanda ao longo do tempo). Métodos qualitativos baseiam-se em ideias de especialistas, sendo vulneráveis a tendências que podem comprometer a confiabilidade de seus resultados caso não se utilize os mecanismos apropriados.

Diante da importância dos métodos de previsão de demanda para orientar as atividades das organizações, isto inclui o setor automotivo, pode-se destacar na bibliografia estudos de casos que aplicam exemplificando os métodos, além do desenvolvimento de metodologia para estruturação de um sistema que possa contribuir na otimização do processo de previsão de demanda. Sendo assim, o objetivo deste artigo foi realizar um levantamento bibliográfico com vistas a identificar as técnicas de previsão de demanda utilizadas na indústria automotiva. Este artigo está estruturado em cinco seções, sendo esta introdução, a primeira. A segunda seção apresenta os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento deste artigo. As seções três e quatro apresentam a classificação e análise das técnicas de previsões mapeadas. E por último, na seção cinco, onde se encontram as principais conclusões deste estudo.

2. Procedimentos Metodológicos

Revisar a literatura tem como objetivo fazer um levantamento e analisar o que já foi publicado sobre determinado tema, quais as lacunas existentes e onde se encontram os principais entraves teóricos ou metodológicos. Tal levantamento permite um mapeamento do que já foi avaliado (SILVA ; MENEZES, 2005). Para isto, foram avaliados quatro aspectos: (i) mapeamento de artigos publicados na literatura; (ii) identificação das abordagens; (iii) classificação dos artigos de acordo com as abordagens identificadas; e (iv) análise da classificação.

A revisão foi realizada através de busca *on-line* através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Utilizando as palavras-chave “*forecasting*” e “*automotive*”, foram encontrados 400 artigos publicados entre 2005 a 2014. Com o objetivo de filtrar os artigos, foram selecionadas as seguintes bases de dados: *EBSCO Host*, *Emerald Insight*, *Science Direct*, *SCOPUS*, *Web of Science*, *SpringerLink* e *Academic OneFile*.

Na primeira etapa do mapeamento foram selecionados os artigos que, em seu resumo, título ou palavras-chave, mencionassem as palavras "*forecasting*" e "*automotive*", de onde selecionou-se 180 artigos, após retirar os artigos que estavam duplicados nas bases selecionadas chegou-se a 120 artigos.

A segunda etapa, após a leitura dos resumos dos artigos indicados na etapa 1, seleciona-se os artigos que estão relacionados com o tema técnicas de previsão de demanda na indústria automotiva e obteve-se um total de 43 artigos nos periódicos revisados.

Após o mapeamento da bibliografia disponível, a terceira etapa envolveu uma análise preliminar, consiste em relacionar os periódicos e o número de artigos publicados com o objetivo de identificar no período analisado o ano que se destaca pelo maior número de publicações.

Através da leitura dos artigos obtidos como resultado da etapa 2, a quarta etapa consistiu na identificação das abordagens utilizadas nos artigos. Para melhor análise, é realizado o agrupamento dos artigos em relação à abordagem identificada, logo depois a descrição das abordagens de acordo com o agrupamento.

Na quinta e última etapa analisando as abordagens com o auxílio do Gráfico de Pareto é possível identificar, as abordagens mais relevantes dentre as identificadas nos artigos estudados, e como conclusão verificou-se quais as técnicas de previsão que são mais utilizadas na indústria automotiva.

3. Análise e Mapeamento dos Artigos

Após o levantamento bibliográfico dos artigos encontrados na literatura referente a estudos que utilizam técnicas de previsão de demanda na indústria automotiva, foram realizadas análises visando fornecer um panorama do estudo relacionado ao período estudado.

Uma análise preliminar foi realizada em relação aos periódicos nos quais esses artigos foram encontrados e o número de artigos publicados no período de análise, do ano de 2005 à 2014. Foi possível observar que os periódicos *Computational Materials Science*, *Expert Systems with Applications*, *International Journal of Automotive Technology*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *International Journal of Production Economics* e *Journal of Mechanical Science and Technology* concentram, no período analisado, aproximadamente 35% das publicações referentes à abordagem de identificar às técnicas de previsão de demanda aplicadas na indústria automotiva.

Dentre os periódicos destacados, pode-se mostrar a relevância do periódico *International Journal of Automotive Technology* com aproximadamente 12% das publicações. Esse periódico tem como objetivo a publicação e divulgação de pesquisas originais em todos os campos da Tecnologia Automotiva, Ciência e Engenharia. Promove, assim, a troca de ideias entre pesquisadores de diferentes partes do mundo e também entre pesquisadores que enfatizam diferentes aspectos dos fundamentos e aplicações de campo.

Para melhor visualização dos resultados foi construído o gráfico representado na Figura 1, que representa a Evolução Temporal das Publicações ao longo dos anos em relação aos periódicos, observa-se que no período analisado, é possível destacar o número de publicações no ano de 2014, totalizando 12 artigos publicados representando aproximadamente 28% das publicações. Destaca-se ainda na Figura 1 a linha de tendência no gráfico, mostra claramente uma tendência de aumento que parece promissora para as publicações futuras.

