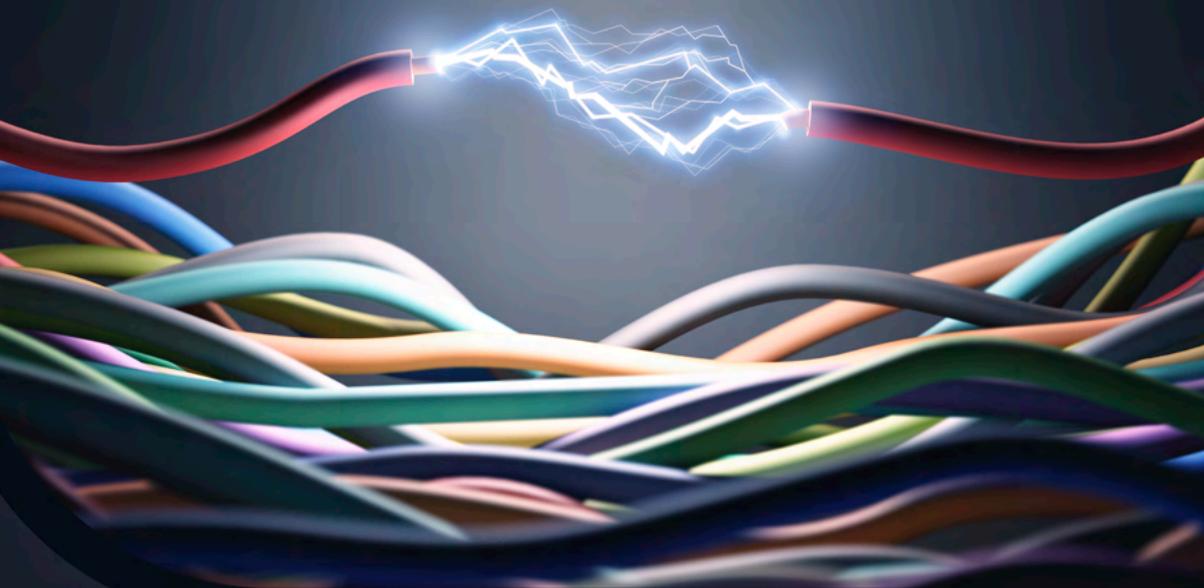


METODOLOGIA ESTOCÁSTICA PARA

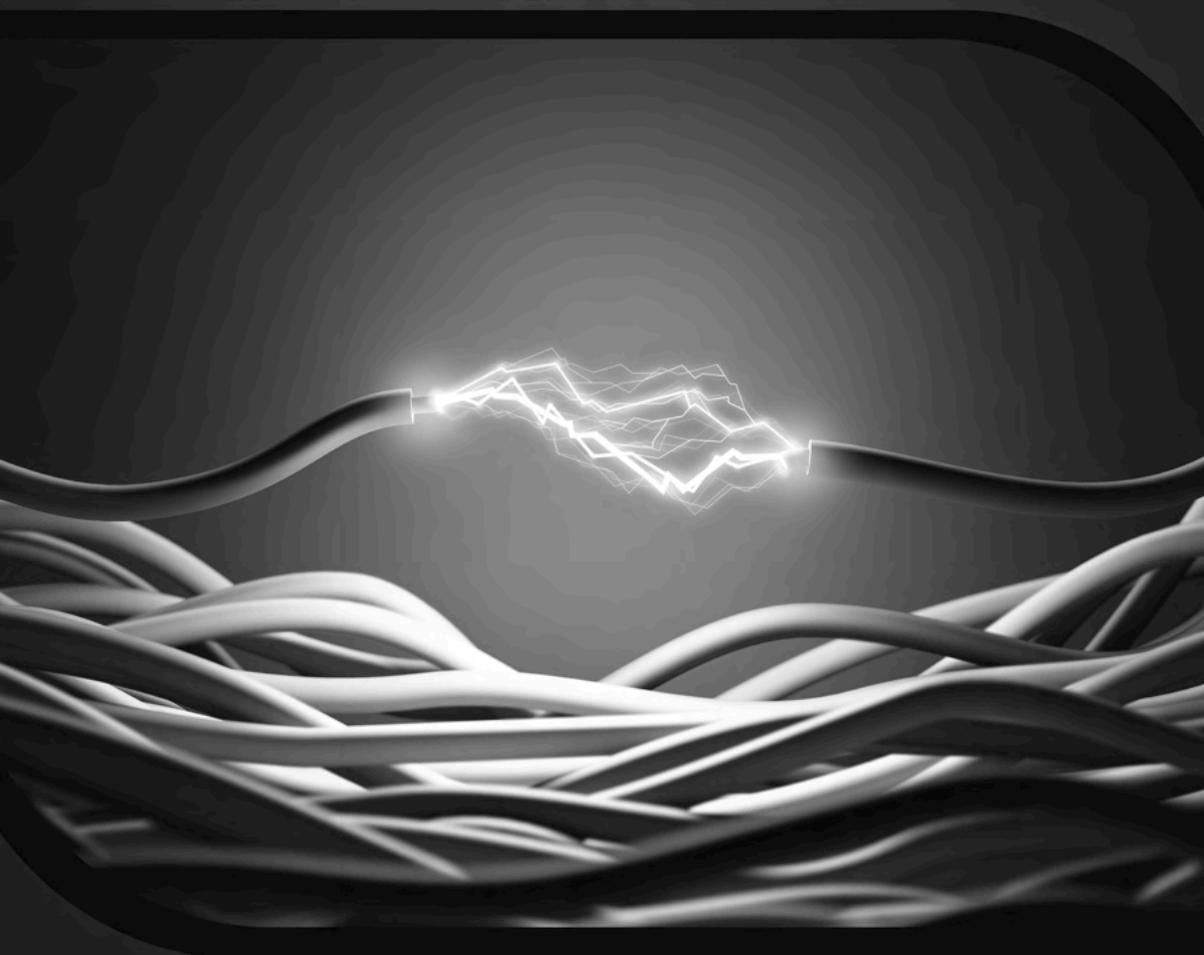
PREVISÃO DE DEMANDA

DE SERVIÇOS EMERGENCIAIS EM
CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA



Ioçhane Garcia Guimarães
Vinícius Jacques Garcia

METODOLOGIA ESTOCÁSTICA PARA
PREVISÃO DE DEMANDA
DE SERVIÇOS EMERGENCIAIS EM
CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA



Ioehane Garcia Guimarães
Vinícius Jacques Garcia

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Metodologia estocástica para previsão de demanda de serviços emergenciais em concessionárias de energia elétrica

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Autores: Iochane Garcia Guimarães
Vinícius Jacques Garcia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G963 Guimarães, Iochane Garcia
Metodologia estocástica para previsão de demanda de serviços emergenciais em concessionárias de energia elétrica / Iochane Garcia Guimarães, Vinícius Jacques Garcia. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0543-6
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.436222908>

1. Energia elétrica. I. Guimarães, Iochane Garcia. II. Garcia, Vinícius Jacques. III. Título.

CDD 333.79

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio e incentivo em todas as etapas de minha vida, inclusive nesta.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vinicius Jacques Garcia, grande exemplo profissional, agradeço a sua atenção e constante apoio na busca por melhores caminhos para o desenvolvimento deste trabalho, e também pela amizade e confiança em mim depositada.

A todos os docentes e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas da universidade e amigos pelo apoio e pela ótima convivência ao longo deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo suporte financeiro concedido durante o curso.

Agradeço a Concessionária de Energia Elétrica que disponibilizou os dados que embasaram este estudo.

Agradeço a Deus por mais este objetivo alcançado.

"Todos os erros humanos são fruto da impaciência, interrupção prematura de um processo ordenado, obstáculo artificial levantado ao redor de uma realidade artificial."

(Franz Kafka)

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO.....	3
Exemplificação do Problema Estudado.....	4
Objetivos	5
Objetivo Geral.....	5
Objetivos Específicos	5
Delimitação do estudo	5
Justificativa.....	5
Estrutura do Trabalho	7
REVISÃO DA LITERATURA.....	8
Problema de Roteamento de Veículos.....	8
Problema de Roteamento de Veículo Dinâmico.....	10
Previsão de Demanda de Serviços	15
Probabilidade Condicional.....	20
Despacho de Ordem de Serviço Emergencial.....	21
Considerações sobre o Capítulo.....	22
DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE GESTÃO DE SERVIÇO.....	23
METODOLOGIA.....	30
Definição do problema.....	33
Análise da demanda	33
Estudo das técnicas de previsão	34
Técnicas de Previsão	34
Definição do modelo de geração das variáveis.....	37
Definição do modelo matemático de roteamento.....	37
RESULTADOS.....	43
Premissas da previsão e variáveis aleatórias	43
Técnicas de Previsão.....	45

Conclusões do capítulo.....	57
CONCLUSÃO.....	59
Trabalhos Futuros.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICES.....	63
Apêndice A - Análise de suavização exponencial para um dia de domingo típico.....	63
Apêndice B - Análise de suavização exponencial para uma típica terça-feira.....	64
Apêndice C - Análise de suavização exponencial para uma quarta-feira típica.....	66
Apêndice D - Análise de suavização exponencial para uma típica quinta-feira.....	67
Apêndice E - Análise de suavização exponencial para uma típica sexta-feira.....	69
Apêndice F - Análise de suavização exponencial para um típica sábado.....	70
Apêndice G - Estatística descritiva para dados referentes à área.....	72
SOBRE OS AUTORES.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARIMA	Modelo Auto Regressivo Integrado de Média Móvel
OE	Ordem Emergencial
OSE	Ordem de Serviço Emergencial
PRV	Problema de Roteamento de Veículos
PRVD	Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico
PRVDE	Problema do Roteamento de Veículos com Demanda Estocástica
PRVDJT	Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico com Janela de Tempo
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i> (Otimização de Enxame de Partículas)
RNA	Redes Neurais Artificiais

RESUMO

A meta das empresas de distribuição de energia elétrica é proporcionar ao consumidor um fornecimento de energia contínuo e com qualidade. Esta livro aborda o problema do roteamento de veículos , mais especificamente o roteamento parcialmente dinâmico, com entradas estáticas, onde alguns eventos que ocorrem de forma estocástica são incorporados dinamicamente durante a execução do serviço. Neste sentido, buscou-se elaborar uma metodologia capaz de prever as ocorrências de serviços emergenciais que surgem aleatoriamente durante a jornada de trabalho, levando em consideração atributos de localização, tempo de serviço e horário de ocorrência, visando minimizar o tempo de deslocamento dos veículos nas rotas programadas. Para isso, foi desenvolvida e descrita uma sequência de etapas para estruturação de um sistema de previsão de demanda, o qual deve ser capaz de projetar padrões e tendências dos dados analisados a partir de demandas passadas. Pretendendo atender a estes pressupostos, o estudo buscou suporte em dois métodos de previsão: suavização exponencial e previsão a partir de probabilidades condicionais. O estudo ainda buscou identificar as principais variáveis que influenciam de maneira aleatória a ocorrência de ordens emergenciais. Os resultados obtidos com estes métodos, auxiliaram na captura da estocasticidade do processo de despacho de ordens emergenciais, bem como na previsão de demanda de serviço. O trabalho busca identificar as variáveis de entrada para o roteamento, proporcionando subsídios para a empresa analisada que não dispõe destas informações.

PALAVRAS-CHAVE: Ordem de Serviço Emergencial. Previsão de Demanda. Concessionárias de Energia Elétrica.

ABSTRACT

The goal of the electricity distribution companies is to provide consumers with a continuous supply of energy and quality. This dissertation addresses the Vehicle Routing Problem, specifically the partially dynamic routing with static entries, where some events that occur stochastically are dynamically incorporated during the execution of the service. In this sense, we sought to develop a methodology to provide the emergency service events that arise randomly during the working day, taking into account attributes of location, time of service and time of occurrence, to minimize the travel time of vehicles on scheduled routes. For that, a sequence of steps has been developed and described for the structuring of a demand forecasting system, which should be able to design patterns and trends analyzed data from past demands. Intending to meet these assumptions, the study sought support in two forecasting methods: exponential smoothing and prediction from conditional probabilities. The study also sought to identify the main variables that influence the way aleatória the occurrence of emergency orders. The results obtained with these methods, assisted in the capture of the stochasticity of the order process emergency orders, as well as in forecasting service demand. The work seeks to identify the input variables for routing, providing subsidies for the analyzed company that does not have this information.

KEYWORDS: Order Emergency Service; Demand Forecasting; Electric Power Concessionaires.

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, uma gama considerável de atividades logísticas tem requerido procedimentos de otimização antecipada denominada a *priori*, que buscam prever eventos futuros. À medida que surge a possibilidade de gerenciar as incertezas que ocorrem durante a execução dos processos, os custos devido ao replanejamento são minimizados, trazendo benefícios a cadeia de suprimentos.

As empresas que trabalham com distribuição própria de seus produtos ou que prestam serviços de entrega ou de coleta de mercadorias de qualquer tipo enfrentam diversos desafios, tais como: ampla concorrência e gerenciamento de grande número de clientes. Além disso, os consumidores cobram qualidade do serviço prestado, cumprimento dos prazos de entrega e atendimento eficaz dos serviços requeridos (MIRANDA, 2011).

Neste sentido, é relevante citar os sistemas de distribuição de energia elétrica que visam manter seus clientes atendidos, seguindo padrões adequados de economicidade, qualidade e continuidade, observando as normas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013). Para atender tais requisitos, a concessionária deve ter uma estrutura que lhe permita operar o sistema de distribuição, e que auxilie na execução das diversas operações rotineiras, tais como instalações programadas, manobras/remanejamento e manutenção do sistema elétrico. Paralelamente, as avarias no sistema devem ser detectadas e corrigidas no menor tempo possível, para que os índices de desempenho do sistema possam ser mantidos (ELETROBRAS, 1982).

O trabalho realizado por Amorim (2010) traz a ideia de que o atendimento de ocorrências não conhecidas de forma antecipada está diretamente ligado aos procedimentos que as concessionárias de distribuição de energia elétrica utilizam para despachar as solicitações de reparos para as equipes disponíveis. Dessa maneira, o centro de operação, responsável pela distribuição das ocorrências para as equipes de emergência, deve atuar para minimizar o tempo de atendimento e a quantidade de clientes sem fornecimento, priorizando os atendimentos de forma adequada. Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma metodologia que consiga estimar as ocorrências das Ordens de Serviços Emergências (OSE), a partir dos dados históricos dos eventos, buscando reduzir o tempo total de rota, uma vez que o objetivo de realizar as previsões é evitar a reotimização ou reprogramação dos trajetos durante sua execução.

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2013) estabelece quatro indicadores de tempo de atendimento referente às ocorrências emergenciais, os quais auxiliam na redução das taxas de descontinuidade. Os indicadores referentes aos serviços emergenciais são descritos na Tabela 1.1.

Indicadores	Sigla	Descrição
Tempo Médio de Preparação das Equipes de Atendimento de Emergência	TMP	Indica a eficiência dos meios de comunicação, dimensionamento das equipes e dos fluxos de informação do Centro de Operação.
Tempo Médio de Deslocamento	TMD	Indica a eficiência da localização geográfica das equipes de manutenção e operação.
Tempo Médio de Execução	TME	Refere-se à eficiência do restabelecimento do sistema pelas equipes de manutenção e operação.
Tempo Médio de Atendimento	TMAE	Indica o tempo médio para atendimento de emergência.

Tabela 1.1 – Indicadores de Tempo de Atendimento para Ocorrências Emergenciais.

1 | EXEMPLIFICAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO

O processo de despacho que ocorre na concessionária analisada, considera dois conjuntos diferentes de ordens de serviço que podem ser definidas como:

- a) Ordens de Serviço Comerciais: essas ordens são conhecidas a priori e relacionados aos serviços comerciais solicitadas pelos clientes;
- b) Ordens de Serviço Emergenciais: têm o seu aspecto inerentemente de emergência que podem ocorrer a qualquer momento.

De acordo com Garcia *et al.* (2012), as tarefas são divididas em dois tipos: os atendimentos aos clientes comerciais conhecidos a priori, e os atendimentos de emergência, que podem surgir a qualquer momento. Todas as equipes disponíveis têm a capacidade de atender tanto demandas comerciais quanto emergenciais. No início da sua atividade, as equipes têm atribuídas a si rotas compostas apenas por atendimentos a clientes comerciais. A ocorrência de situações de emergência gera a necessidade de atendimentos que se sobrepõem em importância aos atendimentos comerciais e estabelecem uma prioridade. De acordo com o número e a localização das emergências, uma ou mais equipes serão deslocadas de suas rotas iniciais para o atendimento prioritário. Cada equipe de manutenção é capaz de executar os dois tipos de ordens de serviço.

O presente estudo visa modelar a probabilidade de ocorrências de ordens emergenciais em determinada região, tendo como base os dados históricos dessas ocorrências, visando influenciar a demanda dos serviços de caráter comercial. Os fatores que influenciam as ocorrências emergenciais são temperatura, tempo e demanda. Ainda devem ser considerados alguns indicadores para programação das ordens emergenciais, como criticidade, número de clientes, custos e tempo previsto de execução.

2 | OBJETIVOS

Este trabalho instiga alguns objetivos gerais e específicos, conforme apresentado nas seções seguintes.

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia de previsão de demanda de serviço emergencial capaz de estimar a ocorrência de ordens emergenciais com os atributos de localização, tempo de serviço e horário de ocorrência, visando minimizar o tempo de deslocamento no problema de roteamento de veículos.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as variáveis aleatórias que influenciam o surgimento de ordens emergenciais;
- Estimar a demanda de tempo necessário para execução dos serviços emergenciais;
- Considerar na programação das ordens emergenciais equipes multitarefa, as quais já tem rotas preexistentes com ordens comerciais.

3 | DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo delimita-se à estruturação de uma metodologia de previsão de ordens emergenciais, buscando identificar as principais variáveis que influenciam o processo de despacho. Não é intuito do trabalho desenvolver o roteamento.

4 | JUSTIFICATIVA

O problema de roteamento de veículos tem recebido grande atenção de pesquisadores e empresas nos últimos quarenta anos, devido a sua complexidade e ao seu papel crítico nos sistemas de distribuição de mercadorias e atendimento de serviços (RADUAN, 2009). Em grande parte deste problemas, muitas informações sobre os clientes e demandas são conhecidos antecipadamente, o que facilita a alocação dos veículos na rota. Em outros casos, os consumidores e suas demandas só são conhecidos gradativamente ao longo da jornada de trabalho das equipes, o que exige o redirecionamento dos veículos e, conseqüentemente, a reprogramação dos caminhos e serviços a serem executados, procedimento este oneroso para a empresa.

Neste contexto, podem-se citar as concessionárias de energia elétrica que atendem as ocorrências de serviço tanto comerciais, aquelas conhecidas antecipadamente, como

as ocorrências de serviço emergenciais, as quais ocorrem de forma dinâmica, não sendo conhecidas antecipadamente.

Conforme Ñahuis (2013), as empresas de distribuição de energia elétrica possuem um grupo de viaturas com equipes de manutenção, localizadas em pontos de concessão, prontas para realizar os atendimentos das ordens de serviços de um sistema. Neste sentido, as companhias procuram minimizar o tempo de atendimento das ordens de serviços pelas suas viaturas ao longo de uma jornada de trabalho.

Os trabalhos existentes na literatura voltados para o tema de previsão de ordens emergenciais em concessionárias de energia elétrica, são desenvolvidos a partir do estudo de processos de natureza diferente do abordado no presente estudo. No trabalho de Weintraub (1999), as equipes responsáveis pela execução das ordens de serviço emergenciais não são multitarefa, ou seja, executam somente ordens de determinada natureza, no caso, emergenciais. Na concessionária estudada, as equipes são multitarefa, ou seja, são responsáveis pela execução tanto de ordens comerciais quanto ordens emergenciais, o que, torna o processo de despacho das equipes mais complexo.

Este estudo aborda o problema do Roteamento de Veículos Parcialmente Dinâmico, em que as ordens de serviço emergenciais ocorrem de maneira aleatória durante a execução do processo de roteamento, e são incorporadas ao roteamento conforme sua ocorrência, sem planejamento prévio. Sendo assim, o estudo busca prever e incorporar as ordens emergenciais ao planejamento das equipes antes de realizar o roteamento, ou seja, a ordem emergencial passa a ser tratada como uma ordem comercial no momento da programação e despacho das ordens.

Neste contexto, busca-se identificar de maneira antecipada o comportamento das ordens emergenciais, não interferindo no processo de roteamento, não desenvolvendo técnicas que buscam atualizar de maneira constante o roteamento durante a execução do processo, o que geralmente se desenvolve nos trabalhos que tratam o tema de roteamento dinâmico.

Dessa forma, o presente estudo propõe o desenvolvimento de uma metodologia que busca estimar a ocorrência de serviços emergenciais que surgem de maneira incerta durante a jornada de trabalho dos veículos de uma concessionária de distribuição de energia elétrica. Para auxiliar a realização das previsões, serão utilizados dados históricos de ocorrências dos eventos analisados. A motivação para realizar este trabalho surgiu devido à ausência de estudos com este enfoque. Dessa maneira, este trabalho pode contribuir com o desenvolvimento e validação da metodologia proposta.

5 | ESTRUTURA DO TRABALHO

O conteúdo deste trabalho está estruturado em seis capítulos, os quais estão descritos a seguir: o Capítulo 1 apresenta a introdução, os objetivos e a justificativa para a realização deste trabalho.

O Capítulo 2 trata da revisão da literatura, que apresenta informações publicadas referentes ao assunto em estudo, tais como: problema do roteamento de veículos, problema do roteamento de veículos dinâmico, previsão de demanda de serviços, previsão de serviços no setor elétrico e previsão de ocorrência de serviço emergencial.

Nos Capítulos 3 e 4 são definidos o objeto de estudo e os procedimentos metodológicos, contendo as etapas constituintes da pesquisa. No Capítulo 5 são introduzidos os resultados da pesquisa. O Capítulo 6 apresenta as conclusões do estudo.

REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura desenvolvida neste trabalho procura verificar e analisar os trabalhos já desenvolvidos que se relacionam com os objetivos deste trabalho. Para melhor classificação e descrição, os trabalhos relacionados foram categorizados da seguinte forma:

- I. Problema de Roteamento de Veículos;
- II. Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico;
- III. Previsão de Demanda de Serviços;
- IV. Despacho de Ordem de Serviço Emergencial.

