

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO

Stéphanie Oliveira Ames

**ALOCAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE PESSOAL DE  
MANUTENÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR ELÉTRICO: UM  
ESTUDO DE CASO**

Santa Maria, RS

2018

**Stéphanie Oliveira Ames**

**ALOCAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE PESSOAL DE MANUTENÇÃO EM  
UMA EMPRESA DO SETOR ELÉTRICO: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Jacques Garcia

Santa Maria, RS  
2018

Ames, Stéphanie Oliveira  
Alocação e programação de pessoal de manutenção em uma  
empresa do setor elétrico: um estudo de caso / Stéphanie  
Oliveira Ames.- 2018.  
89 p.; 30 cm

Orientador: Vinicius Jacques Garcia  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, RS, 2018

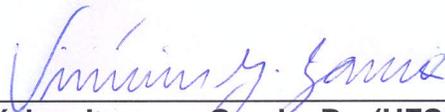
1. Programação de Pessoal 2. Pesquisa Operacional 3.  
Distribuição de Energia Elétrica 4. Programação Linear I.  
Jacques Garcia, Vinicius II. Título.

**Stéphanie Oliveira Ames**

**ALOCAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE PESSOAL DE MANUTENÇÃO EM  
UMA EMPRESA DO SETOR ELÉTRICO: UM ESTUDO DE CASO**

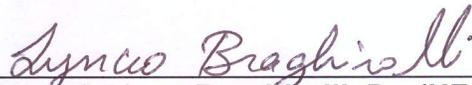
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

**Aprovada em 29 de Agosto de 2018:**



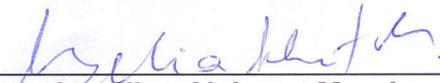
---

**Vinícius Jacques Garcia, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Lynceo Falavigna Braghírolli, Dr. (UFSC)**



---

**Angélica Alebrant Mendes, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2018

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

### **ALOCAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE PESSOAL DE MANUTENÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR ELÉTRICO: UM ESTUDO DE CASO**

AUTORA: Stéphanie Oliveira Ames  
ORIENTADOR: Vinícius Jacques Garcia

A programação de pessoal tornou-se um dos principais meios pelos quais as organizações de serviços permanecem competitivas. Uma programação de pessoal não adequada pode levar a um excesso de oferta, com trabalhadores com tempo ocioso, ou a uma escassez de oferta, com uma consequente perda de negócios. Em concessionárias de energia elétrica, o atendimento às solicitações dos clientes é uma tarefa complexa em função da demanda significativa de serviços e dos prazos estritos para execução, conforme estabelece a ANEEL. Neste cenário, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um modelo de alocação e programação de equipes de manutenção em uma empresa do setor elétrico que atua no segmento de distribuição de energia, a partir das definições dos respectivos atributos e características. A metodologia proposta é apresentada quanto à forma de combinar as características e atributos para alcançar uma solução viável e adequada. Um estudo de caso sobre a adequação e conveniência da metodologia proposta foi desenvolvido. Os resultados obtidos são apresentados quanto a três abordagens, primeiramente um cenário analisando a utilização ou não de horas extra, no segundo considerando a variabilidade no horizonte de planejamento e por fim levando em conta a variabilidade no atendimento da demanda.

**Palavras-chave:** Programação de Pessoal. Distribuição de Energia Elétrica. Pesquisa Operacional.

## ABSTRACT

### MAINTENANCE STAFF SCHEDULING AND ALLOCATION IN A COMPANY OF THE ELECTRICAL SECTOR: A CASE STUDY

AUTHOR: Stéphanie Oliveira Ames

ADVISOR: Vinícius Jacques Garcia

Staff scheduling has become one of the primary means by which service organizations remain competitive. An unsuitable staff schedule can lead to oversupply, with workers in idle time, or a supply shortage, with a business loss result. At electrical energy distribution utilities, customer requests treatment is a complex task due to the weighty service demand and strict deadlines to perform, according to ANEEL. In this scenario, the main goal of this research is to develop a maintenance team scheduling and allocation model in a company of the electricity sector that operates in the energy distribution segment, based on the definitions of the respective attributes and characteristics. The proposed methodology is presented as the form to combine characteristics and attributes to meet a feasible and proper solution. A case study on the adequacy and suitability of the proposed methodology is developed. The results obtained are presented in three approaches: first, a scenario analyzing the use or not of overtime, second, considering the variability in the planning horizon and finally taking into account the variability in the supply of demand.

**Keywords:** Staff Scheduling. Electrical Energy Distribution. Operational Research.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista dos diferentes tipos de estudo encontrados na literatura.....	22
Tabela 2 – Resumo das características analisadas pelos autores.....	35
Tabela 3 - Atributos utilizados neste trabalho.....	36
Tabela 4 – Parâmetros do modelo para o primeiro cenário. ....	41
Tabela 5 – Variáveis do modelo para o primeiro cenário. ....	41
Tabela 6 – Símbolos usados no modelo matemático.....	41
Tabela 7 – Turnos de trabalho convencionais (Turnostdh) .....	43
Tabela 8 – Parâmetros adicionais do modelo com hora extra livre. ....	43
Tabela 9 – Variáveis adicionais do modelo com hora extra livre.....	44
Tabela 10 – Turnos de hora extra disponíveis. ....	45
Tabela 11 – Parâmetros do modelo com variabilidade no horizonte de planejamento. .....	46
Tabela 12 – Variáveis do modelo com variabilidade no horizonte de planejamento. ....	46
Tabela 13 – Variáveis adicionais do modelo que adia o atendimento da demanda. ....	48
Tabela 14 – Resultados encontrados no primeiro cenário .....	52
Tabela 15 – Resumo dos turnos convencionais 2 e 7.....	52
Tabela 16 – Resumo dos turnos convencionais 4 e 9.....	53
Tabela 17 – Variação de custo de horas extras em relação ao custo base. ....	53
Tabela 18 – Resultados encontrados no segundo cenário. ....	54
Tabela 19 – Resultados obtidos no terceiro cenário .....	55
Tabela 20 – Dados encontrados referente aos três cenários.....	56
Tabela 21 – Dados obtidos em cada uma das oito semanas.....	60
Tabela 22 – Dados encontrados para o horizonte de planejamento de oito semanas. .....	68
Tabela 23 – Número de equipes encontradas na semana 7 em cada turno. ....	68
Tabela 24 – Variação no atendimento da demanda.....	69
Tabela 25 – Resultados encontrados no cenário de adiamento da demanda.....	72
Tabela 26 – Proporção entre horas extras e o número de equipes.....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estratégia para combinar a oferta com a demanda por serviços. ....	17
Figura 2 – Número de artigos sobre problemas de agendamento publicados em revistas no período de 1956-2017.....	23
Figura 3 – Número de artigos sobre problemas de agendamento no setor elétrico publicados nos últimos 40 anos. ....	24
Figura 4 – Número de artigos sobre problemas de agendamento de pessoal publicados em revistas no período de 1982-2017.....	25
Figura 5 – Gráfico de comparação entre os três cenários quanto ao número de equipes em cada turno. ....	56
Figura 6 – Gráfico dos custos em cada um dos três cenários.....	57
Figura 7 – Gráfico do número de equipes utilizadas nos três cenários. ....	57
Figura 8 – Gráfico do número de horas trabalhadas nos três cenários. ....	58
Figura 9 – Gráfico de comparação dos custos de hora extra.....	59
Figura 10 – Comparação dos custos totais encontrados para cada semana. ....	61
Figura 11 – Demanda comercial da quarta e sétima semana .....	62
Figura 12 – Demanda emergencial da quarta e sétima semana.....	63
Figura 13 – Relação entre o número de equipes em cada turno para a quarta e sétima semana. ....	63
Figura 14 – Comparação do número de horas extras em cada turno. ....	64
Figura 15 – Comparação do número de equipes necessárias em cada semana.....	65
Figura 16 – Comparação do número de horas extras necessários em cada semana .....	65
Figura 17 – Comparação do número de horas comerciais utilizadas em cada semana. ....	66
Figura 18 – Demanda comercial semanal em cada uma das oito semanas. ....	67
Figura 19 – Demanda emergencial semanal em cada uma das oito semanas. ....	67
Figura 20 – Custos encontrados variando o atendimento da demanda. ....	70
Figura 21 – Relação entre o número de equipes e a variabilidade no atendimento da demanda .....	71
Figura 22 – Número de horas extras em relação a variação do atendimento da demanda. ....	71
Figura 23 – Comparação dos dados encontrados em relação ao número de equipes para o adiamento ou não no atendimento da demanda. ....	73
Figura 24 - Comparação dos dados encontrados em relação ao número de horas convencionais para o adiamento ou não no atendimento da demanda. ....	73
Figura 25 – Comparação dos dados encontrados em relação ao número de horas extras para o adiamento ou não no atendimento da demanda. ....	74

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmos Genéticos
AHP	Análise Hierárquica de Processos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IA	Inteligência Artificial
MIP	<i>Mixed-integer programming</i>
NSP	<i>Nurse Scheduling Problem</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PLI	Programação Linear Inteira
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
SA	<i>Simulated Annealing</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>13</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>13</b>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1	CONCEITOS DE GESTÃO DE SERVIÇOS.....	16
2.1.1	<b>Gerenciamento da demanda</b> .....	<b>17</b>
2.1.2	<b>Gerenciamento da capacidade</b> .....	<b>18</b>
2.1.3	<b>Programação de pessoal no setor elétrico</b> .....	<b>21</b>
2.2	DADOS ESTATÍSTICOS E CRESCIMENTO DA LITERATURA.....	22
2.3	TRABALHOS RELACIONADOS.....	26
2.3.1	<b>Características de pessoal</b> .....	<b>27</b>
2.3.2	<b>Métodos de solução</b> .....	<b>30</b>
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	37
3.2	PROCEDIMENTOS.....	38
3.2.1	<b>Modelagem do problema</b> .....	<b>40</b>
3.2.1.1	<i>Modelagem para o primeiro cenário</i> .....	40
3.2.1.2	<i>Modelagem para o segundo cenário</i> .....	43
3.2.1.3	<i>Modelagem para o terceiro cenário</i> .....	44
3.2.1.4	<i>Modelagem para variabilidade no horizonte de planejamento</i> .....	45
3.2.1.5	<i>Modelagem para variabilidade do atendimento da demanda</i> .....	47
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>51</b>
4.1	CENÁRIO INICIAL E RELAÇÃO COM HORA EXTRA.....	51
4.1.1	<b>Primeiro cenário: sem horas extras</b> .....	<b>51</b>
4.1.2	<b>Segundo cenário: horas extras liberadas</b> .....	<b>53</b>
4.1.3	<b>Terceiro cenário: turnos de hora extra</b> .....	<b>54</b>
4.1.4	<b>Comparando os cenários</b> .....	<b>55</b>
4.2	VARIABILIDADE NO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO.....	60
4.2.1	<b>Considerando as semanas separadas</b> .....	<b>60</b>
4.2.2	<b>Considerando todas as semanas em um único modelo</b> .....	<b>68</b>
4.3	VARIABILIDADE NO ATENDIMENTO DA DEMANDA.....	69
4.3.1	<b>Atendendo parcialmente a demanda</b> .....	<b>69</b>
4.3.2	<b>Adiando o atendimento da demanda</b> .....	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>76</b>
	REFERÊNCIAS.....	78
	APÊNDICE A.....	83

## 1 INTRODUÇÃO

As rápidas mudanças no mercado de trabalho forçam as empresas a encontrar diferentes estratégias na busca por produtividade, satisfação do cliente e redução de custos e assim conseguir se sobressair em um mercado competitivo. A representatividade do setor de serviços vem crescendo continuamente na economia mundial, sendo parte vital e significativa da maioria das economias desenvolvidas ou em desenvolvimento, além de ser um setor que gera muitos empregos e ser responsável pela maior parcela do Produto Interno Bruto (PIB) mundial (JOHNSTON e CLARK, 2002; MENEZES, 2010).

Mesmo com a evidente importância do setor de serviços para a sociedade, a gestão de operações e serviços encontra-se em uma fase de pouco desenvolvimento, tanto no desenvolvimento de pesquisas, como nas empresas (MACHUCA, GONZÁLEZ-ZAMORA e AGUILAR-ESCOBAR, 2007). Caires, Guimarães e Garcia (2016) afirmam que o problema é que as questões táticas e operacionais em serviços são menos estruturadas e variáveis que na manufatura, além da dificuldade de gerenciamento devido a intangibilidade dos serviços, a impossibilidade de formar estoques e a simultaneidade da produção e do consumo.

Frente às dificuldades encontradas, um dos principais desafios enfrentados pelos gerentes de serviços é o gerenciamento da capacidade e da demanda, ou seja, equilibrar a demanda dos clientes com a oferta de um serviço em um ambiente dinâmico (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014). Prover a capacidade produtiva para satisfazer a demanda atual e futura é uma responsabilidade fundamental da administração da produção. Obter o equilíbrio adequado entre demanda e capacidade é fundamental para satisfazer clientes de forma eficaz em custo e não obter este equilíbrio, deixará de atender a demanda e assim obterá custos excessivos (SLACK, BRANDON-JONES e JOHNSTON, 2009).

No gerenciamento da demanda, procura-se influenciá-la para que ocorra quando o fornecedor está ocioso ou colocá-la em fila de espera. No gerenciamento da capacidade, procura-se ajustar a capacidade de fornecimento de serviços à demanda, através de horas extras, contratações e demissões, turnos diferenciados, entre outros. (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014).

A programação de turnos de trabalho considerando os momentos de oscilação da demanda é uma estratégia de acompanhamento da demanda. A programação de

pessoal eficaz tornou-se um dos principais meios pelos quais as organizações de serviços permanecem competitivas. Ao contrário da manufatura, onde turnos padrões e dias de folga são a regra, a indústria de serviços na maioria das vezes atua 24 horas por dia, sete dias por semana, além de possuir uma demanda flutuante. Uma programação de pessoal não adequada pode levar a um excesso de oferta de trabalhadores com tempo ocioso, ou a uma baixa oferta com uma consequente perda de negócios (MENDES, 2009; ROSÁRIO, 2011).

Em concessionárias de energia elétrica o atendimento às solicitações dos clientes é uma tarefa complexa, onde a maior dificuldade se deve à grande demanda pelos serviços, aos recursos humanos e materiais disponíveis, além da necessidade de observar os padrões de qualidade e o atendimento dentro do prazo máximo, estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) sendo que o não cumprimento desse prazo implica em multa para o prestador de serviços. O tempo para o atendimento é o fator crítico quando são considerados cenários de emergência, em geral envolve situações onde riscos são aspectos determinantes e de particular importância quando são tratados pelos centros de operação (GARCIA et al., 2012).

A quantidade de solicitações dos usuários das concessionárias de energia elétrica é bastante significativa, além de variar de acordo com a hora do dia, dia da semana, estação do ano, localização do usuário, entre outros. Além disso, existe ainda os dias considerados totalmente atípicos, com fortes ventos e tempestades, que podem ocorrer a qualquer momento, o que ocasiona danos em vários locais da rede elétrica simultaneamente (STEINER et al., 2006).

Neste trabalho o foco é o gerenciamento da capacidade, utilizando o método da programação de pessoal em função da demanda necessária, aplicada a uma concessionária de energia elétrica. De forma mais específica, este trabalho aborda o tema de programação de pessoal, que consiste em determinar os turnos de trabalho e a quantidade de empregados necessários, sujeito a restrições legais e organizacionais e em designar os turnos aos empregados, de modo a satisfazer uma demanda para cada momento do período de planejamento.