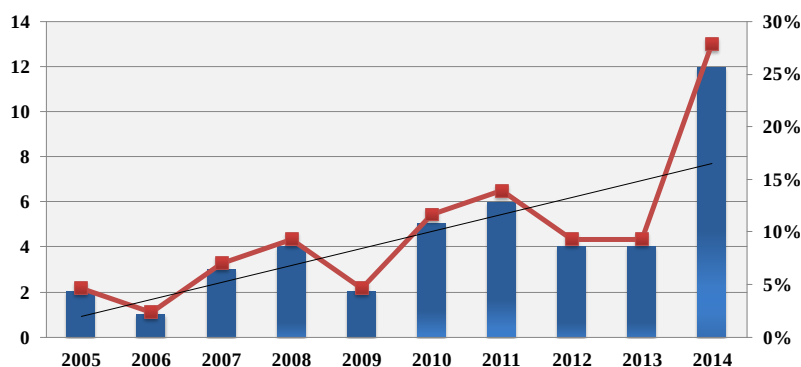


Figura 1 - Evolução temporal das publicações em relação aos periódicos

A Tabela 1 apresenta uma análise do número de artigos classificados de acordo com as abordagens identificadas, essas abordagens serão detalhadas no item 4. Foi possível verificar que os artigos apresentam várias abordagens e que estas se distribuem ao longo dos anos.

Abordagens	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total	%
<i>Proposta de Técnicas Quantitativas</i>				1	1	2	1	1		5	11	26%
<i>Aplicação de Método Quantitativo</i>	1	1		2		2	1			3	10	23%
<i>Aplicação método quantitativo no Segmento de Peças</i>			2	1				1	2	1	7	16%
<i>Desenvolvimento de Modelo empírico</i>						1	1	1	1	1	5	12%
<i>Uso da Simulação no estudo da previsão</i>	1		1				1		1		4	9%
<i>Comparativo de modelagens de Previsão</i>								1		1	2	5%
<i>Validação de Modelo Quantitativo</i>							2				2	5%
<i>Análise do Setor Automobilístico</i>					1					1	2	5%
Total	2	1	3	4	2	5	6	4	4	12	43	100%
%	5%	2%	7%	9%	5%	12%	14%	9%	9%	28%		

Fonte - os autores

Tabela 1 - Número de artigos em relação ao ano e às abordagens

Para melhor visualização dos resultados apresentados na Tabela 2, foi possível elaborar o Gráfico de Pareto apresentado na Figura 2. Por meio do Gráfico de Pareto é possível identificar as abordagens mais relevantes.

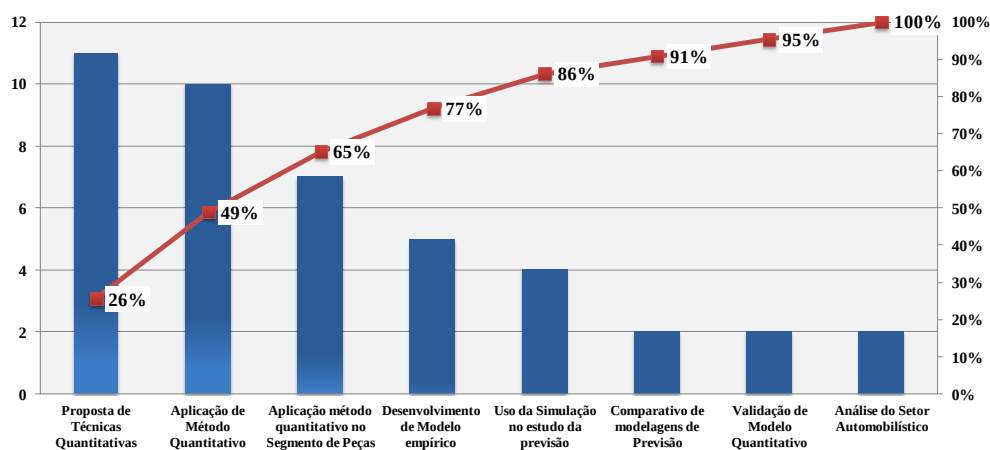


Figura 2 - Quantidade de publicações em relação às abordagens

Na Figura 2, o Gráfico de Pareto, mostra que 65% dos artigos analisados estão enquadrados em abordagens que estão relacionadas à métodos quantitativos de previsão de demanda. As previsões de demanda que utilizam os métodos quantitativos são realizadas através da análise matemática/estatística de séries históricas, visando analisar e identificar padrões passados com o intuito de projetá-los no futuro ou então utilizar variáveis econômicas para prever o comportamento da demanda no futuro.

4. Descrição das Abordagens

Após os artigos terem sido mapeados, procedeu-se com a classificação destes em 8 abordagens relacionadas ao tema deste estudo. Na Tabela 2 são apresentados os 43 artigos e a classificação de acordo com as abordagens identificadas. Na sequência cada abordagem será descrita.