1 | PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) consiste em determinar a rota a ser percorrida por cada veículo, de modo que a demanda de todos os clientes seja satisfeita, e que cada veículo regresse ao depósito de origem ao final do período considerado (MIRANDA, 2011). Neste contexto, o problema de roteamento de veículos capacitado é a versão mais conhecida do PRV, em que cada cliente possui uma demanda determinística, ou seja, é conhecida previamente, e que deve ser atendida integralmente por apenas um veículo.

Segundo Eksioglu *et al.* (2009), o PRV consiste em encontrar um conjunto de k circuitos simples, que correspondem aos trajetos de veículos com um custo mínimo, sendo este custo definido como a soma dos custos de arcos dos circuitos tais que:

- I. Cada rota começa e termina no depósito;
- II. Cada cliente, com exceção do depósito, é visitada somente uma vez e por apenas um veículo;

A demanda total de qualquer rota não deve superar a capacidade Q de um veículo. De acordo com Laporte (2009), essa classe de problemas foi introduzida cinquenta anos atrás por Dantzing e Ramer (1959) com o trabalho intitulado *The truck dispatching problem*. Os autores relatam que o PRV pode ser entendido como uma generalização do problema do caixeiro viajante (*Traveling Salesman Problem TSP*), um problema NP difícil em que se dispõe de apenas um veículo para visitar os clientes. Conforme Laporte (2009), o PRV pode ser simplesmente definido como o problema de projetar rotas de entrega de menor custo a partir de um depósito a um conjunto de clientes geograficamente dispersos, sujeito às restrições. Problemas desta natureza são de suma importância para a gestão de distribuição, pois são intrínsecos a rotina de trabalho das transportadoras. Na prática, existem diversas variantes para o PRV devido à diversidade de regras de funcionamento e dificuldades encontradas em aplicações práticas.

A formulação clássica do PRV pode ser descrita da seguinte forma conforme

Laporte (1992). Seja $G = (V, A)$ um grafo, no qual $V = \{0, \dots, n\}$ é um conjunto de vértices representando localidades (clientes ou cidades) com o depósito localizado no vértice 0, e A é o conjunto de arcos. Cada arco (i, j) , $i \neq j$ é associado a uma matriz de distâncias $C = (c_{ij})$ não negativas. Em alguns contextos, c_{ij} também pode ser interpretado como o custo de viagem ou o tempo de viagem. Quando C é simétrico (isto é, a distância, tempo e custo de i para j é o mesmo de j para i), é conveniente substituir A por um conjunto E de arcos não direcionados. Além disso, assumimos que existem m veículos disponíveis no depósito, onde $m_i \leq m \leq m_u$. Quando $m_i = m_u$, k é dito ser fixo. Quando $m_i = 1$ e $m_u = n - 1$, k é dito ser livre. Quando k não é fixo, faz sentido associar um custo fixo f ao uso do veículo. Como simplificação, o autor ignorou estes custos, e partiu-se do princípio de que todos os veículos são idênticos e têm a mesma capacidade D . O PRV consiste em planejar um conjunto de rotas de menor custo do veículo, de tal forma que:

- I. Cada vértice em $V \setminus \{0\}$ é visitado apenas uma vez e por exatamente um veículo;
- II. Todas as rotas se iniciam e terminam no depósito;

As seguintes restrições devem ser respeitadas:

1. Restrição de capacidade: a cada vértice $i > 0$ é atribuído um peso não negativo ou demanda d_i e a soma dos pesos de qualquer rota do veículo não pode exceder a capacidade do veículo;
2. O número de vértices em cada rota é limitado a q , este é um caso especial com $d_i = 1$ para todo $i > 0$ e $D = q$;
3. Restrição de tempo total: o comprimento de qualquer rota não pode exceder um limite fixado L , sendo ele constituído pelos tempos de viagem c_{ij} e pelos tempos de parada s_i em cada vértice i da rota;
4. Janelas de tempo: o vértice i deve ser visitado dentro do intervalo de tempo $[a_i, b_i]$ e é permitido tempo de espera no vértice i ;
5. Precedência entre pares de vértices: o vértice i pode ter de ser visitado antes do vértice j .

Laporte (1992) define o Problema Clássico de Roteamento de Veículos e mostra uma visão geral das diversas abordagens utilizadas para solucioná-lo. Estas se desdobram em algoritmos exatos, que encontram a solução ótima para o problema, e algoritmos heurísticos, que buscam uma solução viável, mas que não é necessariamente a solução ótima. Os PRVs de capacidade limitada são designados como PRVCs e PRVs com restrição de tempo ou distância máxima da rota são designados PRVDs, e PRVs com janelas de tempo são designados PRVJTs. Além destes, são comuns as variantes PRVFH, nas quais a frota de veículos é heterogênea, e PRVEF, onde as entregas são fracionadas.

2 | PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULO DINÂMICO

Para Thomas (2010), nos últimos anos ocorreram inúmeras inovações nas metodologias de roteamento de veículos dinâmicos e aplicações. Em parte, estas inovações tem sido impulsionadas pelo fato do poder da computação e tecnologia de comunicação móvel tornar implementações do mundo real uma realidade.

De acordo com Larsen *et al.* (2002), o problema de roteamento de veículos despertou o interesse de pesquisadores ao longo das últimas três décadas, em que a maioria dos trabalhos tem se concentrado em problemas estáticos e deterministas, onde as informações são completamente conhecidas para o planejamento das rotas. No entanto, em muitas aplicações do mundo real, informações dinâmicas e estocásticas tendem a surgir enquanto as rotas estão sendo executadas. Duas características distintivas dos ambientes dinâmicos tornam o planejamento e execução das rotas de serviço que buscam alta qualidade muito mais difíceis do que em ambiente deterministas: a constante mudança e o horizonte de tempo.

Em particular, enquanto o objetivo comum no contexto estático é a minimização do custo de roteamento, o roteamento dinâmico pode introduzir outras noções, tais como: nível de serviço, rendimento no número de solicitações atendidas, ou a maximização das receitas. A resposta para os pedidos dinâmicos dos clientes também introduz a noção de tempo de retorno, um cliente pode solicitar ser atendido o mais rapidamente possível, neste caso o objetivo principal pode tornar-se minimizar o atraso entre a chegada de um pedido e a execução de seu serviço. Quando a dimensão geográfica de um problema é tratada, por exemplo, o sequenciamento dos locais que os veículos devem visitar, aplica-se o processo de roteirização. Se a análise concentra-se no aspecto temporal, em que instante chega-se ou parte-se de um local, aplica-se um processo de programação (BODIN *et al.*, 1983).

De acordo com Raduan (2009), na modelagem de um problema de roteirização, quando todas as informações sobre os clientes e suas demandas forem conhecidas com antecedência em relação à saída dos veículos, geralmente fixam-se outras variáveis como, por exemplo, o custo e o tempo para o atendimento. Neste caso, a roteirização é denominada estática, uma vez que, as variáveis não se modificam no modelo de otimização. No entanto, quando os clientes e suas demandas são conhecidos gradativamente durante a jornada de trabalho do veículo, o modelo recebe o nome de roteirização dinâmica.

Para Pillac *et al.* (2012), o problema de operar uma frota de veículos surge em muitos contextos, podendo citar a coleta/entrega de mercadorias e o transporte de pacientes em hospitais. Mais especificamente, o PRV consiste em um conjunto de rotas de veículos que visam o mínimo custo, e atendem a demanda de bens ou serviços de um grupo de clientes geograficamente dispersos, satisfazendo às restrições operacionais. Neste sentido, evolução da informação refere-se ao fato de que, em alguns problemas, a

informação disponível para o planejador pode mudar durante a execução das rotas, por exemplo, com a chegada de novas solicitações dos clientes. Já a qualidade da informação reflete possíveis incertezas nos dados disponíveis, podendo citar quando a demanda de um cliente só é conhecida como uma estimativa de alcance de sua demanda real. Além disso, dependendo do problema e a tecnologia disponível, rotas de veículos podem ser concebidas estaticamente precedentemente ou dinamicamente. A Tabela 2.1 identifica as quatro categorias de problemas de roteamento conforme Pillac *et al.* (2012).

Evolução da informação	Qualidade da informação	
	Entrada Determinista	Entrada Estocástica
Entrada conhecida a antecipadamente Mudança na entrada ao longo do tempo	Estática e determinista Dinâmica e determinista	Estática e estocástica Dinâmica e estocástica

Tabela 2.1 – Categorias de PRV.
Fonte: Adaptado Pillac *et al.* (2012).

De acordo com Pillac *et al.* (2012), a categoria de problemas estáticos e estocásticos são caracterizados pela entrada de informações parcialmente conhecidas e da existência de variáveis aleatórias, que só são reveladas durante a execução das rotas. Além disso, presume-se que as rotas são concebidas de maneira antecipada e apenas pequenas alterações são permitidas posteriormente. Em contrapartida, os problemas dinâmicos e deterministas, a totalidade ou parte da entrada é desconhecida e revelam-se dinamicamente durante a programação ou execução das rotas. Para estes problemas, as rotas de veículos são redefinidas de forma permanente, necessitando de suporte tecnológico para a comunicação em tempo real entre os veículos e o tomador de decisão (por exemplo, telefones celulares e sistemas de posicionamento global).

No presente trabalho serão estudados dois tipos de ocorrências, as ordens comerciais que são conhecidas e as ordens emergenciais que surgem de forma dinâmica durante a execução da rota pelos veículos. Neste sentido, o trabalho de Pillac *et al.* (2013) abordou um problema desta natureza, que envolve informações dinâmicas, conforme a figura 2.1, esta foi dividida em cenários que seguem uma sequência lógica de tempo, para ilustrar a execução de uma rota por um único veículo. No cenário inicial, o veículo ainda encontra-se no depósito, sendo a rota planejada antecipadamente, onde deverá atender as ordens de serviço conhecidas, que correspondem às ordens comerciais: A, B, C, D e E. Já o cenário intermediário, ilustra o veículo executando seu percurso, e o surgimento de duas novas ordens de serviço não conhecidas inicialmente (OE1 e OE2), denominadas Ordens Emergenciais (OE).

As ordens, que surgiram de forma não programada na rota do veículo, precisam ser

atendidas de maneira imediata, logo, devem ser incorporadas no percurso. Neste contexto, o que ocorre muitas vezes é que novos pedidos surgem de maneira aleatória, e em locais distintos. A grande questão no momento da roteirização consiste em decidir se estes novos pedidos são viáveis para serem alocados ou se o custo com o deslocamento dos veículos para atendê-los é inviável, sendo menos dispendioso aceitar arcar com penalidades que geralmente são impostas pelo não atendimento do serviço.

No exemplo apresentado na figura 2.1, no cenário final optou-se por incluir as ordens de serviço emergencial na rota. Assim o veículo passou a executar todas as ordens de serviço (programadas antecipadamente e não programadas): A, OE1, B, C, OE2, D e E. Este exemplo demonstra como o roteamento dinâmico ajusta inerentemente rotas de forma contínua, o que exige a comunicação em tempo real entre os veículos e centro de operação/distribuição (PILLAC *et al.*, 2013).

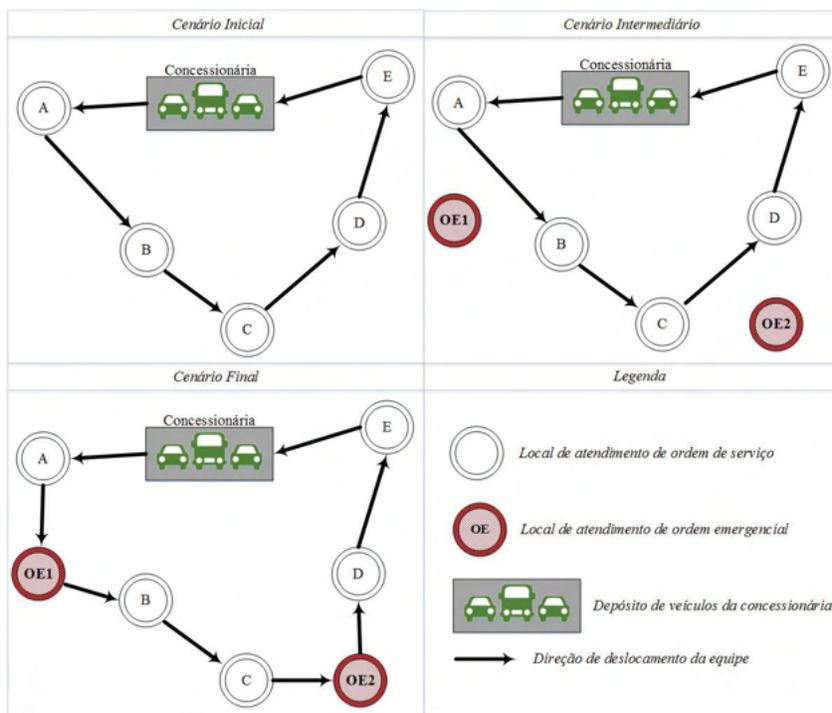


Figura 2.1 – Roteamento de veículos parcialmente dinâmico e determinista.

Fonte: adaptado Pillac *et al.* (2012).

Com base nesta situação, o presente estudo busca desenvolver um método que procura presumir onde e quando os eventos que ocorrem de forma aleatória acontecerão, tendo como base os dados históricos de sua ocorrência. Visando minimizar o tempo de

rota ou deslocamento dos veículos, deve-se realizar a programação das rotas de forma a influenciar os veículos a passarem próximos aos locais em que existem maior probabilidade de ocorrências.

De acordo com Slater (2002), no PRV o objetivo inicial do programador é minimizar a quilometragem total percorrida do veículo, e alcançar a janela de tempo necessária para a entrega de cada ordem, respeitando todas as outras restrições operacionais.

Uma grande variedade de técnicas foi desenvolvida para abordar a natureza dinâmica dos problemas de roteamento. Métodos dinâmicos podem ser divididos em duas categorias, conforme Pillac *et al.* (2012).

Não antecipados: que só reagem a atualizações nos dados de problema. Os métodos não antecipados são projetados para problemas dinâmicos e deterministas, eles geralmente são uma adaptação direta de métodos estáticos, como por exemplo, a programação inteira;

- I. **Antecipados:** que levam em conta os conhecimentos sobre informações dinâmicas para antecipar o futuro. Esses métodos, muitas vezes, auxiliam na tomada de melhores decisões, pois usam informações estocásticas disponíveis na forma de distribuições de probabilidade. Os métodos antecipados ainda podem ser classificados em duas abordagens:

- a) **Métodos de antecipação com base em modelagem estocástica:** descrevem o padrão estocástico originado de eventos aleatórios. Consiste no processo capaz de reconhecer padrões.

- b) **Métodos antecipados baseados em amostragem:** são até certo ponto simples, mas requerem mais esforço para capturar a estocasticidade do problema. Estes métodos utilizam distribuições de probabilidade para gerar cenários, que são usados para tomar decisões.

O trabalho de Pillac *et al.* (2012) concentra-se no roteamento de veículos dinâmico e determinista, em que parte ou a totalidade da entrada é desconhecida e revela-se de forma dinâmica e imprevisível durante a execução das rotas. Mais especificamente, estuda o Problema de Roteamento de Veículos Dinâmico com Janela de Tempo (PRVDJT), em que uma frota limitada de veículos capacitados idênticos deve entregar um produto para um conjunto de clientes através de um único horizonte de tempo (dia). Cada cliente tem uma posição geográfica e requer uma certa quantidade de produtos e deve ser servido dentro de um determinado período de tempo. Enquanto que um conjunto de clientes (estáticos) é conhecido de antemão, novos clientes (dinâmicos) podem aparecer durante o dia.

Slater (2002) apresenta uma aplicação de roteirização e programação dinâmica de veículos aplicados a um cenário de comércio eletrônico, em que inicialmente são montados

pedidos e rotas fantasmas. Estes pedidos e rotas desconhecidas são obtidas por meio de informações históricas de demanda, locais de atendimento e correspondentes a janelas de tempo por dia da semana. Para apoiar a operação de comércio eletrônico, a metodologia proposta incluiu soluções tanto para o problema de roteamento quanto para o problema de programação dos veículos. O Sistema de Suporte de Decisão baseou-se na premissa de que os dados de previsão de entrega estavam disponíveis. A partir destes dados, rotas fantasmas viáveis foram atualizando a rota em tempo real a medida que as encomendas foram confirmadas. O autor enfatiza que o funcionamento deste processo fundamenta-se na utilização de equipamentos de comunicação e de rastreamento nos veículos.

O estudo de Thomas (2010) aborda problemas de roteamento de veículos em que alguns dados do problema são dinâmicos, ou seja, se tornam conhecidos ao longo do horizonte do problema, que consiste no período de tempo durante o qual as visitas aos clientes podem realmente acontecer. Assim, o volume de demanda de um cliente pode ser desconhecido até que um veículo visite o cliente, ou em alguns casos, todos os clientes podem ser desconhecidos até que o veículo esteja realmente executando o serviço (rota). Em muitas variantes do problema, pode haver algum conhecimento da informação dinâmica em avanço, geralmente sob a forma de uma distribuição de probabilidade, por exemplo, enquanto o volume de demanda de um cliente pode ser desconhecido até que o cliente seja visitado, sua demanda pode ser descrita com uma distribuição de probabilidade espacial cujos parâmetros podem ser estimados através de dados históricos.

Ainda de acordo com Thomas (2010), as metodologias de solução para problemas de roteirização dinâmica de veículos podem ser caracterizadas por duas propriedades. Primeiramente, pelas restrições que colocam sobre a estrutura das soluções para seus respectivos problemas de roteamento dinâmico, e por fim, caracteriza-se as soluções a medida que elas usam informações conhecidas. Em função da natureza complexa da maioria dos problemas de roteamento dinâmico, mesmo a computação moderna, torna-se limitada, sendo capazes de encontrar soluções exatas apenas para problemas com dimensões reduzidas. Pois representam um problema altamente combinatório pertencente à classe de problemas NP-Difícil, para os quais não há algoritmos em tempo polinomial para encontrar soluções ótimas (GAREY; JOHNSON, 1979). Assim, problemas de roteamento mais dinâmicos são resolvidos comumente via heurísticas.

O trabalho proposto por Rashidi e Farahani (2012) desenvolve uma estrutura construtiva para reotimizar as rotas em que eventos não previstos ocorreram durante a execução dos serviços. No método proposto, os novos pedidos que chegam em determinado tempo são listados e enviados para o veículo com intervalo de tempo mais próximo. Durante cada intervalo de tempo, um problema semelhante ao problema de roteamento estático, mas com veículos com capacidades e locais de partida diferentes são traçados. Este é um problema baseado em janelas de tempo suaves, em que os pedidos devem ser

respondidos de forma dinâmica. Os pedidos futuros não são conhecidos, no entanto, as demandas ocorrem com uma função de distribuição de probabilidade, enquanto que os locais dos pedidos são conhecidos.

3 | PREVISÃO DE DEMANDA DE SERVIÇOS

A previsão é uma atividade indispensável no planejamento, estratégia, e todas as outras formas de tomada de decisão orientada para o futuro, tanto em nível individual quanto organizacional. Para se tomar decisões mais inteligentes, é importante ser capaz de prever com a maior precisão possível e reconhecer a melhor maneira de utilizar tais previsões (MAKRIDAKIS, 1988).

Os processos para geração de previsões são constituídos por técnicas qualitativas, quantitativas ou pela combinação destas. As técnicas quantitativas (ou técnicas de *forecasting*) utilizam uma sequência de observações e um padrão histórico de demanda e, por intermédio de modelos matemáticos, torna-se possível estimar valores futuros (ELSAYED; BOUCHER, 1994).

As técnicas qualitativas, também chamadas de intuitivas ou subjetivas, dependem da experiência acumulada dos especialistas ou grupos de pessoas reunidas para intuir a probabilidade do resultado de eventos. Neste sentido, os métodos qualitativos mais abordados são o Método Delphi e pesquisas de intenções. A proposta do Método Delphi é absorver o conhecimento de especialistas em uma determinada área, com o objetivo de chegar a um consenso sobre a probabilidade e momento de ocorrência de eventos futuros, buscando melhorar a tomada de decisões e previsões sobre o futuro (GUPTA; CLARKE, 1996). Quando as respostas começam a obter um grau de similaridade durante o processo iterativo, os resultados da iteração final são usados para estimativa de previsão dos eventos estudados (DIETZ, 1987). Já as pesquisas de intenção analisam padrões de prioridade que podem descrever as preferências dos consumidores e a probabilidade de que eles comprarem um produto ou serviço, tendo grande relevância na previsão de demanda, por exemplo, ações referentes ao lançamento de um novo produto no mercado (CHAMBERS; MULLICK; SMITH, 1971).

No que diz respeito aos métodos quantitativos, os mais abordados na literatura são a média móvel, a suavização exponencial e o método de Box Jenkins (LE MOS, 2006). O grupo de dados que descrevem a variação da demanda ao longo do tempo é denominado série temporal (PELLEGRINI, 2000). De acordo com Makridakis *et al.* (1988), as séries temporais podem ser representadas por quatro padrões: média, sazonalidade, ciclo e tendência. O padrão da média ocorre quando os valores da série flutuam sobre uma média constante. Conforme Pellegrini e Fogliatto (2001), a série possui sazonalidade quando padrões cíclicos de variação se repetem em intervalos relativamente constantes de tempo.

O padrão cíclico ocorre quando a série exibe variações ascendentes e descendentes, porém em intervalos não regulares de tempo. E, por fim, o padrão de tendência ocorre quando a série apresenta comportamento ascendente ou descendente por um longo período de tempo. A seguir, é apresentada a descrição dos principais modelos utilizados como métodos quantitativos para previsão de demanda, conforme Pellegrini (2000).

- I. Suavização Exponencial: são amplamente utilizados para previsão de demanda devido a sua simplicidade, facilidade de ajustes e boa acurácia. Estes métodos usam uma ponderação distinta para cada valor observado na série temporal, de modo que valores mais recentes recebam pesos maiores. Assim, os pesos formam um conjunto que decai exponencialmente a partir de valores mais recentes. Para Poloni e Sbrana (2015), o método de suavização exponencial simples é amplamente utilizado na previsão econômica de séries temporais. Isso porque este método geralmente proporciona previsões precisas, onde uma de suas características mais interessantes é sua facilidade de computação. Sbrana e Silvestrini (2014) ressaltam que a previsão de demanda por bens e serviços representa um desafio importante em quaisquer atividades comerciais e industriais. Com efeito, a adoção de uma abordagem de previsão eficaz tem consequências importantes, não só sobre o próprio processo de produção, mas também no bom funcionamento de toda a cadeia de suprimento. Nos últimos anos, o uso de modelos de séries temporais padrão tem provado ser especialmente útil para a previsão em aplicações de gestão da cadeia de abastecimento.
- II. Modelos de Decomposição: partem do princípio de que uma série temporal pode ser representada por seus componentes separadamente. Assim, a série principal é decomposta em séries para sazonalidade, tendência, média, ciclo e ruído aleatório;
- III. Modelos de Box Jenkins: também conhecidos como Modelos Autoregressivos Integrados a Média Móvel, ou simplesmente Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA). Estes modelos partem da ideia de que os valores de uma série temporal são altamente dependentes, ou seja, cada valor pode ser explicado por valores prévios da série. Os modelos ARIMA representam a classe mais geral de modelos para a análise de séries temporais;
- IV. Redes Neurais Artificiais: a propriedade mais importante das redes neurais é a sua capacidade de aprender, ou seja, de reconhecer padrões e regularidades nos dados. Uma vez feito o aprendizado, a rede está apta a melhorar seu desempenho e então extrapolar quanto a um comportamento futuro.

Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000) apresentam uma descrição resumida das principais características dos Métodos de previsão de demanda, conforme a Tabela 2.2.

A modelagem matemática do comportamento de um processo de demanda pode ser obtido a partir de informações extraídas por técnicas de previsão quando aplicadas em dados passados disponíveis de um processo. A suposição de uma continuidade nesse comportamento permite a realização de previsões, cuja qualidade e precisão são muito superiores àquelas das previsões feitas com base intuitiva, fundamentadas unicamente na experiência dos decisores. Adicionalmente, os modelos são modificáveis e, uma vez atualizados, estes passam de imediato a refletir as alterações do processo, fornecendo prontamente subsídios às novas tomadas de decisões (PELLEGRINI, 2000).

A representação de fenômenos físicos mostrada em uma série temporal pode ser feita através de uma modelagem matemática. Nos modelos, valores podem ser agrupados e descritos através de equações matemáticas. A modelagem matemática pode ser utilizada para prever o valor de variáveis de interesse em qualquer momento, caso as variáveis que fossem dependentes do tempo. Os modelos são ditos determinísticos sempre que uma previsão exata for possível.

No entanto, muitos fenômenos não são de natureza determinística, devido à incidência aleatória de fatores desconhecidos. Nesses casos, a previsão do valor futuro está sujeita a um cálculo de probabilidade. Modelos matemáticos desenvolvidos para analisar tais sistemas são ditos estocásticos. Um processo estocástico é caracterizado por uma família de variáveis aleatórias que descrevem a evolução de algum fenômeno de interesse. Processos estocásticos que caracterizam os estudos de séries temporais descrevem a evolução temporal de um fenômeno de interesse (PELLEGRINI, 2000).

Alguns fatores que influenciam sistematicamente a previsibilidade de um modelo são descritas resumidamente a seguir, conforme Makridakis (1988):

- I. Número de itens (observações): quanto maior o número de itens envolvidos, mais precisas são as previsões. Por causa da lei estatística dos grandes números, o tamanho dos erros de previsão (e, portanto, a precisão) diminui à medida que o número de itens de previsão aumenta, e vice-versa;
- II. Homogeneidade dos dados: quanto mais homogêneo forem os dados, mais precisa as previsões e vice-versa. Assim, os dados referentes a uma única região podem prever sazonalidade mais precisão do que os dados que cobre muitas regiões de diferentes padrões climáticos;
- III. Elasticidade da procura: quanto mais inelástica a demanda, mais precisa será a previsão;
- IV. Competição: quanto maior a concorrência, mais difícil realizar a previsão, já que as ações dos diversos concorrentes podem mudar o curso dos acontecimentos futuros e assim invalidar as previsões.

Os fatores descritos são válidos desde que as demais informações envolvidas na

análise permanecem constantes (mantidas inalteradas todas as outras coisas, do latim *Ceteris Paribus*). Para Montgomery e Runger (2014), em muitos exemplos de experimentos aleatórios, o resultado particular do experimento não é conhecido *a priori*, logo o valor resultante da variável aleatória também não é conhecido a priori. Dessa maneira, a variável que associa um número ao resultado de um experimento aleatório é referida como uma variável aleatória X . Sendo assim, a variável aleatória é uma função que confere um número real a cada resultado no espaço amostral de um experimento aleatório. As variáveis aleatórias ainda podem ser caracterizadas como discretas, ou seja, uma variável com uma faixa finita (ou infinita contável) ou contínua, uma vez que a variável aleatória tenha um intervalo (tanto finito como infinito) de números reais para sua faixa. A seguir alguns exemplos dos tipos de variáveis aleatórias.

- I. Variáveis aleatórias contínuas: corrente elétrica, comprimento, pressão, temperatura, tempo, voltagem, peso;
- II. Variáveis aleatórias discretas
- III. Número de arranhões em uma superfície, proporção de partes defeituosas entre 1.000 toneladas, número de bits transmitidos que foram recebidos com erro.

Neste contexto, muitos sistemas físicos podem ser modelados pelos mesmos ou similares experimentos aleatórios e variáveis aleatórias. A distribuição das variáveis aleatórias em cada um desses sistemas comuns pode ser analisada e os resultados dessa análise podem ser usados em diferentes aplicações e exemplos. A distribuição de probabilidade de uma variável aleatória X é uma descrição das probabilidades associadas com os valores possíveis de X . Para uma variável aleatória discreta, a distribuição é frequentemente especificada por apenas uma lista de valores possíveis, juntamente com a probabilidade de cada um. Similarmente uma função densidade de probabilidade $f(x)$ pode ser usada para descrever a distribuição de probabilidades de uma variável contínua X (MONTGOMERY; RUNGER, 2014). Taha (2008) apresenta as distribuições de probabilidade que são frequentemente encontradas em estudos de pesquisa operacional, que estão listadas a seguir. A Equação 2.2 apresenta a distribuição Binomial.

a) Distribuição Binomial:

$$C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (2.1)$$

As combinações distintas de x itens defeituosos em um lote de n itens. Então decorre (pela lei da adição de probabilidades) que uma probabilidade de k defeituosos em um lote

de n itens seja:

$$P(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, k = 0, 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.2)$$

Essa é a distribuição binomial com parâmetros n e p . Sua média e variância são dadas pela Equação (2.3) e Equação (2.4), respectivamente.

$$E(x) = np \quad (2.3)$$

$$var(x) = np(1-p) \quad (2.4)$$

b) Distribuição de Poisson: Seja x o número de eventos (por exemplo, chegadas) que ocorrem durante uma unidade de tempo especificada (por exemplo, um minuto ou uma hora). Dado que λ é uma constante conhecida, a Função Densidade de Probabilidade (fdp) da distribuição de Poisson é definida pela Equação 2.5.

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (2.5)$$

A média e a variância da distribuição de Poisson são dadas pela Equação 2.6 e Equação 2.7.

$$E(x) = \lambda \quad (2.6)$$

$$var(x) = \lambda \quad (2.7)$$

A Equação da média revela que λ deve representar a taxa à qual os eventos ocorrem.

c) Distribuição Exponencial Negativa: Se o número de chegadas em uma prestadora de serviços durante um período de especificado seguir a distribuição de Poisson, então, automaticamente, a distribuição do intervalo de tempo entre chegadas sucessivas deve seguir a distribuição exponencial negativa (ou simplesmente, exponencial). Especificamente, se λ é a taxa à qual ocorrem eventos de Poisson, a distribuição de tempo entre chegadas sucessivas, x , é:

$$f(x) = e^{-\lambda} \lambda^x \quad (2.8)$$

A média e a variância da distribuição exponencial são:

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad (2.9)$$

$$\text{var}(x) = \frac{1}{\lambda} \quad (2.10)$$

A média $E(x)$ consistente com a definição de λ . Se λ for a taxa à qual os eventos ocorrem, então $1/\lambda$ é o intervalo de tempo médio entre eventos sucessivos.

d) Distribuição Normal: A distribuição Normal descreve muitos fenômenos aleatórios que ocorrem no dia a dia, entre eles pontuações de testes, pesos, alturas, e muitos outros. A fdp da distribuição Normal é definida conforme a Equação 2.11 a seguir.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-1/2 \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.11)$$

A média e a variância são dadas pela Equação 2.12 e Equação 2.13.

$$E(x) = \mu \quad (2.12)$$

$$\text{var}(x) = \sigma^2 \quad (2.13)$$

3.1 Probabilidade Condicional

Taha (2009) afirma que a probabilidade trata de resultados aleatórios de um experimento. A conjunção de todos os resultados possíveis é denominada espaço amostral, e um subconjunto do espaço amostral é conhecido como evento. Se um evento E ocorrer m vezes em um experimento de n tentativas, então a probabilidade $P(E)$ da ocorrência do evento é definida conforme a Equação 2.14.

$$P(E) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} \quad (2.14)$$

Por definição:

$$0 \leq P(E) \leq 1 \quad (2.15)$$

Pela lei da Probabilidade Condicional: Dados os dois eventos E e F , com $P(F) > 0$, a probabilidade condicional de E dado F , $P(E|F)$ é definida como:

$$P(E|F) = \frac{P(EF)}{P(F)}, P(F) > 0 \quad (2.16)$$

Se E for um subconjunto de F (isto é, se estiver contido em F), então $P(E|F) = P(E)$.

Os dois eventos E e F são independentes se, e somente se:

$$P(E|F) = P(E) \quad (2.17)$$

No caso, a lei da probabilidade condicional se reduz a:

$$P(EF) = P(E)P(F) \quad (2.18)$$

3.2 Despacho de Ordem de Serviço Emergencial

No trabalho de Ñahuis (2013) foi apresentado um modelo matemático de programação linear inteiro misto para resolver o problema de automação do despacho dinâmico das viaturas para o atendimento das ordens de serviços nas redes de distribuição de energia elétrica. O modelo proposto buscou hierarquizar o conjunto de ordens de serviços e atribuí-las a todas as viaturas e equipes disponíveis no período de trabalho diário. O conjunto de ordens emergenciais foi analisada de acordo com os dois casos a seguir:

1°. considerando 50 % dos atendimentos do tipo emergencial, foi analisado o despacho dinâmico considerando o número de atendimentos das ocorrências de serviço maior que o número de viaturas disponíveis. Obteve-se neste caso um número de atendimentos totais que abrangeu todos os atendimentos emergenciais, minimizando os custos de não atendimento para a concessionária.

2°. considerando 50 % dos atendimentos do tipo emergencial, analisou-se o despacho dinâmico considerando o número de viaturas maior que o número de atendimentos demandados. Neste caso foram atendidas todas as ocorrências e devido ao número maior de veículos não foram gerados gastos extras para a concessionária.

A metodologia conseguiu abranger todos os atendimentos solicitados e consequentemente proporcionou a diminuição do tempo de duração das interrupções por unidade consumidora de acordo com as metas estipuladas pela ANEEL.

O desenvolvimento e a avaliação de uma ferramenta computacional visando aperfeiçoar o despacho das ocorrências emergenciais em uma concessionária de energia elétrica foi proposto por Amorim (2010). A metodologia empregada é dividida em três etapas. Na primeira é utilizada um algoritmo convencional para gerar os parâmetros das ocorrências que juntamente com o número de equipes disponíveis para o atendimento formarão os dados de entrada. Na segunda parte é utilizado um algoritmo de mineração de dados para a formação de grupos de ocorrências, considerando-se as proximidades entre as mesmas. Por fim, são definidas as sequências de atendimentos das ocorrências de cada grupo, utilizando-se um algoritmo evolutivo.

Raduan (2009) propôs uma estratégia de solução para o problema de roteirização parcialmente dinâmica para serviços de campo, visando a minimização de distância

percorrida para pedidos antecipados e minimização de tempo de espera para pedidos imediatos dado um conjunto de equipes disponíveis.

Weintraub *et al.*(2009) aborda o problema do despacho de ordem de serviço emergencial em uma concessionária de energia chilena, em que foi proposto a realização da previsão de demanda através do modelo de suavização exponencial e tem como base os dados históricos de ocorrência de emergências em determinados locais. O método de solução desenvolvido baseia-se em um algoritmo heurístico para gerar rotas de veículos, incorporando o conhecimento de demandas aleatórias que poderão vir a ocorrer. Adicionalmente, considera as prioridades de atendimento para determinar a atribuição de tarefas aos veículos. Para avaliar o sistema proposto, a qualidade dos resultados foi estimada pela comparação de duas abordagens: uma utilizando o sistema de despacho proposto e outra usando o sistema efetivo em funcionamento na unidade de emergência. Os resultados dos testes indicaram uma melhoria no tempo de resposta utilizando o sistema proposto de aproximadamente 16%.

3.3 Considerações sobre o Capítulo

Dentre as referências citadas no decorrer do capítulo, às que melhor representam os objetivos e apoiam a metodologia proposta neste estudo são as seguintes:

- I. Pillac *et al.* (2012) ilustra a partir de cenários a execução de ordens de serviço emergencial que surgem de maneira dinâmica durante a execução das rotas pelos veículos;
- II. Slater (2002) apresenta uma metodologia para geração de ordens de serviço fantasmas aplicados à serviços de comércio eletrônico;
- III. Os autores Montgomery e Runger (2014) e Taha (2008) embasam a metodologia, no âmbito da previsão baseada em probabilidades condicionais, uma vez que os autores abordam os conceitos de variáveis aleatórias e distribuições de probabilidade;
- IV. O trabalho de Weintraub (2009) que aborda o processo de despacho de serviços emergenciais em um concessionária de energia Chilena.

Desta forma, este trabalho apresenta a proposta de desenvolver uma metodologia capaz de identificar as principais variáveis que influenciam a ocorrência de ordens emergenciais, bem como o tempo de serviço agregado a cada local de ocorrência.

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE GESTÃO DE SERVIÇO

A metodologia proposta, neste trabalho, objetiva reduzir o tempo médio de serviço, que é definido como a soma do tempo de espera, o tempo de deslocamento e do tempo de execução da ordem. Devendo considerar que a ordem de serviço emergencial deve ser priorizada em relação às ordens de serviço comercial, logo, quando uma Ordem de Serviço Emergencial (OSE) ocorre, ela deve ser executada com maior urgência possível, alocando as ordens comerciais para o final da lista de execução. Para melhorar a compreensão do problema estudado foi considerado um exemplo hipotético, contendo duas rotas com cinco clientes cada uma, e atribuídos tempos de deslocamento c_{ij} e tempos de execução t_{si} para cada cliente, respectivamente. A Tabela apresenta os dados do problema de atendimento do serviço para a rota 1, e a Tabela 3.1 apresenta os dados do problema de atendimento do serviço para a rota 2. O ponto 0 equivale ao ponto de partida, ou seja, o ponto inicial da rota.

Número do Nó	Coord. X	Coord. Y	Tempo de execução t_{si} (minutos)
0	0	18	0
1	1	25	21
2	6	32	33
3	13	32	20
4	15	27	16
5	11	21	55

Tabela 3.1 – Descrição da instância considerada para rota 1.

Número do Nó	Coord. X	Coord. Y	Tempo de execução t_{si} (minutos)
0	16	18	0
1	19	27	13
2	21	32	33
3	27	26	12
4	29	22	6
5	23	23	55

Tabela 3.2 – Descrição da instância considerada para rota 2.

A partir das coordenadas de cada nó foi obtida a matriz que representa as distâncias em minutos para quaisquer relação entre dois nós pertencentes a rota 1 e a rota 2, conforme ilustra a Tabela 3.3 e a Tabela 3.4, respectivamente. A matriz de distâncias foi encontrada a partir do cálculo da distância euclidiana.

Para pontos bidimensionais $P = (p_x, p_y)$ e $Q = (q_x, q_y)$ a distância é computada

conforme a Equação 3.1. Assumindo-se que a velocidade é aproximadamente zero o deslocamento é assumido como tempo em minutos.

$$\Delta = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (3.1)$$

Índice i \ Índice j	Número do Nó					
	0	1	2	3	4	5
0	0	7	15	19	17	11
1	7	0	9	14	14	11
2	15	9	0	7	10	12
3	19	14	7	0	5	11
4	17	14	10	5	0	7
5	11	11	12	11	7	0

Tabela 3.3 – Matriz de distâncias em minutos para rota 1.

Índice i \ Índice j	Número do Nó					
	0	1	2	3	4	5
0	0	9	15	14	14	9
1	9	0	5	8	11	6
2	15	5	0	8	13	9
3	14	8	8	0	4	5
4	14	11	13	4	0	6
5	9	6	9	5	6	0

Tabela 3.4 – Matriz de distâncias em minutos para rota 2.

Neste experimento, a ordem de emergência ocorreu exatamente 2 horas após o horário de trabalho inicial (8h) das 2 equipes. No início de sua jornada, estas são responsáveis por completar todas as dez ordens comerciais. A Fig. 3.1 mostra as rotas que foram construídas para executar as dez ordens comerciais para as duas equipes de manutenção. Este cenário está representado na Tabela 3.5, com a descrição de cada equipe, o tempo de início do trabalho, o tempo estimado do percurso e o número de ordens incluídas. A estimativa final do trabalho foi calculada a partir do somatório da distância entre os nós e do tempo de serviço em cada nó.

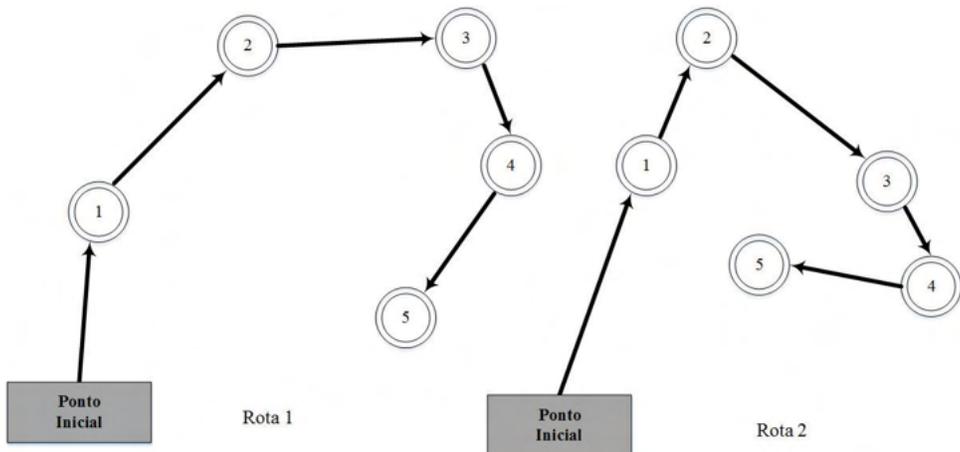


Figura 3.1 – Rotas definidas para serviços comerciais (conhecidos a priori).

Equipe	Início do trabalho	Estimativa de final do trabalho	Número de ordens de serviço
1	08:00	11:00	5
2	08:00	10:31	5

Tabela 3.5 – Carga de Trabalho de duas equipes de manutenção de acordo com o cenário.

Considerando o exemplo da Fig. 3.2, o círculo vermelho representa uma ordem emergencial (OE) chegando a um determinado período de tempo e em uma posição geográfica específica. A partir deste ponto, decidi-se qual equipe deve ser despachada para executar esse serviço.

A ordem emergencial ocorre às 09h com duração de seis minutos, percebe-se que todos os veículos (equipes de manutenção) estão em seu caminho para completar suas rotas correspondentes, conforme Fig. 3.2, lembrando que presume-se que os serviços de emergência têm precedência sobre os comerciais, logo, esta OSE pendente irá causar um atraso no tempo de chegada estimado da rota afetada. A Fig. 3.3 mostra as rotas após a inserção da OSE pendente. Pode-se notar um rearranjo de rota para a equipe 2, os círculos 2 representam as posições das equipes nas rota 1 e rota 2 no momento em que OSE surge. A tabela 3.6 apresenta a matriz de distâncias em minutos para a rota 2, incluindo os dados do nó referente a OSE.

A Fig. 3.4 apresenta o arranjo da rota 2, utilizando a metodologia que será proposta neste trabalho, ou seja, partindo do princípio que a OSE é prevista a priori e é considerada, no momento de programar as rotas visando minimizar o tempo de serviço.

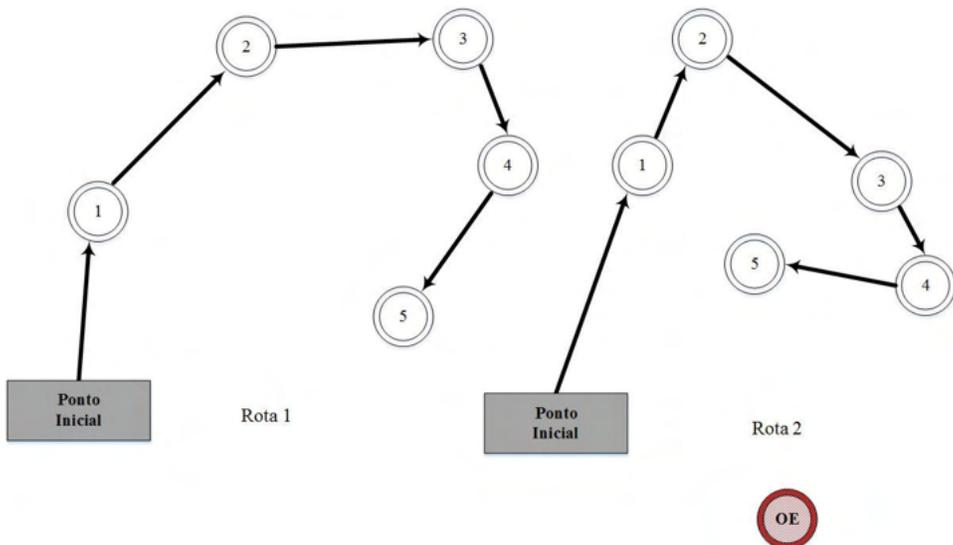


Figura 3.2 – Cenário quando uma ordem emergencial ocorre.

Distância C_{ij}	Número do Nó							
	Índice j	0	1	2	3	4	5	6
Índice i	0	0	9	15	14	14	9	9
1	9	0	5	8	11	6	16	
2	15	5	0	8	13	9	21	
3	14	8	8	0	4	5	16	
4	14	11	13	4	0	6	14	
5	9	6	9	5	6	0	12	
6	9	16	21	16	14	12	0	

Tabela 3.6 – Matriz de distâncias em minutos para a rota 2 incluindo o nó referente a OSE.

A Tabela 3.7 apresenta a seguinte comparação de duas situações distintas: no primeiro caso quando a ordem de serviço emergencial não é estimada a priori, e no segundo momento quando a OSE é prevista e alocada na programação juntamente com as ordens comerciais.