## 1.1 OBJETIVOS

Neste item serão abordados os objetivos que este trabalho pretende atingir.

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um modelo de alocação e programação de equipes de manutenção em uma empresa do setor elétrico que atua no segmento de distribuição de energia elétrica.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, bem como estruturar um roteiro de trabalho, foram apontados os seguintes objetivos específicos:

- a) definir os atributos e características do problema de alocação e programação de equipes de manutenção na distribuição de energia elétrica;
- b) elaborar uma metodologia que proponha a resolução do problema de alocação e programação considerado;
- c) desenvolver um estudo de caso para o problema em questão.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista um crescimento constante das empresas, principalmente do setor elétrico, é necessário sistematizar suas metodologias de trabalho. Para isso, a empresa precisa utilizar técnicas e ferramentas que a auxiliem. As técnicas de programação matemática são úteis na definição de melhores turnos para os trabalhadores, por exemplo.

Em algumas empresas ocorre uma variação acentuada na demanda por serviços que faz com que seja necessário um ajuste na quantidade de funcionários. Na prática, esse tipo de problema é resolvido usando-se a experiência do gestor e geralmente é tratado manualmente ou ainda utilizando planilhas eletrônicas. A programação de pessoal é considerada uma tarefa de alta complexidade por envolver um grande número de possibilidades de solução, o que leva a um elevado tempo no processo de solução. Demonstra uma complexidade ainda maior na busca pela solução ótima, pois esse problema de otimização pertence à classe dos problemas *NP-hard* (ROSÁRIO, 2011).

A programação de pessoal é uma das questões mais relevantes entre os gestores de planejamento de produção. Ela desempenha um papel importante para

melhorar a utilização dos recursos, uma vez que reduz a probabilidade de interferência no trabalho e aumenta a sua capacidade, simultaneamente. Uma programação de pessoal desejável poderia ajudar a utilizar melhor os recursos e aumentar a eficiência do trabalho. Outra vantagem de ter um programa de agendamento de recursos humanos eficiente e produtivo é ter uma boa redução no custo total de produção. (SADJADI, HEIDARI e ESBOEI, 2014).

Segundo Rosário (2011) a programação de pessoal está presente em diversas esferas empresariais, tais como: empresas, instalações industriais, hospitais, transporte público, companhias aéreas, universidades, *call centers*, entre outras. Pela diversidade de aplicação, além dos inúmeros trabalhos realizados nesta área ao longo dos anos, este problema é considerado de alta relevância, o que também poderá ser observado no capítulo 2.

O problema voltado para o setor elétrico é relevante pois pode ajudar a automatizar o trabalho em situações de emergência, quando acontece algum problema climático por exemplo, e são necessárias mais pessoas trabalhando, sendo assim preciso um novo cronograma dos funcionários a cada novo acontecimento. Com a programação de turnos de trabalho, o tempo gasto com a geração de novos horários para os trabalhadores deve diminuir, reduzindo assim também custos operacionais.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

- a) capítulo 1: traz uma introdução ao tema, incluindo o objetivo geral, os objetivos específicos e a justificativa para a realização deste trabalho;
- b) capítulo 2: apresenta a revisão da literatura, com alguns conceitos de gestão de serviços, além de apresentar os trabalhos relacionados ao problema de programação de pessoal encontrados, mostrando as principais características observadas pelos autores e os principais métodos utilizados na resolução desses problemas;
- c) capítulo 3: apresenta a metodologia utilizada, caracterizando a pesquisa e apresentando os procedimentos metodológicos utilizados, bem como o estudo de caso utilizado neste trabalho e a modelagem do problema;
- d) capítulo 4: apresenta os resultados obtidos na realização deste trabalho;

- e) capítulo 5: são apresentadas as considerações finais e os possíveis trabalhos futuros;
- f) e por fim são apresentadas as referências utilizadas ao longo deste trabalho.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados primeiramente os conceitos de gestão de serviços e do problema de programação de pessoal. Após serão apresentados os trabalhos relacionados, bem como as características e os métodos de solução mais utilizados na literatura para resolver o problema de programação de pessoal.

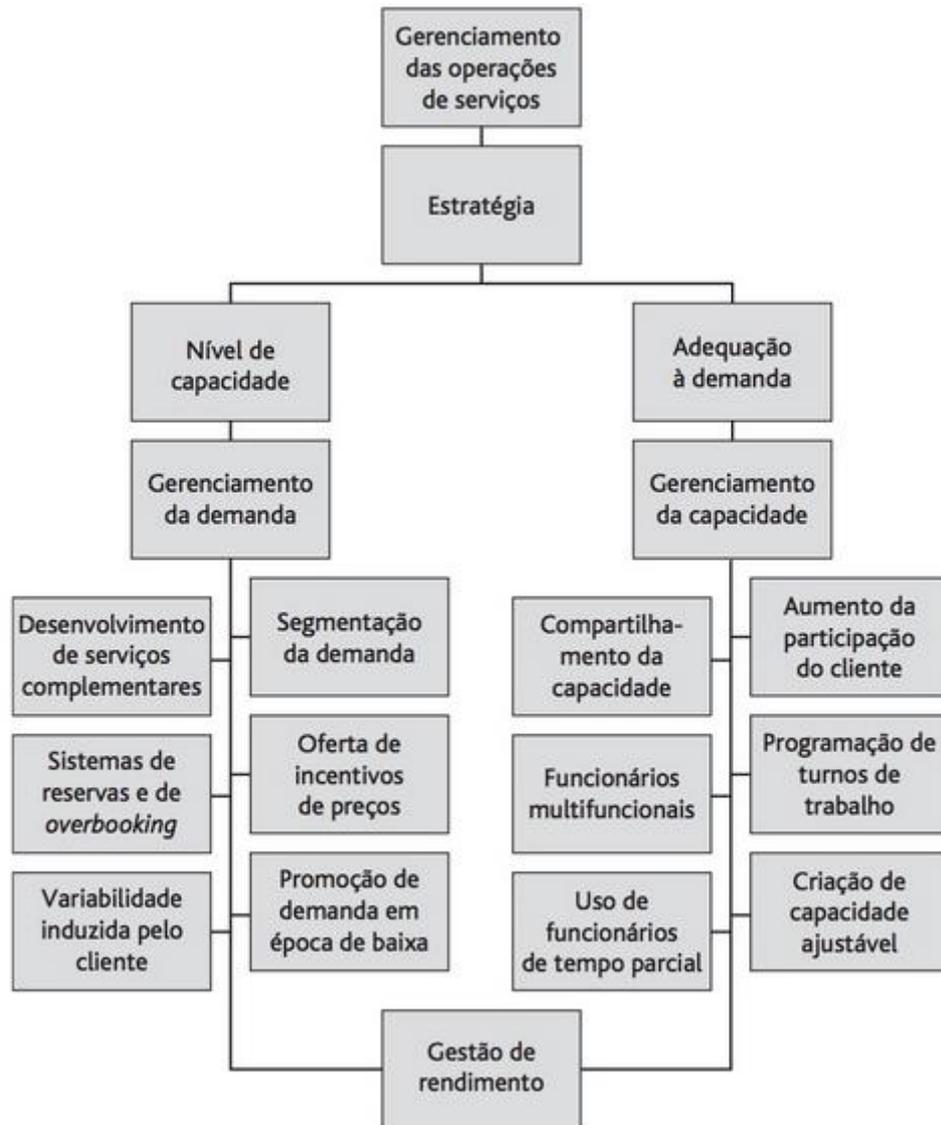
### 2.1 CONCEITOS DE GESTÃO DE SERVIÇOS

Um desafio encontrado pelos gerentes é equilibrar a demanda dos clientes com a oferta de um serviço em um ambiente dinâmico. Ao contrário dos produtos armazenados em depósitos para consumo futuro, um serviço é produzido e consumido ao mesmo tempo e a inatividade de um dia não pode ser recuperada. Quando a demanda por um serviço é inferior à capacidade disponível, tem-se funcionários e instalações ociosos. Por exemplo, um avião que decolou com cadeiras vazias, não poderá gerar renda com o transporte desses passageiros ausentes (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014).

Essas alterações naturais na demanda dos serviços criam ocasiões de ociosidade em certos momentos e clientes na fila de espera em outros. O tipo mais comum de flutuação de demanda com o qual a produção deve lidar é devido a sazonalidade. Ela afeta diferentes tipos de operações produtivas e pode ser causada por fatores climáticos, econômicos, sociais, políticos, entre outros (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014; SLACK, BRANDON-JONES e JOHNSTON, 2009).

Devido a estas dificuldades encontradas, faz-se necessário a utilização de métodos para gerenciar a capacidade em função da demanda. Algumas estratégias podem ser usadas tanto para o gerenciamento da demanda quanto para o gerenciamento da capacidade, como mostrado na Figura 1. Nas seções a seguir serão apresentadas algumas características de cada uma das abordagens.

Figura 1 – Estratégia para combinar a oferta com a demanda por serviços.



Fonte: FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014

### 2.1.1 Gerenciamento da demanda

O principal objetivo no gerenciamento da demanda é transferi-la dos períodos de pico para os períodos de baixa procura. Essa geralmente é a responsabilidade do pessoal de marketing/vendas. O mecanismo mais óbvio para alterar a demanda é através da oferta de incentivos de preço. Por exemplo, em época de baixa temporada dos hotéis em cidades litorâneas, uma alternativa para aumentar a demanda seria oferecer pacotes promocionais (SLACK, BRANDON-JONES e JOHNSTON, 2009).

Outra estratégia apresentada por Fitzsimmons e Fitzsimmons (2014) é tentar driblar a variabilidade da demanda induzida pelo cliente. Por exemplo, um cliente em um aeroporto pode precisar ou não de ajuda com o *check-in*, o que afetaria na demanda por funcionários disponíveis. Uma solução seria oferecer tanto a modalidade de autoatendimento, como a com o auxílio de um funcionário.

Há ainda a segmentação da demanda, onde pode-se prever seu comportamento através de dados históricos. Por exemplo, em uma clínica médica foi constatado que as consultas sem horas marcadas eram maiores na segunda-feira e como só é possível controlar as consultas com hora marcada, uma solução seria realizar a marcação das consultas na parte final da semana, equilibrando assim a demanda (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014).

Outra estratégia também apresentada pelos mesmos autores, é promover oferta em períodos de baixa temporada, por exemplo ofertas nos supermercados na quarta-feira, compras antecipadas de natal para não enfrentar as grandes filas na época, entre outros. Pode-se também desenvolver serviços complementares, como por exemplo a instalação de um bar na sala de espera de uma pizzeria, o que reduz a insatisfação dos clientes que estão esperando, além de aumentar a lucratividade dos proprietários. Sistemas de reservas, onde se compra antecipadamente um serviço em potencial e *overbooking* onde é possível fazer reservas maiores que a capacidade, também são exemplos de estratégias para gerenciar a demanda.

### **2.1.2 Gerenciamento da capacidade**

Ao contrário de uma política de capacidade constante, onde a capacidade é a mesma durante todo o período de planejamento, tem-se a política de acompanhamento da demanda, que tenta ajustar a capacidade bem próxima à demanda prevista. Segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2009), isto é muito mais difícil de conseguir do que a política de capacidade constante, pois é preciso um número diferente de pessoas, de horários de trabalho e de quantidade de equipamentos em cada período.

Existem alguns métodos para conseguir que a capacidade seja ajustada em função da demanda. Um dos métodos utilizados é variar o número de horas trabalhadas. Por exemplo, quando a demanda é maior do que a capacidade em um dia, aumenta-se o número de horas trabalhadas naquele dia (contratação de horas

extras), quando a demanda for menor (tempo ocioso), pode-se utilizar os funcionários disponíveis para realizar outras tarefas (empregados multifuncionais) (SLACK, BRANDON-JONES e JOHNSTON, 2009). Fitzsimmons e Fitzsimmons (2014), apresentam outro método utilizado para ajustar a capacidade, aumentando a participação do cliente. Por exemplo nas empresas de *fast-food* são eliminados os funcionários que limpam as mesas, incentivando o cliente a limpar a sua própria mesa após a refeição.

Mas se a capacidade depender fortemente da mão-de-obra, uma forma de ajustá-la para atender a demanda variável ao longo do tempo, seria ajustar o número de pessoas, por meio do processo de contratação e demissão. Por exemplo, contratando funcionários em épocas de maior demanda, e demitindo-os quando essa demanda diminui. O problema com esse método são os custos agregados, como por exemplo o recrutamento, a aprendizagem de novos funcionários, ou até mesmo os custos com demissão e possíveis indenizações. Uma estratégia para melhorar esse método seria contratar empregados em jornada parcial. (SLACK, BRANDON-JONES e JOHNSTON, 2009; TAHA, 2008).

Há situações em que o efeito das variações na demanda pode ser absorvido pelo ajuste dos horários de início e término de um turno de trabalho. Por exemplo, em vez de utilizar os horários tradicionais de início de turno de oito horas, pode-se sobrepor os turnos cujos horários de início variem em função do aumento ou diminuição da demanda (TAHA, 2008).

Com a programação dos turnos de trabalho durante o dia, o perfil da oferta de serviços será ajustado para aproximar-se da demanda. A programação dos turnos de trabalho representa um importante problema de pessoal para muitas organizações de serviços que lidam com uma demanda recorrente, como hospitais, bancos e companhia telefônicas por exemplo (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014).

O problema de turnos de trabalho consiste em determinar os turnos de trabalho e a quantidade de atendentes para cada um destes turnos, de forma a atender a demanda para cada hora do dia. A construção destes turnos deve obedecer às restrições trabalhistas e operacionais da organização (ROSÁRIO, 2011). Defraeye e Nieuwenhuys (2016) afirmam que na maioria dos setores de serviços, a equipe de funcionários impulsiona os custos e a qualidade desse serviço. O planejamento de capacidade de pessoal para este setor tende a ser não trivial, devido às muitas fontes

de variabilidade inerentes ao setor de serviços, como por exemplo, a demanda não estacionária, os tempos de serviços estocásticos, e as diferentes classes de clientes.

Segundo os mesmos autores, o processo de planejamento de capacidade de pessoal costuma ser decomposto em 4 etapas:

- a) previsão de demanda (com base em dados empíricos);
- b) determinação dos requisitos de pessoal: os níveis de pessoal necessários ao longo do tempo são selecionados, a fim de obter uma meta de desempenho específico a um custo mínimo;
- c) programação de turnos: neste passo é determinado quantos funcionários serão designados para cada tipo de turno, a fim de cobrir os requisitos de pessoal;
- d) escala de serviços: nesta etapa final, os funcionários são designados aos turnos.

A determinação de turnos adequados ao perfil de demanda diária é apenas uma parcela do problema. Muitos serviços públicos como polícia, bombeiros, emergências hospitalares devem estar disponíveis 24 horas por dia, todos os dias da semana. Para essas organizações, um funcionário comum trabalha 5 dias por semana, folgando 2 dias consecutivos, mas não necessariamente sábado e domingo. A gerência preocupa-se em desenvolver programas de trabalho e descobrir a quantidade de funcionários necessários em cada dia, com o objetivo de obter o menor número de funcionários possível (FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2014).

Fitzsimmons e Fitzsimmons (2014) afirmam que este problema pode ser formulado como um modelo de programação linear inteira (PLI). No início, determina-se a quantidade de funcionários esperados para cada dia da semana. O problema então é a determinação da quantidade mínima de funcionários necessários em cada um dos sete turnos disponíveis. Cada turno é composto de 5 dias de trabalho e 2 dias de folga e começará em um dia diferente da semana seguido de 5 dias consecutivos de trabalho. A seguir é mostrado a formulação genérica deste problema como um modelo PLI.