Abordagens	Artigos				
Análise do Setor Automobilístico	Shahabuddin (2009) Tański et. al. (2014)				
Aplicação de Método Quantitativo	Syntetos & Boylan (2005) Mao & Chirwa (2006)	Meixell et. al. (2008) Kim & Kim (2008)	Avazbeigi et. al. (2010) Rieg (2010)	Tangkuman & Yang (2011) Altintas & Trick (2014)	Thoennes et. al. (2014) Suna et. al. (2014)
Aplicação método quantitativo no Segmento de Peças	Choi et. al. (2007) Shyam et. al. (2007)	Deng & Murakawa (2008) Pevac et. al. (2012a)	Oberst et. al. (2013) Chang & Hwang (2013)	Foss et. al. (2014)	
Comparativo de modelagens de Previsão	Pevac et. al. (2012b) Kampouroopoulos et. al. (2014)				
Desenvolvimento de Modelo empírico	Held et. al. (2010) Lee et. al. (2011)	Sa-Ngasongsong et. al. (2012) Petropoulos et. al. (2013)			Babai et. al. (2014)
Proposta de Técnicas Quantitativas	Hong et. al. (2008) Gutiérrez et. al. (2009) Shi et. al. (2010)	Choi et. al. (2010) Wu & Liu (2011)	Peyghami & Khanduzi (2012) Zuo et. al. (2014)	Paul et. al. (2014) Lee et. al. (2014)	Khalaj et. al. (2014) Hwang et. al. (2014)
Uso da Simulação no estudo da previsão	Kleyner & Sandborn (2005)		Pierreval et. al. (2007)	Park et. al. (2011)	Steinemanna et. al. (2013)
Validação de Modelo Quantitativo	Kononen et. al. (2011) NG et. al. (2011)				

Fonte - os autores

Tabela 2 - Abordagens propostas e artigos presentes em cada abordagem

4.1 Análise do Setor Automobilístico

Shahabuddin (2009) procurou compreender o comportamento da indústria automobilística nos Estados Unidos, para isso, foi preciso entender o desempenho histórico dessa indústria em relação a fatores econômicos para estabelecer uma relação entre as variáveis econômicas e as vendas de automóveis. A análise dos dados sobre as vendas de automóveis e as variáveis econômicas foi realizada com o auxílio do software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, IBM Softwares, Armonk, New York, USA), através de modelos de regressão múltipla. Os resultados indicaram uma forte relação entre as variáveis econômicas e a venda de automóveis estrangeiros, mas a relação entre as variáveis econômicas e as vendas de automóveis no mercado interno não foi significativa.

Tański *et al.* (2014) realizaram uma análise quantitativa comparativa dos materiais (ligas de aço, magnésio e alumínio) e tecnologias de fabricação, com o objetivo de indicar suas perspectivas de desenvolvimento e de apresentar as oportunidades de aplicação na indústria automotiva.

Após compreender os estudos sobre o setor automotivo é preciso identificar em outros estudos os métodos de previsão que são frequentemente aplicados nesse setor.

4.2 Aplicação de Método Quantitativo de Previsão

A análise de mineração de dados de padrões de previsão em uma cadeia de suprimentos foi realizada por Altintas ;Trick (2014). Foi considerado a análise de vários clientes que são fabricantes de autopeças de automóveis. Os fabricantes de automóveis usam a previsão para futuras encomendas, planejando a produção com antecedência, além de atualizar os clientes antes da data de vencimento. Sendo assim, foi analisado um modelo de previsão para pedidos de determinado cliente. Tinha como objetivo aperfeiçoar as operações do fornecedor através de uma melhor compreensão do comportamento dos pedidos. Através do modelo quantitativo de previsão, os pedidos dos clientes foram transformados em fluxos diários e para melhor análise as distribuições dos pedidos são usadas como insumos para agrupá-los através de clusters, a fim de obter grupos de clientes semelhantes. Logo após, foi realizado um

mapeamento de modo a visualizar os aglomerados para análise do comportamento das previsões dos clientes. Os resultados mostraram que os clientes são consistentes em seu comportamento de previsão dos pedidos, revelando que são úteis para que o fornecedor tome as medidas necessárias para melhorar as previsões.

Meixell *et al.* (2008) investigaram o valor do conhecimento, definido como $[V(K)]$ em uma organização de serviço. O uso do conhecimento para reduzir o erro em previsões de vendas melhorou o desempenho dos processos operacionais que dependem de previsões. Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia para avaliar o valor deste conhecimento, incluindo um modelo de demanda de peças de reposição com os parâmetros que são estimados e atualizados usando uma abordagem bayesiana, essa abordagem foi útil neste contexto porque permite que o conhecimento possa ser integrado com dados cada vez que as probabilidades para os parâmetros da demanda do modelo são atualizados.

O modelo matemático conhecido como modelo cinzento foi aplicado por Mao ; Chirwa (2006) e Tangkuman ;Yang (2011) com o objetivo de realizar uma estimativa de risco de fatalidade com veículos e para prever o futuro estado de degradação de uma máquina.

Os modelos quantitativos de séries temporais são que envolvem a análise (estatística) de dados passados para prever os futuros. Sendo assim, Avazbeigi *et al.* (2010) aplicou um modelo de série temporal para previsão da produção da indústria automobilística.

