

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PREVISÃO DE DEMANDA DE SERVIÇOS
EMERGENCIAIS EM CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA
ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Pâmella Keriane Horn

Santa Maria, RS, Brasil

2016

PREVISÃO DE DEMANDA DE SERVIÇOS EMERGÊNCIAIS EM CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA

POR

Pâmella Keriane Horn

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção.**

Orientador(a): Vinícius Jacques Garcia

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

PREVISÃO DE DEMANDA DE SERVIÇOS EMERGENCIAIS EM CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA

PÂMELLA KERIANE HORN(UFSM)
pame.horn@hotmail.com
VINÍCIUS JACQUES GARCIA(UFSM)
viniciusjg@ufsm.br

As concessionárias de energia elétrica precisam garantir a qualidade do serviço prestado. Um dos problemas mais significativos que afeta esta qualidade do serviço é a interrupção no fornecimento, muitas vezes relacionada com ocorrências emergências as quais requerem a intervenção humana para restabelecimento do serviço. Justamente pela natureza dessas ocorrências emergenciais e pelo impacto causado quanto ao número gerado, ter algum conhecimento sobre a demanda prevista para estes serviços em relação ao número de horas necessário é relevante e oportuno. Este trabalho apresenta uma aplicação do método de suavização exponencial para previsão da demanda de serviços emergenciais em concessionárias de energia elétrica. Além da definição dos parâmetros do método, este trabalho também define a forma como a previsão deve ser considerada a partir da observação da variação da demanda quanto aos dias da semana e quanto às horas do dia. Um estudo de caso desenvolvido com dados reais ilustra a aplicação da metodologia e aponta questões importantes quanto à aplicação do método para o contexto definido.

Palavras-chave: PREVISÃO DE DEMANDA; SERVIÇOS EMERGENCIAIS; SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL

The electric utilities need to guarantee the quality of their services. One of the most significant problem that affects this quality is the interruption in the supply, which is many times related to emergencies occurrences that need human intervention to restore the service . Precisely because of the nature of these and their impact due to the generated number, having some knowledge about the forecasted demand for these services regarding the necessary number of hours is relevant and advisable. This study presents a exponential smoothing application to forecast emergencies services in a electric utility. Beyond the definition of the method's parameters, this study also defines the way how the forecast should be considered using the observation of the demand's deviation in days of the week and in the hours of the day. A study case developed with real data shows the methodology application and indicates important questions about the method application in the context.

Keywords: FORECASTING; EMERGENCIES SERVICES; EXPONENTIAL SMOOTHING

1. Introdução

Com o mercado cada vez mais competitivo, as empresas devem buscar diferenciais para seus produtos e serviços. Um diferencial que pode ser oferecido é a qualidade do produto ou do serviço prestado. Nas empresas prestadoras de serviços, um dos fatores que influenciam a qualidade do mesmo é o tempo de ciclo do serviço, que se inicia na solicitação e dura até sua conclusão. Os clientes cobram das empresas que o serviço prestado seja de qualidade, cumprido dentro do prazo de entrega e que o atendimento seja eficaz (MIRANDA, 2011). Uma empresa que não atende às exigências do cliente está sujeita a perder sua fatia de mercado.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece normas e padrões de qualidade, economicidade e continuidade para que as empresas de energia elétrica sigam, visando manter seus clientes abastecidos de energia elétrica. Para garantir que essas normas e padrões sejam cumpridos, a concessionária de energia elétrica deve ter uma estrutura que permita que o sistema de distribuição seja operado, e que possam ser realizadas operações rotineiras, como instalações programadas, manobras e manutenção do sistema elétrico. Junto a isso, a empresa concessionária deve ser capaz de detectar falhas no sistema, e corrigi-las no menor tempo possível, de modo que os níveis de desempenho do sistema não sejam afetados (ELETROBRAS, 1982).

Assim, a concessionária de energia elétrica conta com equipes de eletricitas que atendem às solicitações de serviços, que compreendem basicamente dois tipos: as ordens comerciais e as ordens emergenciais. A criação de uma ordem de serviço se dá quando o cliente liga para a central de atendimento da empresa e o atendente registra a ocorrência. Se o serviço é classificado como emergencial, imediatamente uma Ordem de Trabalho (OT) é gerada e enviada ao Centro de Operações (COD), que identifica o veículo mais próximo ao local da ocorrência e transmite a OT ao mesmo, para que a solicitação seja atendida no menor tempo possível. Se o serviço é classificado como comercial, é gerada uma ordem de serviço (OS) e enviada ao COD, que entra na fila para atendimento (MAGRO, 2003). Amorim (2010) assegura que o COD deve atuar com o objetivo de minimizar o tempo de atendimento e a quantidade de clientes interrompidos, já que o mesmo é responsável pela distribuição das ocorrências para as equipes. A criação de ordens de serviço, tanto comercial como emergencial, tem caráter aleatório, pois podem ocorrer a qualquer momento, sem um padrão bem definido, entretanto, de acordo com Amorim (2010), o número de ocorrências de

ordens de serviço está diretamente relacionado às condições climáticas, tais como altas temperaturas e a ocorrência de fortes chuvas.

As equipes de atendimento seguem rotas pré-determinadas, baseadas nas ordens comerciais. Portanto, quando uma OT surge, o COD precisa desviar um veículo de sua rota original para atender esta emergência, e conseqüentemente isso irá gerar um atraso no atendimento das ordens comerciais, podendo até mesmo posterga-las para o próximo dia útil.

Cada OT tem um tempo de atendimento (T_a), que é definido como o tempo transcorrido desde a solicitação por meio da central de atendimento, até a conclusão do serviço em si. Ele é composto por um tempo de espera, tempo de deslocamento e tempo de execução, conforme demonstrado na Equação (1). O tempo de espera (T_e) é caracterizado pelo tempo transcorrido desde o registro da ocorrência até o electricista iniciar seu deslocamento para executar o serviço. O tempo de deslocamento (T_d) é definido como o tempo que o electricista leva para se deslocar do ponto onde estava, até o ponto onde o serviço foi solicitado. O tempo de execução (T_{ex}) é o tempo para realização do serviço, desde o início até a sua conclusão (MAGRO, 2003).

$$T_a = T_e + T_d + T_{ex} \quad (1)$$

Desta maneira, identificou-se a necessidade de prever quando essas OS emergenciais irão acontecer, para que a rota do veículo possa ser definida considerando esta previsão, e assim, otimizar o tempo de atendimento e a qualidade do serviço prestado.

1.1 Definição do tema e do problema

O tema proposto para este trabalho é a previsão de demanda em serviços, com foco em ordens de serviço emergenciais geradas a partir da central de atendimentos de uma concessionária de energia elétrica.

O problema encontrado tem natureza prática, e consiste em encontrar o nível de demanda de ordens de serviço do tipo emergencial ao longo dos dias úteis da semana, considerando a localização geográfica de ocorrência de cada um destes serviços.

1.2 Questões de pesquisa

Este trabalho visa responder às seguintes questões:

- As técnicas de previsão de demanda podem ser aplicadas para a previsão de serviços emergenciais?
- A previsão de demanda de serviços emergenciais pode favorecer a aplicação de técnicas de roteirização proativa?

1.3 Objetivo geral e específicos

O objetivo geral do presente trabalho é definir um método para estimar o número de horas necessárias para a execução de serviços de caráter emergencial em uma determinada área geográfica, para que isto seja levado em conta na definição das rotas dos veículos de atendimento.

Com o propósito de alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Definir a estrutura dos serviços de atendimento;
- Aplicar uma das técnicas de previsão de demanda com base em dados históricos.

1.4 Justificativa

As concessionárias de energia elétrica se deparam diariamente com demandas de serviços que tem relação com a temperatura e eventos climáticos extremos. Tais circunstâncias condicionam e limitam a capacidade de execução deste serviço. Prever sua ocorrência corresponde a uma alternativa para que as decisões tomadas quanto ao dimensionamento e roteirização de equipes seja o mais eficaz possível. Para tal, se faz uso de técnicas de previsão de demanda, as quais são amplamente estudadas, com vasto referencial que já apontam a relevância de considerar atributos quantitativos nas previsões realizadas.

2 Referencial teórico

Para uma melhor compreensão do tema e do problema abordado, as subseções seguintes apresentam uma revisão da bibliografia existente acerca do Problema de Roteirização de Veículos e Previsão de Demanda.

2.1 Roteirização de veículos

O Problema de Roteirização de Veículos (PVR) consiste em definir a ordem em que os locais serão atendidos e em que instante de tempo. Quando as informações referentes aos clientes e suas demandas são conhecidas previamente à roteirização dos veículos, o processo é dito estático, uma vez que as variáveis não se modificam no modelo de otimização. Contudo, quando os clientes e

suas demandas são conhecidos ao longo do turno de trabalho do veículo, isto é, após sua saída, o modelo recebe o nome de roteirização dinâmica (RADUAN, 2009).