Definição das variáveis:

$x_i$  = número de funcionários alocados ao turno  $i$ , sendo que a folga de dois dias consecutivos começa do dia  $i$ .

$b_j$  = número de funcionários desejados para o dia  $j$ .

Função objetivo:

$$\text{Minimizar } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7$$

Restrições:

$$\text{Domingo } x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq b_1$$

$$\text{Segunda } x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq b_2$$

$$\text{Terça } x_1 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq b_3$$

$$\text{Quarta } x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 \geq b_4$$

$$\text{Quinta } x_1 + x_2 + x_3 + x_6 + x_7 \geq b_5$$

$$\text{Sexta } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_7 \geq b_6$$

$$\text{Sábado } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq b_7$$

$$x_i \geq 0 \text{ e inteiro}$$

Este é um exemplo básico de programação de turnos, onde o horizonte de planejamento considerado é de uma semana. Na prática o problema de programação de pessoal é mais complexo, e a programação de turnos é apenas uma das etapas utilizadas. Na seção a seguir, são apresentadas as principais características da programação de pessoal no setor elétrico.

### 2.1.3 Programação de pessoal no setor elétrico

A ANEEL atribui às concessionárias de energia prazos de atendimentos às diversas solicitações dos consumidores, controlando esses prazos através de indicadores para um melhor atendimento aos usuários.

Zhu (2009) destaca como mais relevantes os indicadores referentes às falhas no sistema de distribuição, que comumente ocorrem devido a eventos climáticos, como tempestades, sobrecarga em equipamentos e eventos causados por agentes externos como colisão de veículo.

Então, visando atingir as metas e atender a demanda com um menor custo, é necessário dimensionar as equipes de trabalho para o atendimento de serviços, de forma que não se tenha excesso ou escassez de equipes por região.

Jiang e Seidmann (2014), destacam que com o aumento da complexidade do problema, as concessionárias de energia ainda se deparam com a incerteza da

demanda no mercado e precisam manter um nível de serviço aceitável, além de um tempo de espera curto, para ter uma maior competitividade no mercado.

Na seção 2.3, serão detalhas as principais características do problema de programação de pessoal encontrados na literatura, além dos métodos mais utilizados na resolução deste problema. Na seção a seguir são apresentados os dados estatísticos encontrados e o crescimento da literatura em relação ao problema de programação de pessoal.

## 2.2 DADOS ESTATÍSTICOS E CRESCIMENTO DA LITERATURA

Para a introdução ao tema da pesquisa objeto desta dissertação foram utilizados livros e artigos científicos como base teórica. Para a pesquisa de artigos relacionados foi utilizada a expressão “*scheduling problem*” (problema de agendamento) para fazer a busca na base de dados componentes do Portal de Periódicos da Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A pesquisa na base de dados da CAPES foi realizada em março de 2017. Optou-se por pesquisar os termos em todo o documento e não somente no título por exemplo, devido ao grande número de artigos que tratavam sobre o assunto e não necessariamente apresentavam os termos no título.

Através da pesquisa na base de dados foram encontrados aproximadamente 30 mil resultados, que incluíam artigos de revistas, livros, relatórios técnicos, artigos de diversas conferências, entre outros. A Tabela 1 apresenta um resumo da bibliografia encontrada.

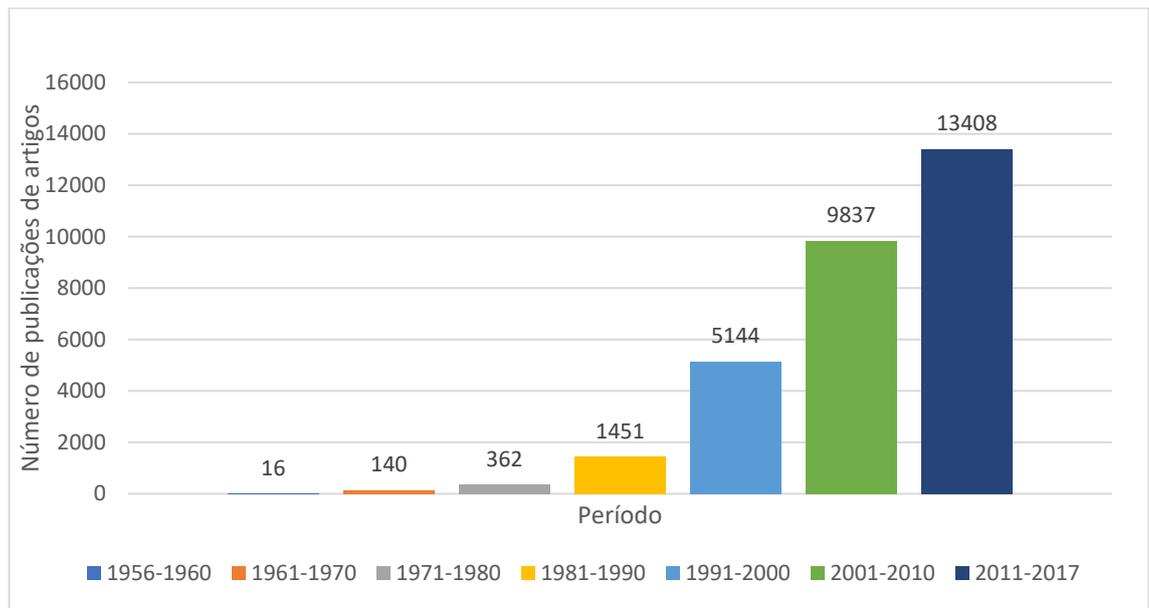
Tabela 1 – Lista dos diferentes tipos de estudo encontrados na literatura.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>
Artigos de revistas	28900
Artigos de jornal	629
Artigos de congressos	335
Recursos textuais	211
Resenhas	80
Dissertações	68
Relatórios técnicos	7
Livros	2

Fonte: elaborado pela autora.

É possível também observar no gráfico da Figura 2 o grande aumento das publicações de artigos em revistas na área ao longo dos anos.

Figura 2 – Número de artigos sobre problemas de agendamento publicados em revistas no período de 1956-2017.

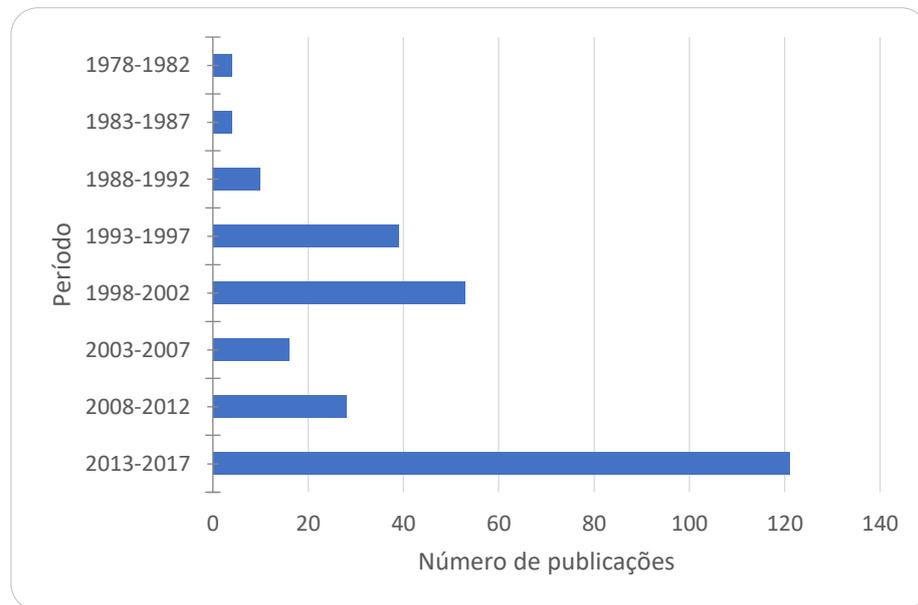


Fonte: elaborado pela autora.

Ao realizar a pesquisa no setor elétrico em relação aos problemas de escalonamento pelas palavras chaves “*scheduling*” e “*electric power distribution*” (distribuição de energia elétrica), foram encontrados 300 artigos que continham essas palavras chaves, como pode ser observado na Figura 3 que mostra os trabalhos publicados ao longo dos últimos quarenta anos.

É possível observar um crescimento ao longo dos anos, com uma queda nas publicações apenas no período de 2003-2007, porém logo em seguida é observado um novo aumento, mais significativamente nos últimos cinco anos, no período de 2013-2017.

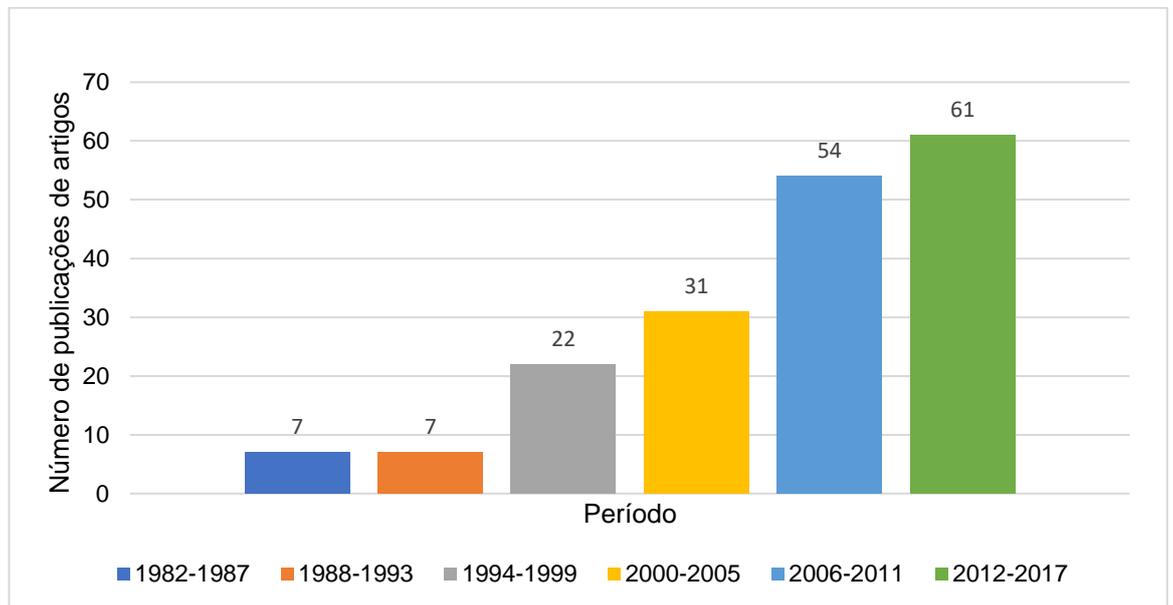
Figura 3 – Número de artigos sobre problemas de agendamento no setor elétrico publicados nos últimos 40 anos.



Fonte: adaptado de portal Capes

Refinando mais as buscas, agora buscando pelo termo mais específico em relação a este trabalho, foi pesquisado a expressão “*staff scheduling problem*” (problema de programação de pessoal) e foram encontrados 182 resultados. O gráfico da Figura 4 mostra o número de artigos publicados desde os anos 80 até os dias atuais. Como é possível observar no gráfico, o número de artigos publicados nesta área também cresceu significativamente ao longo dos anos, porém o número de publicações é bem menor em relação a grande área de *scheduling*.

Figura 4 – Número de artigos sobre problemas de agendamento de pessoal publicados em revistas no período de 1982-2017.



Fonte: adaptado do portal da capes

Porém, ao pesquisar os trabalhos relacionados ao setor elétrico com o problema de programação de pessoal mais especificamente, pelas palavras chaves “*staff scheduling problem*” e “*electric power distribution*” não foram encontrados trabalhos publicados.

Na literatura o problema abordado neste trabalho é considerado um problema isolado ou como parte de outros problemas, possuindo denominações diferentes de acordo com a área de aplicação. Dentre as diversas denominações, além da expressão *staff scheduling* (programação de pessoal) podem ser citadas: programação de força de trabalho (*workforce scheduling*), programação de recursos humanos (*manpower scheduling*), programação de turnos (*shift scheduling*), definição de horários de empregados (*employee timetabling*), escala de serviços (*rostering*), programação de pessoal (*personnel scheduling*), programação da tripulação (*crew scheduling*), entre outros (ROSÁRIO, 2011).

Neste trabalho, optou-se por manter a pesquisa pela expressão *staff scheduling problem*, porém também foram utilizados os artigos encontrados com as demais expressões, por considerar que se tratavam de assuntos similares.

A partir da pesquisa bibliográfica, além dos artigos encontrados na busca inicial, foram escolhidos alguns artigos adicionais a partir da leitura sucessiva dos mesmos.

Foram considerados os artigos publicados mais recentemente, nos últimos 10 anos, com exceção de alguns casos onde o artigo encontrado era de grande relevância para área. Esses artigos serão abordados mais detalhadamente na seção a seguir.

### 2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Durante a revisão da literatura, foram encontrados diversos artigos que realizaram uma revisão bibliográfica do assunto, bem como artigos que apresentavam tutoriais e classificações para o problema de agendamento. Dentre esses trabalhos encontrados na literatura, pode-se destacar o trabalho de Pinedo, Zacharias e Zhu (2015), que apresenta uma visão geral de alguns problemas de agendamento mais importantes que aparecem nas indústrias de serviços. O artigo concentra-se em três aspectos do agendamento: os paradigmas de programação mais básicos relevantes para indústrias de serviços, técnicas de otimização e/ou heurísticas que são utilizadas na prática, e exemplos de aplicações específicas do mundo real.

O trabalho de Ernst et al. (2004a) é referenciado por vários outros autores e pode ser destacado pois apresenta uma vasta revisão de programação de pessoal e de escala de serviços, analisando os problemas em específicas áreas de aplicação e os modelos e algoritmos que foram relatados na literatura para a solução destes problemas, além de avaliar os métodos comumente utilizados.

Os mesmos autores Ernst et al. (2004b) apresentaram em outro trabalho uma revisão da literatura, desde os anos 50 até 2004, reunindo uma coleção abrangente de cerca de 700 referências nesta área, como foco principalmente em algoritmos para gerar escalas de serviços e programação de pessoal mas também abrangendo áreas relacionadas, como planejamento de mão-de-obra e estimativas de necessidades de pessoal. Os autores classificaram os artigos de acordo com o tipo de problema abordado, as áreas de aplicação abrangidas e os métodos utilizados, além de fornecer um breve resumo para cada artigo.

Ainda podem ser destacados os trabalhos de Brucker, Qu e Burke (2011), que apresentaram modelos matemáticos que cobrem aspectos específicos da literatura e abordaram questões de complexidade indentificando casos polinomiais solucionáveis e casos especiais NP-*hard*. Castillo-Salazar, Landa-Silva e Qu (2012), apresentam uma pesquisa que tenta identificar os atributos comuns dos cenários de problemas de agendamento de mão-de-obra e de roteamento e os métodos de solução aplicados

ao enfrentar estes problemas. Os mesmos autores Castillo-Salazar, Landa-Silva e Qu (2016), acrescentaram ao seu trabalho anterior, um estudo sobre a dificuldade computacional de resolver este tipo de problema, utilizando dados da literatura, por meio de instâncias e resolvendo-as usando programação matemática.