Mesmo com atraso na rota 2, o rearranjo nos serviços comerciais restantes proporcionou um menor impacto no atraso da rota. A equipe 2 mudou sua rota, afetando o tempo de chegada estimado e também alterou o número de serviços quando comparado com o cenário da Tabela 3.5. Sabendo-se que as ordens emergenciais interrompem atendimentos comerciais e tem prioridade no atendimento, este trabalho busca a minimização do tempo

de serviço das equipes, pois conforme mostrado na Tabela 3.7, no cenário em que as ordens de serviço emergenciais são estimadas *a priori*, houve uma redução no tempo de deslocamento quando comparado com o cenário onde somente as ordens de serviço comerciais eram conhecidas. O tempo de redução de 3 minutos se analisado de forma isolada não tem grande representatividade, mas se analisado de maneira conjunta com as demais rotas que são efetuadas durante todo turno de trabalho das equipes, torna-se bastante significativo, devido a soma agregada das reduções de tempo de serviço em cada rota. Pois este procedimento de alteração se repete várias vezes durante o dia.

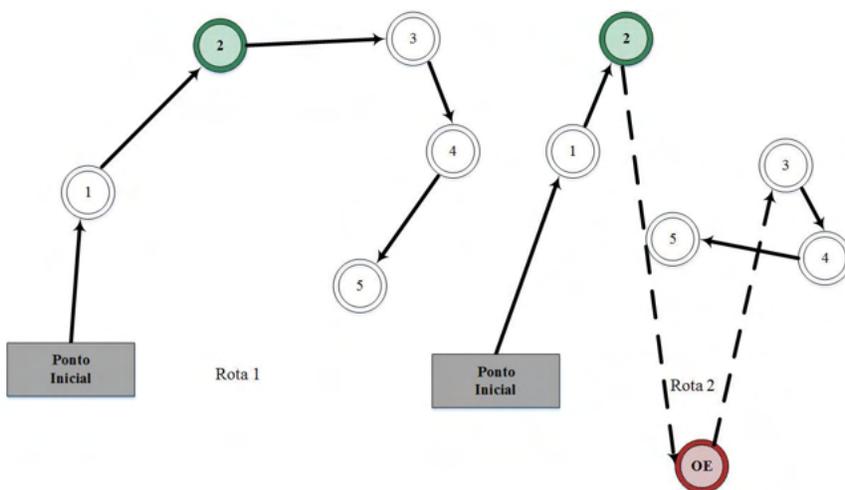


Figura 3.3 – Remanejamento da rota para atender a ordem emergencial.

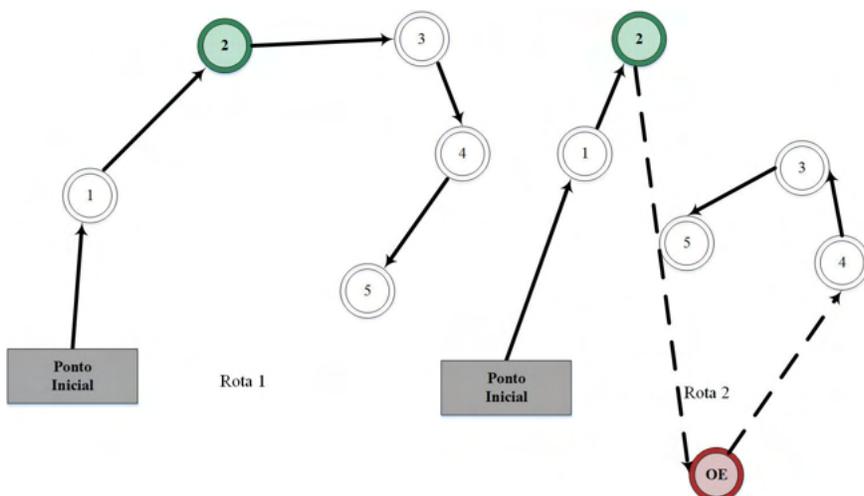


Figura 3.4 – Cenário para programação das rotas com ordens emergências conhecidas *a priori*.

Equipe	Rota	Início	Duração	Final do trabalho	Número de ordens de serviço
Rota 2 sem previsão de OSE	0-1-2-6-3-4-5	08:00	186 minutos	11:06	6
Rota 2 com previsão de OSE	0-1-2-6-4-3-5	08:00	183 minutos	11:03	6

Tabela 3.7 – Carga de Trabalho da equipe 2 de manutenção, comparando os cenários hipotéticos.

Na Figura 3.5 e na Figura 3.6 está ilustrado o caso relativo a um segundo cenário, em que uma ordem emergencial ocorre às 09h20min. A Figura 3.5 mostra a alocação da ordem emergencial de forma dinâmica durante a execução do roteamento pela equipe 2. Já a figura 3.6 apresenta como seria o roteamento se a ordem emergencial fosse prevista e alocada anteriormente ao despacho, de forma estática. Os círculos com o número 3 ilustrados nas figuras indicam a posição das equipes no momento em que a OE ocorreu.

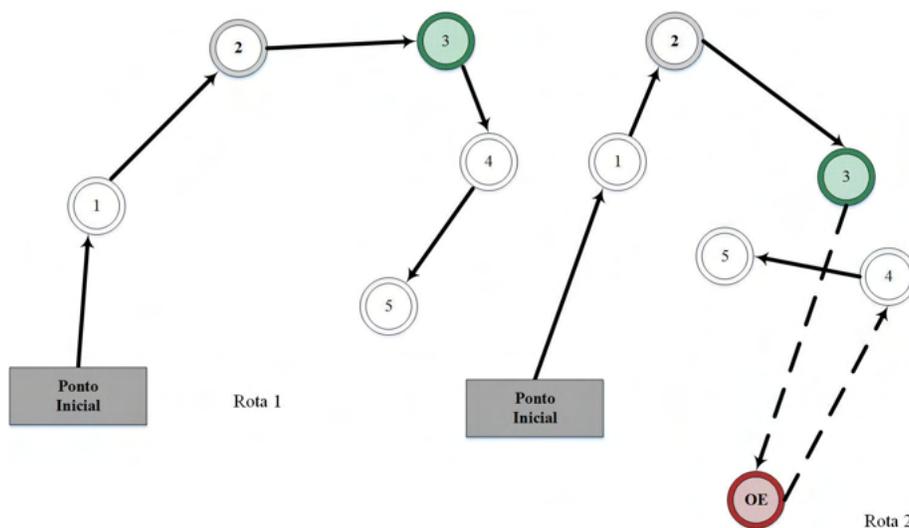


Figura 3.5 – Remanejamento da rota para atender a ordem emergencial 2.

Ainda é possível observar que na Figura 3.6 optou-se, durante a programação da rota 2 não incluir o nó 4, que representa uma ordem comercial, pois é mais vantajoso em termos de minimização do tempo de deslocamento deixar de atendê-lo. Este exemplo é inspirado em situações reais, onde neste caso o nó desagregado da rota provavelmente seria despachado para outra equipe mais próxima. Estimou-se o tempo de deslocamento para rota 2 sem a alocação da ordem emergencial, representada na Figura 3.5 de 183

minutos. Para a rota 2, com alocação da OSE de forma antecipada, estimou-se um tempo de serviço de 169 minutos. Confirmando a conjectura de que a previsão de eventos estocásticos envolvidos em um processo podem diminuir os custos agregados.

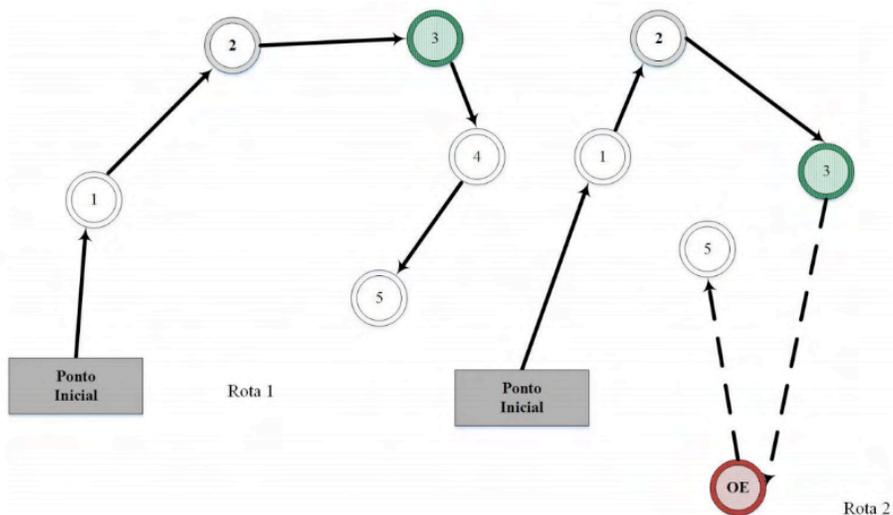


Figura 3.6 – Cenário para programação das rotas com ordens emergências conhecidas antecipadamente.

METODOLOGIA

O presente estudo é classificado do ponto de vista do seu objetivo como pesquisa explicativa, pois conforme Gil (2005), busca identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. O delineamento adotado neste estudo pode ser classificado como pesquisa experimental, pois serão gerados cenários para modelar a probabilidade de ocorrência das emergências em determinadas zonas ou locais, manipulando as variáveis para criar diferentes cenários com o intuito de analisar e validar a metodologia proposta.

A pesquisa ainda classifica-se como quantitativa, pois analisará variáveis que podem ser mensuradas em uma escala numérica. De acordo com Slater (2002), a metodologia conceitual que envolve a solução da programação e roteamento de veículos dinâmico abrange três critérios importantes: i. o problema deve ser decomposto em etapas; ii. deve ser identificado abordagens adequadas para cada fase; iii. as fases devem ser vinculadas em conjunto e os dados validados precisam ser apurados, para identificar se o resultado obtido é razoável.

Este trabalho pretende desenvolver uma metodologia que se baseia em informações e dados históricos de ocorrência de ordens de serviço emergencial, para prever sua ocorrência no futuro. A figura 4.1 ilustra a programação das rotas a partir da criação de cenários. O cenário inicial apresenta a rota ideal traçada em função dos clientes conhecidos antecipadamente (A, B, C e D), ignorando a zona prevista 1 (ZP1) e zona prevista 2 (ZP2), em que ordens de serviço emergenciais são susceptíveis de aparecer. No cenário seguinte, é realizada a programação da rota sem as potenciais ordens emergenciais, demonstrando como seria a rota caso as zonas previstas fossem consideradas (E, B, A, C e D).

Por meio do histórico de ocorrência de ordens de serviço não antecipadas, foi gerada a probabilidade de ocorrências de três ordens emergenciais (OE1, OE2, OE3). O cenário final apresenta a posição das OEs, que se encontram dentro das zonas previstas 1 e 2, e dessa forma, uma nova rota é programada (E, OE2, OE3, B, A, OE1, C e D). Vale ressaltar que a Fig. 4.1 apresenta a geração de cenários antes dos veículos executarem suas rotas, ou seja, reflete a programação das ordens de serviço antes de serem despachadas para as equipes.

A metodologia proposta neste estudo pretende desenvolver uma metodologia de previsão de serviços emergenciais para apoiar o roteamento e a programação para o PRVD. Neste sentido é relevante citar os três principais processos funcionais envolvidos neste tipo de problema, conforme Raduan (2009).

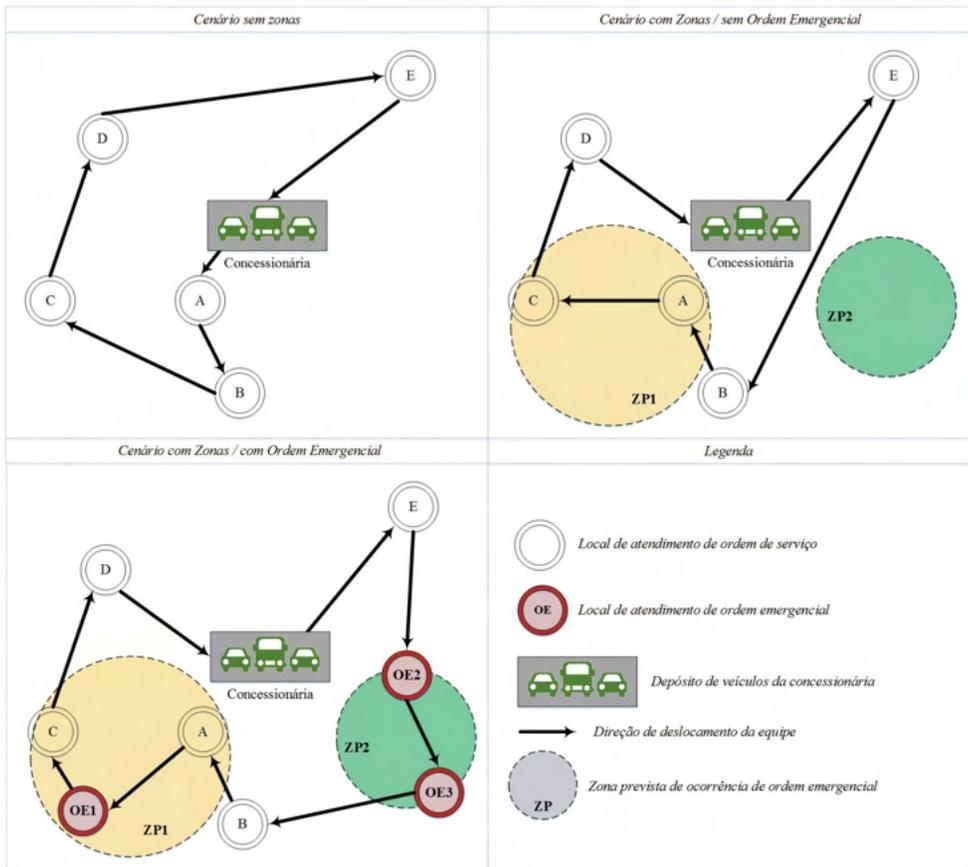


Figura 4.1 – Programação das rotas a partir de criação de cenários.

Fonte: adaptado Pillac *et al.* (2013).

I. Roteirização Estática: de posse dos pedidos antecipados, que são conhecidos antes da saída dos veículos, constroem-se Rotas Estáticas e designa-se para cada uma delas um veículo. A rota estática apresenta a sequência programada dos locais onde devem ser realizados os serviços correspondentes aos pedidos antecipados.

II. Designação Dinâmica: à medida que surgem pedidos imediatos no decorrer da jornada de trabalho dos veículos, devido sua natureza prioritária, eles devem ser encaixados nas rotas estáticas, antes dos pedidos conhecidos posteriormente, e que ainda não foram atendidos. A decisão decorrente deste processo envolve determinar qual equipe e correspondente rota deve atender o pedido emergencial, de forma que este seja atendido o mais rápido possível. No caso de haver várias equipes e diversos pedidos imediatos, a melhor decisão a ser tomada deve resultar na combinação que produza o menor tempo total de atendimento dos pedidos prioritários;

III. Roteirização Dinâmica: após a determinação da equipe que irá atender o pedido

imediate, esta equipe, quando disponível, vai se desviar de sua rota estática para atender o pedido imediato, podendo retornar a ela se não for designado para outro pedido imediato. Ao final deste processo de desvio pode ocorrer que o restante da rota estática já não mantenha as características de menor caminho resultante do processo de roteirização estática original. Neste caso, caberá um novo processo de roteirização estática a partir do último ponto atendido (pedido imediato), passando por todos os pedidos antecipados remanescentes na rota estática e finalizando na base. Por seu caráter dinâmico no tempo, denomina-se este processo de Roteirização Dinâmica. A Fig. 4.2 representa o processo dos pedidos recebidos e o despacho destes para as equipes de atendimento em uma distribuidora de energia elétrica.

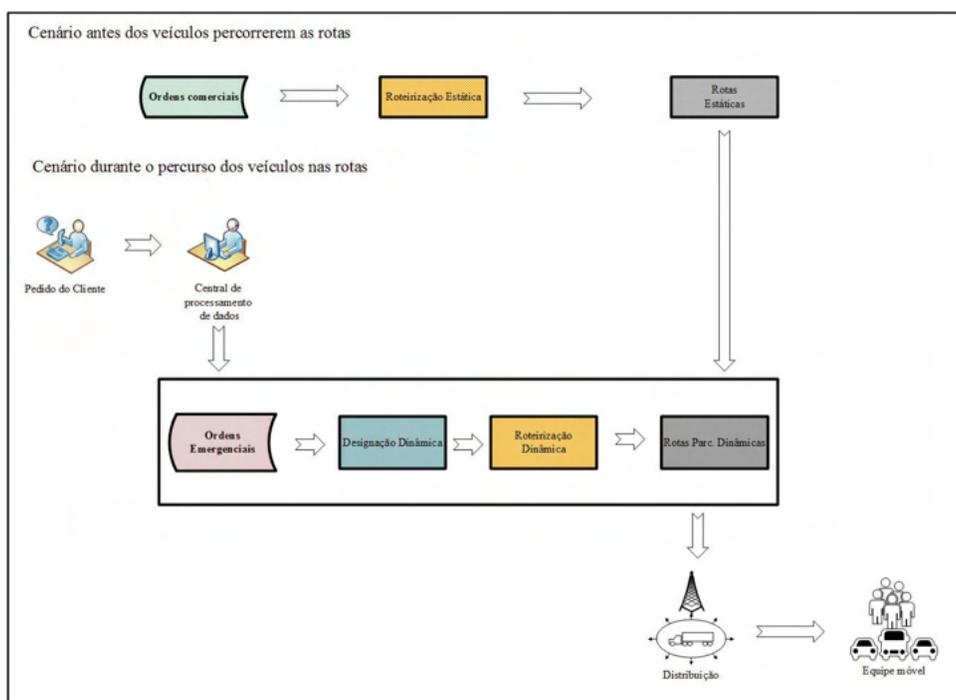


Figura 4.2 – Processo de atendimentos dos serviços em uma concessionária de energia elétrica.

Fonte: Adaptado Raduan (2009).

Buscando atingir os objetivos deste estudo, o método proposto é decomposto em sete fases conforme o fluxograma apresentado na Fig. 4.3. E cada etapa é descrita a seguir.

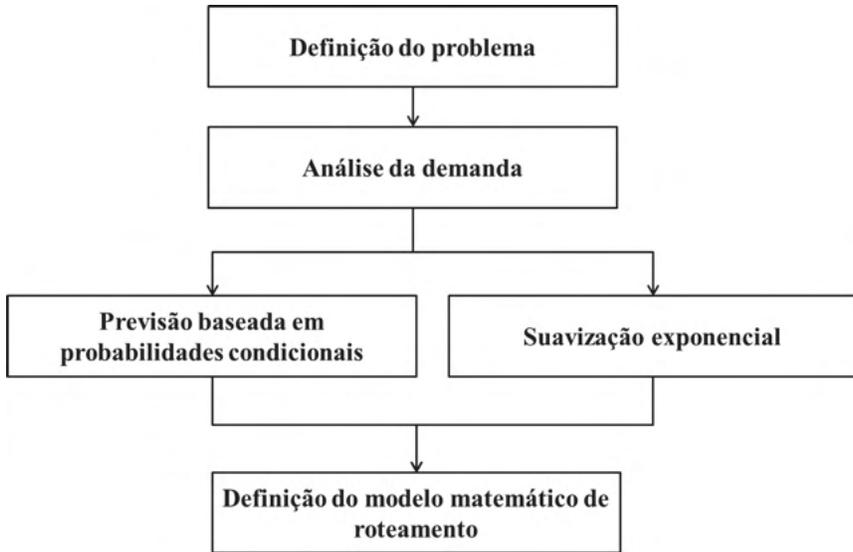


Figura 4.3 – Etapas constituintes da metodologia.

1 | DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este estudo apresenta os seguintes atributos como aqueles fundamentais a serem considerados na realização dos serviços pelas equipes de atendimento: (i) a localização do serviço, isto é, onde está a demanda de pedido do cliente; (ii) horário de ocorrência; e o (iii) tempo de atendimento. Ao mesmo tempo, assume-se que a gestão dos serviços, na forma da designação às equipes, envolve a observação do tempo de deslocamento, dada que a jornada de trabalho é composta de um conjunto de tempos de deslocamento e de um conjunto de tempos de execução dos serviços.

2 | ANÁLISE DA DEMANDA

Esta seção divide-se nas etapas a seguir:

1. Análise dos dados históricos de demanda de serviços emergenciais: Para o desenvolvimento do presente estudo inicialmente foram analisados dados históricos do período de 01 de julho de 2014 a 31 de julho de 2015. Sendo a amostra composta por 27.993 dados brutos de ocorrência de serviços emergenciais. Nestes dados brutos, aplicou-se o expurgo de dois desvios padrões da média do tempo de serviço, para eliminar dados com valores fora desta faixa. O número de ocorrências depois do expurgo totalizou 26.507 dados.

Em seguida os dados expurgados foram acumulados por hora (0 às 23h) totalizando então uma amostra de 9.408 dados. A planilha com os 9.408 dados foi utilizada para as

análises subsequentes do presente estudo. Sendo que a planilha contém as seguintes informações relacionadas a cada ocorrência emergencial: latitude e longitude, ano, mês, dia do mês, dia da semana, hora, tempo de serviço, temperatura e número de ocorrências.

2. Definição do território, área e zonas: inicialmente deve ser determinado o território geográfico a ser coberto, e cada território deve ser subdividido em áreas e zonas, em que tais subdivisões devem permitir a localização, o horário e o tipo da ocorrência emergencial. Desse modo, o responsável pela programação das rotas é capaz de definir os tipos de veículos e estradas a serem utilizados, e as respectivas velocidades alternativas. A dimensão do território foi estipulada em 4 km por metro quadrado, a partir de simulações, que buscaram identificar uma dimensão que conseguisse incorporar um número de ocorrências representativo em cada área, ou zona demarcada.

2.1 Estudo das técnicas de previsão

Com base nas informações coletadas na etapa de Análise da Demanda, será possível identificar em que momento ocorrerá a emergência, em que local e o tempo de serviço para atendê-las. Nesta fase foi possível identificar as técnicas de previsão que melhor representam os dados estudados e também foram analisadas as premissas da previsão e identificadas as variáveis aleatórias.