Pillac, Guéret e Medaglia(2012) identificam quatro categorias de problemas de roteirização de veículos, conforme apresentado na Figura 1. Essas categorias são baseadas na evolução e na qualidade da informação. A evolução da informação está relacionada ao fato de que as informações disponíveis ao planejador possam mudar ao longo do tempo, por exemplo, a chegada de novas solicitações de clientes. A qualidade da informação reflete uma possível incerteza nos dados disponíveis, por exemplo, quando a demanda do cliente é uma estimativa da demanda real.

		Qualidade da informação	
		Entrada Determinística	Entrada Estocástica
Evolução da informação	Entrada conhecida	Estático e determinístico	Estático e estocástico
	Entrada muda ao longo do tempo	Estático e determinístico	Dinâmico e estocástico

Figura 1 – Características dos VRP

Fonte: Pillac, Guéret e Medaglia (2012)

No problema estático e estocástico, as entradas parcialmente conhecidas como variáveis aleatórias, que só serão reveladas durante a execução das rotas. Além disso, presume-se que as rotas são definidas previamente, e apenas pequenas alterações são permitidas após isto. Por outro lado, os problemas dinâmicos e determinísticos têm parte das informações desconhecidas, sendo reveladas durante a definição ou execução das rotas. Para estes problemas, as rotas são redefinidas continuamente. Isto requer um apoio tecnológico para a comunicação em tempo real entre os veículos e o planejador (PILLAC; GUÉRET; MEDAGLIA, 2012).

Ichoua, Gendreau e Portvin (2006) definem que o objetivo da roteirização estática é projetar um conjunto de rotas com o menor custo, satisfazendo a demanda e outras restrições. No problema estático, a demanda real é conhecida, ou há uma estimativa da mesma. Por outro lado, no problema dinâmico, os serviços são requeridos de maneira contínua e aleatória ao longo do tempo, e precisam ser atribuídos aos veículos. Além disso, a demanda real e o horário que o serviço é requerido podem sofrer variações aleatórias ao longo do tempo. Portanto, a incerteza é uma característica inerente em

problemas de roteirização dinâmica, no entanto como esses eventos acontecem de um modo previsível, é possível gerar uma distribuição de probabilidade a partir de dados históricos.

Desse modo, podemos classificar o problema de roteirização dinâmico como reativo ou proativo. No caso reativo, a rota é predefinida e sofre alterações durante a sua execução, devido às novas e imprevistas solicitações. Assim sendo, o planejador deve desviar o veículo de sua rota original para atender à estas solicitações, caracterizando uma reação aos eventos desconhecidos. No caso proativo, a rota é predefinida considerando a probabilidade de ocorrência dos eventos desconhecidos. Desta maneira, diminui a probabilidade de a rota original ser tão perturbada quanto o caso anterior, favorecendo a redução dos deslocamentos e reduzindo o tempo total para atendimento dos serviços.

O atual modelo de roteirização da empresa em estudo é do tipo reativo, pois a rota é construída com base nas ordens de serviço comerciais. Ocorrendo uma ordem de serviço emergencial, o veículo mais próximo do local da ocorrência se desloca para atendê-la.

2.2 Previsão de demanda

Russomano (2000) interpreta a previsão de demanda como um processo que busca informações relativas a possíveis vendas futuras, sejam de produtos ou de serviços de uma organização. Pellegrini (2000) afirma que através das técnicas de previsão de demanda é possível modelar matematicamente o comportamento do processo, utilizando dados passados, uma vez que existe a suposição da continuidade desse comportamento. As previsões resultantes do modelo matemático são mais precisas que aquelas feitas com base na intuição e experiência dos administradores, e como os modelos são atualizáveis, permitem refletir as alterações do processo.

Apesar de ninguém ser capaz de prever precisamente o futuro, a habilidade de prever a demanda faz a diferença em empresas. O futuro de qualquer negócio depende da capacidade de seus administradores em conseguir detectar tendências do mercado e desenvolver estratégias adequadas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). A previsão de demanda possibilita às organizações o planejamento de recursos para atender aos clientes, evitando desperdícios de matéria-prima, mão de obra, etc. (MEDEIROS; BIANCHI, 2009).

As empresas prestadoras de serviços podem criar vantagens competitivas utilizando a previsão de demanda para transformar informações disponíveis em estratégias (FITZSIMMONS;

FITZSIMMONS, 2000, p. 431). Os métodos de previsão de demanda podem ser divididos em qualitativos e quantitativos. Os modelos qualitativos são também conhecidos como subjetivos, já os quantitativos se dividem em modelos causais e modelos de séries temporais. De acordo com Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000), no setor de serviços algumas empresas podem utilizar apenas uma ou outra técnica, enquanto outras utilizarão duas ou mais técnicas, por exemplo, combinando um método subjetivo e um método causal. A Figura 2 apresenta os modelos, suas características e suas possíveis aplicações.

Modelos subjetivos de previsão de demanda, também chamados de qualitativos, são baseados na intuição, opinião de especialistas e experiência. Normalmente são utilizados quando há poucos ou nenhum dado histórico disponível, ou ainda, quando os dados disponíveis correspondem apenas ao período inicial, portanto, não são adequados para previsões de longo prazo. Os principais modelos subjetivos são o Método Delphi, a Análise de Impacto Cruzado e a Analogia Histórica (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Método	Dados Necessários	Custo Relativo	Horizonte de Previsão	Aplicação
<i>Modelos Subjetivos</i>				
Método de Delphi	Avaliação Resultados	Alto	Longo prazo	Previsão tecnológica
Análise de Impacto cruzado	Correlação entre eventos	Alto	Longo prazo	Previsão tecnológica
Analogia Histórica	Análise histórica de dados para uma situação similar	Alto	Médio a longo prazo	Projeção de demanda de ciclo de vida
<i>Modelos Causais</i>				
Regressão	Todos os dados do passado para todas as variáveis	Moderado	Médio prazo	Previsão de demanda
Econométrico	Todos os dados do passado para todas as variáveis	Moderado p/ alto	Médio p/ curto prazo	Condições econômicas
<i>Modelos de Séries Temporais</i>				
Média Móvel	As N observações mais recentes	Muito Baixo	Curto prazo	Previsão de demanda
Suavização Exponencial	Valores ajustados previamente e observação mais recente	Muito Baixo	Curto prazo	Previsão de demanda

Figura 2 - Características dos Métodos de Previsão
 Fonte: Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000)

O método Delphi é baseado na opinião de especialistas de uma determinada área. Essas pessoas respondem inúmeras questões, sem interagir com os outros participantes. O objetivo do método é obter um consenso que possa ser utilizado em um planejamento futuro. Este método consome muito

tempo, tem alto custo e é útil apenas para previsões de longo prazo (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000).

A análise de impacto cruzado pressupõe que existe uma correlação de existência entre determinados eventos. Assim, a ocorrência de um evento futuro está relacionada a um evento anterior. Do mesmo modo que no método Delphi, especialistas estudam as correlações entre eventos apresentados em uma matriz. Estas correlações são a base para ponderar a probabilidade de ocorrência de eventos futuros (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000).

A analogia histórica, bem como o nome sugere, supõe que a introdução e o crescimento de um serviço irão se comportar da mesma forma que um processo similar, para o qual há dados disponíveis (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000).

Conforme Pellegrini (2000), os métodos quantitativos de previsão de demanda utilizam dados de uma série temporal. Uma série temporal é um conjunto de dados de uma variável de interesse coletados ao longo do tempo (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). Para a previsão de demanda, a série temporal é composta de dados que descrevem a variação da demanda ao longo do tempo (PELLEGRINI, 2000). Frequentemente há um padrão no comportamento das séries temporais. Estes podem ser: média, sazonalidade, ciclo e tendência (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998). A Figura 3 ilustra esses padrões.