O trabalho de Van Den Bergh et al. (2013), apresenta uma revisão da literatura para os problemas de programação de pessoal e a avaliam em muitos campos que estão relacionados com a configuração do problema ou com as características técnicas. Baseado no trabalho destes autores, serão apresentadas nas seções a seguir as principais características encontradas nos problemas de programação de pessoal e também os métodos mais aplicados na literatura para resolver estes tipos de problemas.

### **2.3.1 Características de pessoal**

Uma forma de classificar o quadro de funcionários é examinar seus contratos de trabalho, ou seja, distinguir entre trabalhadores de tempo integral e os de meio período, além de considerar horas extras contratadas. Vários artigos incorporam os trabalhadores de meio período em seus modelos, assemelhando-se a instâncias do mundo real, onde uma mão-de-obra mista é geralmente utilizada. Chua e Wirawan (2016), propuseram um modelo de escalonamento de mão-de-obra com trabalhadores de meio período aplicado em indústria de serviços, como companhias aéreas, serviços de segurança, corpo de bombeiros, entre outros. Também nessa área, o trabalho de Hojati e Patil (2011) teve como objetivo determinar um método de solução simples e prático para agendar funcionários que realizam variadas funções, trabalham meio período e tem disponibilidade limitada. Sagnak e Kazancoglu (2015) levam em considerações vários atributos que geralmente agregam complexidade a programação dos turnos, como demanda incerta, variedade dos tipos de turno (integral e parcial) e definição do número de intervalos, por exemplo.

Quando certas tarefas exigem habilidades específicas, é preciso formar um quadro de funcionários que realizem diferentes funções, cada um com um número de habilidades específicas. Em relação a certos problemas, as tarefas podem ser realizadas por membros da equipe que não possuam as competências específicas. Isso geralmente leva a um aumento de custo, uma vez que esses funcionários são menos eficientes e, conseqüentemente, obtêm uma taxa de produtividade mais baixa.

Como citado anteriormente o trabalho de Hojati e Patil (2011) utiliza funcionários que realizam variadas funções, assim como outros trabalhos que podem ser destacados: Smet, Ernst e Berghe (2016), Agrali, Taskin e Unal (2017), Taskiran e Zhang (2016) entre outros.

Outra classificação utilizada por Van Den Bergh et al. (2013) é a baseada no agrupamento dos funcionários. Alguns problemas exigem a programação de uma equipe em vez de considerar cada funcionário individualmente. Aplicações para este tipo de problema de agendamento podem ser encontradas na área de transporte, onde é necessário combinar a programação de pessoal com roteamento de veículos. Por exemplo, o trabalho de Zamorano e Stolletz (2017), aborda o problema de roteamento e de agendamento de técnicos, onde estes possuem habilidades diferentes e são divididos em equipes para realizar tarefas de manutenção. Legrain, Bouarab e Lahrichi (2015), tiveram como objetivo estudar o processo de escalonamento de dois tipos de equipes de enfermagem, equipes regulares e equipes variáveis que preenchem demandas de trabalho eventuais e não especificamente em horários fixos. Além de Chen, Lin e Peng (2016) que estudaram o problema de programação de pessoal integrado ao problema de alocação de equipe médica com incerteza em alguns atributos.

Exemplos de características de pessoal que aparecem com menos frequência são os níveis de produtividade e o nível hierárquico (*seniority*). Categorizar os membros da equipe em termos de diferentes níveis de produtividade está intimamente relacionado com a classificação baseada em habilidades. Quando os membros menos eficientes da equipe são designados a uma tarefa, isso leva a um menor lucro, por exemplo. Como na classificação baseada em habilidades, isso tipicamente adicionaria uma penalidade à função objetivo.

O nível hierárquico também pode ter um impacto na política de tomada de decisão. Os membros mais velhos ou melhores qualificados da equipe podem ter mais privilégios, como por exemplo um número aumentado de dias de folga consecutivos, ou suas preferências por dias ou turnos específicos podem ser considerados mais importantes. Um exemplo desse tipo de característica é encontrado no trabalho de Özgüven e Sungur (2013), que considera um problema hierárquico de programação da força de trabalho em que um trabalhador com qualificação superior pode substituir um menos qualificado, mas não o contrário, as exigências de trabalho podem variar, e cada trabalhador deve receber n dias de folga por semana.

Os problemas de programação de pessoal consistem em várias decisões que devem ser tomadas, como a atribuição de tarefas (por exemplo, o empregado A é atribuído ao trabalho K), grupos (por exemplo, várias estações de trabalho), sequência de turnos (por exemplo, funcionário A trabalha no turno da noite de segunda-feira, tem folga na terça-feira e trabalha na manhã de quarta-feira), entre outros. Alguns exemplos podem ser encontrados na literatura como Laesanklang, Landa-Silva e Castillo-Salazar (2015), que resolveram um problema de agendamento e roteamento, em que um conjunto de trabalhadores deve ser atribuído a tarefas que são distribuídas em diferentes locais geográficos e que possuem flexibilidade em sua disponibilidade. Além de Borenstein et al. (2010) que apresentam um problema similar baseado no problema de programação de mão-de-obra de uma empresa de telecomunicação britânica.

A flexibilidade é outra característica muito encontrada na literatura. Topaloglu e Ozkarahan (2011) afirmam que as organizações usam diferentes horários de início e tamanho de turnos, janelas de intervalo e padrões de trabalhos diários, por exemplo, para oferecer flexibilidade. Quando o número de alternativas de flexibilidade aumenta, o desenvolvimento da programação de pessoal se torna mais complexo. Volland, Fügner e Brunner (2017) combinam a programação de turnos flexíveis com a programação de tarefas aplicado em um problema na área da saúde. Agrali, Taskin e Unal (2017) consideram um problema de agendamento de funcionários de indústrias de serviço com disponibilidade de funcionários e demanda flexíveis. Cada funcionário pertence a um dos vários níveis de habilidade, além de terem contratos individuais flexíveis com a organização e disponibilidade de horas extras.

Quanto as decisões sobre os turnos, algumas alternativas são apresentadas. A primeira decisão baseia-se na sobreposição de turnos. Quando a demanda é bem distribuída ao longo do dia e o tamanho do dia de operação é muito grande para ser coberto por um único turno, uma alternativa possível é criar vários turnos que se sobrepõem. Este método é muito comum em hospitais e organizações industriais. Quando elas operam durante todo o dia, o dia é muitas vezes dividido em três turnos distintos com um comprimento de 8 horas. Os programadores de pessoal em *call centers* utilizam uma abordagem diferente, já que as chamadas chegam em intervalos muito irregulares durante o dia. Ao permitir que os turnos se sobreponham, é possível aumentar o número de funcionários presentes no trabalho em determinados horários de pico. Desta forma é possível lidar com picos de demanda sem precisar escalar

horas extras caras ou contratar funcionários extra e pode-se evitar o excesso de pessoal durante períodos de baixa demanda.

Outra característica que é importante considerar é a incerteza de demanda. Geralmente é possível prever uma demanda com base nos dados históricos de ocorrência da mesma. Mas existem casos onde ela não pode ser totalmente prevista. Por exemplo, em casos de acidentes, a ocorrência de emergências em hospitais aumenta significativamente, e isto nem sempre pode ser previsto. Porém, é importante tratar esse tipo de demanda com um certo grau de prioridade, em relação a demanda já prevista. O trabalho de Campbell (2012) desenvolve um modelo de programação de turnos que incluem horas extras de plantão para ambientes de serviços onde a demanda é incerta, assim como o trabalho de Kim e Mehrotra (2015), onde os autores estudaram o problema integrado de agendamento e escalonamento de pessoal sob incerteza de demanda aplicado em um hospital.

Várias outras características podem ser consideradas em um problema de agendamento. Destacaram-se as principais encontradas na literatura, porém elas podem variar dependendo de onde o problema será aplicado. Na seção 3.2 serão apresentadas as características específicas consideradas neste trabalho.

### **2.3.2 Métodos de solução**

Segundo Van Den Bergh et al. (2013), a literatura sobre programação de pessoal apresenta uma ampla gama de metodologias de pesquisa que combinam um certo tipo de análise com alguma solução ou técnica de avaliação. Um grande número de trabalhos é classificado em categorias de programação matemática, tais como programação inteira, programação linear, programação dinâmica e programação por metas, ou como heurísticas construtivas ou de melhoria, além de simulações, programação por restrições entre outras.

Os métodos de programação matemática abordam a maioria dos métodos de solução considerados. Nessas abordagens, o problema de programação de pessoal é modelado como programação linear, inteira ou programação inteira mista (*mixed-integer problem* – MIP). Alguns trabalhos que utilizaram programação matemática para resolver o problema de agendamento de pessoal podem ser destacados. Sagnak e Kazancoglu (2015) utilizam um modelo de programação inteira integrado com a lógica *fuzzy* para superar a complexidade da programação dos turnos; Taskiran e

Zhang (2016) propuseram uma programação inteira que aborda o treinamento cruzado dos funcionários em várias categorias de serviços; Steiner et al. (2006) desenvolveram uma metodologia de otimização do dimensionamento de equipes de atendimento e despacho destas equipes para execução de ordens emergenciais e comerciais através de um modelo de programação inteira e o algoritmo Floyd; Agrali, Taskin e Unal (2017) utilizaram MIP para problema de agendamento de funcionários em indústrias de serviço; Laesanklang, Landa-Silva e Castillo-Salazar (2015), propuseram uma abordagem baseada em MIP para resolver um problema de agendamento e roteamento de cuidados domiciliares. Belien et al. (2013) utilizam o MIP para resolver o problema da construção dos horários de mão-de-obra de uma empresa de manutenção de aeronaves. Parisio e Jones (2015), utilizam MIP para resolver o problema de agendamento de funcionários para estabelecimentos de varejo.

Ainda segundo o trabalho de Van Den Bergh et al. (2013), os autores afirmam que a formulação para o problema geral de programação de turnos, introduzida por Dantzig (1954), ainda é muito popular entre os pesquisadores. Esta formulação permite aos investigadores adicionar uma série de restrições com base nas suas necessidades específicas. Muitas dessas variações tendem a criar programas inteiros lineares com um grande número de variáveis. Conforme discutido por Ernst et al. (2004a), os pesquisadores estão acostumados a tentar superar essas formulações em larga escala por técnicas de decomposição e algoritmos heurísticos.

Vários problemas de grande escala se beneficiam de um método de decomposição para resolver o problema. Os métodos de decomposição essencialmente consideram o problema em duas partes, a parte mais “fácil” e a parte mais “difícil”. Alguns métodos de decomposição que podem ser citados são: programação por metas, algoritmos *branch-and-price*, geração de colunas, entre outros.

Alguns artigos que utilizam métodos de decomposição na resolução do problema podem ser destacados. Güler, Idin e Güler (2013) tratam o problema de alocação de horários de médicos residentes, utilizando um modelo de programação por metas, definem restrições *hard* e *soft* e as penalidades são determinadas pelo método de análise hierárquica de processos (AHP). Chen, Lin e Peng (2016) desenvolveram um algoritmo baseado em programação por metas para resolver o problema de programação de pessoal integrado ao problema de alocação de equipe

médica. Também adotam restrições *hard* e aplicam o método AHP. Topaloglu e Selim (2010) utilizaram programação por metas *fuzzy* para resolver o problema de agendamento de enfermeiros (*nurse scheduling problem – NSP*). Maenhout e Vanhoucke (2010) apresentaram um algoritmo exato *branch-and-price* para resolver o NSP incorporando múltiplos objetivos. Volland, Fügener e Brunner (2017) e Topaloglu e Ozkarahan (2011), apresentam uma programação inteira mista aplicado ao problema de agendamento de equipe médica, além de apresentar uma abordagem de solução baseada em geração de colunas, entre outros.

Além destes métodos vistos anteriormente, as metaheurísticas formam uma classe importante de métodos de solução usados para resolver o problema de programação de pessoal. Elas são projetadas para resolver problemas complexos de otimização onde outros métodos de otimização não conseguiram ser eficientes. A vantagem prática das metaheurísticas está tanto na sua efetividade quanto na sua aplicabilidade geral. A eficácia reside na produção de soluções razoavelmente boas e viáveis dentro de um período de tempo limitado, enquanto que as técnicas de programação matemática correm o risco de não retornar qualquer solução viável em um longo período de tempo. Várias técnicas heurísticas foram utilizadas para lidar com o problema de programação de pessoal, por exemplo *simulated annealing* (SA), busca tabu, algoritmos genéticos (AG), algoritmos evolutivos, busca de vizinhança variável, algoritmo de otimização por enxame de partículas (*Particle Swarm Optimization - PSO*), algoritmos meméticos, redes neurais, otimização de colônias de formigas, entre outros.

Alguns trabalhos que utilizam heurísticas e metaheurísticas na resolução de problemas de programação de pessoal podem ser destacados. Legrain, Bouarab e Lahrichi (2015) que propuseram uma abordagem heurística simples aplicado ao NSP. Smet, Ernst e Berghe (2016), apresentaram três heurísticas construtivas, baseadas na geração de colunas e outros esquemas de decomposição, bem como um algoritmo de busca de vizinhança para resolver o problema integrado do agendamento de tarefas e de pessoal utilizando instâncias encontradas na literatura. Soukour et al. (2013) apresentam um algoritmo memético que é combinado com um algoritmo evolutivo e com técnicas de busca local e aplicam a um problema de programação de pessoal no serviço de segurança do aeroporto. Rosocha, Vernerová e Verner (2015), propuseram um algoritmo de agendamento da equipe médica baseado em SA. Adamuthe e Bichkar (2012), apresentam uma busca tabu para o problema de

programação de pessoal de laboratório. Karmakar et al. (2016) desenvolve uma resolução para o NSP através de SA, AG, Algoritmo dos Vagalumes (*Firefly Algorithm*) e PSO.

O problema de agendamento de pessoal altamente limitado oferece uma estrutura ideal para o uso de métodos de programação por restrição. Esses métodos têm origem na pesquisa de Inteligência Artificial (IA) e são métodos exatos que garantem soluções viáveis para problemas de satisfação de restrições ou soluções ótimas para problemas de otimização de restrições. Lapègue, Bellenguez-Morineau e Prot (2013), propuseram um método baseado na programação de restrições aplicado a um problema industrial que surge em uma empresa especializada em avaliação de medicamentos e pesquisa farmacológica.

Também podem ser destacados alguns trabalhos que resolveram o problema utilizando programação estocástica, como Gans et al. (2015), que desenvolveram e testaram uma abordagem integrada de programação estocástica e previsão para a gestão da mão-de-obra em *call centers*, assim como Robbins e Harrison (2010), que resolveram um problema de programação de um *call center* com programação estocástica inteira mista. Römer e Mellouli (2016) comparam diferentes políticas determinísticas de previsão de demanda, a avaliação é feita utilizando simulação estocástica e os problemas de agendamento são resolvidos utilizando técnicas de programação linear inteira mista.