As células de combustível são uma alternativa promissora de tecnologia que possibilitam reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e da dependência de recursos energéticos fósseis. Thoennes *et al.* (2014) mostrou uma análise para prever quantitativamente através dos indicadores dos sistemas de células de combustível com o objetivo de identificar os parâmetros críticos de desempenho e priorizar demandas de pesquisa e desenvolvimento.

Um modelo de análise de previsão com foco no gerenciamento da demanda de carga de energia elétrica foi realizado por Suna *et al.* (2014) visando a redução do consumo de energia elétrica durante os períodos de pico de controle de estoque para os sistemas de produção com várias máquinas.

Os métodos de previsão quantitativos tais como Média Móvel Simples, Simples Exponencial Suavização e o método de Croston foram aplicados por Syntetos ; Boylan (2005), além de um novo método (com base na abordagem de Croston) que foi desenvolvido pelos autores. Esses métodos foram comparados com relação à acurácia das previsões.

Rieg (2010) realizou testes de previsões para melhorar ao longo do tempo as vendas de um fabricante de automóveis alemão. Analisou os planos de vendas mensais e os dados atuais para três modelos de carros diferentes. Além de descrever uma metodologia para as empresas analisarem sua própria acurácia das previsões e identificar as possíveis razões para a falta.

Kim ; Kim (2008) realizaram uma análise numérica para o módulo de refrigeração relacionada com sistema de ar condicionado de um automóvel. Tinham como objetivo desenvolver um método para prever o desempenho da temperatura no sistema de arrefecimento do radiador do veículo. Este método inclui a previsão de refrigeração e os padrões de fluxo de ar condicionado no radiador em um modelo de automóvel.

Após identificar os estudos que aplicam os métodos quantitativos de previsão, é importante analisar os estudos que apresentam esse mesmos métodos no segmento automotivo de peças.

4.3 Aplicação Método Quantitativo no Segmento de Peças

O processo de moldagem por injeção hidráulica tornou-se uma tecnologia emergente para

reduzir o peso da estrutura do corpo do automóvel e minimizar o número de passos do processo. Devido a essa importância, Choi *et al.* (2007) apresentaram uma modelagem analítica para processo de aquecimento hidromecânicos de materiais leves para previsões rápidas em termos de sucesso/fracasso do processo de formação e níveis adequados de variáveis de processo.

Na indústria automotiva, termoplásticos com fibra de vidro são usados em coletores de admissão de ar, tanques de radiador e muitas outras peças. Desta forma, Foss *et al.* (2014) desenvolveram um modelo capaz de prever detalhes na distribuição da orientação das fibras de vidro nos termoplásticos, além de poder ser aplicado em processos de desenvolvimento de produtos e na manufatura.

As peças de placas finas são comumente usadas na indústria automotiva durante o processo de montagem, a tecnologia de soldagem é normalmente utilizada por causa da alta produtividade. Desta forma, Deng ; Murakawa (2008) estudaram o método dos elementos finitos (*Finite Element Method*) para simular experimentos para medir a deformação da soldagem de um aço. E, Shyam *et al.* (2007) mostram em seu trabalho uma abordagem para prever a taxa de crescimento de pequenas fissuras por fadiga em materiais metálicos.

Oberst *et al.* (2013), Chang ; Hwang (2013) e Pevec *et al.* (2012a) mostraram uma abordagem relacionada a sistemas de freios de veículos. Estabeleceram orientações sobre como realizar vibração confiável e análises acústicas, simular a previsão numérica da trepidação do veículo devido ao desgaste e ferrugem do disco e analisar o comportamento de um disco de freio na fase de pré-teste precoce tem um impacto significativo nos custos de desenvolvimento e tempo, respectivamente.

Após identificar os métodos quantitativos de previsão e os estudos relevantes que aplicam esses métodos no segmento automotivo é interessante realizar um comparativo nos métodos de previsão encontrados nos estudos relacionados.

4.4 Comparativo de Modelagens de Previsão

Kampouropoulos *et al.* (2014) propuseram uma metodologia para a previsão de consumo de energia industrial usando uma combinação de Sistemas de Inferência de Algoritmos Genéticos e *Adaptive Neuro-Fuzzy*. Os resultados mostraram que o sistema é capaz de correr em uma planta industrial, adquirir informações e detectar possíveis correlações entre o consumo de energia e diferentes variáveis externas.

Pevec *et al.* (2012b) mostram um estudo comparativo sobre as abordagens de modelagem para a previsão de fluxo compressível instável unidimensional no sistema de ar do motor de combustão interna de um veículo.

Após realizar um comparativo nos métodos de previsão acima, em alguns estudos foi possível identificar o desenvolvimento de um modelo empírico de previsão, tais modelos serão apresentados a seguir.

4.5 Desenvolvimento de Modelo Empírico

Lee *et al.* (2011) desenvolveram um programa computacional, um modelo semi-empírico de um sistema de travagem para estimar numericamente o desempenho de frenagem de um veículo de passageiros.