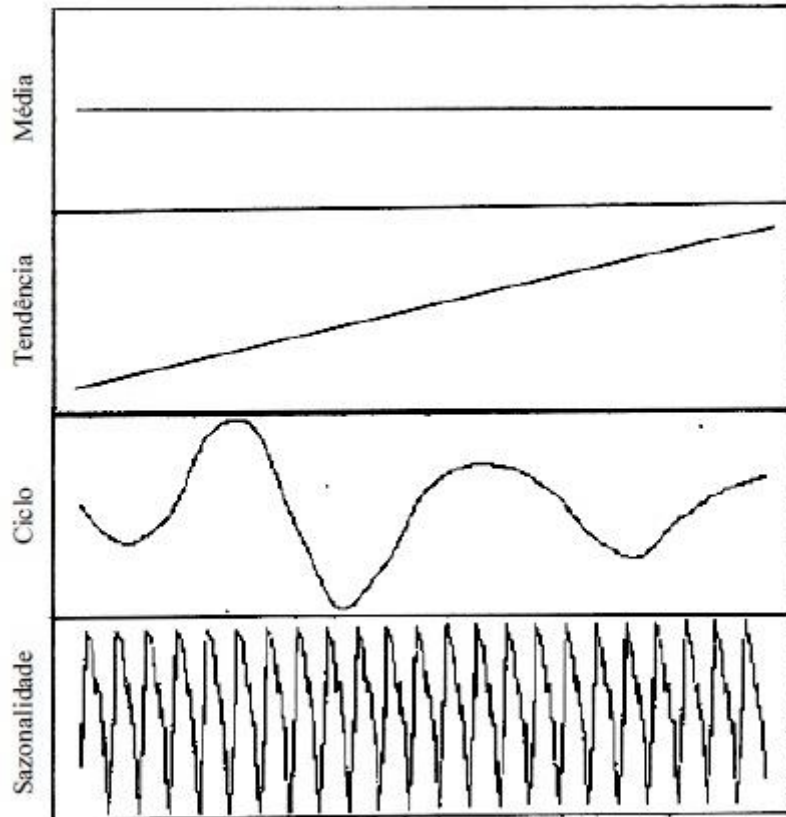


Figura 3 – Padrões de Séries Temporais
Adaptado de Makridakis *et al.*, 1998

De acordo com Pellegrini e Fogliatto (2001), o padrão da média acontece quando os valores de uma série temporal flutuam em torno de um valor constante. A tendência ocorre quando o comportamento da série é ascendente ou descendente por um longo período de tempo. Uma série temporal poder ser classificada como cíclica quando a mesma exibe oscilações ascendentes e descendentes, entretanto, em intervalos de tempo não regulares. A característica sazonal ocorre quando padrões cíclicos de variação se repetem em intervalos de tempo moderadamente constantes. Quando a variação de uma série temporal não pode ser explicada pelos padrões apresentados, é devido ao ruído aleatório, que não pode ser modelado matematicamente.

Os modelos quantitativos podem ser separados em modelos de séries temporais e modelos causais. Os modelos de séries temporais para serviços descritos por Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000) são: média móvel com N períodos e suavização exponencial simples.

No modelo de média móvel com N períodos calcula-se a média móvel M , para o período de tempo t , utilizando-se as N observações mais recentes A_t , conforme a Equação (2). Este método tem a

capacidade de suavizar variações aleatórias, gerando assim uma estimativa mais confiável (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000).

$$M = \frac{A_t + A_{t-1} + A_{t-2} + \dots + A_{t-N+1}}{N} \quad (2)$$

A técnica de suavização exponencial também suaviza variações dos dados. Ademais, se comparada à técnica de média móvel com N períodos, a suavização exponencial apresenta como vantagens: (1) os dados anteriores não são ignorados ou perdidos, (2) o peso definido para dados passados é gradativamente menor, e (3) o cálculo é simples e requer apenas dados mais recentes. Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000, p.438) afirmam que “o método é baseado no conceito de retroalimentação do erro associado à previsão para corrigir o valor anterior previsto”. A Equação (3) é composta pelo valor suavizado S_t no período t , o valor real A_t para o período t , e a constante de suavização α que geralmente recebe valores entre 0,1 e 0,5.

$$S_t = S_{t-1} + \alpha(A_t - S_{t-1}) \quad (3)$$

Ghiani, Laporte e Musmanno (2013) apresentam um método de suavização exponencial revisado, que pode ser usado sempre que a tendência for constante e houver sazonalidade. Nesse caso, a previsão $p_{(t)}$ é dada por

$$p_t = a_t s_{t+\tau} \quad (4)$$

onde a_t é a previsão de demanda sem o fator sazonal e $s_{t+\tau}$ é o fator sazonal para o período $t + \tau$, onde $\tau = 1, \dots, M$. Assumindo que a série histórica possui dados suficientes para cobrir $K = t/M$ ciclos, os elementos a_t e $s_{t+\tau}$ são dados pelas Equações (5) e (6), onde α e β são constantes de suavização, com valores entre 0 e 1.

$$a_t = \alpha \frac{d_t}{s_t} + (1 - \alpha)a_{t-1} \quad (5)$$

$$s_{t+\tau} = \beta \frac{d_{(K-1)M+\tau}}{a_{(K-1)M+\tau}} + (1 - \beta)s_{(K-1)M+\tau} \quad (6)$$

A outra classe de modelos quantitativos são os modelos causais. No modelo causal, a demanda a ser prevista é tratada como variável dependente, que tem relação direta com uma ou mais variáveis independentes, cujos valores são conhecidos previamente (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

O principal modelo causal é a regressão linear, em que se supõe que a relação matemática entre a variável dependente e a(s) variável(eis) independente seja linear, considerando algumas variações aleatórias (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). No modelo de regressão, Y representa a variável dependente e X representa a variável independente. Um modelo mais bem ajustado pode ser obtido se considerarmos mais de uma variável independente, então o modelo passa a ser chamado modelo de regressão múltipla, representado pela Equação (7). Os valores de $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ são constantes e calculados com o auxílio de um programa computacional (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000). O objetivo da regressão linear é encontrar uma Equação de previsão, visando minimizar a soma dos quadrados dos erros de previsão (β), como ilustrado na Figura 4. Assim, este método é também chamado “regressão dos mínimos quadrados” (TUBINO, 2007).

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (7)$$

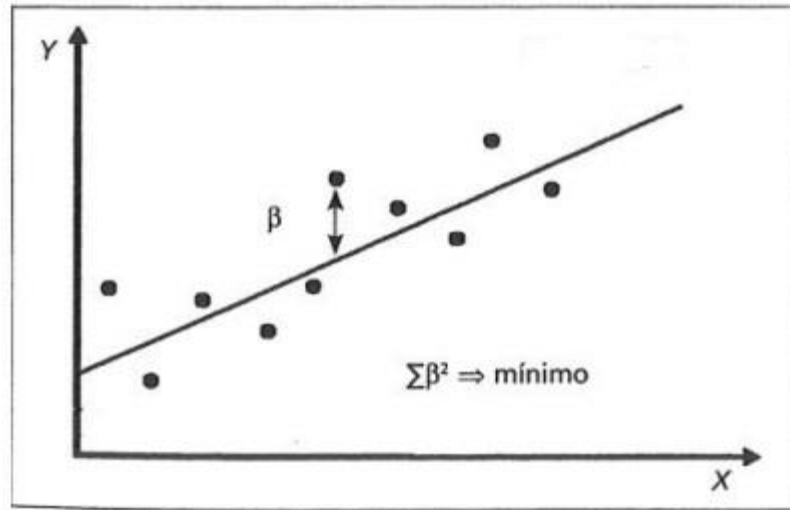


Figura 4 – Mínimos Quadrados

Adaptado de Tubino, 2007

Assim que a demanda se torna conhecida, é importante definir o erro de previsão, a fim de avaliar a diferença entre a demanda registrada e seu valor previsto (GHIANI; LAPORTE; MUSMANN, 2013). O erro $e_{(t)}$ é estimado pela diferença entre a demanda $d_{(t)}$ e a previsão $p_{(t)}$ para o período t , conforme a Equação (8). O erro absoluto médio é dado pela Equação (9), onde n é o número total de previsões.

$$e_{(t)} = d_{(t)} - p_{(t)} \quad (8)$$

$$E = \frac{\sum_1^t |e_{(t)}|}{n} \quad (9)$$

2.3 Revisão da bibliografia existente

A bibliografia existente não possui muito trabalhos que tratam exatamente da previsão de demanda no setor elétrico de ordens de serviço de caráter emergencial, então foram considerados trabalhos que preveem a demanda de atendimentos em hospitais, pelo seu caráter emergencial e aleatório. Também foram considerados trabalhos de previsão de demanda em centrais de atendimento, pois a origem de uma ordem de serviço, tanto comercial como emergencial se dá na central de atendimento da empresa em questão, e trabalhos de previsão de demanda relacionados à rede elétrica.

Magro (2003) é um dos poucos autores que utiliza a previsão de demanda de ordens de serviço emergenciais, mas neste o objetivo é para o dimensionamento de equipes, incluindo também um modelo de simulação e de alocação. No modelo de previsão de demanda, o autor fez o

levantamento de dados dos serviços prestados pela empresa e o processo de atendimento, então estabeleceu-se as atividades com maior ocorrência, e foi feita a coleta de dados para estas atividades. Para modelar a previsão de demanda, foi utilizado o software *Forecast Pro*. Uma vez conhecida a demanda, o autor parte para o modelo de simulação e de alocação, e assim obtém o número total de equipes necessárias para o atendimento dessa demanda.