As técnicas de solução consideradas também podem ser combinadas para aumentar a eficiência da abordagem. Como por exemplo, Barrera, Velasco e Amaya (2012), apresentam o problema de múltiplas atividades combinado ao escalonamento de horário e ao problema de escalonamento da tripulação e são propostas duas estratégias de solução: a primeira é baseada em programação matemática, enquanto a segunda usa um procedimento heurístico para reduzir o tempo computacional. Villarreal, Goldsman e Keskinocak (2015), desenvolveram um modelo matemático para planejar e programar o pessoal e a demanda de indústrias de serviço e apresentam uma heurística para definir rapidamente os horários dos funcionários com alta qualidade. Tsai e Li (2009) desenvolveram uma modelagem matemática em dois estágios, aplicaram ao NSP e adotam um AG para resolver o cronograma ideal. Zamorano e Stolletz (2017), utilizam programação inteira mista e o algoritmo *branch-and-price* para resolver o problema de roteamento e de agendamento de técnicos de manutenção externa.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

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

- a) Agrali, Taskin e Unal (2017): consideram um problema de agendamento de funcionários decorrente de indústrias de serviço com disponibilidade flexível de funcionários e demanda flexível. Cada funcionário pertence a um dos vários níveis de habilidade. Os funcionários têm contratos individuais flexíveis com a organização, que são caracterizados por horas de trabalho contratadas semanalmente/mensalmente, dias em que o empregado está disponível para trabalhar e disponibilidade de horas extras. Além disso, existem regulamentações sobre o número máximo de horas de trabalho e os requisitos mínimos de descanso dos funcionários impostos pelo governo e pelo sindicato. Os autores modelam o problema como um problema de programação inteira mista.
- b) Chen, Lin e Peng (2016): estudam o problema de programação de pessoal integrado ao problema de alocação de equipe médica com incerteza em alguns atributos. Para resolver este problema integrado, os autores desenvolveram um algoritmo de dois estágios baseado em programação por metas. No primeiro estágio, os autores adotaram uma abordagem de pior caso para determinar a equipe médica mínima necessária. No segundo estágio, os autores adotam restrições *hard* e *soft* para um cronograma da equipe médica mensal e aplicam o método de AHP para determinar a penalidade das restrições *soft*.
- c) Hojati e Patil (2011): tem como objetivo determinar um método de solução para agendar funcionários que realizam variadas funções, trabalham meio período e tem disponibilidade limitada. Este problema é decomposto em determinar bons turnos e atribuí-los aos funcionários, e usar programação linear inteira para resolver cada parte.
- d) Sagnak e Kazancoglu (2015): recomendam um modelo de programação inteira integrado com a lógica *fuzzy*, para superar a complexidade da programação dos turnos, como demanda incerta, variedade dos tipos de turno (integral e parcial), definição do número de intervalos, entre outros.

e) Zamorano e Stolletz (2017): abordam o problema de roteamento e de agendamento de técnicos de manutenção externa. Os técnicos possuem habilidades diferentes e são divididos em equipes para realizar as tarefas de manutenção. As tarefas têm restrição de habilidade e tem janelas de tempo que podem abranger vários dias. Para resolver este problema, os autores propuseram uma programação inteira mista e o algoritmo *branch-and-price*. Explorando a estrutura do problema, formulações alternativas são usadas para a fase de geração de coluna do algoritmo.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo das características abordadas pelos autores, além de destacar os métodos aplicados e a área de aplicação.

Tabela 2 – Resumo das características analisadas pelos autores.

Autor	Turno	Habilidade	Funcionários	Demanda	Método	Área
Agrali, Taskin e Unal (2017)	Horas extras	Vários níveis	Contrato individual	Variável	Programação inteira mista	Indústria de serviços
Chen, Lin e Peng (2016)	Horas extras	Vários níveis	Equipes Regular e de emergência	Variável	Programação por metas	Centro de imagens médicas
Hojati e Patil (2011)	Meio período	Vários níveis	Contrato individual	Variável	Programação linear	Indústrias de serviço
Sagnak e Kazancoglu (2015)	Integral e meio período	Um nível	Contrato individual	Variável	Programação linear integrado à lógica <i>fuzzy</i>	Indústrias de serviço
Zamorano e Stolletz (2017)	Horas extras	Vários níveis	Equipes	Determinística	Programação inteira mista e <i>branch-and-price</i>	Manutenção externa

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a partir da revisão bibliográfica destes artigos, destacam-se os atributos que serão utilizados neste trabalho, apresentados na Tabela 3. Mais detalhes sobre a metodologia do problema serão apresentados no capítulo 3.

Tabela 3 - Atributos utilizados neste trabalho.

Turno	Habilidade	Funcionários	Demanda	Método	Área
Horas extras	Um nível	Equipes	Variável	Programação inteira	Setor elétrico

Fonte: elaborado pela autora

É possível ressaltar que entre estes trabalhos destacados para resolver o problema de programação de pessoal, mesmo que alguns deles estejam inseridos no setor de serviços, nenhum deles se refere ao setor elétrico especificamente, o que também justifica a realização desta pesquisa, a fim de expandir a literatura sobre o tema, principalmente no setor elétrico.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. Segundo Gonsalves (2012), a metodologia é o estudo dos caminhos a serem seguidos para que os objetivos definidos sejam alcançados, incluindo as concepções teóricas e os procedimentos escolhidos sobre a definição do método adotado. Dessa forma, esse capítulo apresenta a caracterização da pesquisa além dos procedimentos utilizados para realização da mesma.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Kauark, Manhães e Medeiros (2010) afirmam que existem várias formas de classificar as pesquisas, dependendo da natureza, da abordagem do problema, do objetivo e dos procedimentos realizados para obter os dados.

Quanto à natureza, a pesquisa deste trabalho pode ser classificada como pesquisa aplicada, já que seu objetivo é a concepção de um modelo de apoio a tomada de decisão organizacional. Conforme afirmam Kauark, Manhães e Medeiros (2010), a pesquisa aplicada tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, orientada à solução de problemas específicos.

Quanto a forma de abordagem do problema a pesquisa pode ser classificada tanto como pesquisa quantitativa quanto qualitativa. A pesquisa quantitativa, segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010), leva em conta o que pode ser quantificável, traduz em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Já a interpretação dos dados e a atribuição de significados são básicas do processo de pesquisa qualitativa. No caso deste trabalho, são analisados tanto os dados quantitativos da empresa, como por exemplo dados históricos de atendimentos de ocorrência, como também os qualitativos, na interpretação dos resultados obtidos.

Com relação ao seu objetivo, esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa exploratória. Segundo Gil (2010), este tipo de pesquisa tem como objetivo a maior familiaridade com o problema, além do refinamento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que seja possível a consideração de vários aspectos relativos ao problema observado.

Quanto ao delineamento, ou procedimentos técnicos, pode ser classificada em pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Segundo Vergara (2016), a pesquisa

bibliográfica é um estudo sistematizado, desenvolvido a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, publicado em livros, revistas, jornais, entre outros, que fornece instrumental analítico para qualquer outro tipo de pesquisa. O presente trabalho utilizou a pesquisa bibliográfica visando estabelecer uma melhor compreensão sobre o tema, além de revisar a literatura existente resgatando os principais trabalhos sobre a temática envolvida e analisando o que outros autores consideraram na definição e resolução do problema.

Quanto ao estudo de caso, segundo Vergara (2016) é quando envolve o estudo profundo e exaustivo de uma ou poucas unidades, que pode ser pessoa, família, produto, empresa, comunidade ou até mesmo um país, de modo que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Neste trabalho é proposto a realização de um estudo de caso de uma empresa do setor elétrico, mais especificamente que atua na distribuição de energia elétrica.

### 3.2 PROCEDIMENTOS

Segundo Santos (2007), os procedimentos de coleta de dados são os métodos práticos utilizados para reunir informações necessárias à construção dos raciocínios em torno de um fato/fenômeno/processo. De fato, a coleta de dados de cada pesquisa possui particularidades adequadas ao que se deseja encontrar.

Neste trabalho, foram utilizadas informações e dados históricos de demanda da empresa, para modelar a programação de pessoal mais apropriada levando em consideração essa demanda. Para isso, primeiramente é necessário observar os dados históricos de ocorrência de ordens de serviço comerciais, fornecidos pela empresa, que englobam serviços como a ligação ou corte do fornecimento de energia aos consumidores, por exemplo, e emergenciais, que são ordens críticas que geralmente são causadas por eventos climáticos, como tempestades, ventos fortes, causando danos à rede elétrica.

Ao realizar o atendimento aos clientes, a empresa utiliza equipes de trabalho multifuncionais, ou seja, que realizam tanto as ordens comerciais como as emergenciais, dependendo do que for necessário. Antes de começar cada turno, é realizado um planejamento das ordens comerciais previstas para aquele dia, e a cada ordem emergencial que chega por hora, é realizado um reajuste nas rotas previstas para que estas ordens sejam atendidas com prioridade.

A empresa utiliza turnos de trabalho compostos por equipes disponíveis, que são as equipes que trabalham normalmente ao longo do dia, e de horas extras, que são acionadas quando necessárias. O início do turno é variável, sendo disponíveis dez turnos de trabalho com diferentes dias e horas de início.

Para as equipes regulares a escala utilizada possui um ciclo de trabalho de cinco dias, onde são trabalhadas oito horas por dia, com uma hora de intervalo por dia, totalizando quarenta horas semanais. Além disso, estes trabalhadores possuem dois dias de folga consecutivos por semana.

Em uma abordagem inicial, são definidos três cenários de programação de pessoal para a empresa, utilizando o horizonte de planejamento de uma semana. No primeiro, estão disponíveis apenas os dez turnos convencionais para a alocação. No segundo, além destes turnos, também é possível a alocação de horas extras, sendo que estas estão disponíveis a qualquer hora do dia e em qualquer quantidade. No terceiro cenário, estão disponíveis os dez turnos convencionais e dez turnos de hora extra, sendo estes turnos disponíveis apenas imediatamente após o término dos turnos convencionais e com um tempo máximo de quatro horas.

Numa segunda abordagem, faz-se uso da variabilidade no horizonte de planejamento, sendo este alterado de uma semana para dois meses (oito semanas), considerando primeiramente as oito semanas separadas cada uma em um modelo, e após, levando em conta todas elas em um único modelo.

Por fim, é considerada a variabilidade no atendimento da demanda, primeiramente analisando o que acontece quando ela é parcialmente atendida e após, considerando a possibilidade de um atraso no atendimento, tanto da demanda comercial quanto da emergencial, atendendo a estas demandas no dia e na hora subsequente, respectivamente.

Em relação as técnicas de solução, uma das mais utilizadas para modelagem desse tipo de problema, como visto na seção 2.3.2, é a programação matemática. Baseados nos trabalhos destacados na seção 2.4, para a realização deste trabalho optou-se por utilizar técnicas de programação matemática, mais especificamente a programação linear inteira.

Como foi possível observar na seção 2.3.1, são vários os atributos considerados na programação de pessoal. No caso do problema específico deste trabalho, os atributos considerados, em resumo, serão os seguintes:

- a) turnos integrais e horas-extras;

- b) funcionários divididos em equipes;
- c) equipes multifuncionais;
- d) demanda comercial e tratamento de ordens emergenciais;
- e) variabilidade no horizonte de planejamento e variabilidade no atendimento da demanda.

Com esta modelagem do problema, é possível revolver o problema de programação e alocação de pessoal da empresa, primeiramente atendendo aos requisitos mínimos necessários e obtendo-se soluções que permitam avaliar quantitativamente os resultados encontrados. Após esta etapa, agrega-se sistematicamente os atributos considerados de modo a elucidar as repercussões nos resultados destes atributos, quando inclusive for o caso em que eles conduzirem a soluções inviáveis.

Na seção a seguir, serão descritos os modelos desenvolvidos para cada uma das abordagens definidas.

### **3.2.1 Modelagem do problema**

Levando em conta o funcionamento da concessionária de energia elétrica, os modelos apresentados nesta seção são estruturados de modo que as exigências de um sistema real sejam atendidas.

Os modelos desenvolvidos neste trabalho foram aplicados na ferramenta computacional ZIMPL, que é uma linguagem utilizada para traduzir o modelo matemático em um formato que pode ser lido e resolvido por outro software que resolve modelos matemáticos baseados em programação linear inteira. Para resolver o problema foi utilizado o solver SCIP. Tanto a linguagem ZIMPL, quanto o solver SCIP foram escolhidos pois além de serem gratuitos e de boa difusão acadêmica, eles apresentam resultados satisfatórios quando comparados aos softwares similares.

#### *3.2.1.1 Modelagem para o primeiro cenário*

Neste cenário estão disponíveis apenas os turnos convencionais sem a utilização de horas extras. Os parâmetros, variáveis e desenvolvimento do modelo são apresentados a seguir. Na Tabela 4 e Tabela 5 são apresentados os parâmetros e as variáveis do modelo respectivamente.

Tabela 4 – Parâmetros do modelo para o primeiro cenário.

<b>Parâmetros</b>	<b>Definição</b>
NumTurnos	Número de turnos de trabalho
NumHoras	Número de horas trabalhadas por dia
NumDiasSemana	Número de dias da semana trabalhados
CustoHora	Custo das horas trabalhadas
NumHorasTrab	Número de horas trabalhadas por semana
DemEmer <sub>DH</sub>	Demanda de ordens emergenciais do dia D na hora H
DemCom <sub>D</sub>	Demanda de ordens comerciais do dia D
Turnos <sub>TDH</sub>	Matriz do turno T no dia D e hora H
HorasTurno <sub>T</sub>	Número de horas em cada turno T
Cobertura <sub>TDH</sub>	Previsão de trabalho de cada turno T, compreendendo o dia D na hora H

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5 – Variáveis do modelo para o primeiro cenário.

<b>Variáveis</b>	<b>Definição</b>
$x_T$	Quantidade de equipes que começam no turno T
numEquipes	Quantidade total de equipes utilizadas
numHoras	Quantidade total de horas utilizadas
cap <sub>DH</sub>	Capacidade no dia D e hora H
somaCap	Capacidade total
difCapDem <sub>DH</sub>	Diferença de capacidade e demanda no dia D e hora H
somaDifCapDem	Diferença total de capacidade e demanda

Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 6 são definidos os valores utilizados para os conjuntos previamente estabelecidos.

Tabela 6 – Símbolos usados no modelo matemático.

<b>Conjunto</b>	<b>Definição</b>
S	Conjunto de semanas de 1 a 8
D	Conjunto de dias de 1 a 7
H	Conjunto de horas de 0 a 23
T	Conjunto de turnos de 1 a 10

Fonte: elaborado pela autora.

A função objetivo apresentada na equação (1), tem como finalidade minimizar a quantidade de equipes e os custos associados no atendimento da demanda. Os custos variam conforme a necessidade de equipes.

$$\text{MIN numHoras.CustoHora} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\text{numEquipes} \geq \sum_{t \in T} x_t \quad (2)$$

$$\text{numHoras} \geq \sum_{t \in T} (x_t * \sum_{d \in D, h \in H} \text{Turnos}_{tdh}) \quad (3)$$

$$\text{cap}_{dh} \leq \sum_{t \in T} x_t * \text{Turnos}_{tdh}, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (4)$$

$$\text{somaCap} \geq \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \text{cap}_{dh} \quad (5)$$

$$\text{cap}_{dh} \geq \text{DemEmer}_{dh}, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (6)$$

$$\text{difCapDem}_{dh} \geq \text{cap}_{dh} - \text{DemEmer}_{dh}, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (7)$$

$$\text{somaDifCapDem} \geq \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \text{difCapDem}_{dh} \quad (8)$$

$$\sum_{h \in H} \text{difCapDem}_{dh} \geq \text{DemComer}_d, \forall d \in D \quad (9)$$

$$x_t, \text{numEquipes}, \text{numHoras}, \text{cap}_{dh} \in Z, \forall t \in T, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (10)$$

$$\text{somaCap}, \text{difCapDem}_{dh}, \text{somaDifCapDem} \geq 0, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (11)$$

Na equação (2) tem-se a restrição que define o total de equipes em cada turno. Na equação (3) tem-se a restrição que define o número de horas trabalhadas, a partir do número de equipes em cada turno e do número de turnos disponíveis. A equação (4) define a capacidade em determinado dia e hora a partir do número de equipes em cada turno e dos turnos que cobrem o dia e a hora específica. Na equação (5) tem-se a restrição da capacidade total. A equação (6) garante que a capacidade em determinada hora seja maior que a demanda emergencial daquela hora. Na equação (7) é definida a diferença entre a capacidade e a demanda. A equação (8) define a soma das diferenças de determinados dia e hora. Já na equação (9) tem-se a restrição da diferença de capacidade da demanda do dia e hora, sendo maior ou igual a demanda comercial daquele dia. E finalmente as equações (10) e (11) garantem que as variáveis sejam inteiras e positivas respectivamente.