2.2 Técnicas de Previsão

1. Suavização exponencial - Este método estatístico de previsão baseia-se na utilização dos dados históricos a partir de uma série temporal. A série temporal consiste em uma série de observações ao longo do tempo de alguma quantidade de interesse, ou seja, de uma variável aleatória. Em seguida foi desenvolvido o modelo de geração da série temporal através da observação do padrão da série histórica. O método de suavização exponencial utiliza a seguinte fórmula conforme (HILLIER; LIEBERMAN,2004):

$$F_{t+1} = \alpha x_t + (1 - \alpha)F_t \quad (4.1)$$

onde:

t = período de tempo atual;

F_{t+1} = previsão para o novo período;

x_t = demanda no período t;

F_t = previsão para o período t;

α ($0 < \alpha < 1$) é uma constante de suavização.

Assim, a previsão é simplesmente uma soma ponderada da última observação x_t e da previsão F_t . Dessa maneira, para corrigir a tendência e a sazonalidade dos dados foram

seguidos os procedimento resumidos como:

- I. Corrigir a tendência encontrando a inclinação da reta, ou seja, quanto está aumentando ou diminuindo a cada período. Utilizando as seguintes equações:

$$S_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)(S_t + T_t) \quad (4.2)$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta) T_t \quad (4.3)$$

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1} \quad (4.4)$$

Onde:

F_{t+1} = previsão com tendência corrigida para o período t+1;

S_t = previsão inicial para o período t;

T_t = tendência para o período t;

β = constante ponderada da tendência.

O melhor valor de α e β foi estipulado a partir da minimização do erro quadrático absoluto da previsão.

- II. Identificação do período de sazonalidade realizado pela inspeção visual dos dados da série temporal.
- III. Corrigir a série temporal do efeito da sazonalidade através da divisão dos valores da série temporal pelos seus respectivos fatores sazonais;
- IV. Realizar a previsão através dos métodos de suavização exponencial com correção de tendência;
- V. Multiplicar a previsão pelos fatores sazonais incorporando a sazonalidade;
- VI. Plotar o gráfico da série temporal com os valores observados e os valores estimados;
- VII. Calcular o erro de previsão.

Optou-se por utilizar o método de suavização exponencial por que este baseia-se na análise de dados históricos de ocorrências para presumir padrões futuros. Sendo que, este método possui facilidade de aplicação e retorna resultados confiáveis a curto prazo (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000). E ainda, permite visualizar o comportamento do tempo de serviço por dia da semana e horário, de forma desagregada da localização. Este método foi utilizado porque possibilitou identificar se o tempo de serviço oriundo das ordens emergenciais apresentam padrões lineares de ocorrência, ou se devido a sua aleatoriedade proveniente da natureza estocástica do processo, necessita de métodos mais acurados de previsão.

O método de suavização foi utilizado para previsão do tempo de serviço para todos os dias da semana e todas as horas do dia, porém esta previsão foi realizada de forma desagregada da área geográfica da ocorrência e da temperatura do local.

1. Previsão baseada em probabilidades condicionais: A partir da aplicação do método de suavização exponencial pode-se identificar por meio do erro médio entre os valores de demanda real e demanda prevista de tempo de serviço, que o método por ser de caráter linear encontrou dificuldades para capturar a estocasticidade do processo de previsão. Logo, buscou-se identificar outras técnicas que retornassem a previsão a partir da análise agregada do local de ocorrência.

Inicialmente foram definidas as variáveis aleatórias e seus domínios (contínuo ou discreto). Sabe-se que cada variável aleatória é quantificada por uma Função Densidade de Probabilidade, logo, para identificar a distribuição de cada variável foram seguidos os seguintes passos, conforme Taha (2009):

- I. Resumo dos dados brutos na forma de um histograma de frequência adequado para determinar a Função Densidade de Probabilidade empírica associada às variáveis aleatórias (dia da semana, hora e temperatura);
- II. Uso de um teste de qualidade de aderência para verificar se a Função Densidade de Probabilidade amostrada provém de uma Função Densidade de Probabilidade conhecida. De acordo com Taha (2009), o teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser utilizado para verificar se uma amostra ou um conjunto de dados segue certa distribuição de interesse, logo, para fim de comparação este teste foi realizado.
- III. Conhecida a Função Densidade de Probabilidade que cada variável aleatória (X) pertence foram calculados o valor esperado $E(x)$ e o desvio-padrão (σ);
- IV. Cálculo das probabilidades a partir dos intervalos de distribuição de frequência para o tempo de serviço;
- V. Análise da dispersão do número de eventos emergenciais por área geográfica;
- VI. Distribuição da frequência por metro quadrado, e cálculo da probabilidade de ocorrência em cada área discretizada;
- VII. Cálculo das probabilidades condicionais para estimar a probabilidade de uma determinada área apresentar determinado tempo de serviço em função do dia da semana, do horário e da temperatura estimada.

Este método de previsão, agregou o tempo de serviço para todos os dias da semana e todas as horas do dia, com a estimativa da probabilidade de ocorrência em determinada área geográfica e com determinada temperatura.

3 I DEFINIÇÃO DO MODELO DE GERAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Esta seção subsidiará a técnica de previsão de demanda, o experimento aleatório neste caso consistiu-se na previsão do tempo de serviço dada uma ocorrência emergencial em determinado local. Logo, a variável que associa um número real ao resultado deste experimento aleatório representa uma variável aleatória. No presente estudo, as variáveis aleatórias foram definidas a partir da verificação da correlação existente entre as variáveis analisadas:

1. Causa do evento emergencial;
2. Latitude;
3. Longitude;
4. Ano;
5. Mês;
6. Dia do mês;
7. Dia da semana;
8. Hora;
9. Tempo de serviço;
10. Temperatura;
11. Número de ocorrências.

Foi identificado o nível de influência das variáveis em relação ao tempo de serviço. Após definir as variáveis aleatórias, foi definido o domínio de cada variável (discreto ou contínuo). Por se tratar de um experimento envolvendo variáveis aleatórias a verdadeira função densidade de probabilidade $f(x)$ é desconhecida, logo, para identificar a verdadeira distribuição uma boa análise deve ser realizada. Assim, esta análise foi feita com o uso de distribuições de frequência relativa em forma de tabela e gráficos, as distribuições obtidas desta forma, permitiram supor acerca da verdadeira distribuição de probabilidade associada a cada variável aleatória.

Neste contexto, o conhecimento da distribuição de probabilidade é necessária para quantificar cada variável aleatória. Neste estudo, cada variável foi analisada de maneira independente das demais, e dessa maneira, foi considerado o conceito de probabilidade condicional para estimar a probabilidade de ocorrência de um serviço emergencial em determinado local.

4 | DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE ROTEAMENTO

Este trabalho busca definir o problema da gestão dos atendimentos a partir da consideração do problema de roteamento de veículos, com o objetivo de minimizar os tempos de deslocamento entre os atendimentos. Deste modo, o modelo matemático adequado ao presente estudo possui seus parâmetros diretamente relacionados aos tempos de atendimento e aos tempos das rotas. Portanto, é necessária uma sequência de alterações na representação e significado das variáveis contidas na formulação mais usada do PRV; a sugerida por Fisher e Jaikumar (1981) e Miller *et al.*(1960). A Tabela 4.1 apresenta a definição das variáveis.

Conjunto	Descrição
V_s :	Conjunto dos nós de saída (depósitos)
V_c :	Conjunto dos nós que correspondem aos clientes
V_i :	Conjunto dos nós terminais de cada rota, criados apenas para estimar o tempo total de cada rota
V_f :	Conjunto de nós fantasmas V
:	$V = V_s \cup V_c \cup V_i \cup V_f$
E :	Conjunto dos veículos

Parâmetro	Descrição
m :	Número total de veículos disponíveis
n :	Total de nós (clientes)
T_i :	Tempo máximo para cada rota
M :	Um número grande, tipicamente 10^9
C_{ij} :	Tempo de percurso da rota de i ao j
CN_i :	Custo do nó i R\$ / minuto
TS_i :	Tempo de serviço realizado em cada nó i
JC_j :	Janela de tempo de chegada no nó j
JP_j :	Janela de tempo de partida no nó j

Variável	Tipo / Descrição
u_i :	Variável que define a ordem do nó i estará na rota
t_i :	Tempo de chegada do nó i
x_{ijk} :	Assume o valor 1 quando o veículo k visita o nó j após o nó i , e 0 caso contrário
y_{ik} :	Assume o valor 1 quando o nó i pertence à rota do veículo k , e 0 caso contrário

Tabela 4.1 – Descrição dos dados e variáveis do modelo proposto.

A função objetivo, Equação 4.5, minimiza a soma dos tempos de chegada e o custo do tempo de serviço, com o intuito de aumentar a produtividade das equipes e postergar

serviços com tempos maiores. A Equação 4.6 garante que todos os nós estarão vinculados a somente um veículo. As restrições 4.7 e 4.8 obrigam que exista apenas uma ligação de chegada e uma ligação de saída de cada nó, sabendo que as restrições 4.9 não permitem que exista uma conexão envolvendo o mesmo nó como origem e destino. A equação 4.10 garante que todos os veículos estarão vinculados a somente um nó de saída (depósito). Enquanto que a equação 4.11 garante que todos os veículos estarão vinculados a somente um nó terminal. As restrições 4.12 não permitem que os nós terminais estejam em outra posição que não seja a última em cada rota. A eliminação de *subtours* é garantida pelas restrições 4.13 a 4.15, onde *subtours* consistem em subpartições de uma determinada rota.

A Equação 4.16 apresenta a restrição de Janela de tempo de chegada no nó fantasma. A Equação 4.17 apresenta a restrição de Janela de tempo de partida do nó fantasma. Nas restrições 4.18 e 4.19, há a definição do tempo de chegada em cada nó com o devido acoplamento com as variáveis x_{ijk} , sendo que os tempos de chegada nos nós terminais correspondem aos tempos de rota e são os limites máximos que não podem extrapolar T_p conforme a restrição 4.20. O domínio das variáveis x_{ijk} , y_{ik} , u_i e t_i é definido segundo as restrições 4.21 e 4.22 4.23. Desse modo, as equações descritas são apresentadas no modelo matemático a seguir. A variável t_j é definida como o tempo de chegada no nó anterior a j na sequência de atendimento, acrescido do tempo de serviço do nó anterior e também do tempo de deslocamento do nó anterior até o nó j . Chama-se o nó anterior de i e identifica-se o tempo de deslocamento entre eles como C_{ij} . O tempo de chegada no nó anterior é definido como t_i e o tempo de serviço no nó i é chamado de TS_i . Dessa forma, calcula-se o tempo t_j , como sendo: $t_j = t_i + TS_i + c_{ij}$

$$\min \sum_{i \in V} CN_i t_i \quad (4.5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k \in E} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \quad (4.6)$$

$$\sum_{j \in V, j \neq i} x_{ijk} = y_{ik} \quad \forall i \in V, \forall k \in E \quad (4.7)$$

$$\sum_{j \in V, j \neq i} x_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \in V, \forall k \in E \quad (4.8)$$

$$x_{iik} = 0, \quad \forall i \in V, \forall k \in E \quad (4.9)$$

$$\sum_{i \in V_s} y_{ik} = 1, \quad \forall k \in E \quad (4.10)$$

$$\sum_{i \in V_t} y_{ik} = 1, \quad \forall k \in E \quad (4.11)$$

$$\sum_{j \in V_c \cup V_t} x_{ijk} = 0, \quad \forall i \in V_t, \forall k \in E \quad (4.12)$$

$$u_i = 1, \forall i \in V_s \quad (4.13)$$

$$2 \leq u_i \leq |V|, \quad \forall i \in V \setminus V_s \quad (4.14)$$

$$u_i - u_j + 1 \leq (|V| - 1)(1 - x_{ijk}), \quad \forall i, j \in V \setminus V_s \quad (4.15)$$

$$JC_j \leq t_j \quad \forall j \in V_f \quad (4.16)$$

$$JP_j \leq t_j + TS_i \quad \forall j \in V_f \quad (4.17)$$

$$t_i = 0, \quad \forall i \in V_s \quad (4.18)$$

$$t_j \geq t_i + TS_i + C_{ij} - (1 - x_{ijk}).M, \quad \forall i \in V, \forall k \in E, \forall j \in V \setminus V_s \quad (4.19)$$

$$t_i \leq T_i \quad \forall i \in V_t \quad (4.20)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in E \quad (4.21)$$

$$t_i \geq 0, \quad \forall i \in V \quad (4.22)$$

$$u_i \in \mathbb{Z}, \quad \forall i \in V \quad (4.23)$$

Os métodos de previsão aplicados neste estudo, principalmente o método de previsão baseado em probabilidades condicionais, objetivam auxiliar na definição dos conjunto de nós fantasma (V_f), no tempo de serviço (TS_i) e nas janelas de tempo de chegada (JC_i) e de partida (JP_j). A probabilidade de ocorrência de uma ordem emergencial em determinada área geografica influenciará na passagem do roteamento por este local, introduzindo desta forma um nó fantasma na região com maior probabilidade de ocorrência. Sabe-se que quanto maior o acumulo de ordens de serviço em determinado local, maior será a probabilidade de que um serviço emergencial venha a ocorrer neste local. Já o tempo de serviço realizado em cada nó poderá ser previsto a partir da probabilidade agregada por dia da semana e horário, uma vez que cada dia e horário tem atribuido uma probabilidade de ocorrência de determinado tempo de serviço. As janelas de tempo de chegada e saída dos nós fantasmas serão estipuladas a partir do conhecimento do tempo de serviço de cada nó, principalmente da estimativa de tempo de serviço atribuido aos nós fantasmas.

Dessa maneira, a metodologia proposta auxiliará no problema do despacho de serviços emergenciais, bem como no roteamento de veículos, baseando-se na entrada de dados antecipada, pois a aleatoriedade do processo é convertida em estimativas, por meio do conhecimento prévio da probabilidade de ocorrência de cada variável aleatória que promove o caráter estocástico ao processo de roteamento. A Fig 4.4 apresenta um exemplo de roteamento de veículos com a agregação da metodologia baseada em probabilidades condicionais.

Dado três eventos E (O tempo de serviço estar no intervalo de 0,51 horas e 1,18 horas para um segunda-feira no horário das 08:00:01 às 09:00), evento F (Temperatura aproximadamente 19°C) e evento G (Ordem emergencial ocorrer na área de índice coordenadas $x = 21$ e $y = 11$). Sabendo que a equipe inicia seu turno às 08h da manhã e a ordem com índice de referência 6 da Fig. 4.4 representa uma ordem emergencial, pertencente ao conjunto de nós fantasmas V_f cuja probabilidade de ocorrência foi estimada a partir dos eventos E, F e G, onde as probabilidades são respectivamente 0,5, 0,7 e 0,8. A probabilidade condicional estimada para o nó 6 representa 0,28. Logo, sabe-se antes do despacho das equipes para o roteamento que na área representada pelas coordenadas $x = 21$ m e $y = 11$ m existe uma probabilidade de 28 % que ocorra uma ordem emergencial neste local. Sendo assim, o nó referente a esta ordem foi inserida na rota antes do início do roteamento, e as janelas de tempo de chegada e saída são estimadas a partir do modelo matemático descrito nesta seção, como sendo:

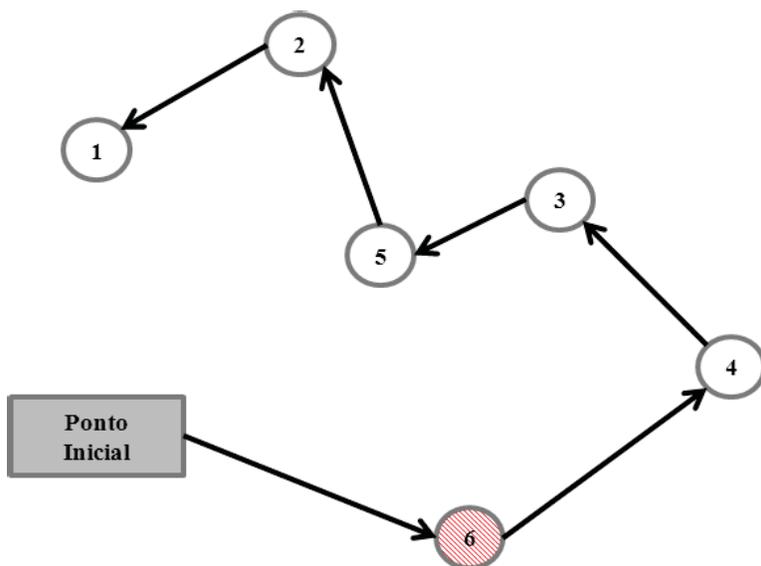


Figura 4.4 – Programação das rotas com auxílio da metodologia baseada em probabilidades condicionais.

$$JC_i \leq 9 \quad (4.24)$$

$$JP_j \geq 39 \quad (4.25)$$

A Tabela 4.2 apresenta os dados do problema de atendimento do serviço para a rota da Fig. 4.4 .

Número do Nó	Coord. X	Coord. Y	Tempo de serviço t_{si} (minutos)
0	16	18	0
1	19	27	13
2	21	32	33
3	27	26	12
4	29	22	6
5	23	23	55
6	21	11	30

Tabela 4.2 – Descrição da instância considerada.

A partir das coordenadas de cada nó foi obtida a matriz que representa as distâncias em minutos para quaisquer relação entre dois nós pertencentes a rota observada, conforme ilustra a Tabela 4.3.

Distância C_{ij} Índice j	Número do Nó						
	0	1	2	3	4	5	6
Índice i 0	0	9	15	14	14	9	9
1	9	0	5	8	11	6	16
2	15	5	0	8	13	9	21
3	14	8	8	0	4	5	16
4	14	11	13	4	0	6	14
5	9	6	9	5	6	0	12
6	9	16	21	16	14	12	0

Tabela 4.3 – Matriz de distâncias em minutos para a rota considerada na Fig. 4.4.

Para a rota presente na Fig.4.4 o tempo de serviço total que inclui o tempo de serviço (149 minutos) e o tempo de deslocamento (46 minutos) foi de 195 minutos. Logo, supondo que a equipe iniciou o atendimento dos serviços às 8:00 horas da manhã irá terminar de atender todos os nós (clientes) às 11:15 da manhã. Assim, o tomador de decisão possui informações importantes de tempo de serviço para otimizar o despacho das ordens de serviço para as equipes durante sua jornada de trabalho.

RESULTADOS

1 | PREMISSAS DA PREVISÃO E VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

A definição de quais variáveis influenciam de forma significativa a ocorrência de uma ordem de serviço emergencial foi realizada a partir da análise de correlação entre as seguintes variáveis:

1. Causa do evento emergencial: se o a ocorrência foi referente ao atuador, autótrafo, capacitor Série, capacitor Shunt, chave a ar, chave Faca LB, chave Basculante, chave repetidora fusível, chave SF6, faca, disjuntor, fusível, fusível LB, religador, óleo, seccionadora LB FC, seccionizador e trafo Elevador, trafo Rebaixador;
2. Latitude;
3. Longitude;
4. Ano: 2014 e 2015;
5. Mês: 1 a 12;
6. Dia do mês: 1 a 30(31);
7. Dia da semana: domingo, segunda-feira, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira, sexta-feira e sábado;
8. Hora: 0 às 23 horas;
9. Tempo de serviço: média do tempo de serviço por dia da semana e horário;
10. Temperatura;
11. Número de ocorrências: acumulado do número de ocorrências por dia da semana e horário.

Para testar se os dados caracterizavam-se como paramétricos (seguem a distribuição normal) ou não paramétricos (não seguem a distribuição normal) foi aplicado o teste de Lilliefors, cujo resultado obtido a um nível de significância de 5 % representou um p-valor = 0,001 e h=1, ou seja, rejeitou-se a hipótese nula de que os dados seguem a distribuição normal. Foi possível observar que as variáveis 9 e a variável 11 apresentam coeficientes de correlação (r) = 0,872 o que demonstra correlação forte e positiva, a medida que o número de ocorrências aumenta o tempo de serviço também cresce. As variáveis 4 e 5 apresentaram um coeficiente de correlação $r = 0,823$, o que também representa uma correlação negativa forte. Já as variáveis 8 e 9 apresenta $r = 0,20$, que também demonstra uma correlação positiva, porém fraca.

Quanto as demais variáveis que influenciam o tempo de serviço podem-se citar as variáveis 8 e 10, 8 e 11, 10 e 11, cujos coeficientes de correlação (r) são respectivamente

0,25, 0,346 e 0,22. Para os demais coeficientes que apresentaram valores zero ou menores que zero, é possível afirmar que não existe associação entre as variáveis. A Fig. 5.1 apresenta a Matriz de correlações entre as variáveis analisadas.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	-0,159	-0,033	0,036	0,033	-0,002	-0,028	0,014	-0,015	-0,024
3	-0,159	1	0,019	-0,023	-0,027	-0,035	-0,004	-0,041	0,002	-0,037
4	-0,033	0,019	1	-0,823	-0,011	0,002	0,000	-0,042	0,033	-0,039
5	0,036	-0,023	-0,823	1	0,012	-0,005	0,000	0,049	-0,129	0,046
6	0,033	-0,027	-0,011	0,012	1	0,010	0,000	-0,005	-0,043	-0,002
7	-0,002	-0,035	0,002	-0,005	0,010	1	0,000	0,034	-0,050	0,030
8	-0,028	-0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,200	0,254	0,346
9	0,014	-0,041	-0,042	0,049	-0,005	0,034	0,200	1	0,167	0,872
10	-0,015	0,002	0,033	-0,129	-0,043	-0,050	0,254	0,167	1	0,216
11	-0,024	-0,037	-0,039	0,046	-0,002	0,030	0,346	0,872	0,216	1

Figura 5.1 – Matriz de correlação entre as variáveis analisadas.

A Fig. 5.2 apresenta o diagrama de dispersão para as variáveis Tempo de serviço e Número de eventos.