Côté *et al.* (2013) elabora um modelo de previsão de demanda para prontos-socorros em hospitais, onde o resultado gerado pelo modelo fornece uma aproximação de quantas pessoas demandarão atendimento por mês, dia da semana e de hora em hora. Essa aproximação tem um limite superior e um limite inferior. O autor optou pelo uso de métodos de previsão baseados em regressão, pois estes são capazes de lidar com a grande variedade de dados encontrados nas séries temporais das solicitações de atendimentos em prontos-socorros, e também porque seu resultado é de fácil compreensão e interpretação. No modelo apresentado, há uma variável dependente, a demanda, e uma série de variáveis independentes como ano, mês, dia da semana ou hora do dia.

Jalalpour, Gel e Levin (2015) desenvolvem um algoritmo no MATLAB para a previsão de demanda em assistência médica. O modelo é baseado no método regressivo de média móvel generalizado (GARMA) com modelos de distribuição discreta. O método GARMA foi escolhido porque ele trata os dados de uma maneira mais coerente matematicamente do que quando utilizado modelos Gaussianos. Outro motivo que fez o autor optar pelo método GARMA é a sua capacidade de incorporar variáveis exógenas que podem influenciar as previsões.

Liu, Davidson e Apanasovich (2008) apresentam um modelo estatístico capaz de prever o número de vezes que poderá ocorrer interrupção no serviço de energia elétrica devido a furacões e tempestades de neve em áreas de 3 km x 3 km em determinada região. O método utilizado para a abordagem do problema é a modelagem linear mista espacial generalizada (GLMM), em que a correlação espacial é incorporada através de efeitos aleatórios.

Bolzada e Saliby (2009) preveem a demanda de ligações em um call center no setor de atendimento à telefonia fixa. Os autores utilizam um modelo de regressão linear múltipla, onde a variável dependente se caracteriza pelo número de chamadas recebidas, sendo afetada por variáveis independentes como o dia da semana, a ocorrência ou não de feriado e a proximidade com eventos críticos, como a chegada da conta à residência do cliente ou o dia de vencimento da mesma. As variáveis dia da semana e feriado são do tipo *dummies* (0 = Não, 1 = Sim). Exemplificando a

situação, consideramos que o dia em questão é uma terça-feira, a variável dia da semana para terça-feira recebe valor 1 e 0 para feriado. De acordo com Bolzada e Saliby (2009) o método de regressão múltipla é capaz de capturar o impacto gerado por cada evento e informação de demanda por cada dia.

Verruck, Bampi e Milan (2009) também utilizam um modelo de regressão linear múltipla para a previsão de demanda de uma empresa de transporte público. Buscou-se explicar a variável dependente (demanda) através de variáveis independentes como o dia da semana e eventos climáticos como o índice pluviométrico e a temperatura. Neste modelo as variáveis dia de semana também são do tipo *dummy*, recebendo valor 0 se não ocorre, e 1 se ocorre.

3. Procedimentos metodológicos

O presente estudo foi aplicado em uma empresa distribuidora de energia elétrica. Sua área de concessão abrange 118 municípios nas regiões Centro-Oeste e Metro-Vale do Rio Grande do Sul, ilustrada na Figura 5. Optou-se por limitar a área de estudo do trabalho a uma cidade atendida, pois se trata da que apresenta maior ocorrência de ordens de serviço emergenciais.



Figura 5 – Área de concessão da concessionária

Fonte: Autor (2016)

O trabalho é classificado como pesquisa aplicada. Do ponto de vista do seu objetivo, a pesquisa é do tipo explicativa, pois de acordo com Gil (2002), essa pesquisa tem como preocupação central identificar os fatores que determinantes ou contribuintes para a ocorrência dos fenômenos. A abordagem utilizada é do tipo quantitativa, pois analisará variáveis que podem ser mensuradas numericamente. O procedimento utilizado será o estudo de caso, pois conforme Gil (2002), permite o conhecimento amplo e detalhado do objeto em estudo.

A primeira etapa da pesquisa é o estudo da bibliografia existente, buscando embasamento teórico em trabalhos publicados considerados relevantes para o tema em questão. Em seguida busca-se definir gerenciamento de serviços emergenciais como proativo ou reativo, e classificar o atual modelo de gerenciamento da empresa.

Após essas etapas, é feita a abordagem específica para a previsão de demanda em serviços emergenciais. Com o intuito de prever a ocorrência de ordens de caráter emergencial, primeiramente os dados referentes ao número de ordens de serviço emergenciais e ao tempo médio de atendimento dessas ordens foram transformados em um único dado, através da multiplicação dos dois dados anteriores. Esse novo dado, denominado Tempo Total de Atendimento, significa o tempo total que foi necessário para atender as ordens de serviço em um determinado dia e determinada hora. Assim, a série histórica utilizada para a previsão de demanda é composta pelo Tempo Total de Atendimento das ordens de serviço emergenciais de 268 dias, ou seja, 268 ciclos.

O método de previsão de demanda escolhido é a suavização exponencial revisada proposta por Ghiani, Laporte e Musmanno (2013). A suavização exponencial é utilizada quando os dados apresentam sazonalidade. No estudo, verificou-se que a sazonalidade dos dados se repete ao longo da semana, sendo assim, o ciclo sazonal tem duração de um dia, composto por 24 períodos, correspondente às 24 horas do dia. O gráfico ilustrado na Figura 6 apresenta as médias do tempo total de atendimento para uma semana, onde pode-se perceber que a série histórica apresenta comportamento sazonal, se repetindo ao longo da semana. O comportamento dos dados é repetitivo, apresentando poucas ocorrências no período da meia-noite às 7h, aumentando no período da manhã e da tarde (08h às 18h) e diminuindo após as 19h.

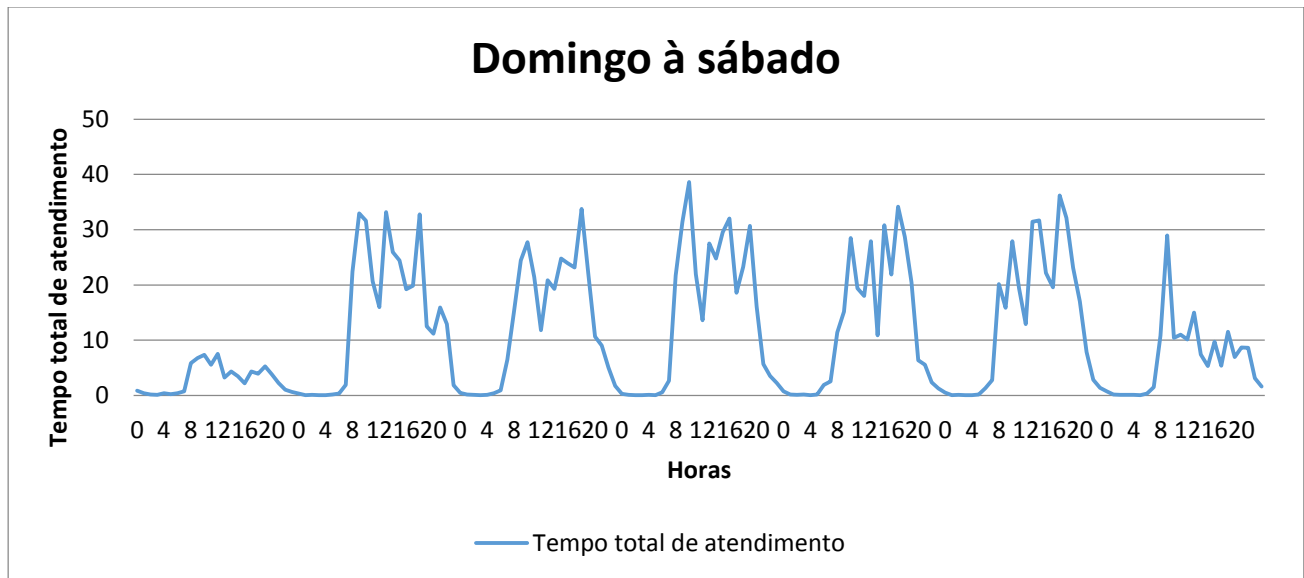


Figura 6 - Gráfico das médias de tempo total de atendimento para uma semana

Fonte: Autor (2016)

Conforme Ghiani, Laporte e Musmanno (2013), a escolha do valor da constante de suavização α utilizada no método de suavização exponencial é uma importante decisão, pois valores mais próximos de 1 permitem responder rapidamente à variações na demanda, enquanto valores mais próximos ao zero não conseguem considerar variações recentes da demanda. Os valores mais frequentes para α variam de 0,01 a 0,3, entretanto, para estimar melhor o valor da constante, os autores recomendam avaliar *a posteriori* o erro que seria encontrado pela aplicação do método, fazendo o uso de valores para α entre 0,1 e 0,5. Para a constante β , optou-se por fixar seu valor em 0,03.