Quanto aos turnos convencionais, estão disponíveis dez turnos diferentes como é possível observar na Tabela 7:

Tabela 7 – Turnos de trabalho convencionais (Turnos<sub>tdh</sub>)

Turnos	Dia da semana		1ª parte	2ª parte	Horas/dia	Horas/semana
	Inicial	Final				
1	SEG	SEX	08:00 – 12:00	13:00 – 17:00	8	40
2	SEG	SEX	12:00 – 16:00	17:00 – 21:00	8	40
3	SEG	SEX	16:00 – 20:00	21:00 – 01:00	8	40
4	SEG	SEX	20:00 – 00:00	01:00 – 05:00	8	40
5	SEG	SEX	00:00 – 04:00	05:00 – 09:00	8	40
6	SAB	QUA	08:00 – 12:00	13:00 – 17:00	8	40
7	SAB	QUA	12:00 – 16:00	17:00 – 21:00	8	40
8	SAB	QUA	16:00 – 20:00	21:00 – 01:00	8	40
9	SAB	QUA	20:00 – 00:00	01:00 – 05:00	8	40
10	SAB	QUA	00:00 – 04:00	05:00 – 09:00	8	40

Fonte: elaborado pela autora.

### 3.2.1.2 Modelagem para o segundo cenário

Neste cenário além dos turnos convencionais, está disponível a utilização de horas extras, sendo elas disponíveis a qualquer hora do dia, sem nenhuma restrição em relação aos turnos já pré-definidos. São adicionados alguns parâmetros e variáveis ao modelo apresentado na seção anterior, observados na Tabela 8 e na Tabela 9, respectivamente.

Tabela 8 – Parâmetros adicionais do modelo com hora extra livre.

Parâmetros	Definição
CustoHE	Custo das horas extras
TurnoHE <sub>DH</sub>	Cobertura do turno de hora extra no dia D e hora H

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 9 – Variáveis adicionais do modelo com hora extra livre.

Variáveis	Definição
horaExtra <sub>DH</sub>	Quantidade de hora extra utilizada no dia D e hora H
somaHE	Quantidade total de horas extras utilizadas

Fonte: elaborado pela autora.

A função objetivo apresentada na equação (12), tem como finalidade minimizar os custos da quantidade de equipes e horas associadas para atender uma demanda. Os custos variam conforme a necessidade de equipes, das horas convencionais e da realização ou não de hora extra.

$$\text{MIN numHoras.CustoHora} + \text{somaHE.CustoHe} \quad (12)$$

Além das restrições (2), (3), (5), (6), (7), (8), (9), (10) e (11), também estão incluídas ao modelo as restrições (13) refere-se à capacidade no dia e na hora tal, levando em conta a utilização ou não de horas extras, a equação (14) refere-se ao somatório das horas extras utilizadas no dia e na hora desejada e a equação (15) define a não negatividade das variáveis.

$$\text{cap}_{dh} \leq \sum_{t \in T} (x_t * \text{Turnos}_{tdh}) + \text{horaExtra}_{dh} * \text{TurnoHE}_{dh}, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (13)$$

$$\text{somaHE} \geq \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \text{horaExtra}_{dh} \quad (14)$$

$$\text{horaExtra}_{DH}, \text{somaHE} \geq 0, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (15)$$

### 3.2.1.3 Modelagem para o terceiro cenário

Neste cenário as horas extras estão limitadas, sendo seu início disponível apenas no final de cada turno e tendo uma duração máxima de 4 horas. São incluídos como parâmetros, além dos descritos anteriormente, os turnos de hora extra  $\text{TurnoHe}_{tdh}$ , observados na Tabela 10. As variáveis continuam as mesmas do modelo do segundo cenário.

Tabela 10 – Turnos de hora extra disponíveis.

Turnos	Dia da semana		Turno de hora extra	Horas/dia	Horas/semana
	Inicial	Final			
1	SEG	SEX	17:00 – 21:00	4	20
2	SEG	SEX	21:00 – 01:00	4	20
3	SEG	SEX	01:00 – 05:00	4	20
4	SEG	SEX	05:00 – 09:00	4	20
5	SEG	SEX	09:00 – 13:00	4	20
6	SAB	QUA	17:00 – 21:00	4	20
7	SAB	QUA	21:00 – 01:00	4	20
8	SAB	QUA	01:00 – 05:00	4	20
9	SAB	QUA	05:00 – 09:00	4	20
10	SAB	QUA	09:00 – 13:00	4	20

Fonte: elaborado pela autora.

A função objetivo é a mesma definida pela equação (12) e as restrições (2), (3), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (14) e (15) são adicionadas ao modelo. Além disso, as equações (16) e (17) também são incluídas ao modelo, como sendo a restrição que define que o número de horas extras nunca pode ser maior que o número de turnos que habilitam aquele horário e a restrição de capacidade levando em conta os turnos de hora extra, respectivamente.

$$\text{horaExtra}_{dh} \leq \sum_{t \in T} x_t * \text{TurnoHe}_{tdh}, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (16)$$

$$\text{cap}_{dh} \leq \sum_{t \in T} (x_t * \text{Turnos}_{tdh}) + \text{horaExtra}_{dh}, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (17)$$

### 3.2.1.4 Modelagem para variabilidade no horizonte de planejamento

Para obter um cenário mais real, o horizonte de planejamento do problema foi alterado de uma para oito semanas. Em relação as demandas emergencial e comercial, foram gerados dados aleatoriamente utilizando planilha eletrônica, sendo considerados os dados 40% maiores ou menores em relação aos dados de demanda definidos anteriormente. Estes dados obtidos para demanda comercial e emergencial das semanas podem ser consultados no Apêndice a.

Os parâmetros de demanda considerados anteriormente agora possuem mais uma dimensão, referente a semana escolhida, como observado na Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros do modelo com variabilidade no horizonte de planejamento.

<b>Parâmetros</b>	<b>Definição</b>
NumSem	Número de semanas consideradas no horizonte de planejamento
DemEmer <sub>SDH</sub>	Demanda de ordens emergenciais na semana S no dia D na hora H
DemCom <sub>SD</sub>	Demanda de ordens comerciais da semana S e dia D

Fonte: elaborado pela autora.

Em relação as variáveis para este modelo, foi apenas aumentada a dimensão para as variáveis que necessitavam, como observado na Tabela 12.

Tabela 12 – Variáveis do modelo com variabilidade no horizonte de planejamento.

<b>Variáveis</b>	<b>Definição</b>
cap <sub>SDH</sub>	Capacidade na semana S, no dia D e na hora H
difCapDem <sub>SDH</sub>	Diferença de capacidade e demanda na semana S, no dia D e na hora H

Fonte: elaborado pela autora.

A função objetivo é a mesma definida pela equação (12) e as restrições (2), (3), (10), (11), (14), (15) e (16) são adicionadas ao modelo. Além disso, as equações (18), (19), (20), (21), (22) e (23) referem-se as equações de capacidade e demanda descritas anteriormente no primeiro cenário, porém aqui elas possuem uma dimensão a mais referente a semana.

$$cap_{sdh} \leq \sum_{t \in T^*} Turnos_{tdh} + horaExtra_{dh}, \forall s \in S, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (18)$$

$$somaCap \geq \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} cap_{sdh} \quad (19)$$

$$cap_{sdh} \geq DemEmer_{sdh}, \forall s \in S, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (20)$$

$$difCapDem_{sdh} \geq cap_{sdh} - DemEmer_{sdh}, \forall s \in S, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (21)$$

$$somaDifCapDem \geq \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} difCapDem_{sdh} \quad (22)$$

$$\sum_{h \in H} difCapDem_{sdh} \geq DemComer_{sd}, \forall s \in S, \forall d \in D \quad (23)$$

### 3.2.1.5 Modelagem para variabilidade do atendimento da demanda

Outra abordagem escolhida a fim de simular um cenário mais real é a variabilidade no atendimento da demanda. Neste cenário, duas hipóteses são modeladas: a de atendimento parcial da demanda, analisando o que acontece de fato quando uma parte dela não é atendida e a do atraso no atendimento, sendo atendida no dia ou na hora seguinte a que foi solicitada. Foi utilizado o horizonte de planejamento de oito semanas, como descrito na seção anterior. Nas próximas seções serão descritas as mudanças realizadas no modelo em cada uma das abordagens.

#### 3.2.1.5.1 Atendimento parcial da demanda

Nesta etapa, é utilizado o mesmo modelo descrito na seção anterior, sendo adicionado um parâmetro “Percentil” que varia de 0,5 a 1, indicando a porcentagem que será multiplicada ao pico de demanda, tanto emergencial quanto comercial. Com isso, o atendimento fica limitado ao “Percentil” definido da demanda em todos os dias e horários: caso seja 0,5, apenas 50% da demanda emergencial de cada hora e 50% da demanda comercial de cada dia serão considerados para programação das equipes e horas extras necessárias para o atendimento.

Esse procedimento foi realizado para os cinco cenários escolhidos, a fim de realizar o atendimento parcial da demanda proporcionalmente, diminuindo os picos de demanda a medida que a taxa diminui.

#### 3.2.1.5.2 Adiando o atendimento da demanda

Nesta etapa, é considerado a possibilidade de um atraso no atendimento da demanda, tanto da demanda comercial quanto da emergencial, atendendo-a ou no dia ou na hora subsequente, respectivamente. Os parâmetros continuaram os mesmos do modelo descrito na seção 3.2.1.4. As variáveis adicionadas a este modelo são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Variáveis adicionais do modelo que adia o atendimento da demanda.

<b>Variáveis</b>	<b>Definição</b>
demNaoAtend <sub>SDH</sub>	Demanda emergencial não atendida da semana S do dia D e hora H
somaDemNaoAtend	Soma de todas as demandas emergenciais não atendidas
demNaoAtendComer <sub>SD</sub>	Demanda comercial não atendida da semana S do dia D e hora H
somaDemNaoAtendComer	Soma de todas as demandas comerciais não atendidas

Fonte: elaborado pela autora.

Além das variáveis adicionadas ao modelo, também foram incluídas algumas funções onde são definidas as horas, dias e semanas anteriores em relação a demanda emergencial e aos dias e semanas anteriores em relação a demanda comercial. Essas funções são descritas a seguir:

a) HoraAnterior (i, j, k)

**Se**  $k > \min(\text{Hora})$  **então**

$k-1$

**Senão**

$\max(\text{Hora})$

b) DiaAnterior (i, j, k)

**Se**  $k > \min(\text{Hora})$  **então**

$j$

**Senão**

**Se**  $j > \min(\text{Dia})$  **então**

$j-1$

**Senão**

$\max(\text{Dia})$

- c) DiaAnterior2 (i, j)  
**Se** (j>min(DIA\_SEM)) **então**  
     j-1  
**Senão**  
     max(DIA\_SEM)
- d) SemAnterior (i, j, k)  
**Se** (k>min(HORA)) **então**  
     i  
**Senão**  
     **Se** (j>min(DIA\_SEM)) **então**  
         i  
     **Senão**  
         i-1
- e) SemAnterior2 (i, j)  
**Se** (j>min(DIA\_SEM)) **então**  
     i  
**Senão**  
     i-1

As variáveis demNaoAtend e demNaoAtendComer, na posição (0,7,23) e (0,7) respectivamente, representam a semana, dia e hora anteriores as semana, dia e hora iniciais, e são definidas com o valor zero, a fim de inicializar com o não atendimento da demanda na semana, dia e hora anterior aos iniciais.

A função objetivo deste modelo, observada na equação(24), é alterada a fim de minimizar também a demanda não atendida. Além das equações (2), (3), (14), (16), (17), (19) e (22) são incluídas as restrições (25) que refere-se a capacidade da semana, dia e hora com a demanda não atendida da semana dia e hora anteriores maior que a demanda emergencial da semana dia e hora somada a demanda não atendida daquela semana dia e hora, a equação (26) que realiza a diferença entre a capacidade e a demanda, a restrição (27) que define que a demanda comercial não atendida da semana e dia anteriores somada a diferença de capacidade e demanda sejam maiores que a demanda comercial da semana e dia corrente somada a

demanda comercial não atendida da semana e dia correntes, a restrição (28) que realiza a soma da demanda emergencial não atendida na semana e no dia e finalmente a restrição (29) que realiza a soma da demanda comercial não atendida.

$$\text{MIN numHoras.CustoHora} + \text{somaHE.CustoHE} + \text{somaDemNaoAtend} + \text{somaDemNaoAtendComer} \quad (24)$$

$$\text{demNaoAtend}(\text{SemAnterior}_{sdh}, \text{DiaAnterior}_{sdh}, \text{HoraAnterior}_{sdh}) + \text{cap}_{sdh} \geq \text{DemEmer}_{sdh} + \text{demNaoAtend}_{sdh}, \forall s \in S, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (25)$$

$$\text{difCapDem}_{sdh} \geq (\text{demNaoAtend}(\text{SemAnterior}_{sdh}, \text{DiaAnterior}_{sdh}, \text{HoraAnterior}_{sdh}) + \text{cap}_{sdh}) - (\text{DemEmer}_{sdh} + \text{demNaoAtend}_{sdh}), \forall s \in S, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (26)$$

$$\text{demNaoAtendComer}(\text{SemAnterior2}_{dh}, \text{DiaAnterior2}_{dh}) + \sum_h \text{difCapDem}_{sdh} \geq \text{DemComer}_{sd} + \text{demNaoAtendComer}_{sd}, \forall s \in S, d \in D, h \in H \quad (27)$$

$$\text{somaDemNaoAtend} \geq \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \text{demNaoAtend}_{sdh} \quad (28)$$

$$\text{somaDemNaoAtendComer} \geq \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \text{demNaoAtendComer}_{sd} \quad (29)$$

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir destas definições, para cada uma das abordagens definidas.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento deste trabalho. Nas seções a seguir serão apresentados os primeiros três cenários em relação as horas extras, após o cenário com um maior horizonte de planejamento e por fim o cenário onde é aplicada a variabilidade no atendimento da demanda.

Os resultados apresentados foram gerados em um computador com CPU Intel® Core™i5 -5200U 2,20GHz.

### 4.1 CENÁRIO INICIAL E RELAÇÃO COM HORA EXTRA

Como observado na seção 3.2.1, foram modelados três cenários iniciais para o problema de programação de pessoal, o primeiro sem considerar a utilização de horas extras, o segundo onde as horas extras estão disponíveis em qualquer quantidade e a qualquer hora do dia e no terceiro, onde são utilizados turnos de horas extras, sendo estas disponíveis somente após o fim de cada turno. A seguir serão apresentados os resultados encontrados em cada um destes cenários. Os valores definidos para os parâmetros que não foram destacados no texto, podem ser consultados no Apêndice a.