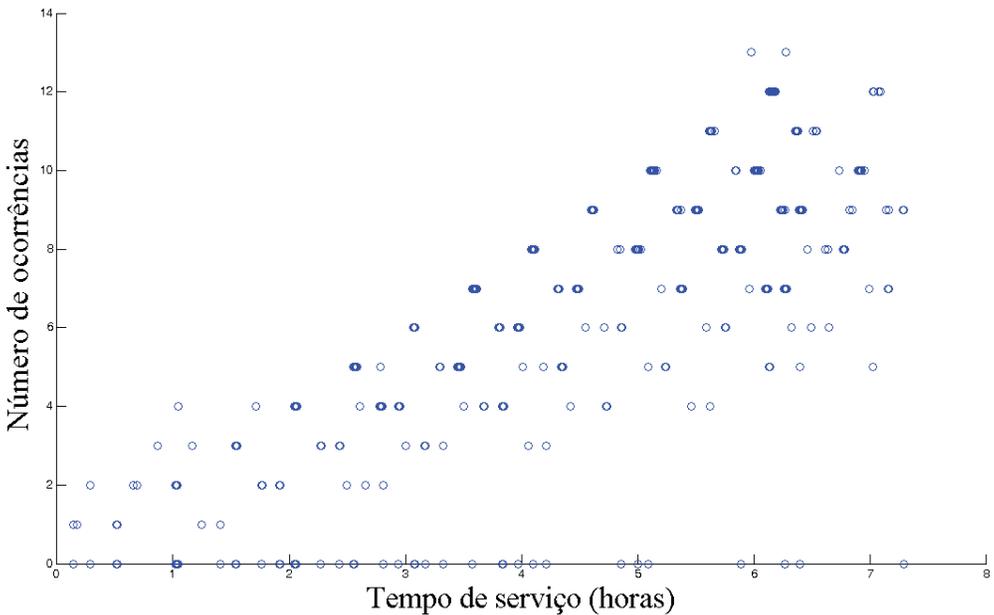


Figura 5.2 – Diagrama de dispersão para as variáveis Tempo de serviço e Número de eventos.

Conhecidas as principais informações que influenciam a ocorrência e o tempo de serviço dos eventos aleatórios definiu-se as variáveis aleatórias:

v1: indica qual o número de ocorrências em cada local discretizado da área analisada.

Domínio da variável consiste no conjunto dos números Inteiros $(0, \infty)$.

v2: indica qual é o tempo de serviço para um determinado horário e para um determinado dia da semana. Domínio consiste no conjunto dos números Reais positivos $(0, \infty)$.

v3: aponta qual é a temperatura no momento do evento. Domínio da variável consiste no conjunto dos valores entre $(\min(t), \max(t))$, nos quais $\min(t)$ representa o menor valor observado de temperatura e $\max(t)$ representa o maior valor observado de temperatura dos dados em análise, ou ainda, o conjunto dos números Reais $R (-\infty, \infty)$.

2 | TÉCNICAS DE PREVISÃO

Suavização Exponencial: Primeiramente foram estratificados os tempos de serviço para os dias da semana (segunda, terça, quarta, quinta, sexta, sábado e domingo) e por hora (0 às 23 horas). Em seguida foi verificada a variabilidade dos dados em relação à média a partir do cálculo do Coeficiente de Variação (CV) de cada horário do dia analisado. As constantes de suavização de tendência (α) e de sazonalidade (β) foram obtidas com o auxílio do *software* excel buscando a minimização do erro absoluto médio dos desvios. Os dados da Tabela 5.1 apresentam o coeficiente de variação para todas as horas do dia de uma segunda-feira típica.

Hora	Coeficiente de variação
0	0,695
1	0,705
2	0,702
3	0,669
4	0,706
5	0,802
6	0,740
7	0,751
8	0,580
9	0,465
10	0,561
11	0,544
12	0,660
13	0,477
14	0,499

15	0,452
16	0,510
17	0,519
18	0,509
19	0,571
20	0,567
21	0,754
22	0,840
23	0,943

Tabela 5.1 – Coeficiente de variação.

A partir da Tabela 5.1 observou-se que não houve horários com $CV > 1$, onde todos apresentaram pequena variabilidade em relação a média do tempo de serviço para cada hora. Em um segundo momento os dados de histórico de um ano de ocorrências (26.507 ordens emergenciais) foram divididos em dois grupos para análise, 70% dos valores disponíveis constituíram o grupo de amostra, totalizando 18.554 dados e os 30% restantes dos dados formaram o grupo de teste, com cerca de 7.952 dados. O grupo de amostra foi utilizado para gerar a equação de suavização, e o grupo de teste foi utilizado para comparar os valores reais de tempo de serviço por hora com os valores obtidos através da previsão. A Fig. 5.3 apresenta a série temporal da segunda-feira analisada com as médias de tempo de serviço por horário, foram analisadas 1.249 ordens emergenciais que ocorreram às segundas-feiras. A média absoluta dos desvios neste caso foi igual a 1,45.

Os gráficos dos tempos de serviço dos demais dias da semana (domingo, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira, sexta-feira e sábado) estão presentes nos respectivos apêndices (Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C, Apêndice D e Apêndice F).

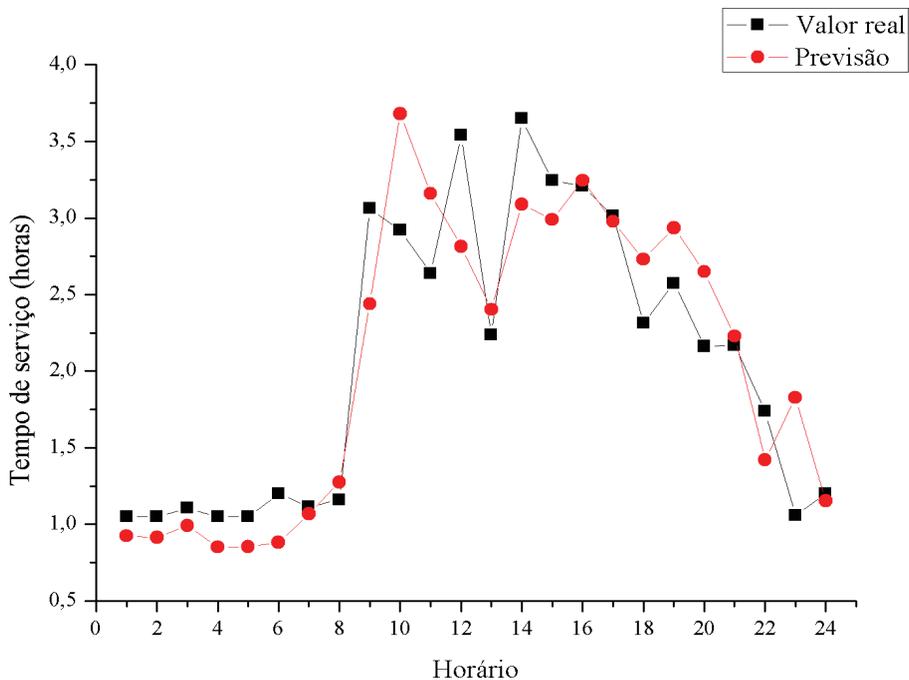


Figura 5.3 – Série temporal de todas as horas de um domingo.

1. Previsão baseada em Probabilidades Condicionais

Este tópico descreve as etapas para a realização da previsão do tempo de serviço para ordens emergenciais baseada em probabilidades posteriores. Primeiramente os dados foram analisados por meio de gráficos, a Fig. 5.4 mostra o comportamento da amostra em relação ao tempo de serviço médio, com média 1,878 horas e desvio-padrão 1,49. Já a Fig. 5.5 apresenta a distribuição das ordens emergenciais por tempo de serviço.

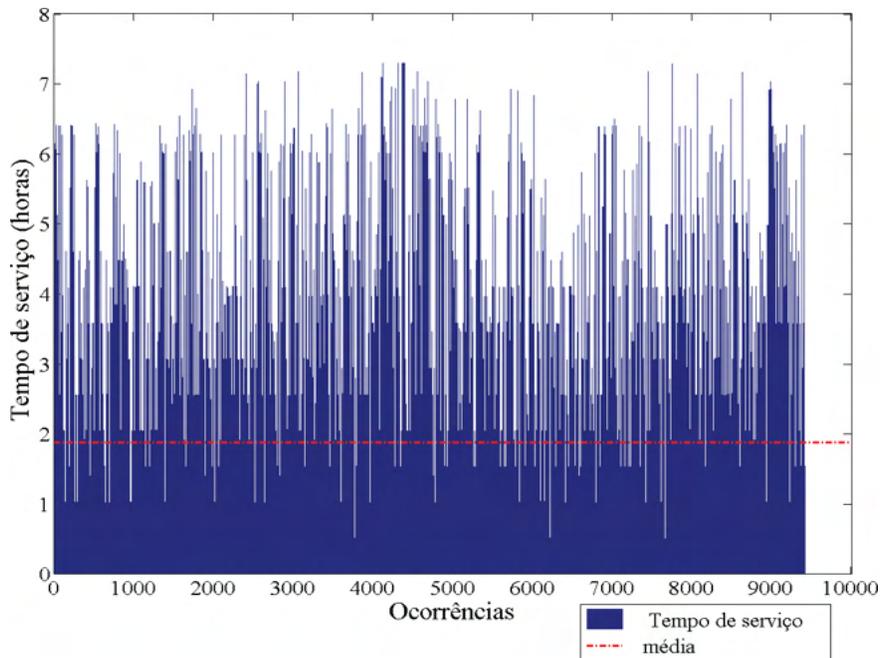


Figura 5.4 – Tempo de serviço para toda a amostra.

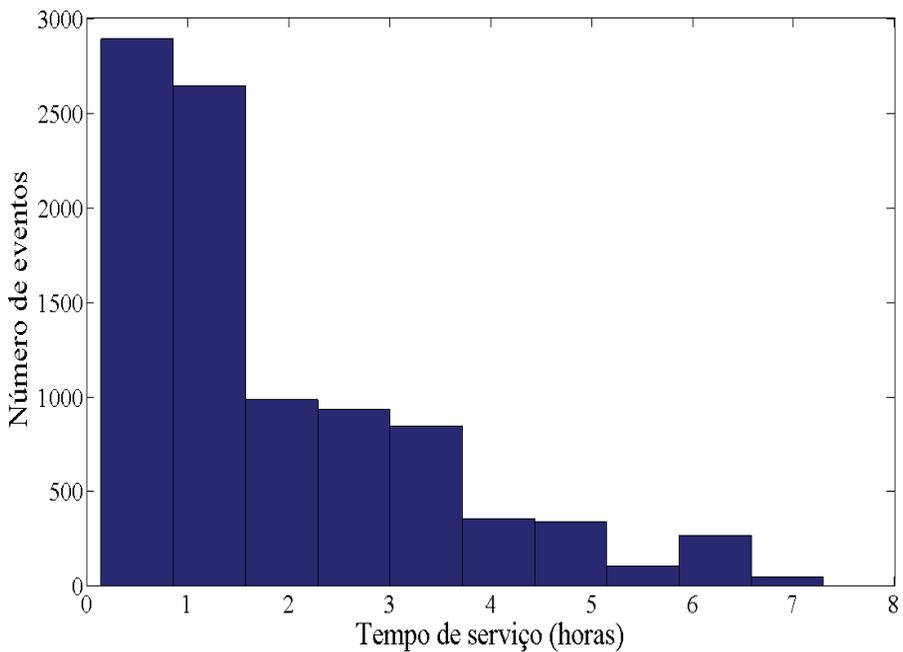


Figura 5.5 – Histograma de distribuição do tempo de serviço para toda a amostra.

Em seguida foi selecionado o dia da semana e o horário de interesse. A Tabela

5.2 contém os tempos de serviço referentes aos eventos emergencias de uma segunda-feira típica no intervalo de hora (00:01 à 01:00). A Fig. 5.6 apresenta a curva típica da distribuição do tempo de serviço em cada horário de uma segunda-feira. Na Etapa 1 de desenvolvimento do estudo os dados brutos de tempo de serviço foram resumidos na forma de um histograma de frequências. A Tabela 5.3 apresenta o Histograma de Frequências para uma segunda-feira típica, onde ocorreram 13 eventos à meia-noite.

Evento	Tempo de serviço (horas)
1	0,5109
2	3,8413
3	2,5622
4	0,5109
5	0,5109
6	1,9168
7	7,2908
8	0,5109
9	0,5109
10	1,5404
11	0,5109
12	0,5109
13	1,0295

Tabela 5.2 – Tempo de serviço pra os treze eventos de uma segunda-feira típica.

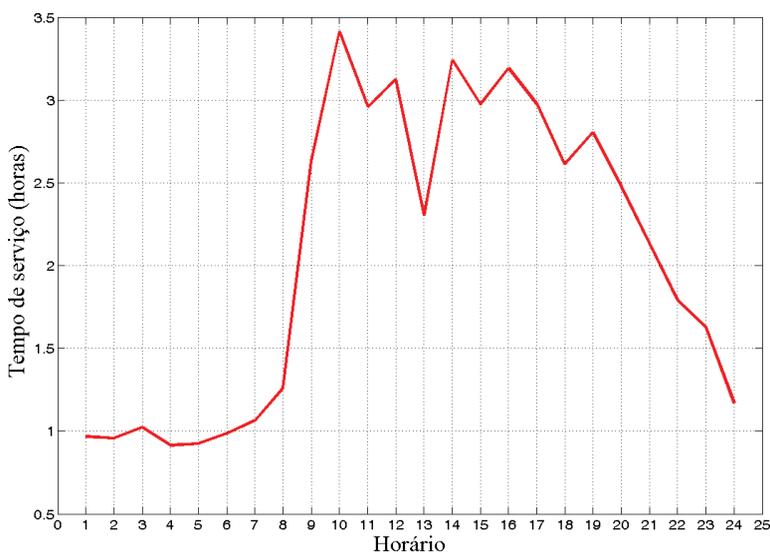


Figura 5.6 – Tempo médio de serviço por horário de uma segunda-feira.

Núm. de classes	Intervalo da classe	Freq. absoluta	Freq. relativa	Freq. acumulada
1	(0,5109 a 1,1889)	8	0,615	0,615
2	(1,1889 a 1,8669)	1	0,077	0,692
3	(1,8669 a 2,5449)	1	0,077	0,769
4	(2,5449 a 3,2229)	1	0,077	0,846
5	(3,2229 a 3,9009)	1	0,077	0,923
6	(3,9009 a 4,5788)	0	0,000	0,923
7	(4,5788 a 5,2568)	0	0,000	0,923
8	(5,2568 a 5,9348)	0	0,000	0,923
9	(5,9348 a 6,6128)	0	0,000	0,923
10	(6,61281 a 7,2908)	1	0,077	1,000

Tabela 5.3 – Resumo da Informação do Histograma.

Os valores de Frequência Relativa e Frequência Acumulada, conforme exposto na Tabela 5.3 fornecem as equivalências da Função Densidade de Probabilidade (do inglês *Probability Density Function - pdf*) e a Função Distribuição Acumulada (do inglês *Cumulative Distribution Function - CDF*) para o tempo de serviço da Tabela 5.2. A Fig. 5.7 mostra a PDF e a CDF para os dados em estudo.

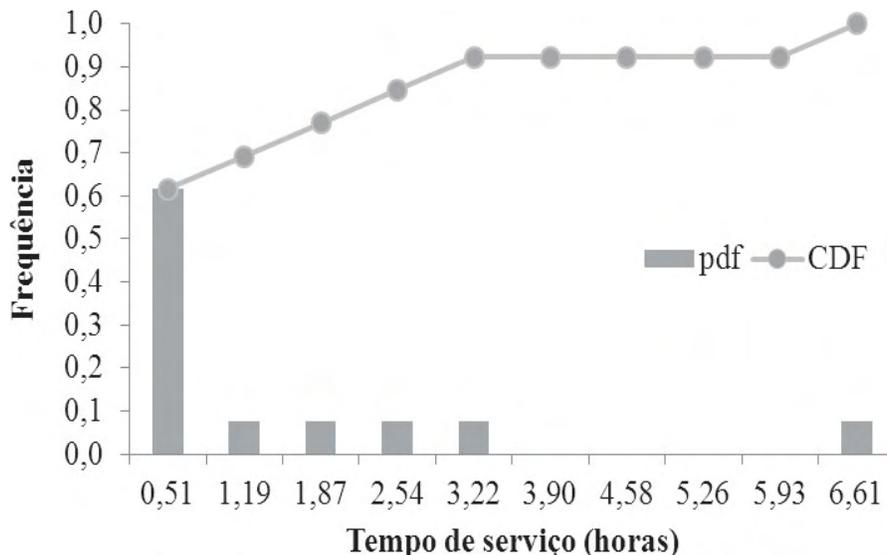


Figura 5.7 – CDF de uma distribuição empírica.

Na Etapa 2 foi realizado o Teste de qualidade da aderência, que avaliou se a amostra usada para determinar a distribuição empírica provem de uma distribuição teórica específica. A partir do gráfico mostrado na Fig. 5.7 pode-se observar que a distribuição

exponencial fornece um ajuste razoável para os dados. A Fig. 5.8 mostra o resultado do teste de aderência. Uma vez que o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou um *p-value* maior que 0,05 pode-se admitir que os dados tem distribuição exponencial, a 5% de significância. Os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do software R.

```
> tempo
[1] 0.5109 3.8413 2.5622 0.5109 0.5109 1.9168 7.2908 0.5109 0.5109 1.5404
[11] 0.5109 0.5109 1.0295

> summary(tempo)
Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
0.5109  0.5109  0.5109  1.6740  1.9170  7.2910
> sd(tempo)
[1] 1.97898
> shapiro.test(tempo)

Shapiro-wilk normality test

data:  tempo
W = 0.67116, p-value = 0.0002899

> ks.test(tempo, "pexp", 0.5975)

One-sample kolmogorov-Smirnov test

data:  tempo
D = 0.27539, p-value = 0.2777
alternative hypothesis: two-sided
```

Figura 5.8 – Relatório de informações de Testes.

Os dados da Tabela 5.4 mostram as probabilidades de ocorrência para a variável aleatória tempo de serviço. As probabilidades foram calculadas a partir da curva ajustada de distribuição exponencial teórica.

Intervalo de cálculo da Probabilidade	Valor)	Percentual(%)
$P(0,5109 \leq x < 1,1889)$	0,2438936	24,4
$P(1,1889 \leq x < 1,8669)$	0,1634835	16,3
$P(1,8669 \leq x < 2,5449)$	0,1095841	11,0
$P(2,5449 \leq x < 3,2229)$	0,07345493	7,3
$P(3,2229 \leq x < 3,9009)$	0,04855706	4,9
$P(3,9009 \leq x < 4,5788)$	0,03237916	3,2
$P(4,5788 \leq x < 5,2568)$	0,02159776	2,2
$P(5,2568 \leq x < 5,9348)$	0,01440369	1,4
$P(5,9348 \leq x < 6,6128)$	0,009605918	1,0
$P(6,6128 \leq x < 7,2908)$	0,006406252 7	0,6

Tabela 5.4 – Tempo de serviço em função de diferentes níveis de probabilidade de ocorrência.

Em um segundo momento, foi realizado as análises referentes a variável aleatória temperatura. A Fig.5.9 apresenta o histograma de Temperatura que revela que a temperatura para amostra em estudo varia de 5°C a 40°C, com média de 22°C e desvio-padrão de 6,3.

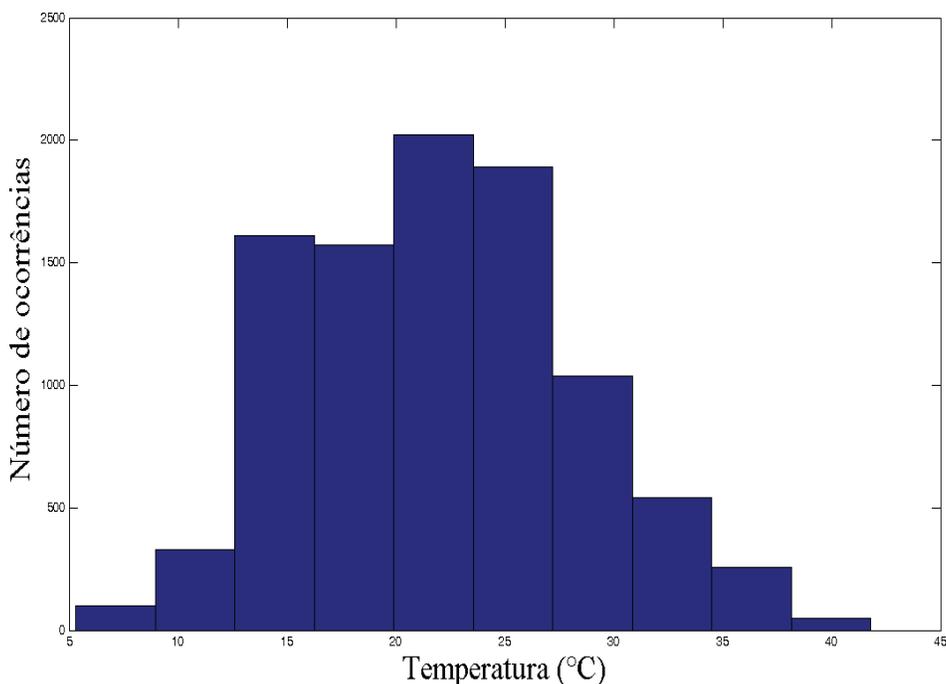


Figura 5.9 – Histograma temperatura.

A partir da visualização da Fig. 5.10 é possível identificar que os dados tem uma

distribuição de probabilidade semelhante a normal padrão, porém o resultado do teste de Lilliefors apresentou $h=1$, logo rejeita-se a hipótese de normalidade dos dados. Assim, foi utilizado o procedimento desenvolvido por Box-Cox (1964) que produz uma transformação da variável resposta (Y) tal que as pressuposições como homocedasticidade e normalidade do modelo estatístico da análise de variação sejam simultaneamente satisfeitas. O método Box-Cox transforma os dados não normalmente distribuídos para um conjunto de dados que tem distribuição aproximadamente normal. A Fig. 5.11 apresenta o histograma de Temperatura com distribuição aproximadamente normal, média $16,7^{\circ}\text{C}$ e desvio-padrão de 4,62.

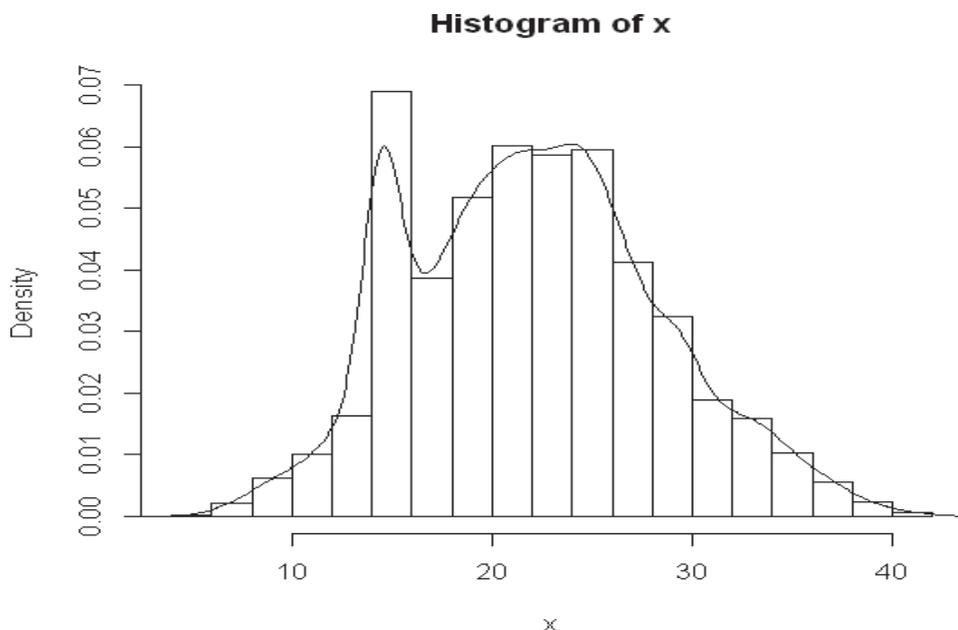


Figura 5.10 – Histograma densidade de probabilidade.