Dessa forma, optou-se por prever a demanda para todos os horários sete dias à frente, repetindo os cálculos para valores diferentes da constante de suavização, sendo esses 0,3, 0,4 e 0,5, e comparar o erro absoluto médio obtido para os diferentes dias da semana e para as diferentes horas. Para o cálculo do erro, utilizou-se valores reais da demanda, fornecidos pela empresa, e os valores obtidos pela previsão.

4 Resultados e discussão

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos, bem como a análise dos mesmos.

4.1 Previsão com diferentes constantes de suavização

Os gráficos ilustrados na Figura 7, 8 e 9 representam a demanda registrada e a previsão obtida pelo método revisado de suavização exponencial constantes exponenciais iguais à 0,3, 0,4 e 0,5 para uma semana completa, de domingo à sábado. Também é apresentado o erro absoluto médio obtido para cada constante de suavização.

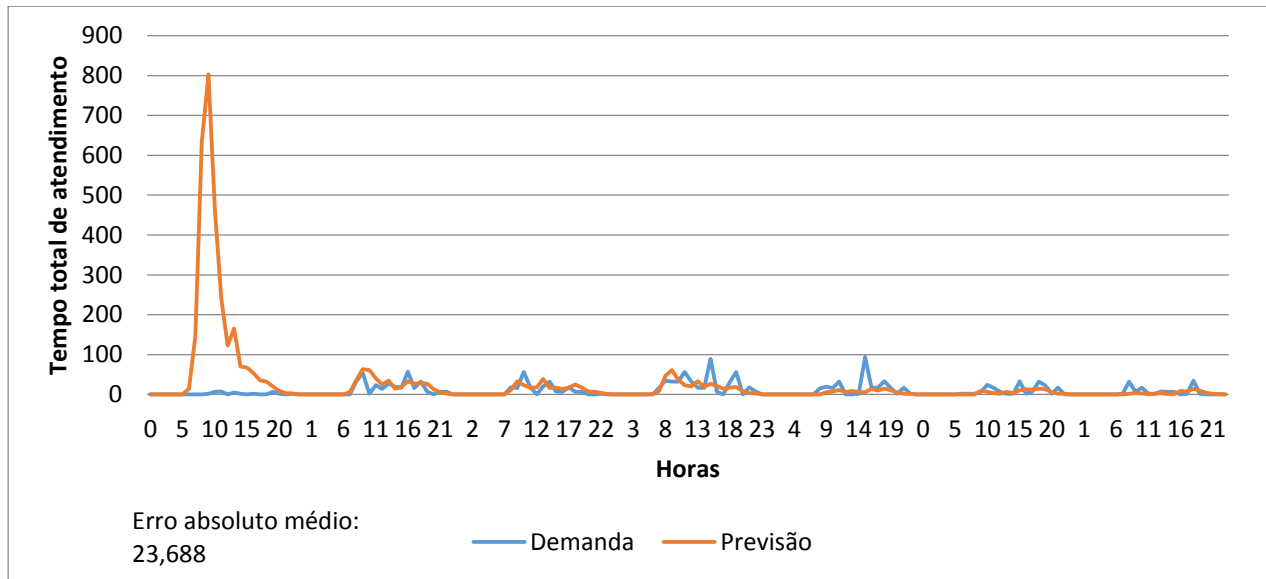


Figura 7 - Demanda e previsão para $\alpha = 0,3$

Fonte: Autor (2016)

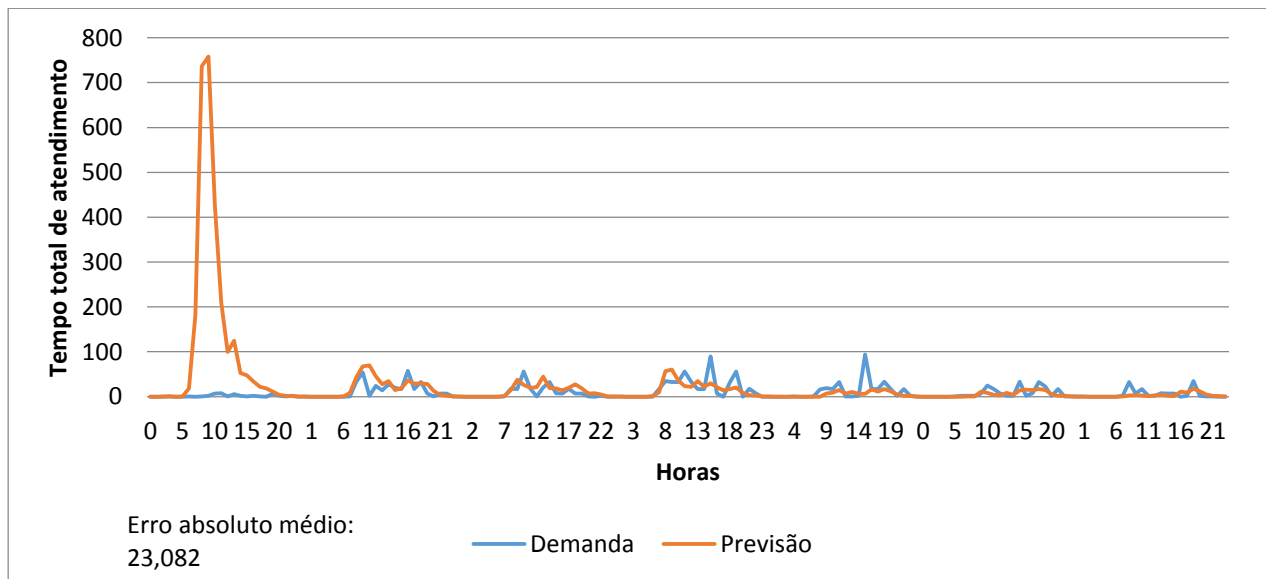


Figura 8 - Demanda e previsão para $\alpha = 0,4$

Fonte: Autor (2016)

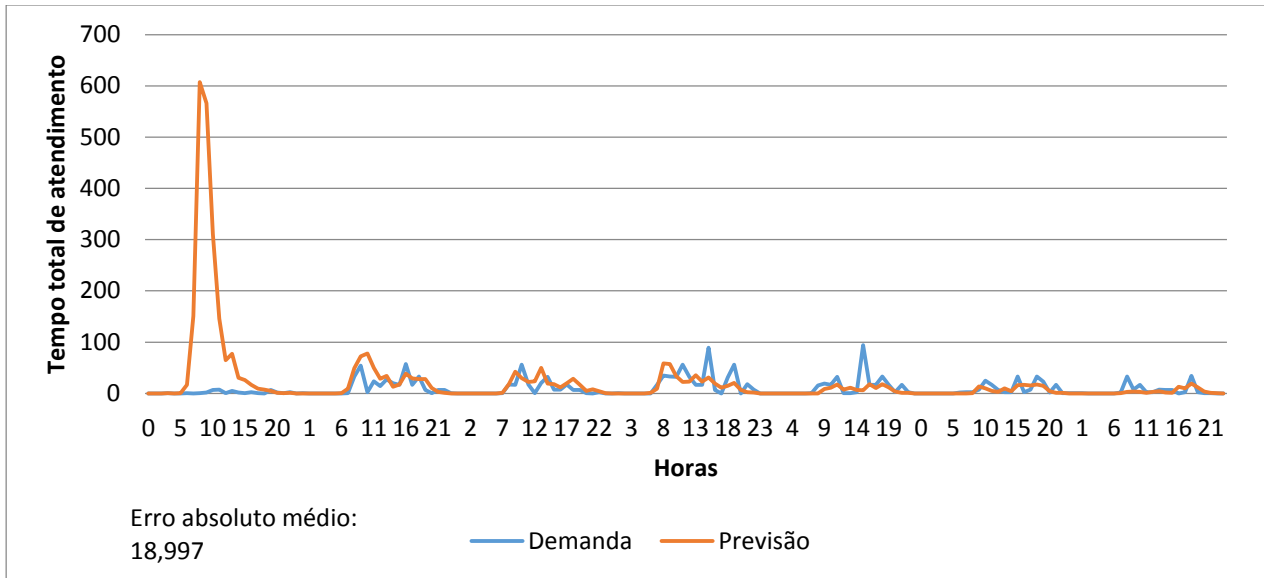


Figura 9 - Demanda e previsão para $\alpha = 0,5$

Fonte: Autor (2016)

O gráfico ilustrado na Figura 10 representa o erro absoluto médio obtido para os diferentes valores da constante de suavização. Como deseja-se obter o menor erro, define-se que o melhor valor para a constante de suavização é 0,5.