#### 4.1.1 Primeiro cenário: sem horas extras

No primeiro cenário foram considerados todos os turnos atendendo a demanda sem a utilização de horas extras, considerando um custo de hora de trabalho normal das equipes de R\$ 200,00. Foram encontrados os seguintes resultados apresentados na Tabela 14, onde  $x_T$  é o número de equipes que começam no turno T:

Tabela 14 – Resultados encontrados no primeiro cenário

Função objetivo	R\$ 304.000,00
$x_1$	5
$x_2$	7
$x_4$	2
$x_5$	5
$x_6$	5
$x_7$	7
$x_9$	2
$x_{10}$	5

Fonte: elaborado pela autora.

É possível observar na Tabela 14 que os turnos iniciados pelo maior número de equipes foram os turnos 2 e turno 7, sendo que sete equipes iniciaram em ambos os turnos. Analisando os horários em que estes turnos estão disponíveis, mostrados na Tabela 15, é possível observar que os dois turnos atendem aos horários das 12:00 às 16:00 e das 17:00 às 21:00, sendo estes os horários onde a demanda foi maior em relação aos outros horários do dia, sendo necessárias mais equipes para poder atendê-las.

Tabela 15 – Resumo dos turnos convencionais 2 e 7.

Turnos	Dia da semana		1ª parte	2ª parte
	Início	Fim		
2	SEG	SEX	12:00 – 16:00	17:00 – 21:00
7	SAB	QUA	12:00 – 16:00	17:00 – 21:00

Fonte: elaborado pela autora.

Também na Tabela 14 é possível observar que os turnos que tiveram a menor quantidade de equipes trabalhando foram os turnos 4 e 9. Observando os horários disponíveis neste turno, como mostra a Tabela 16, ambos os turnos ficavam responsáveis pela parte da madrugada, das 20:00 às 00:00 e da 01:00 às 05:00. Após análise da demanda emergencial nestes horários, foi constatado que eram os horários de menor demanda necessária de equipes.

Tabela 16 – Resumo dos turnos convencionais 4 e 9

Turnos	Dia da semana		1ª parte	2ª parte
	Inicial	Final		
4	SEG	SEX	20:00 – 00:00	01:00 – 05:00
9	SAB	QUA	20:00 – 00:00	01:00 – 05:00

Fonte: elaborado pela autora.

#### 4.1.2 Segundo cenário: horas extras liberadas

Neste cenário além dos turnos convencionais utilizados pelas equipes, é considerada a utilização de horas extras, sendo que estas estão disponíveis em qualquer quantidade e sendo possível alocá-las a qualquer hora do dia.

Além disso, são considerados cinco casos onde os custos de horas extras são variados em relação aos custos de uma hora convencional. Essas variações em relação ao custo de hora extra são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Variação de custo de horas extras em relação ao custo base.

Caso	Variação
1	0,5
2	1
3	1,3
4	1,5
5	2

Fonte: elaborado pela autora.

A partir dessas definições em relação aos custos, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados encontrados no segundo cenário.

Caso	Função objetivo	Total de equipes	Total de horas extras
1	R\$ 53.100,00	0	531
2	R\$ 106.200,00	0	531
3	R\$ 124.380,00	7	263
4	R\$ 134.100,00	9	207
5	R\$ 151.200,00	12	138

Fonte: elaborado pela autora.

Como é possível observar na tabela, à medida que os custos de hora extra aumentavam, o custo total também aumentou, refletindo nos resultados encontrados na função objetivo. Em relação ao número total de equipes utilizadas, também houve um aumento, principalmente devido ao custo da hora de trabalho convencional ser menor que o custo de hora extra, o que justifica este aumento.

Já em relação ao número total de hora extra utilizada, houve uma redução no uso destas horas. Isso se deve também ao custo muito alto das horas extras, em relação ao custo da hora base.

#### 4.1.3 Terceiro cenário: turnos de hora extra

Neste cenário foram ajustados alguns limites nas horas extras, utilizando-as como turnos, sendo disponível um turno de hora extra para cada turno de cobertura, onde cada turno de hora extra começa imediatamente após o término do turno convencional e tendo a duração máxima de 4 horas.

Além disso, para fins de comparação, também foram considerados os cinco casos de variação do custo de hora extra como mostrados na seção anterior e apresentados na Tabela 17. A partir dessas definições foram encontrados os resultados mostrados na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultados obtidos no terceiro cenário

Caso	Função objetivo	Total de equipes	Total de horas extras
1	R\$ 196.200,00	24	42
2	R\$ 200.400,00	24	42
3	R\$ 202.900,00	24	42
4	R\$ 204.600,00	24	42
5	R\$ 208.800,00	24	42

Fonte: elaborado pela autora.

Como é possível observar na Tabela 19, o número total de equipes e de horas extras se manteve o mesmo nos cinco casos analisados, isso se deve ao fato de que só é possível utilizar o turno de hora extra se o turno convencional anterior a ele estiver ativo.

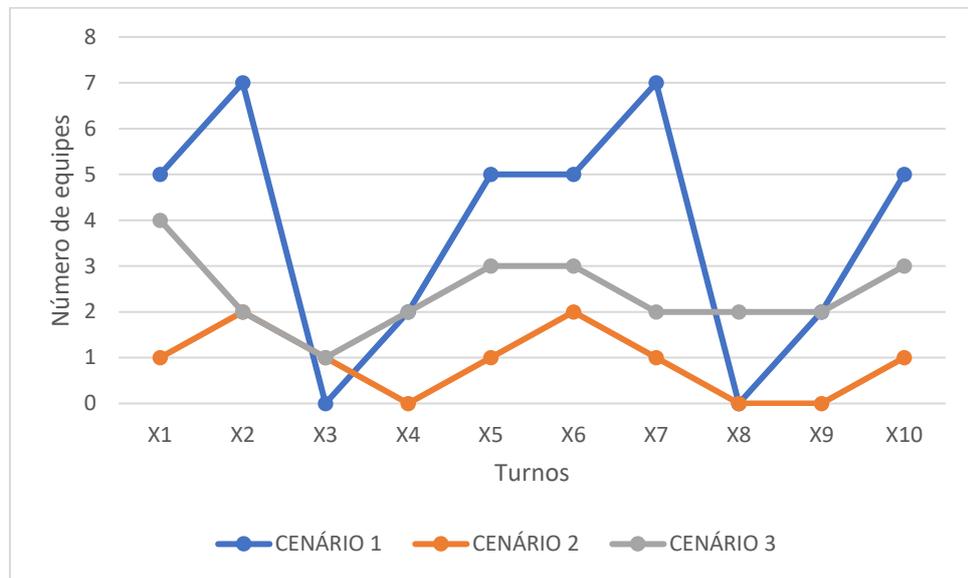
Sendo assim, apenas os custos aumentaram na proporção em que foram definidos, não havendo alteração no número de equipes e nem na quantidade de horas extras utilizadas.

Analisando casos com custos maiores, a fim de testar quando o número de equipes e número de horas extra se alterariam, apenas a partir dos custos de hora extra custando R\$900,00 estes dados se alteraram.

#### 4.1.4 Comparando os cenários

Em relação ao número de equipes em cada turno, como observado na Figura 5, é possível afirmar que o segundo cenário foi o que menos utilizou equipes, justamente porque neste cenário as horas extras estão liberadas em qualquer horário. Já o terceiro cenário, utilizou algumas equipes a mais que o segundo cenário, pois foram ajustadas as horas extras apenas nos finais de cada turno. O primeiro cenário teve a maior oscilação entre os três, pois neste cenário não são utilizadas horas extras, apenas as equipes com os turnos convencionais. Foram utilizados os valores do caso 3, com a hora convencional custando R\$200,0 e a hora extra custando R\$300,00, a fim de fazer uma comparação justa entre os três cenários.

Figura 5 – Gráfico de comparação entre os três cenários quanto ao número de equipes em cada turno.



Fonte: elaborado pela autora

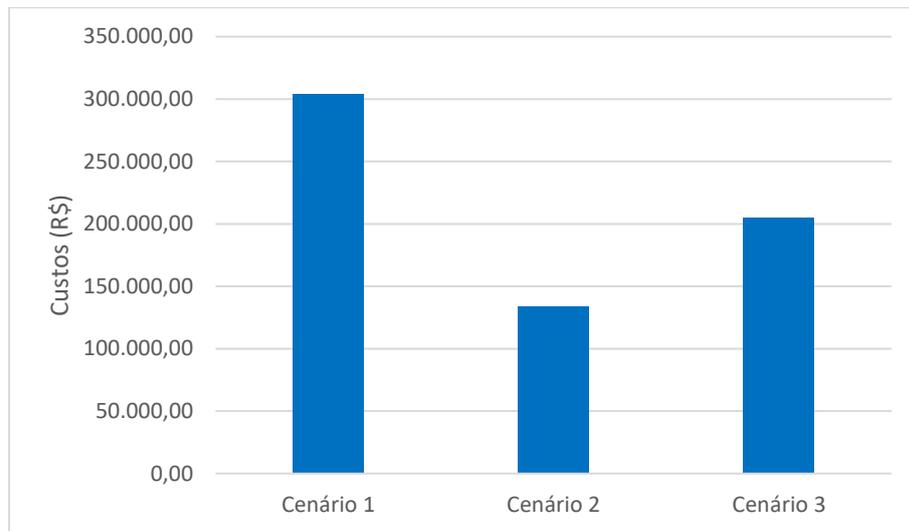
Na tabela 20 são observados os três cenários quanto aos custos, número de equipes utilizadas, número de horas trabalhadas e número de horas extras. Nota-se que em relação aos custos, o segundo cenário foi o que obteve os menores custos, como também pode ser observado na Figura 6. Porém foi o cenário com o maior número de horas extras, o que pode não ser muito útil num cenário mais realista.

Tabela 20 – Dados encontrados referente aos três cenários.

Cenário	Custo	Nº de equipes	Nº de horas convencionais	Nº de horas extras
1	R\$ 304.000,00	38	1520	0
2	R\$ 134.100,00	9	360	207
3	R\$ 204.600,00	24	960	42

Fonte: elaborado pela autora.

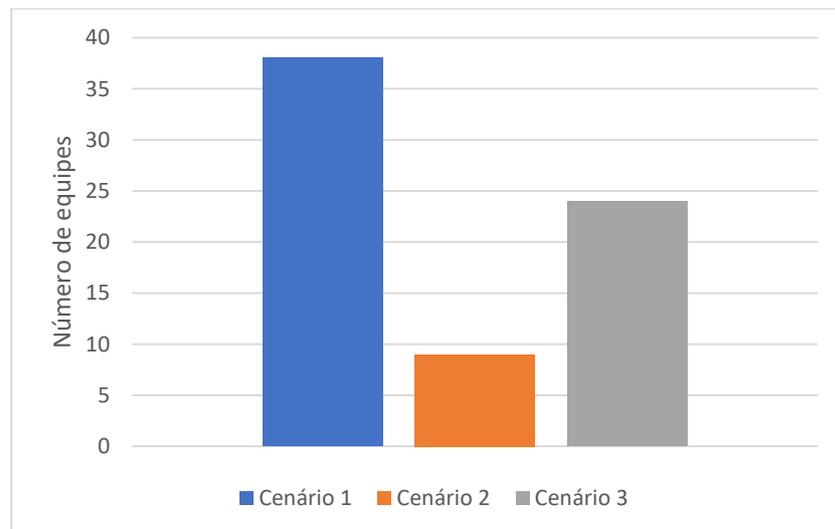
Figura 6 – Gráfico dos custos em cada um dos três cenários.



Fonte: elaborado pela autora

Em relação ao número de equipes o segundo cenário também foi o que utilizou o menor número de equipes, como observado na Figura 7, justamente pelo alto número de horas extras de que faz uso.

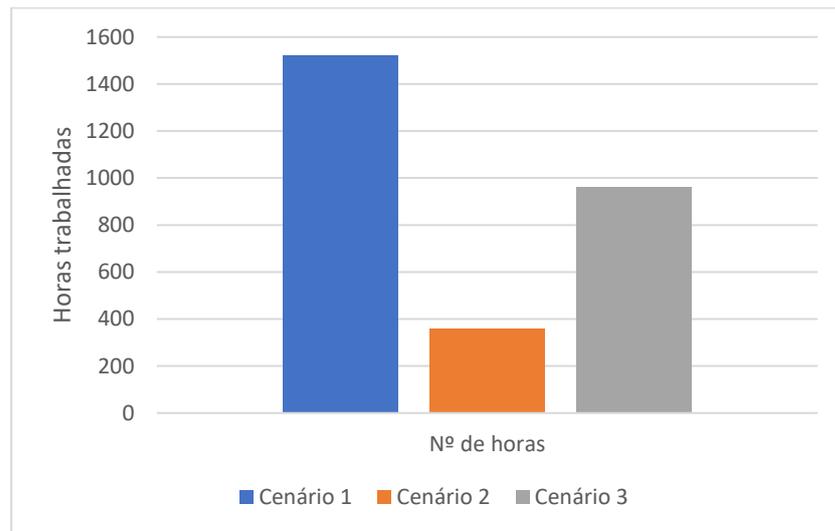
Figura 7 – Gráfico do número de equipes utilizadas nos três cenários.



Fonte: elaborado pela autora.

Já se levarmos em conta o número de horas convencionais trabalhadas, observado na Figura 8, o segundo cenário foi o que obteve o menor número de horas nos turnos convencionais, justamente devido ao grande número de horas extras disponíveis em qualquer horário.

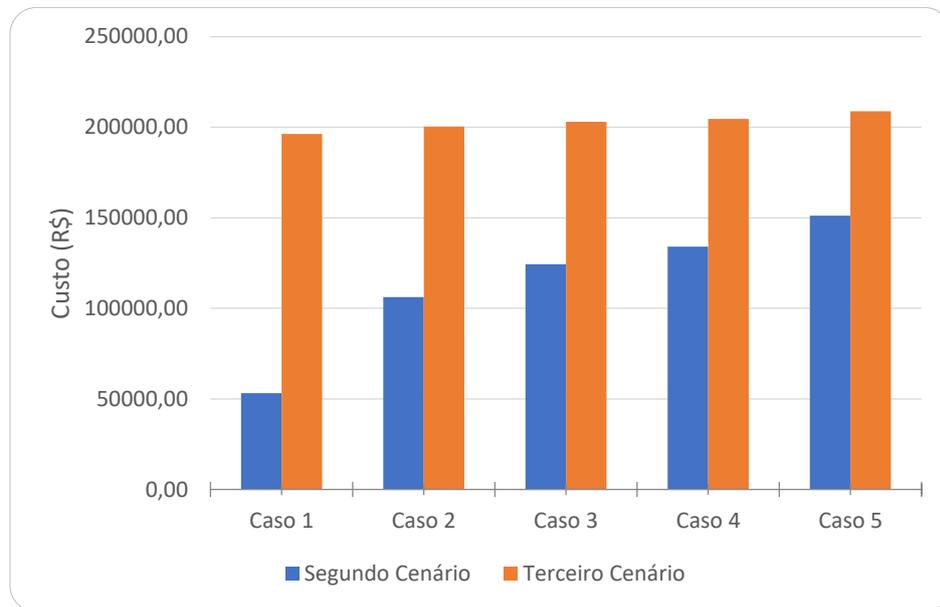
Figura 8 – Gráfico do número de horas trabalhadas nos três cenários.



Fonte: elaborado pela autora.

Comparando o segundo e o terceiro cenário em relação aos custos de hora extra, já que o primeiro não leva em consideração a utilização das mesmas, chegamos aos seguintes resultados, como observado na Figura 9:

Figura 9 – Gráfico de comparação dos custos de hora extra.