Petropoulos *et al.* (2013) analisaram os resultados empíricos de três heurísticas, ou seja, processos criados com o objetivo de encontrar soluções para a previsão de demanda adequada para itens da indústria automotiva. Em seus resultados foi proposto um sistema de suporte de previsão (*Forecasting System Suport - FSS*) exclusivo e dedicado para a manipulação de

dados de natureza de demanda de itens intermitentes. Babai *et al.* (2014) também analisaram métodos de estimativa de demanda de itens intermitentes da indústria automotiva, mostraram que o desempenho do inventário deve ser considerado juntamente com a precisão das previsões e seus resultados apontaram que os dois nem sempre se complementam.

A análise empírica realizada por Sa-Ngasoongsong *et al.* (2012) indica que as vendas de automóveis no segmento automotivo têm uma relação de equilíbrio de longo prazo com indicadores econômicos. Um modelo de correção de erro de vetor (*Vector Error Correction Model - VECM*) de vendas de automóveis foi estimado para quantificar o impacto em longo prazo destes indicadores econômicos sobre as vendas. Comparações de acurácia da previsão demonstraram que o modelo VECM supera outras técnicas de séries temporais clássicas e avançadas.

Held *et al.* (2010) buscaram desenvolver um modelo de previsão confiável que prevê se a tendência atual de veículos totalmente elétricos é sustentável. Os resultados empíricos revelam diferentes fatores críticos para a adoção de veículos elétricos, como o preço de compra, o intervalo, momento da entrada no mercado, ou a evolução ambiental.

Enquanto em alguns estudos foi possível identificar o desenvolvimento de um modelo empírico de previsão, outros estudos propuseram o desenvolvimento de técnicas quantitativas que serão apresentados a seguir.

4.6 Proposta de Técnicas Quantitativas

Um sistema de travagem antibloqueio (*Antilock Braking System - ABS*) é uma das instalações mais importantes de segurança em veículos modernos, sendo assim, Shi *et al.* (2010) propuseram um novo método para prever falhas no sistema ABS enquanto o veículo está parado. É aplicada uma abordagem baseada em modelo matemático para detectar falhas mecânicas do sistema ABS, especialmente a partir do seu subsistema hidráulico.

Zuo *et al.* (2014) desenvolveram um método de modelagem quantitativa que constitui em um algoritmo para verificar e prever a quantidade de desgaste durante o processo de utilização do pneu. O modelo foi verificado comparando seus resultados da simulação com dados de utilização do pneu.

Wu ; Liu (2011) e Peyghami ; Khanduzi (2012) desenvolveram modelos de previsão baseado em rede neural artificial (RNA). No primeiro estudo, os autores desenvolveram um sistema de previsão para o consumo de combustível do veículo automotivo, que é constituído de três partes: sistema de aquisição de informações, algoritmo de previsão de consumo de combustível e de avaliação de desempenho. No segundo estudo foi desenvolvido um algoritmo para prever o preço da *Irã Khodro Company* (IKCO), que é a maior fabricante de automóveis no Irã, o algoritmo utilizou dentre alguns métodos, o método dos mínimos quadrados na obtenção do modelo via análise de regressão. O IKCO também foi aplicado por Khalaj *et al.* (2014), teve como objetivo projetar uma rede de cadeia de fornecimento multi-escalas com cinco escalas. Para este propósito, um modelo matemático foi desenvolvido a fim de minimizar o custo total de localização e transporte.

Paul *et al.* (2014) caracterizaram experimentalmente e analiticamente o índice de expansão do buraco em chapas de aço a partir de propriedades de tração uniaxial na roda de um automóvel. Os resultados mostraram o desenvolvimento de uma metodologia para calcular a verdadeira deformação na ruptura durante o ensaio de tração uniaxial, também foi proposto um método para prever o índice de expansão do furo analiticamente a partir da fratura nas chapas de aço da roda.

Hong *et al.* (2008) desenvolveram um modelo de previsão estocástico para estimar a procura

num determinado intervalo a previsão de peças de reposição da demanda por um produto descontinuado, os dados numéricos da indústria automóvel são usadas para validar o modelo.

Um modelo de previsão de estoques de veículos que utilizam as tendências de modelos estocásticos de difusão *Gompertz*, foi desenvolvido por Gutiérrez *et al.* (2009) realizaram um estudo de caso em veículos da Espanha.

Lee *et al.* (2014) desenvolveram um método numérico para prever de forma eficiente fenômenos de transferência de calor de uma persiana do radiador do veículo. Este método consiste em uma análise microscópica e análise semimicroscópica. Os resultados com o método proposto mostraram uma boa concordância com os dados experimentais.

O processo de moldagem hidráulica quente tornou-se uma tecnologia emergente nos últimos anos para reduzir o peso da estrutura da carroceria do automóvel, sendo assim, Choi *et al.* (2010) buscaram desenvolver um modelo para prever a fração de gás residual nos cilindros de motores de combustão interna.

Hwang *et al.* (2014) validaram a ferramenta de previsão de carga de trabalho (*Driving Workload Prediction Tool - DWPT*), que é composta de três subfatores: a inadaptção situacional, a personalidade de assumir riscos, e a inadaptção interpessoal.

A seguir serão apresentados estudos que utilizaram da simulação para a aplicação dos métodos de previsão.