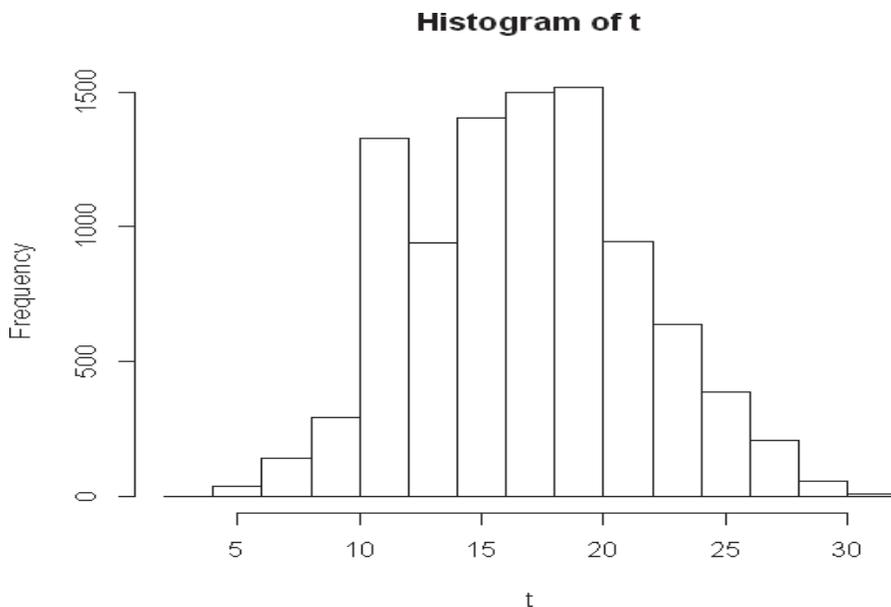


Figura 5.11 – Histograma temperatura com distribuição aproximadamente normal.

A Fig. 5.12 mostra a pdf e a CDF para os dados transformados de temperatura. É possível verificar que a distribuição empírica apresenta semelhanças a distribuição normal.

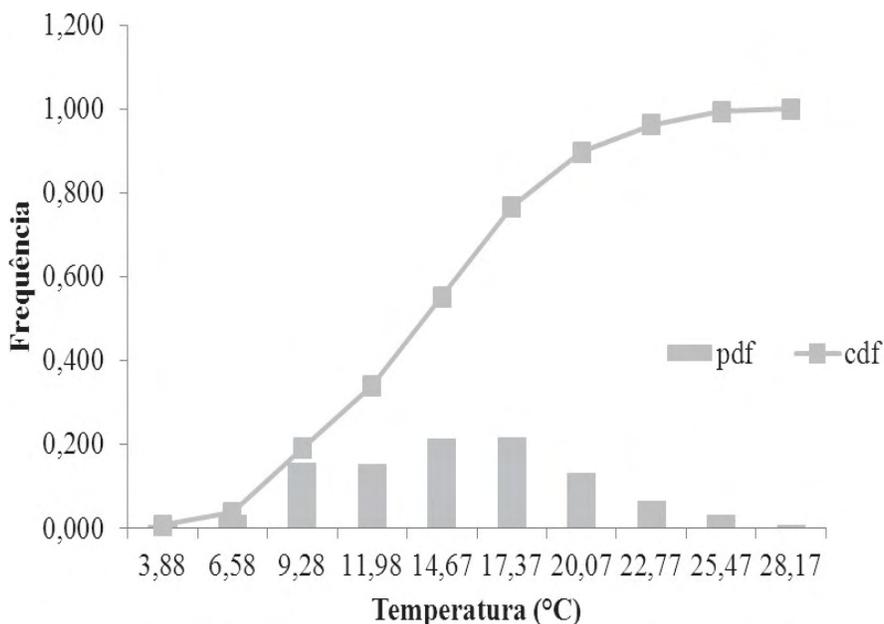


Figura 5.12 – CDF de uma distribuição empírica.

Os dados da Tabela 5.5 são referentes a análise descritiva para a variável temperatura.

Núm. de classes	Intervalo da classe	Freq. absoluta	Freq. relativa	Freq. acumulada
1	(3,88_6,58)	283	0,007	0,006909014
2	(6,58_9,28)	1443	0,030	0,036989796
3	(9,28_11,98)	1414	0,153	0,190369898
4	(11,98_14,67)	1984	0,150	0,340667517
5	(14,67_17,37)	2027	0,211	0,551551871
6	(17,37_20,07)	1227	0,215	0,767006803
7	(20,07_22,77)	611	0,130	0,897427721
8	(22,77_25,47)	296	0,065	0,962372449
9	(25,47_28,17)	296	0,031	0,993835034
10	(28,17_31,4)	58	0,006	1

Tabela 5.5 – Resumo da Informação do Histograma.

Os dados da Tabela 5.6 mostram as probabilidades de ocorrência para a variável Temperatura com Média = 16,76 e desvio-padrão = 4,62.

Intervalo de cálculo da Probabilidade	Valor)	Percentual(%)
$P(3,88 \leq x < 6,58)$	0,011	1,11
$P(6,58 \leq x < 9,28)$	0,038	3,8
$P(9,28 \leq x < 11,28)$	0,098	9,8
$P(11,28 \leq x < 14,67)$	0,18	18
$P(14,67 \leq x < 17,37)$	0,227	22,7
$P(17,37 \leq x < 20,07)$	0,210	21
$P(20,07 \leq x < 22,77)$	0,14	14
$P(22,77 \leq x < 25,47)$	0,067	6,7
$P(25,47 \leq x < 28,17)$	0,023	2,3
$P(28,17 \leq x < 31,4)$	0,006	0,6

Tabela 5.6 – Tempo de serviço em função de diferentes níveis de probabilidade de ocorrência.

A Fig. 5.13 mostra o gráfico de dispersão das coordenadas geográficas longitude(x) e latitude(y) para os dados analisados, é perceptível que as ordens emergenciais formam aglomerados em determinados locais. Para identificar a probabilidade de ocorrência da variável aleatória v_1 (local) foi estipulado um tamanho de área de 4 km², ou seja, a área presente na Fig. 5.13 foi dividida em subáreas de 4 km², totalizando 49 subdivisão, cada uma

dessas com n ocorrências. A partir da distribuição de frequência dos eventos emergenciais por área foram definidas as probabilidades de ocorrência (frequência relativa).

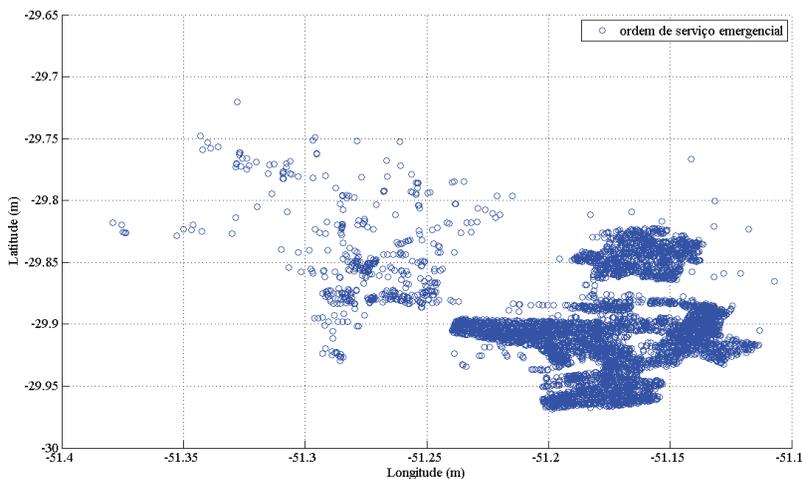


Figura 5.13 – Dispersão das ordens de serviço geograficamente.

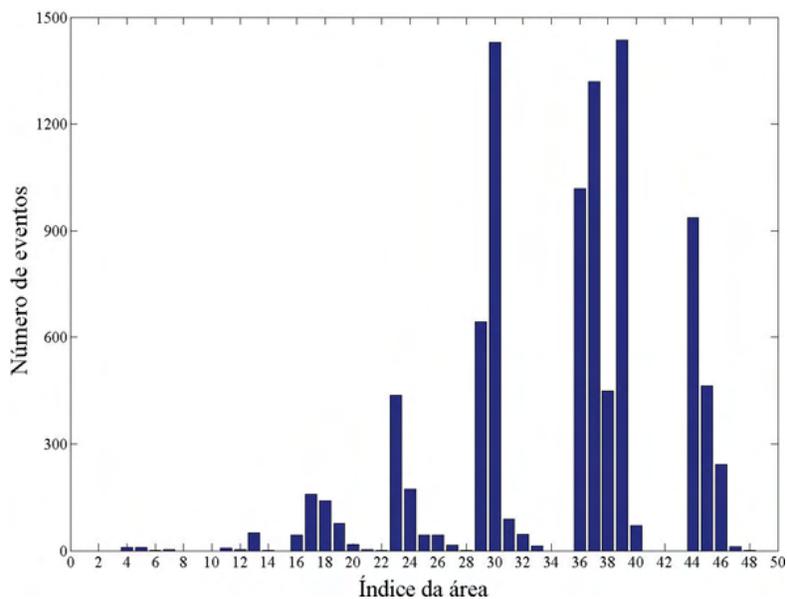


Figura 5.14 – Distribuição dos eventos emergenciais por divisão de área.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para exemplificar a metodologia proposta neste trabalho visando estimar a probabilidade de ocorrência de uma ordem emergencial em determinado local, com

determinada temperatura e tempo de serviço, foi seguido os seguintes passos:

I. Determinação dos Eventos:

E: O tempo de serviço estar no intervalo de 0,51 horas e 1,18 horas para um segunda- feira no horário 00:00:01 à 01:00:00.

F: A temperatura do dia estar entre (17°C e 20°C);

G: A ordem emergencial ocorrer na área de índice 30.

Os eventos E, F e G fazem parte do espaço amostral definido em cada etapa do trabalho, logo as probabilidades associadas a cada eventos (E, F e G) foram definidas respectivamente a partir da Tabela 5.4, Tabela 5.6 e a tabela presente no Apêndice G.

II. Determinação das probabilidades de cada Evento:

E: 0,240;

F: 0,215;

G: 0,15.

III. Cálculo da probabilidade Condicional para eventos independentes:

$$P(EFG) = P(E)P(F)P(G) = 0,24.0,215.0,15 = 0,00774 \quad (5.1)$$

Ou seja, a probabilidade do evento *E* acontecer dado a ocorrência de *F* e a ocorrência de *G*, é aproximadamente 0,8 % .

3 I CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram realizados as análises dos dados brutos e a previsão de demanda de serviço emergencial para uma companhia de energia elétrica. A previsão baseou-se em dois métodos:

- I. Método de suavização exponencial: A aplicação deste método resultou nos gráficos de comparação entre o tempo de serviço real e o tempo de serviço estimado para todos os dias da semana e todos os horários do dia. Os resultados demonstraram que o método conseguiu capturar a sazonalidade e a tendência dos dados, permitindo assim, efetuar uma previsão confiável quanto ao tempo de serviço médio por horário e dia da semana. A Tabela 5.7 apresenta os valores dos Erros Médios Absolutos para o tempo de serviço estimado para as ordens emergenciais em cada dia da semana. Os valores mostram que em média o desvio entre o tempo de serviço real e o estimado

variam entre 0 e 1,2 o que demonstra relativo grau de acurácia na previsão.

Dia da semana	Erro)
Domingo	0,803
Segunda-feira	1,045
Terça-feira	1,131
Quarta-feira	1,128
Quinta-feira	1,107
Sexta-feira	1,188
Sabádo	0,885

Tabela 5.7 – Erro médio absoluto.

- II. Método baseado em probabilidades condicionais: Este método buscou quantificar o processo aleatório que envolve a ocorrência de serviços emergenciais. Logo, foram estabelecidas as variáveis aleatórias que influenciavam este processo, e por meio dos dados históricos de ocorrência de cada variável, foi possível estimar a probabilidade de ocorrência de cada evento associado às variáveis. Como cada evento foi estudado de forma independente, foi possível estabelecer a probabilidade condicional atribuída aos eventos (tempo de serviço por dia da semana e horário, temperatura e área de ocorrência).

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia capaz de capturar a estocasticidade do processo de despacho de ordens emergenciais. No decorrer do estudo, observou-se que apesar da importância deste tema, ainda há poucos estudos na literatura que abordam esse problema. Foi possível evidenciar que as variáveis dia da semana, horas do dia, temperatura e área geográfica apresentam correlação com a ocorrência de ordens emergenciais. Na busca pela solução do problema pesquisado, a metodologia proposta neste estudo desdobrou-se em dois métodos distintos. Primeiramente foi realizada a previsão da variável dependente tempo de serviço emergencial baseando-se no histórico de ocorrência. Para tanto, se fez uso do método de suavização exponencial, que buscou suavizar picos e aleatoriedade dos dados em questão. Porém essas análises foram realizadas de forma desagregada da área geográfica e temperatura do local de ocorrência. Neste contexto, o segundo método agregou a previsão dos eventos tempo de serviço, dia, horário, temperatura e área geográfica para estimar a probabilidade de ocorrência de uma ordem emergencial conhecendo cada probabilidade de maneira independente. Finalmente, os resultados do estudo demonstraram que as duas metodologias foram capazes de capturar a estocasticidade do problema. Porém a metodologia baseada em probabilidades condicionais mostrou-se mais completa, uma vez, que conseguiu estimar a probabilidade conjunta a partir de eventos independentes.

Incluir na conclusão o que foi possível evidenciar com as variáveis definidas: dias da semana, hora do dia, áreas e temperatura.

1 | TRABALHOS FUTUROS

Validar a metodologia, aplicando o método de probabilidade condicional em um caso real de programação de ordens emergenciais, e identificar a acurácia do método, avaliando o erro médio entre a demanda real e a demanda estimada pelo método. Incorporar as informações obtidas com a previsão no roteamento de veículos da empresa analisada e identificar se os resultados obtidos são confiáveis.

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 (Mestrado em Computação) – Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2010.

BODIN, L.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. Routing and Scheduling of vehicles and crews : the state of the art. England, Pergamon Press, v. 10, n. 2, 1983.

BOX, G.; COX, D. An analysis of transformations. Journal of the Royal Society, v. 26, p. 211-252, 1964.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRAS). Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982.

CHAMBERS, J.C; MULLICK, S.K; SMITH, D.D. How to Choose the Right Forecasting Technique. Harvard Business Review, v.49, p. 4557, 1971.

CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a depot to a number of delivery points. Operations Research, v. 12, pp. 568 581, 1964.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. Management Science, v. 6, n. 1, p. 80 91, 1959.

DIETZ, T. Methods for Analyzing Data from Delphi Panels: Some Evidence from Forecasting Study. Technological Forecasting and Social Change. v.31, n.1, pp. 7985, 1987.

ELSAIED, E. A.; BOUCHER, T. O. Analysis and Control of Production Systems. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

EKSIOGLU, B.; VURAL, A. V.; REISMAN, A. The vehicle routing problem: a taxonomia review. Computers e Industrial Engineering, 57(4): 1472-1486,2009.

FERREIRA, R.V. Previsão de Demanda: Um Estudo de Caso para o Sistema Interligado Nacional. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – , pela Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

FISHER, M.; JAIKUMAR, R. A generalized assignments heuristics for vehicle routing. Networks, v. 11, pp. 109-124, 1981.

FITZSIMMONS, J.A.; FITZSIMMONS, M.J. Administração de Serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

GARCIA, V.J.; BERNARDON, D.P.; BASSI, O.A.; ABAIDE, A.; GUNDEL, M.; FERNAN-DES, J. Emergency work orders in electric distribution utilities: from business process definition to quantitative improvements. 2012. 47th International Universities' Power Engineering Conference, 2012.

GAREY, M.; JOHNSON, D. Computers and intractability: a Guide to the Theory of NP- Completeness. W. H. Freeman, San Francisco, 1979.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Introduction to operations research: cases developed by Karl Schmedders and Molly Stephens: tutorial software developed by Mark Hillier and Michael OSullivan. 7 ed. New York: McGrawHill, 2001.

LAPORTE, G. Fifty Years of Vehicle Routing. *Transportation Science*, v. 43, n. 4, pp.408-416, 2009.

LAPORTE, G. The Vehicle Routing Problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 59, pp. 345358, 1992.

LARSEN, A.; MADSEN, O.; SOLOMON, M. Partially dynamic vehicle routing: models and algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, v.53, pp. 637 646, 2002.

LEMOS, F. O. Metodologia para Seleção de métodos para Previsão de Demanda. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

MAKRIDAKIS, S. METAFORECASTING: Ways of Improving Forecasting Accuracy and Usefulness. *International Journal of Forecasting*, v4, pp. 467-491, 1988.

MILLER, C.E; TUCKER, A. W.;ZEMLIN, R. A. Integer programming formulations and traveling salesman problems. *Journal of the ACM*, v. 7, pp. 326 329, 1960.

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 (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

MONTGOMERY, D. C. Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros. 4. Ed. Rio De Janeiro: Ltc, 2009.

ÑAHUIS, F.V.C. Automação do Despacho Dinâmico de Viaturas para o Atendimento das Ordens de Serviços nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013.

PELLEGRINI, F. R. Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. Passos para implementação de sistemas de previsão de demanda: técnicas e estudo de caso. *Revista Produção*, v. 11, n. 1, p. 43 64, 2001.

PILLAC V., GENDREAU, M. GUÉRETA, C., MEDAGLIAB A. L. A fast re-optimization approach for dynamic vehicle routing. 2012. *European Journal of Operational Research* journal homepage: www.elsevier.com/locate/ejor. 2015.

PILLAC V., GENDREAU, M. GUÉRETA, C., MEDAGLIAB A. L. A review of dynamic vehicle routing problems. 2012. *European Journal of Operational Research*. Disponível: www.elsevier.com/locate/ejor.

- PILLAC V., GENDREAU, M. GUÉRETA, C.; MEDAGLIAB A. L. An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing. 2012. European Journal of Operational Research. Disponível: www.elsevier.com/locate/ejor. 2015.
- POLONI, F.; SBRANA, G. A note on forecasting demand using the multivariate exponential smoothing framework. *Journal Production Economics*, v.162, pp. 143-150, 2015.
- RADUAN, A. C. Roteirização Parcialmente Dinâmica Aplicada ao Serviço de Campo. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- RASHIDI, H.; FARAHANI, R. Z. A Hybrid Ant Colony System for Partially Dynamic Vehicle Routing Problem. *American Journal of Operational Research*, v. 2, n.4, pp. 3144, 2012.
- ROMERA, E.G.; MORÁN, M. A. J.; FERNANDEZ, D. C. Forecasting of the electric energy demand trend and monthly fluctuation with neural networks. *Computers and Industrial Engineering*, v. 52, pp. 336-343, 2007.
- SBRANA, G.; SILVESTRINI, A. Random switching exponential smoothing and inventory forecasting. *Journal Production Economics*, v.156, pp. 283-294, 2014.
- SLATER, A. Specification for a Dynamic Vehicle Routing and Scheduling System. *International Journal of Transport Management*, v. 1, pp. 2940, 2002.
- TAHA, H. A. Pesquisa operacional. 8. Ed. Prentice Hall, 2008.
- THOMAS, B. W. Dynamic Vehicle Routing. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 2010.
- WANG, Y.; WANG, J.; ZHAO, G.; DONG, Y. Application of residual modification approach in seasonal ARIMA for electricity demand forecasting: A case study of China. 2012. *European Journal of Operational Research*. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ejor. Acesso em:
- WEINTRAUB, A.; ABOUD, J.; FERNANDEZ, C.; LAPORTE, G.; AND E RAMIREZ. An emergency vehicle dispatching system for an electric utility in Chile. *Journal of the Operational Research Society*, v. 50, n. 7, 1999.

APÊNDICES

1 | APÊNDICE A - ANÁLISE DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL PARA UM DIA DE DOMINGO TÍPICO

Hora	Coefficiente de variação para um dia de domingo típico
0	0,811
1	0,579
2	1,027
3	0,764
4	0,985
5	0,754
6	0,897
7	0,668
8	0,689
9	0,704
10	0,646
11	0,573
12	0,783
13	0,713
14	0,747
15	0,793
16	0,597
17	0,835
18	0,666
19	0,619
20	0,728
21	0,709
22	0,711
23	0,804

Tabela 8.1 – Coeficiente de variação.

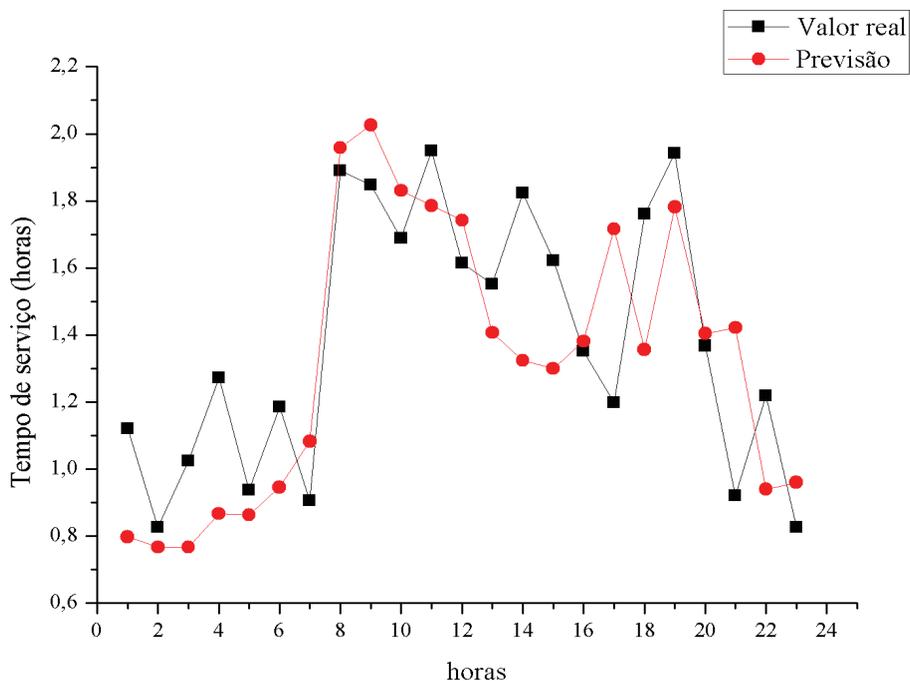


Figura 8.1 – Série temporal de todas as horas de um Domingo.