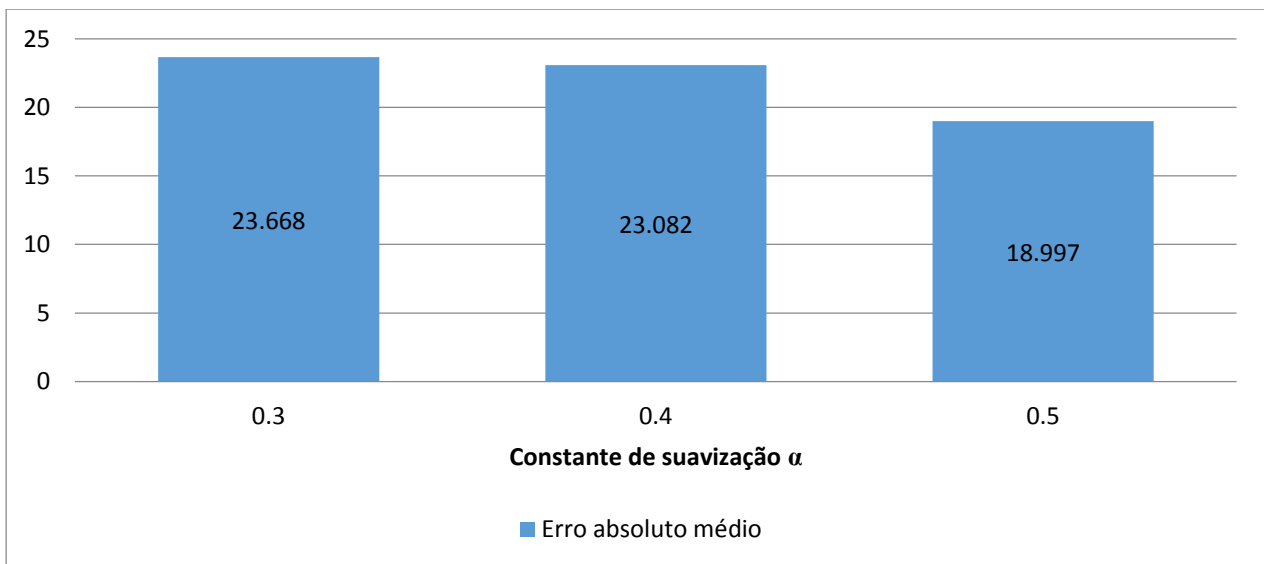


Figura 10 - Erro absoluto médio para diferentes α

Fonte: Autor (2016)

4.2 Avaliação do erro para os diferentes dias

Após a análise do erro para diferentes valores da constante de suavização e a definição que o melhor valor é 0,5, é feita avaliação do erro absoluto médio para os diferentes dias, a fim de verificar se o método é adequado para todos os dias. A Tabela 1 representa os resultados obtidos pela aplicação do método para as 24 horas dos diferentes dias. Os resultados são dados em horas, e podem ser interpretados como o tempo necessário para atender as ordens de serviços emergenciais geradas em determinada hora do dia.

Os gráficos ilustrados nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 representam a demanda registrada, a previsão e o erro absoluto médio para domingo, segunda-feira, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira, sexta-feira e sábado.

Tabela 1 - Tempo Total de Atendimento previsto

Hora	Dia da semana						
	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
0	0,00	0,01	0,12	0,03	0,11	0,02	0,01
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,11	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
3	0,26	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
4	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
5	0,78	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
6	16,61	0,82	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00
7	151,04	9,01	0,99	9,46	0,00	0,11	0,81
8	607,60	49,32	17,71	58,61	0,01	0,54	3,20
9	566,33	72,57	42,62	57,05	8,39	13,39	3,70
10	310,53	77,68	29,90	33,77	11,10	9,89	2,76
11	145,75	49,83	22,36	22,31	17,50	4,62	1,38
12	64,90	28,69	23,90	23,18	7,51	2,77	3,28
13	77,33	34,11	49,85	35,27	10,92	9,78	4,30
14	30,27	13,31	19,55	22,84	6,89	4,56	1,68
15	26,10	17,36	17,77	31,26	6,05	15,95	1,28
16	16,48	38,67	11,63	18,97	17,82	16,57	13,29
17	9,23	29,08	19,77	11,41	10,77	15,52	10,01
18	7,40	28,01	28,57	15,13	17,85	17,24	19,18
19	4,60	28,10	17,02	20,78	11,53	14,83	12,00
20	1,44	10,79	5,07	6,82	3,46	4,43	3,60
21	0,47	2,73	8,06	2,49	0,97	1,21	0,91
22	1,07	1,08	4,06	1,90	1,24	1,27	0,45
23	0,09	0,09	0,43	0,15	0,20	0,10	0,13

Fonte: Autor (2016)

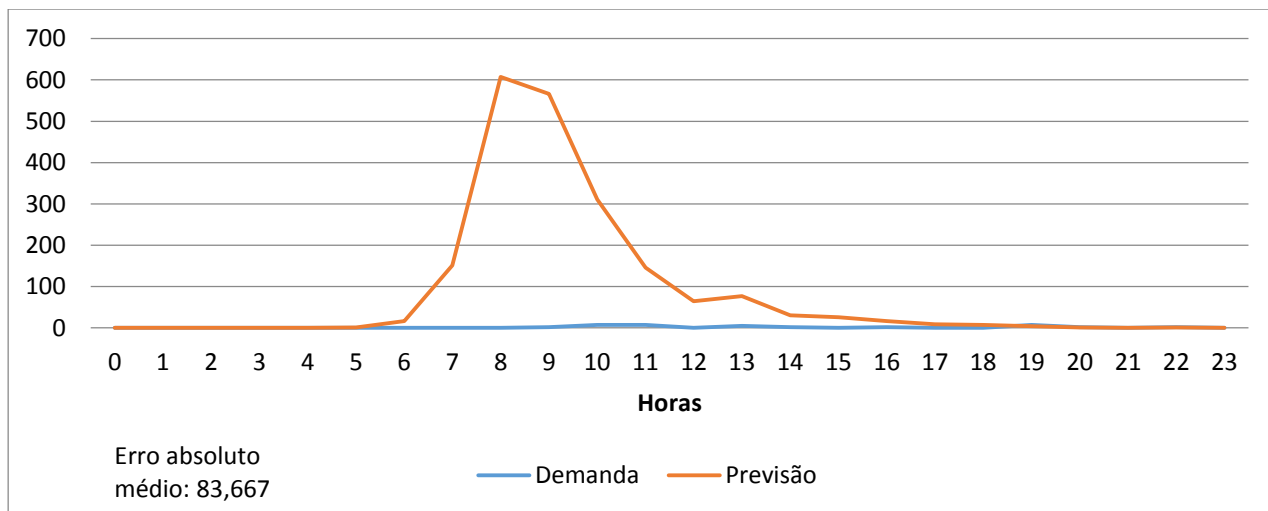


Figura 11 - Demanda e previsão para domingo

Fonte: Autor (2016)

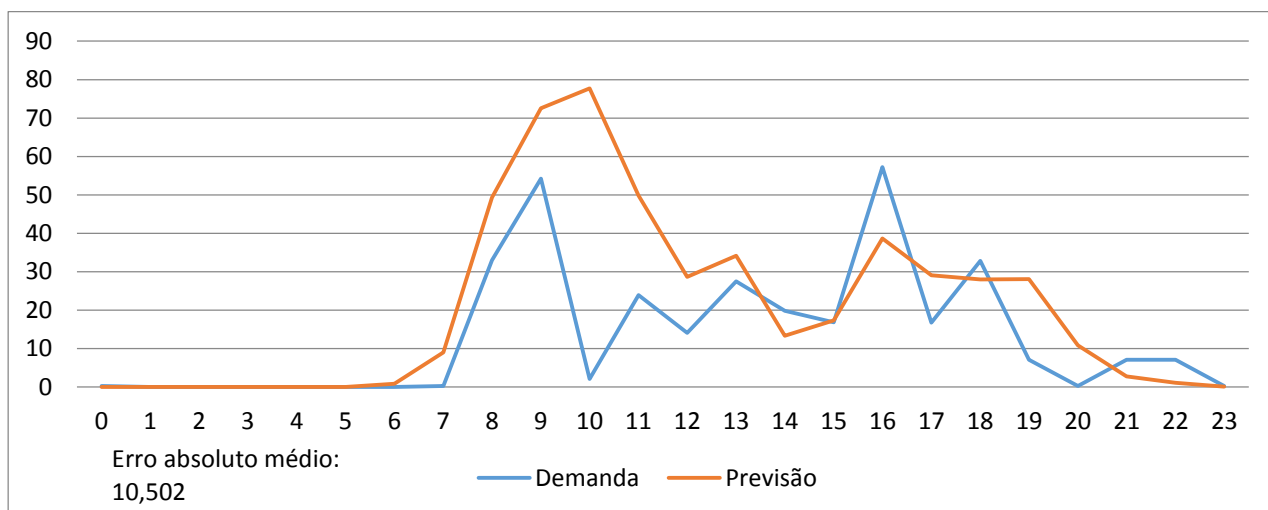


Figura 12 - Demanda e previsão para segunda-feira

Fonte: Autor (2016)