4.7 Uso da Simulação No Estudo da Previsão

Park *et al.* (2011) desenvolveram um modelo de previsão para veículos com célula de combustível de hidrogênio (*Hydrogen Fuel Cell Vehicles - HFCV*) na Coreia com base no modelo de difusão generalizada Bass.

Kleyner ; Sandborn (2005) apresentaram um método de previsão de garantia com base em simulação estocástica dos retornos esperados de garantia do produto. O método é demonstrado através de um estudo de caso de automóveis. Já Pierreval *et al.* (2007) propuseram uma abordagem de simulação contínua para as cadeias de fornecimento na indústria automotiva.

Durante a última década, a simulação de eventos discretos tornou-se a ferramenta de escolha para verificar as decisões estratégicas e medidas táticas no processo de produção. Sendo assim, Steinemanna *et al.* (2013) baseado em um estudo de caso de uma linha de montagem na indústria automotiva, propuseram uma abordagem com base em simulações em ambientes de produção. O estudo teve como objetivo simplificar o uso de ferramentas de simulação a eventos discretos, fornecendo novas interfaces de visualização e interação para apoiar as decisões sobre as medidas táticas e, assim, estabeleceram iniciativas de fabricação enxuta, com monitoramento em tempo real.

4.8 Validação de Modelo Quantitativo

Kononen *et al.* (2011) propuseram a identificação e validação de um modelo de regressão logística para prever lesões graves associados a acidentes com veículos automotores. Ng *et al.* (2011) também buscaram a validação de um modelo que visa a modificação de um material para melhorar a precisão da previsão da distribuição da espessura de formação de chapas metálicas em grandes painéis de automóveis.

5. Conclusões

O presente artigo propõe o levantamento bibliográfico com vistas a identificar os modelos e técnicas de previsão, das diversas demandas, utilizados na indústria automotiva. Esse objetivo

foi definido devido à importância de se estudar técnicas de previsão de demanda para as organizações, bem como focando em um mercado competitivo tal como setores da indústria automotiva e seus subsetores.

Ao longo do estudo, foram identificados na bibliografia 43 artigos relacionados à estudos de aplicabilidade de técnicas de previsão de demanda na indústria automotiva. Após a seleção dos artigos, os mesmos foram agrupados de acordo com abordagens estabelecidas através da leitura dos artigos. Nos resultados obtidos desse levantamento, inicialmente foi possível destacar o periódico *Journal of Automotive Technology* com 12% dos artigos selecionados, totalizando 5 artigos. Em relação às abordagens, destaca-se que 65% dos artigos analisados estão enquadrados em abordagens que estão relacionadas à métodos quantitativos de previsão de demanda. E em relação ao período de análise, do ano 2005 a 2014, destaca-se o ano de 2014 com maior número de publicações em relação aos periódicos e abordagens.

Desta forma, conclui-se que as previsões de demanda que obtiveram destaque na indústria automotiva foram desenvolvidas em estudos a partir de métodos quantitativos, pois esses métodos possibilitam a aplicabilidade através de dados históricos e utilizam modelos matemáticos para que se chegue melhora a acurácia das previsões.

Os resultados aqui apresentados servem como um indicativo para a consideração desses métodos na aplicação e validação de estudos relacionados à indústria automotiva. Deixando-se como sugestão para futuros trabalhos a aplicabilidade de métodos quantitativos em estudos de casos da indústria automotiva e o desafio de identificar outros métodos, como os qualitativos na bibliografia.

Referências

ALTINTAS, N.; TRICK, M. *A Data Mining Approach to Forecast Behavior*. Annals of Operations Research, n. 216, p. 3–22, 2014.

AVAZBEIGI, M.; DOULABI, S.H.H.; KARIMI, B. *Choosing the Appropriate Order in Fuzzy Time Series: A New N-Factor Fuzzy Time Series for Prediction of the Auto Industry Production*. Expert Systems with Applications, v. 37, n. 8, p. 5630–5639, 2010.

BABAI, M. Z.; SYNTETOS, A.; TEUNTER, R. *Intermittent Demand Forecasting: an Empirical Study on Accuracy and the Risk of Obsolescence*. International Journal of Production Economics, v. 157, p. 212–219, 2014.

CHANG, Y-K.; HWANG, J-R. *Numerical Model for Prediction of Brake Judder Due to Wear and Rust*. International Journal of Automotive Technology, v. 14, n. 3, p. 375–384, 2013.

CHOI, H.; KOÇ, M.; NI, J. *A Study on The Analytical Modeling for Warm Hydro-Mechanical Deep Drawing of Lightweight Materials*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 47, n. 11, p. 1752–1766, 2007.

CHOI, S.; KI, M.; MIN, K. *Development of an On-Line Model to Predict the In-Cylinder Residual Gas Fraction by Using the Measured Intake/Exhaust and Cylinder Pressures*. International Journal of Automotive Technology, v. 11, n. 6, p. 773–781, 2010.

DENG, D.; MURAKAWA, H. *Prediction of Welding Distortion and Residual Stress in a Thin Plate Butt-Welded Joint*. Computational Materials Science, v. 43, n. 2, p. 353–365, 2008.