Fonte: elaborado pelos autores.

O Erro Médio Absoluto dos desvios neste caso foi igual a 803.

21 APÊNDICE B - ANÁLISE DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL PARA UMA TÍPICA TERÇA-FEIRA.

Hora	Coefficiente de variação para uma terça-feira típica
0	0,834487463
1	0,861289243
2	1,051658177
3	0,857772224
4	0,84680078
5	0,934411919
6	1,065304676
7	0,831882748
8	0,582294506
9	0,47670537
10	0,470701467

11	0,528973627
12	0,622782552
13	0,575907436
14	0,614952091
15	0,557217326
16	0,560183881
17	0,505984451
18	0,528046857
19	0,635387374
20	0,677619666
21	0,869401581
22	0,787941687
23	0,799967403

Tabela 8.2 – Coeficiente de variação.

Fonte: elaborado pelos autores

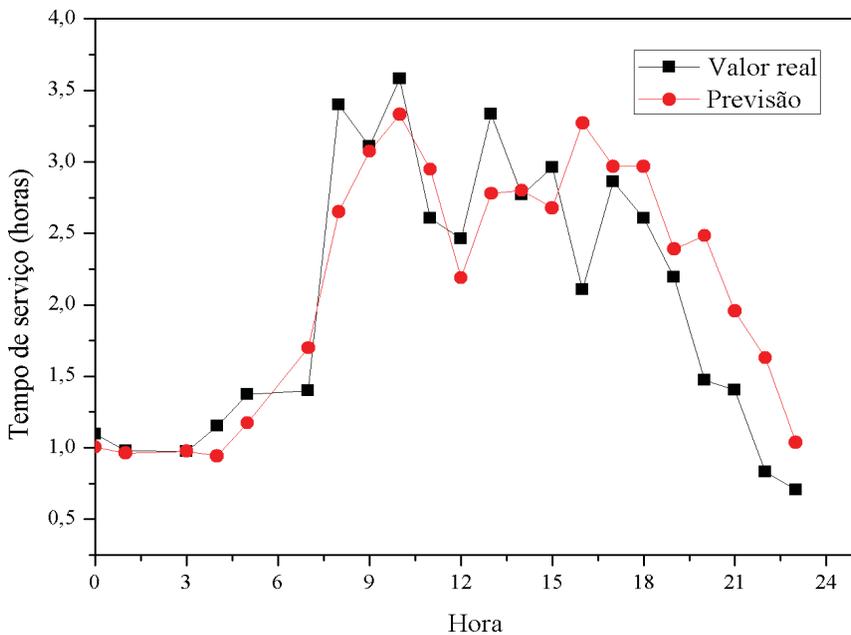


Figura 8.2 – Dados previsão para todos os horários terça-feira.

Fonte: elaborado pelos autores.

O Erro médio absoluto dos desvios para os dados foi 1,131.

31 APÊNDICE C - ANÁLISE DE SUAUIZAÇÃO EXPONENCIAL PARA UMA QUARTA-FEIRA TÍPICA

Hora	Coefficiente de variação para uma quarta-feira típica
0	0,993028812
1	0,983531285
2	0,999737243
3	1,010866814
4	1,057186962
5	1,012649016
6	0,86792677
7	0,849572501
8	0,545365082
9	0,445528539
10	0,449775244
11	0,481265199
12	0,587428789
13	0,453386158
14	0,476847231
15	0,568740078
16	0,544328844
17	0,610373106
18	0,493714674
19	0,52138882
20	0,623426256
21	0,793499036
22	0,877085243
23	0,989361767

Tabela 8.3 – Coeficiente de variação.

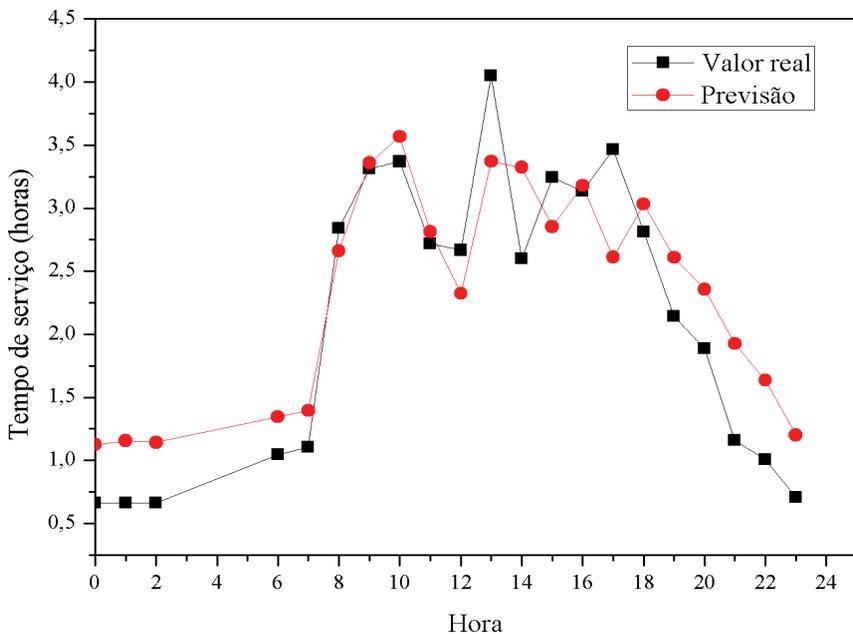


Figura 8.3 – Previsão para todos os horários de uma quarta-feira típica.

Fonte: elaborado pelos autores.

O Erro Médio Absoluto dos desvios neste caso foi igual a 1,128.

4 I APÊNDICE D - ANÁLISE DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL PARA UMA TÍPICA QUINTA-FEIRA.

Hora	Coefficiente de variação para uma típica quinta-feira
0	0,975382289
1	1,001125344
2	0,987022732
3	0,885710757
4	0,987278023
5	0,968288853
6	1,021736389
7	0,746536296
8	0,606023628
9	0,529457641
10	0,490843235
11	0,605422751

12	0,588312276
13	0,554369807
14	0,661680558
15	0,517273999
16	0,504570278
17	0,529285359
18	0,473424225
19	0,542709795
20	0,554981269
21	0,626237854
22	0,812518522
23	0,834157348

Tabela 8.4 – Coeficiente de variação.

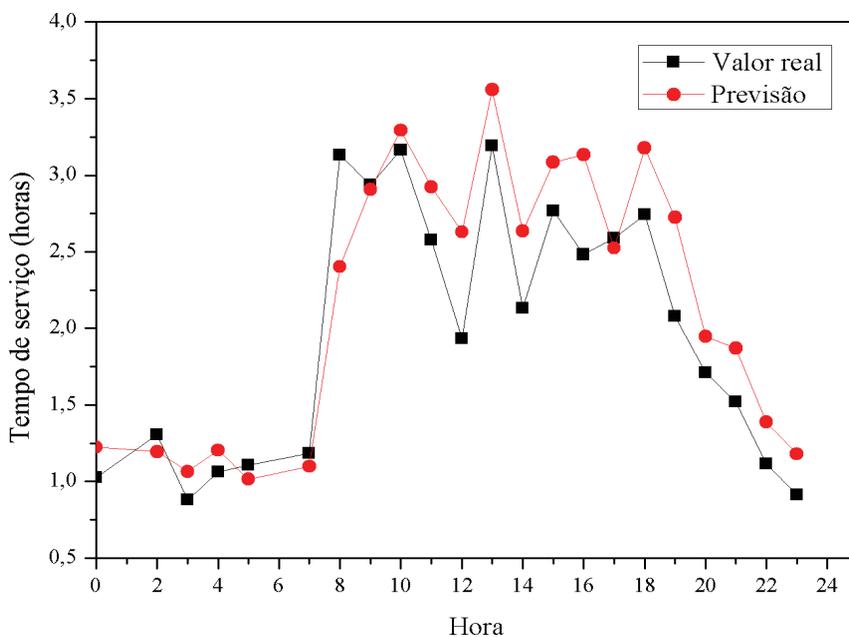


Figura 8.4 – Previsão para todos os horários de uma típica quinta-feira

Fonte: elaborado pelos autores.

O Erro Médio Absoluto dos desvios neste caso foi igual a 1,107.

51 APÊNDICE E - ANÁLISE DE SUAUIZAÇÃO EXPONENCIAL PARA UMA TÍPICA SEXTA-FEIRA.

Hora	Coeficiente de variação para uma sexta-feira típica
0	1,114877569
1	1,139301859
2	0,935836426
3	1,096041569
4	1,101455511
5	1,050248574
6	0,861844083
7	0,797609015
8	0,593875
9	0,551771761
10	0,515610874
11	0,546990578
12	0,616448407
13	0,478424802
14	0,471508819
15	0,502351057
16	0,528779735
17	0,624436819
18	0,536796834
19	0,643812119
20	0,698858183
21	0,792289619
22	0,844849598
23	0,905300414

Tabela 8.5 – Coeficiente de variação.

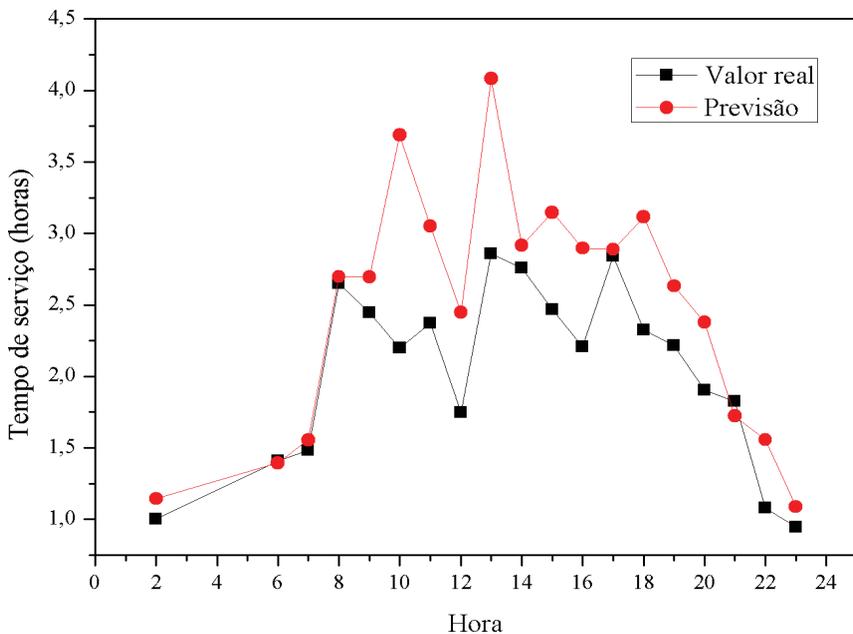


Figura 8.5 – Previsão para todos os horários de uma típica sexta-feira.

Fonte: elaborado pelos autores.

O Erro Médio Absoluto dos desvios neste caso foi igual a 1,188.

6 I APÊNDICE F - ANÁLISE DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL PARA UM TÍPICA SÁBADO.

Hora	Coefficiente de variação para um sábado típico
0	1,070482181
1	0,779632804
2	0,887595094
3	0,795509373
4	1,04299767
5	0,591382205
6	0,731864003
7	0,747954195
8	0,594433826
9	0,584995373
10	0,607774184
11	0,571210229

12	0,736810167
13	0,545192003
14	0,637534338
15	0,501020077
16	0,641845712
17	0,636119299
18	0,649071133
19	0,688452834
20	0,742673657
21	1,012702016
22	1,003869867
23	1,229528235

Tabela 8.6 – Coeficiente de variação.

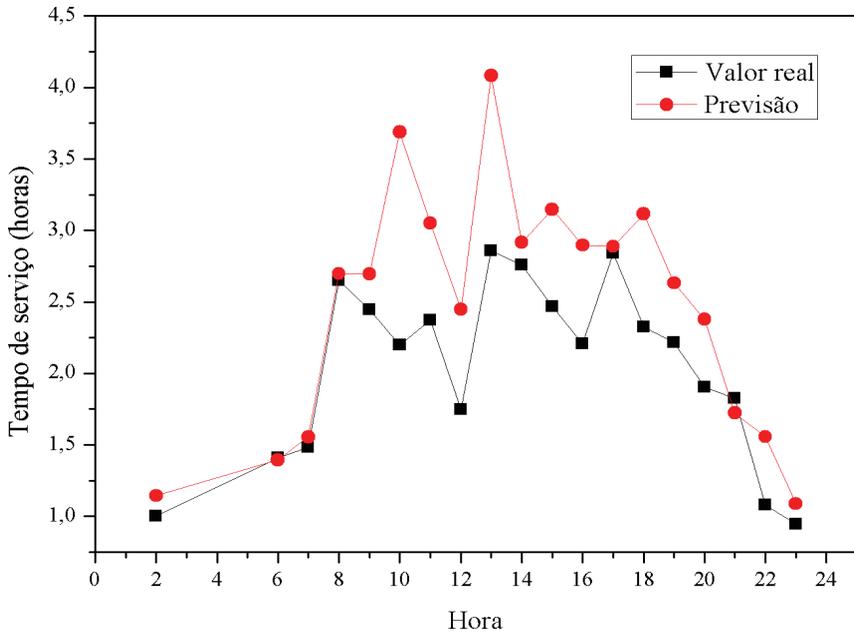


Figura 8.6 – Previsão para todos os horários de um típico sábado.

Fonte: elaborado pelos autores.

O Erro Médio Absoluto dos desvios neste caso foi igual a 0,885.

71 APÊNDICE G - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA DADOS REFERENTES À ÁREA

Área	Freq. Absoluta	Freq. relativa	Freq. Acumulada
1	0	0,00	0
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
4	9	0,00	0,001
5	10	0,00	0,002
6	1	0,00	0,002
7	3	0,00	0,002
8	0	0,00	0,002
9	0	0,00	0,002
10	0	0,00	0,002
11	8	0,00	0,003
12	4	0,00	0,004
13	50	0,01	0,009
14	1	0,00	0,009
15	0	0,00	0,009
16	43	0,00	0,014
17	158	0,02	0,031
18	140	0,01	0,045
19	77	0,01	0,054
20	18	0,00	0,055
21	3	0,00	0,056
22	1	0,00	0,056
23	437	0,05	0,102
24	173	0,02	0,121
25	45	0,00	0,126

26	43	0,00	0,130
27	16	0,00	0,132
28	1	0,00	0,132
29	643	0,07	0,200
30	1429	0,15	0,352
31	89	0,01	0,362
32	46	0,00	0,366
33	13	0,00	0,368
34	0	0,00	0,368
35	0	0,00	0,368
36	1018	0,11	0,476
37	1318	0,14	0,616
38	450	0,05	0,664
39	1435	0,15	0,817
40	70	0,01	0,824
41	0	0,00	0,824
42	0	0,00	0,824
43	0	0,00	0,824
44	936	0,10	0,923
45	464	0,05	0,973
46	243	0,03	0,999
47	12	0,00	1,000
48	1	0,00	1,000
49	0	0,00	1,000

Figura 8.7 – Distribuição de frequências para dados referentes à área.

Fonte: elaborado pelos autores.

SOBRE OS AUTORES



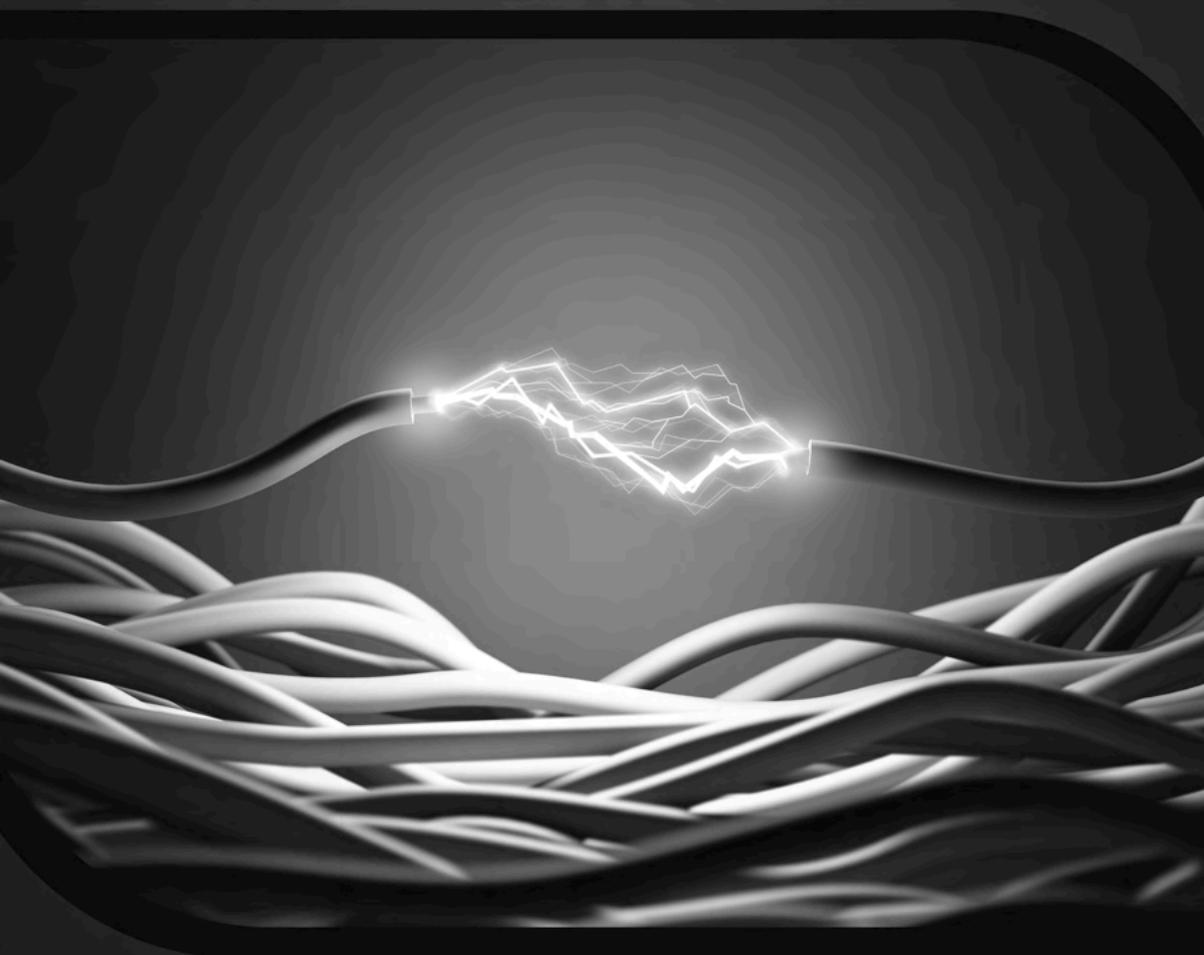
IOCHANE GARCIA GUIMARÃES - possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Pampa (2012), especialização em Gestão da Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2015), é mestra em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (2016) e doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2021). Atualmente é docente no Instituto Federal Farroupilha. Tem interesse nas seguintes áreas de pesquisa: gestão da produção, previsão de demanda e gestão da qualidade.



VINÍCIUS JACQUES GARCIA - possui graduação em Informática pela Universidade Federal de Santa Maria (2000), é mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2002) e doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2005). Realizou seu pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é professor associado da Universidade Federal de Santa Maria. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Pesquisa Operacional, atuando principalmente nos seguintes temas:

heurísticas, otimização multicritério, sistemas de distribuição e operação de sistemas de potência.

METODOLOGIA ESTOCÁSTICA PARA
PREVISÃO DE DEMANDA
DE SERVIÇOS EMERGENCIAIS EM
CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA

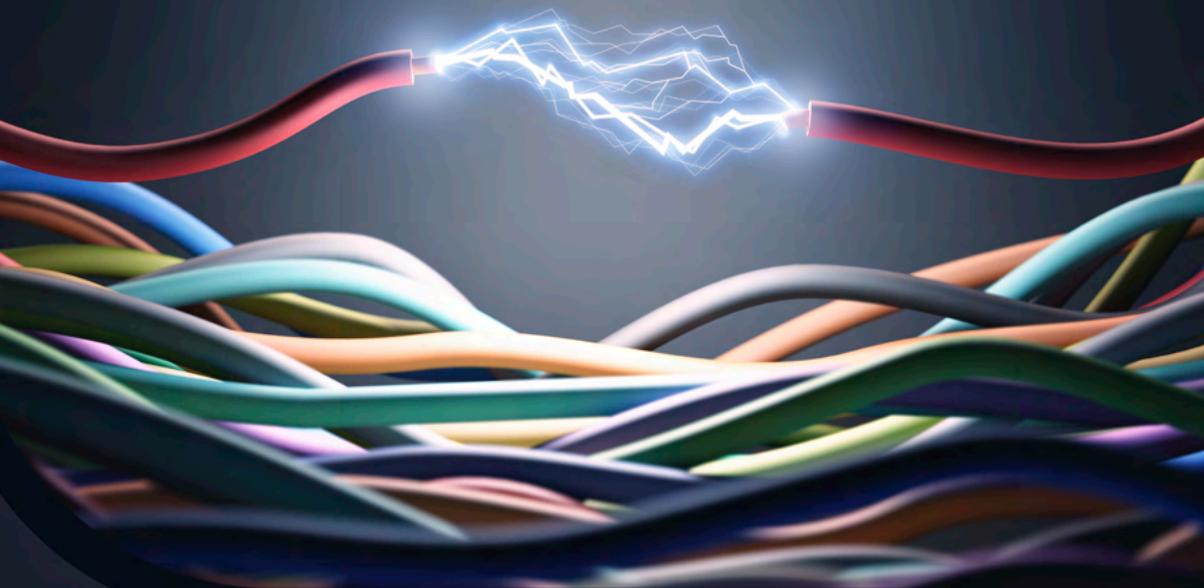


 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

METODOLOGIA ESTOCÁSTICA PARA

PREVISÃO DE DEMANDA

DE SERVIÇOS EMERGENCIAIS EM
CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA



🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br