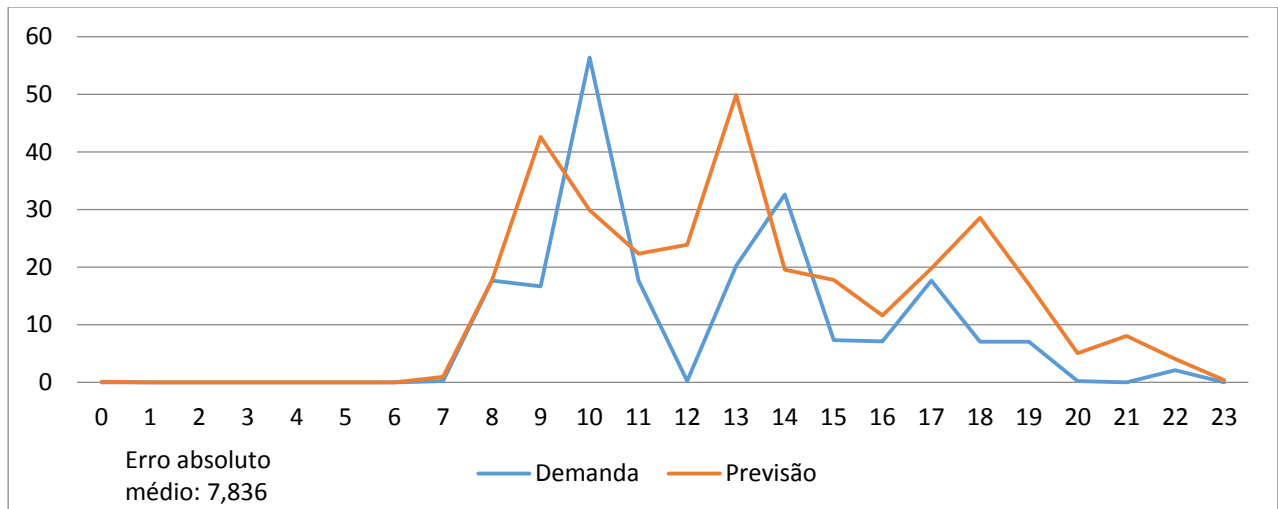


Figura 13 - Demanda e previsão para terça-feira

Fonte: Autor (2016)

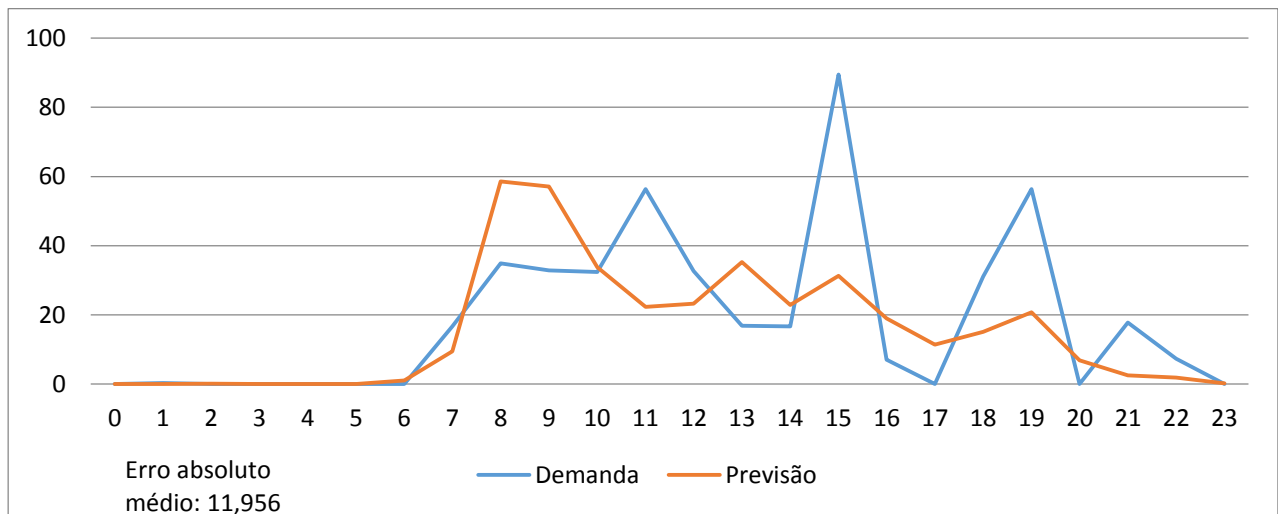


Figura 14 - Demanda e previsão para quarta-feira

Fonte: Autor (2016)

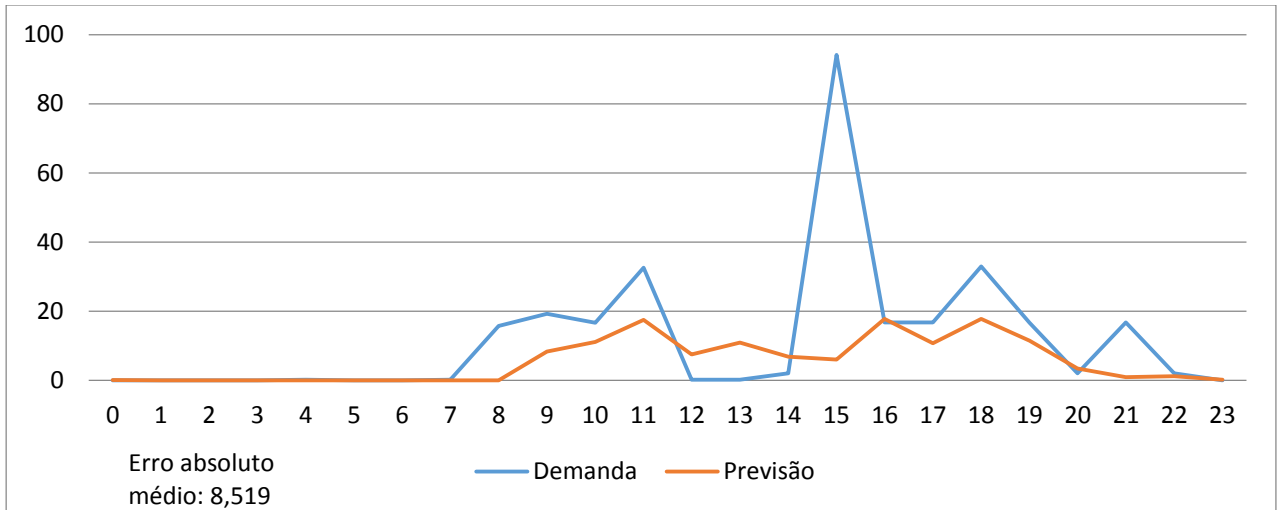


Figura 15 - Demanda e previsão para quinta -feira

Fonte: Autor (2016)

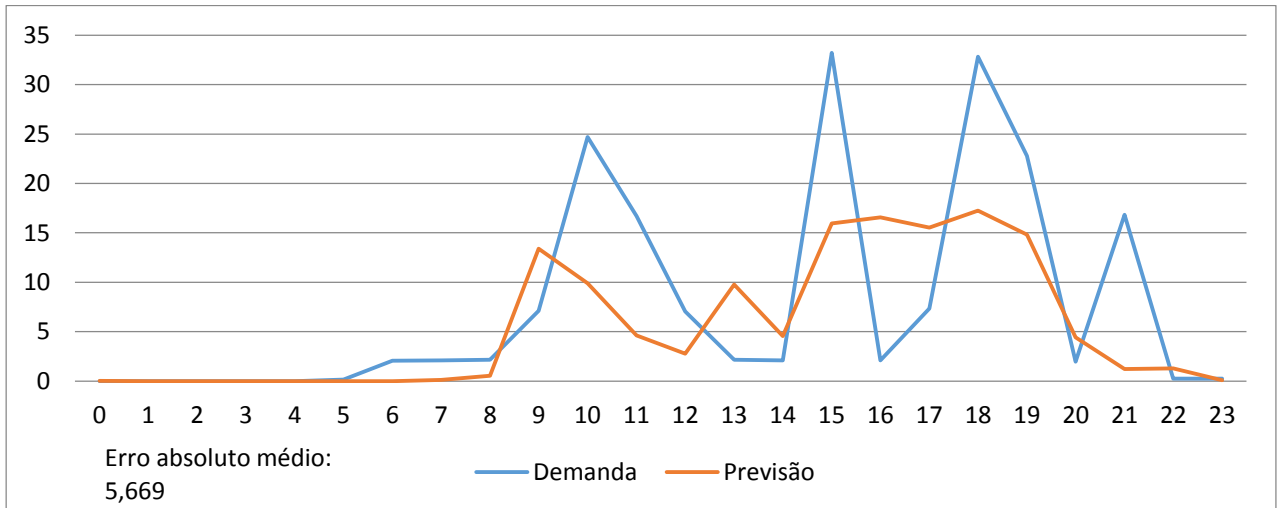


Figura 16 - Demanda e previsão para sexta-feira

Fonte: Autor (2016)