FOSS, P.H.; TSENG, H.-C.; SNAWERDT, J.; YANG, W.-H.; HSU, C.-H. *Prediction of Fiber Orientation Distribution in Injection Molded Parts Using Moldex3D Simulation*. Polymer Composites, v. 35, n. 4, p. 671–680, 2014.

GUTIÉRREZ, R.; GUTIÉRREZ-SÁNCHEZ, R.; NAFIDI, A. *Modelling and Forecasting Vehicle Stocks Using the Trends of Stochastic Gompertz Diffusion Models: the Case of Spain*. Applied Stochastic Models in Business and Industry, v. 25, n. 3, p. 385–405, 2009.

HELD, C.; SINDEL, M.; LIEWALD, M. *Novel Semi-Empirical Model for Forming Limit Prediction of Sheet Metal Material with Regard on Effects Of Shear-Tension Loads*. International Journal of Material Forming, v. 3,

n. 1, p. 1171-1174, 2010.

HONG, J.S.; KOO, H-Y.; LEE, C-S.; AHN, J. *Forecasting Service Parts Demand for A Discontinued Product*. IEEE Transactions, v. 40, p. 640–649, 2008.

HWANG, Y.; YOON, D.; KIM, H.S.; KIM, K.-H. *A Validation Study on a Subjective Driving Workload Prediction Tool*. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, v. 15, n. 4, 2014.

KAMPOUROPOULOS, K.; ANDRADE, F.; GARCIA, A.; ROMERAL, L. *A Combined Methodology of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Genetic Algorithm for Short-Term Energy Forecasting*. Advances in Electrical and Computer Engineering, v. 14, n. 1, 2014.

KHALAJ, M. R.; MODARRES, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. *Designing a Multi-Echelon Supply Chain Network: a Car Manufacturer Case Study*. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, v. 27, n. 6, p. 2897-2914, 2014.

KIM, H.J.; KIM, C.-J. *A Numerical Analysis for the Cooling Module Related to Automobile Air-Conditioning System*. Applied Thermal Engineering, v. 28, n. 14–15, p. 1896–1905, 2008.

KLEYNER, A.; SANDBORN, P. *A Warranty Forecasting Model Based on Piecewise Statistical Distributions and Stochastic Simulation*. Reliability Engineering and System Safety, v. 88, p. 207–214, 2005.

KONONEN, D.W.; FLANNAGAN, C.A.C.; WANG, S.C. *Identification and Validation of a Logistic Regression Model for Predicting Serious Injuries Associated with Motor Vehicle Crashes*. Accident Analysis & Prevention, v. 43, n. 1, p. 112–122, 2011.

LEE, C.-H.; LEE, J.-M.; CHOI, M.-S.; KIM, C.-K.; KOH, E.-B. *Development of a Semi-Empirical Program for Predicting the Braking Performance of a Passenger Vehicle*. International Journal of Automotive Technology, v. 12, n. 2, p. 193–198, 2011.

LEE, S.H.; HUR, N.; KANG, S. *An Efficient Method to Predict the Heat Transfer Performance of a Louver Fin Radiator in an Automotive Power System*. Journal of Mechanical Science and Technology, v. 28, n. 1, p. 145-155, 2014.

LEMOES, Fernando de Oliveira. *Metodologia para Seleção de Métodos de Previsão de Demanda*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2006.

MANCUSO, Aline Castello Branco. *Uma investigação do desempenho de métodos de combinação de previsões: simulada e aplicada*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2013.

MAO, M.; CHIRWA, E. C. *Application of Grey Model Gm(1,1) to Vehicle Fatality Risk Estimation*. Technological Forecasting & Social Change, n. 73, p. 588–605, 2006.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MEIXEL, M.J.; SHAW, N.C.; TUGGLE, F.D. *A Methodology for Assessing the Value of Knowledge in a Service Parts Supply Chain*. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics - Applications And Reviews, v. 38, n. 3, 2008.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. *Desenvolvimento da Produção. Setores abrangidos pela Política Industrial. Automotivo*. Disponível em: < <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=327> >. Acesso em: 13 dez. 2015.

NG, J.C.; LUCKEY, S.G.; KRIDL, G.T.; FRIEDMAN, P.A. *Validation of a Modified Material Model for use with Shell Elements to Improve the Predictive Accuracy of the Thickness Distribution in Superplastic Forming of Sheet Metals*. Journal of Materials Processing Technology, v. 211, n. 8, p. 1386–1394, 2011.

OBERST, S.; LAI, J.C.S.; MARBURG, S. *Guidelines for Numerical Vibration and Acoustic Analysis of Disc Brake Squeal Using Simple Models of Brake Systems*. Journal of Sound and Vibration, v. 332, n. 9, p. 2284–2299, 2013.

PARK, S. Y. ; KIM, J. W.; LEE, D. H. *Development of a market penetration forecasting model for Hydrogen Fuel Cell Vehicles considering infrastructure and cost reduction effects*. Energy Policy, v. 39, n. 6, p. 3307–3315, 2011.