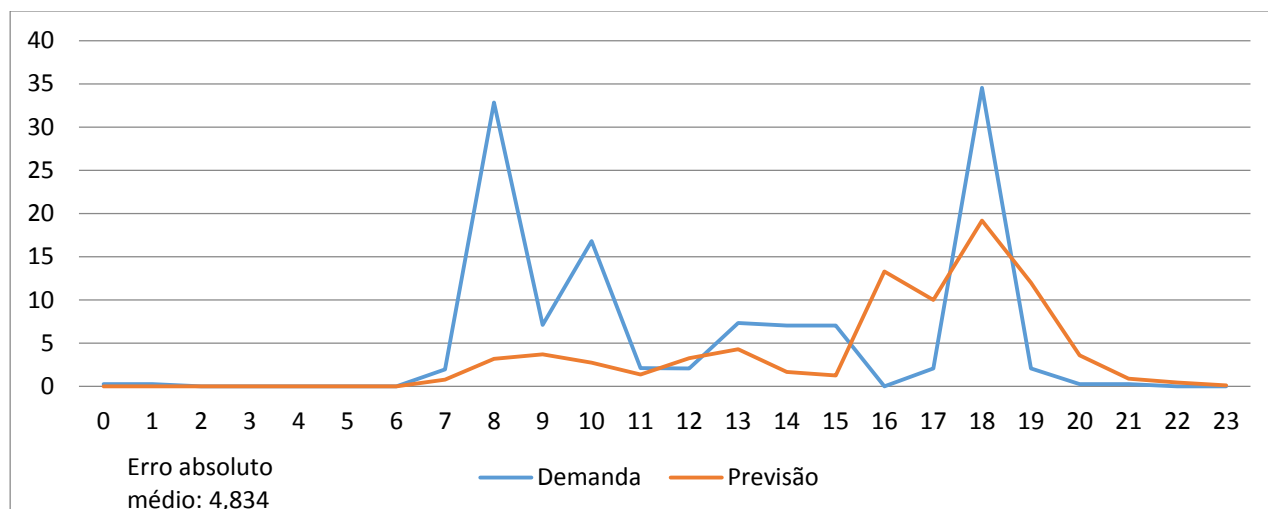


Figura 17 - Demanda e previsão para sábado

Fonte: Autor (2016)

Na Figura 11, que representa a demanda e a previsão para domingo, percebe-se uma grande variação entre o valor previsto e o valor registrado. Em virtude disso, o erro absoluto médio, cujo valor é 83,667, é considerado muito alto e fora dos padrões de um método de previsão de demanda adequado, portanto, não é recomendado fazer previsões para domingos utilizando o método de suavização exponencial revisado, sendo necessário avaliar outro método para essas previsões. Para os demais dias, representados nas Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17, o erro absoluto médio gerado pelo método é considerado baixo, portanto, os resultados são aceitos. Assim sendo, o método de suavização exponencial revisado proposto por Ghiani, Laporte e Musmanno (2013) é recomendado para o estudo proposto no trabalho.

5. Conclusão

O presente estudo teve como objetivo estimar o número de horas necessárias para a execução de ordens de serviço de caráter emergencial em determinada área geográfica, para que esse dado seja considerado na definição das rotas dos veículos que atendem essas ordens.

Para isso, realizou-se um estudo da bibliografia existente, onde não foi encontrado estudos da previsão de demanda de serviços emergenciais no setor elétrico, portanto foram considerados estudos semelhantes. Foi feita uma revisão sobre a roteirização de veículos, a fim de definir como a previsão da demanda pode ajudar no processo de definição das rotas dos veículos. Por fim, foi feito um estudo sobre os métodos de previsão de demanda, e escolheu-se aplicar o método de suavização

exponencial revisado, proposto por Ghiani, Laporte e Musmanno (2013). Para definir o melhor valor da constante de suavização e também avaliar se o método pode ser utilizado no presente caso, foi feita uma avaliação *a posteriori* do erro absoluto médio.

Concluiu-se que o atual modelo de roteirização da empresa em estudo é do tipo reativo, pois a rota é construída com base nas ordens de serviço comerciais. Ocorrendo uma ordem de serviço emergencial, o veículo mais próximo do local da ocorrência se desloca para atendê-la.

Como resultado, determinou-se que o melhor valor para a constante de suavização para o presente estudo é 0,5. Ademais, verificou-se que o método de suavização exponencial revisado é adequado para a previsão de demanda de serviços emergenciais, entretanto, para os padrões identificados no caso considerado, não é recomendado para realizar previsões para domingos, onde apresentou o maior erro absoluto médio. Por outro lado, o método é recomendado para a previsão de demanda dos demais dias da semana, que apresentaram erro absoluto médio considerado adequado. Para as previsões aos domingos, recomenda-se avaliar outro método de previsão de demanda.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos da Distribuição, Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica** PRODIST, Brasília, DF, 2013.
- AMORIM, M. L. F. **Otimização de Atendimentos de Emergência em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, Área Concentração: Computação Científica e Sistemas de Potência, Niterói, 2010.
- BOLZADA, M. A. C.; SALIBY, E. **Prevendo a demanda de ligações em um call center por meio de um modelo de regressão múltipla**. Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 3, p.382-397, jul-set 2009.
- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRAS). **Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição**. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982.
- CÔTÉ, M. J. *et al.* **Forecasting Emergencys Department Arrivals: A Tutorial for Emergency Department Directors**. Hospital Topics, v.91, p.9-19, 2013.
- FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS M. **Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**.4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GHIANI, G.; LAPORTE, G.; MUSMANNO, R. **Introduction to Logistics Systems Planning and Control**. 2 ed. West Sucexx: John Wiley & Sons, 2013.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operational Research**. 8 ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 2006.
- ICHOUA, S.; GENDREAU, M.; POTVIN, J. **Exploiting Knowledge about Future Demands**. Transportation Science, v. 40 (2), p.211-225, 2006.
- JALALPOUR, M.; GEL, Y.; LEVIN, S. **Forecasting Demand for Health Services: Development of a Publicly Available Toolbox**. Operational Research for Health Care, v. 5, p.1-9, 2015.
- LIU, H.; DAVIDSON, R.; APANASOVICH, T. **Spatial Models of Eletric Power Outages Due to Hurricanes and Ice Storms**. ReliabilityEngineeringand System Safety, v.93, p.875-890, 2008.
- MAGRO, M. A. B. **Dimensionamento de equipes baseado em modelos de previsão, simulação e alocação: caso de uma empresa do setor elétrico**. Dissertação de mestrado objetivando a obtenção do título de mestre no curso de Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting Methods and Applications**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MEDEIROS, F. S. B.; BIANCHI, R. C. **A aplicação do método regressão linear simples na demanda de produtos sazonais:** um estudo de caso. *DisciplinarumScientia*, Série: Ciências Sociais Aplicadas, v. 5, n. 1, p.35-53, 2009.

MIRANDA, D. M. **Metaheurísticas para as variantes do problema de roteamento de veículos:** capacitado, com janela de tempo e com tempo de viagem estocástico. Dissertação de mestrado objetivando a obtenção do título de mestre no curso de Engenharia de Produção, pela Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PELLEGRINI, F. R. **Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda.** Dissertação de mestrado objetivando a obtenção do título de mestre no curso de Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. **Passos para Implantação de Sistemas de Previsão de Demanda:** Técnicas e Estudo de Caso. *RevistaProdução*, v.11, n. 1, p.43-64, 2001.

PILLAC, V.; GUÉRET, C.; MEDAGLIA, A. L. **An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing.** *DecisionSupport Systems*, v. 54, p.414-423, 2012.

RADUAN, A. C. **Roteirização Parcialmente Dinâmica Aplicada ao Serviço de Campo.** Dissertação de mestrado objetivando a obtenção do título de mestre no curso de Engenharia, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

RUSSOMANO, V. H. **PCP:** planejamento e controle da produção. 6 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção:** teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2007.

VERRUCK, F.; BAMPI, R. E.; MILAN, G. S. **Previsão de demanda em operações de serviços:** um estudo em uma empresa do setor de transportes. In: XII Simpoi – Simpósio da Administração da Produção, Logísticas e Operações Internacionais. São Paulo: FGV-EAESP, 2009.