PAUL, S. K.; MUKHERJEE M.; KUNDU S.; CHANDRA, S. *Prediction of Hole Expansion Ratio For Automotive Grade Steels*. Computational Materials Science, v. 89, p. 189–197, 2014.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. *Passos para Implantação de Sistemas de Previsão de Demanda-Técnicas e Estudo de Caso.* Produção, v. 11 n. 1, 2001

PETROPOULOS, F.; NIKOLOPOULOS, K.; SPITHOURAKIS, G. P.; ASSIMAKOPOULOS, V. *Empirical Heuristics for Improving Intermittent Demand Forecasting.* Industrial Management & Data Systems, v. 113, n. 5, p. 683 - 696, 2013.

PEVEC, M.; POTRC, I.; BOMBEEK, G.; VRANESEVIC, D. *Prediction of the Cooling Factors of a Vehicle Brake Disc and its Influence on the Results of a Thermal Numerical Simulation.* International Journal of Automotive Technology, v. 13, n. 5, p. 725-733, 2012a.

PEVEC, M.; POTRC, I.; BOMBEEK, G.; VRANESEVIC, D. *Modeling Wave Action Effects in Internal Combustion Engine Air Path Systems: Comparison of Numerical and System Dynamics Approaches.* International Journal of Engine Research, 2012b.

PEYGHAMI, M.R.; KHANDUZI, R. *Predictability and Forecasting Automotive Price Based on a Hybrid Train Algorithm of MLP Neural Network.* Neural Comput & Applic, v. 21, p. 125-132, 2012.

PIERREVAL, H. ; BRUNIAUX, R. ; CAUX, C. *A Continuous Simulation Approach for Supply Chains in the Automotive Industry.* Simulation Modelling Practice and Theory, v. 15, n. 2, p. 185-198, 2007.

RIEG, R. *Do Forecasts Improve Over Time?* International Journal of Accounting & Information Management, v. 18, n. 3, p. 220 - 236, 2010

SA-NGASOONGSONG, A.; BUKKAPATNAM, S. T. S.; KIM, J.; IYER, P. S.; SURESH, R.P. *Multi-step sales forecasting in automotive industry based on structural relationship identification.* International Journal of Production Economics, v. 140, n. 2, p. 875-887, 2012.

SHAHABUDDIN, S. *Forecasting Automobile Sales.* Management Research News, v. 32, n. 7, p. 670 - 682, 2009.

SHI, Z., LEGATE, I., GU, F., FIELDHOUSE, J., BALL, A. *Prediction of Antilock Braking System Condition with the Vehicle Stationary Using a Model-Based Approach.* International Journal of Automotive Technology, v. 11, n. 3, p. 363-373, 2010.

SHYAM, A.; ALLISON, J.E.; SZCZEPANSKI, C.J.; POLLOCK, T.M.; JONES, J.W. *Small Fatigue Crack Growth in Metallic Materials: a Model and its Application to Engineering Alloys.* Acta Materialia, v. 55, n. 19, p. 6606-6616, 2007.

STEINEMANNA, A.; TAIBERB, J.; FADEL, G.; WEGENER, K.; KUNZA, A. *Adapting Discrete-Event Simulation Tools to Support Tactical Forecasting in the Automotive Industry.* International Journal of CoCreation in Design and the Arts, v. 9, n. 3, 2013.

SUNA, Z.; LIA, L.; FERNANDEZA, M.; WANGB, J. *Inventory Control for Peak Electricity Demand Reduction of Manufacturing Systems Considering the Tradeoff Between Production Loss And Energy Savings.* Journal of Cleaner Production, v. 82, p. 84-93, 2014.

SYNTETOS, A.A.; BOYLAN, J.E. *The Accuracy of Intermittent Demand Estimates.* International Journal Of Forecasting, v. 21, n. 2, p. 303-314, 2005.

TANGKUMAN, S.; YANG, B-S. *Application of Grey Model for Machine Degradation Prognostics.* Journal of Mechanical Science and Technology, v. 25, n. 12, p. 2979-2985, 2011.

TAŃSKI, T.; DOBRZAŃSKA-DANIKIEWICZ, A.D.; LABISZ, K.; MATYSIAK, W. *Long-Term Development Perspectives of Selected Groups of Engineering Materials Used In The Automotive Industry.* Archives of Metallurgy and Materials, v. 59, n. 4, p.1717-1728, 2014.

THOENNES, M.; BUSSE, A.; ECKSTEIN, L. *Forecast of Performance Parameters of Automotive Fuel Cell Systems - Delphi Study Results.* FUEL CELLS, v. 14, n. 6, p. 781-791, 2014.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. *Modelo Composto para Prever Demanda através da Integração de Previsões.* Produção, v. 16, n. 3, p. 493-509, 2006.

WU, J-D; LIU, J-C. *Development of a Predictive System For Car Fuel Consumption Using an Artificial Neural Network.* Expert Systems with Applications, v. 38, n. 5, p. 4967-4971, 2011.

ZUO, S.G.; NI, T.X.; WU, X.D.; WU, K.; YANG, X.W. *Prediction Procedure for Wear Distribution of Transient Rolling Tire.* International Journal of Automotive Technology, v. 15, n. 3, p. 505-515, 2014.