Fonte: elaborado pela autora

Como visto na figura, os custos do terceiro cenário são maiores que os custos do segundo cenário em todos os cinco casos observados, mas em compensação a variação do custo de um caso para outro é muito menor em relação a variação apresentada pelo segundo cenário. Por exemplo, a variação encontrada entre o caso 1 e o caso 5 no segundo cenário, foi de aproximadamente 180%, enquanto que a variação dos mesmos casos para o terceiro cenário foi de apenas 6%. Essa variação entre os casos poderia ser maior ainda para o segundo cenário, se fossem considerados mais casos onde o custo de hora extra continuasse aumentando.

Com isso, é possível afirmar que o primeiro cenário é um cenário muito rígido, pois não é possível utilizar nenhuma hora extra, apenas os turnos convencionais previamente definidos, enquanto que no segundo cenário estas horas extras estão liberadas para qualquer hora do dia, o que não é comumente utilizada, pois nem sempre uma equipe estará disponível horas após o fim do seu turno.

O terceiro cenário é o que mais se aproxima da realidade, pois neste cenário são considerados turnos de horas extras que começam imediatamente após o fim do turno convencional, onde as equipes ainda poderão estar disponíveis para trabalhar após os seus respectivos turnos.

## 4.2 VARIABILIDADE NO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO

Nas próximas seções serão demonstrados os resultados obtidos com a variabilidade no horizonte de planejamento, tanto considerando cada uma das oito semanas separadamente quanto o modelo com o conjunto de todas as semanas.

### 4.2.1 Considerando as semanas separadas

Considerando cada uma das oito semanas separadamente, foram encontrados os resultados mostrados na Tabela 21, onde é possível observar os dados obtidos quanto ao custo total, número de equipes necessárias, as demandas emergencial e comercial e as horas comerciais e horas extras necessárias em cada semana. Foram variados os valores de demanda emergencial e comercial para cada uma das oito semanas, estes valores podem ser observados no Apêndice a.

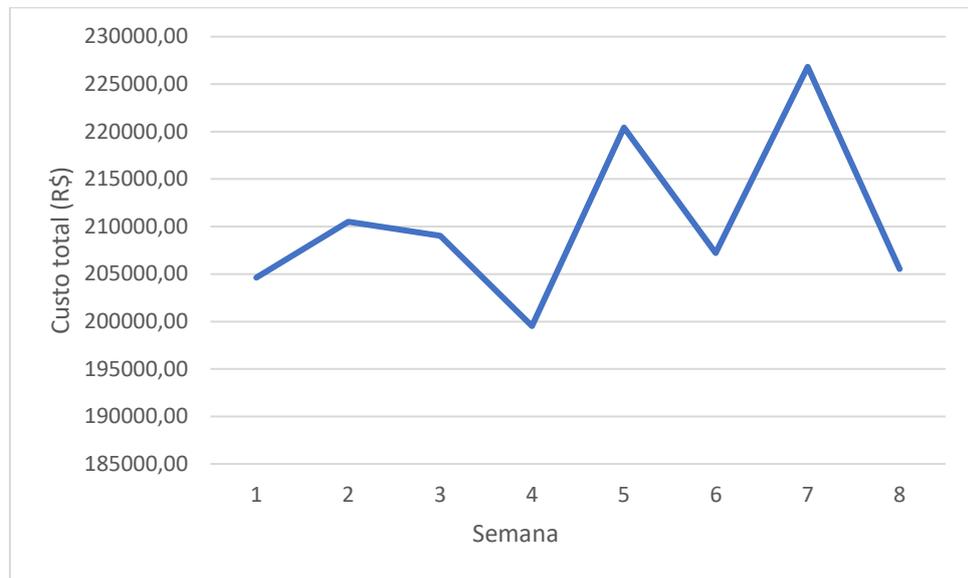
Tabela 21 – Dados obtidos em cada uma das oito semanas.

Semana	Custo por semana (R\$)	Número de equipes	Demanda emergencial (h)	Demanda comercial (h)	Horas comerciais trabalhadas (h)	Horas extras (h)
1	204.600,00	24	443,76	563,61	960	42
2	210.500,00	25	405,84	564,49	1000	35
3	209.000,00	25	400,46	563,04	1000	30
4	199.500,00	24	410,73	562,97	960	25
5	220.400,00	25	407,54	558,81	1000	68
6	207.200,00	25	402,11	558,85	1000	24
7	226.800,00	27	417,99	565,81	1080	36
8	205.500,00	24	407,97	566,91	960	45

Fonte: elaborado pela autora.

Em relação ao custo total encontrado para cada semana, a semana que obteve o menor custo foi a quarta semana, e a semana onde foi encontrado o maior custo foi a sétima semana, como também pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Comparação dos custos totais encontrados para cada semana.

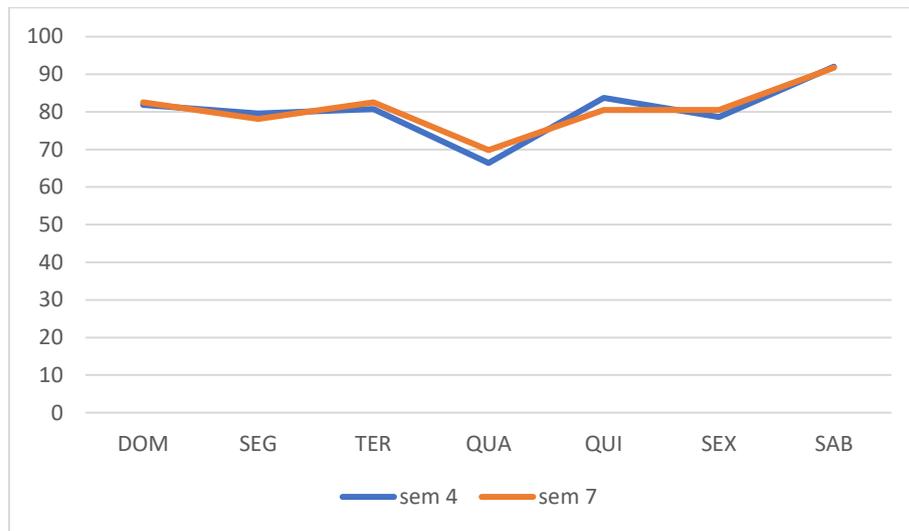


Fonte: elaborado pela autora.

Porém se levarmos em consideração apenas as demandas emergencial e comercial, não é possível explicar estes resultados, pois apesar de ser a semana com o menor custo, a quarta semana não foi a que apresentou os menores valores de demanda comercial e emergencial e nem a sétima semana foi a que apresentou os maiores valores de demanda. Por este motivo, estas duas semanas foram escolhidas para uma análise mais aprofundada, com a finalidade de uma melhor explicação destes resultados obtidos.

Em relação as demandas comerciais das duas semanas, como observado na Figura 11, tanto a quarta como a sétima semana apresentaram resultados similares, tendo uma pequena variação observada na quarta-feira, onde a quarta semana apresentou uma menor demanda em relação a sétima e na quinta-feira onde é possível observar um aumento de demanda.

Figura 11 – Demanda comercial da quarta e sétima semana

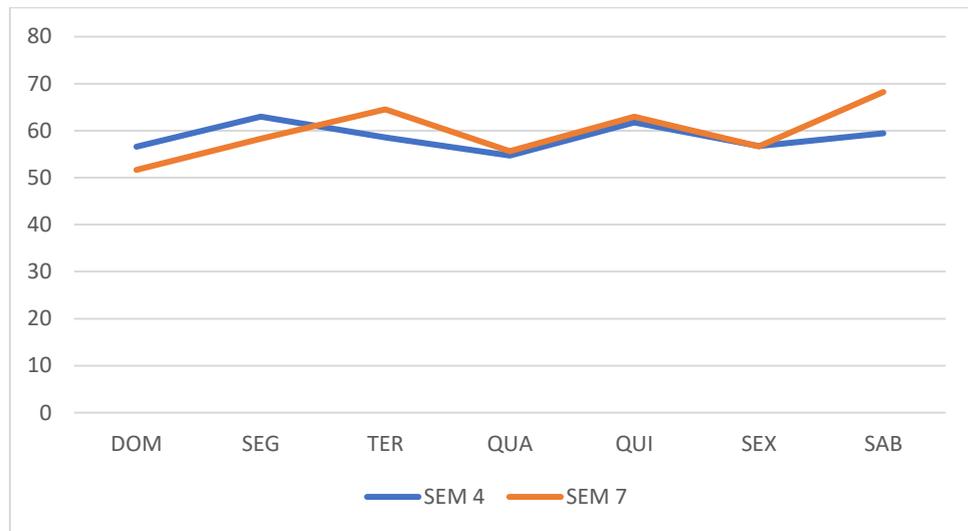


Fonte: elaborado pela autora.

Porém os dados que apresentaram maior variação foram os dados de demanda emergencial, como mostrado na Figura 12, sendo que a semana 4 apresentou picos de demanda na segunda-feira e na quinta-feira, e estes dados só foram maiores que os da sétima semana em duas ocasiões, no domingo e na segunda-feira.

Já em relação a semana 7, a mesma apresentou picos de demanda na terça-feira, quinta-feira e um pico maior no sábado, tendo uma demanda emergencial de aproximadamente dez horas a mais do que a semana 4 neste mesmo dia.

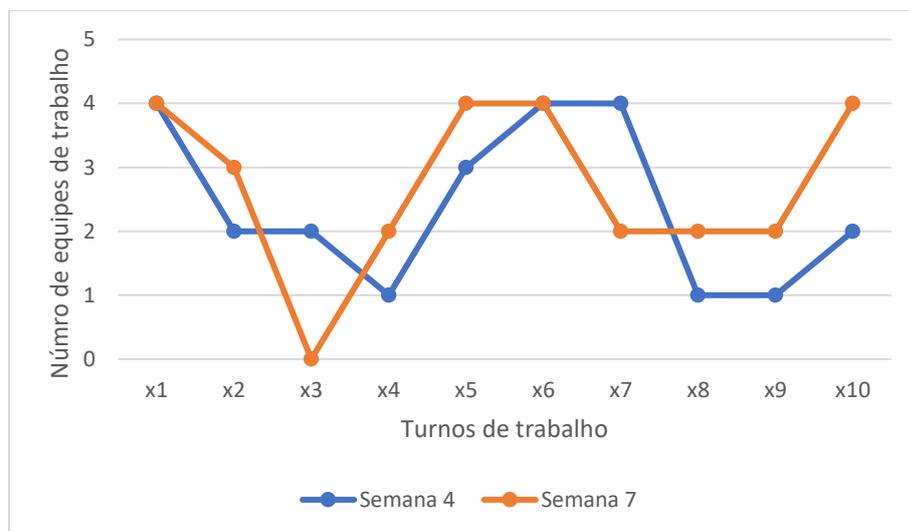
Figura 12 – Demanda emergencial da quarta e sétima semana.



Fonte: elaborado pela autora.

Observando na Figura 13, a quantidade de equipes necessárias em cada turno de trabalho para cada uma das semanas, percebe-se que na semana 7 não foram utilizadas nenhuma equipe no turno 3, sendo que este turno cobre os horários de segunda à sexta-feira, nas 16h à 1h.

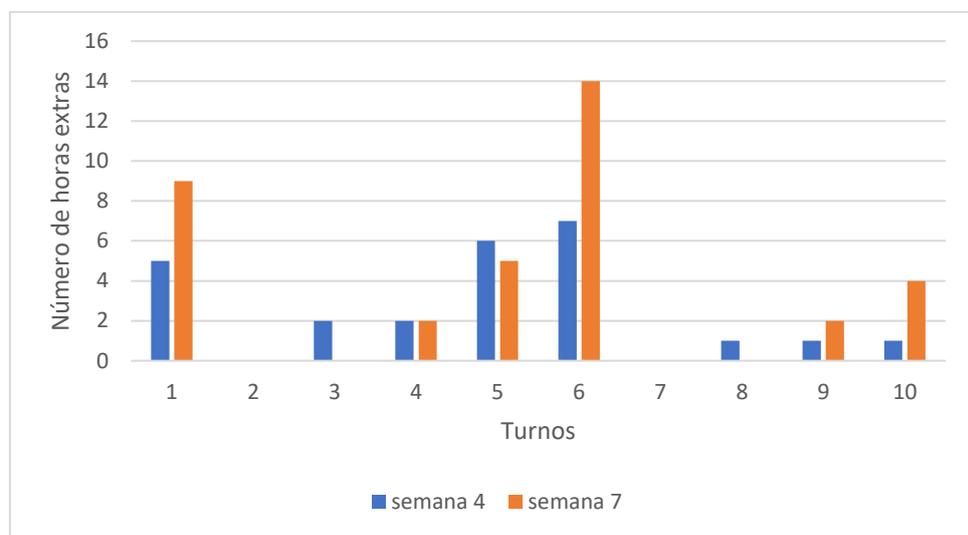
Figura 13 – Relação entre o número de equipes em cada turno para a quarta e sétima semana.



Fonte: elaborado pela autora.

Em relação as horas extras utilizadas em cada turno, como observado na Figura 14, o turno de hora extra que necessitou do maior número de horas foi o turno 6, tanto para a quarta semana quanto para a sétima semana, porém esta teve o dobro de horas extras neste turno. Os turnos 2 e 7 não necessitaram de horas extras para atender a demanda, além disso a sétima semana também não utilizou horas extra no turno 3 pois este não foi ativado.

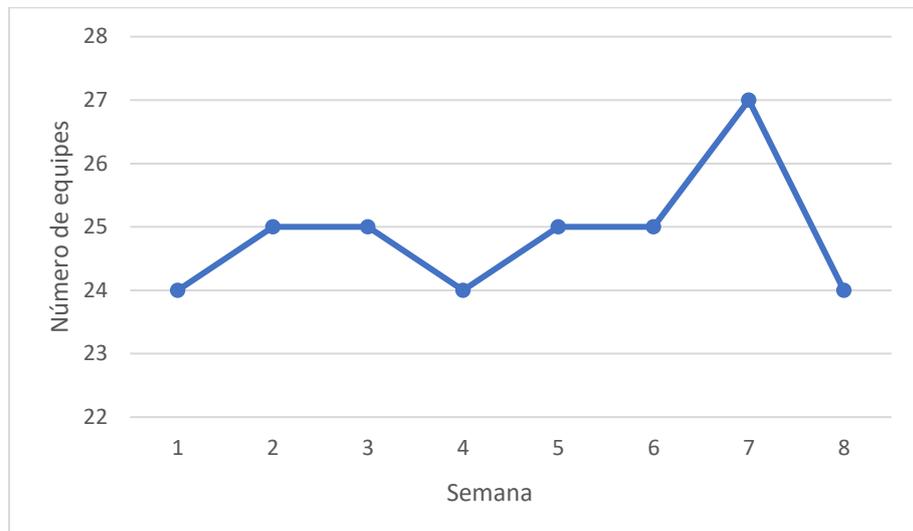
Figura 14 – Comparação do número de horas extras em cada turno.



Fonte: elaborado pela autora.

Ainda analisando os dados gerais envolvendo todas as semanas, na Figura 15 pode-se observar uma comparação entre o número de equipes necessárias em cada semana. É possível observar que a semana 7 foi a que precisou do maior número de equipes para atender a demanda, sendo necessárias três equipes a mais do que nas semanas 1, 4 e 8, que foram as semanas que precisaram do menor número de equipes.

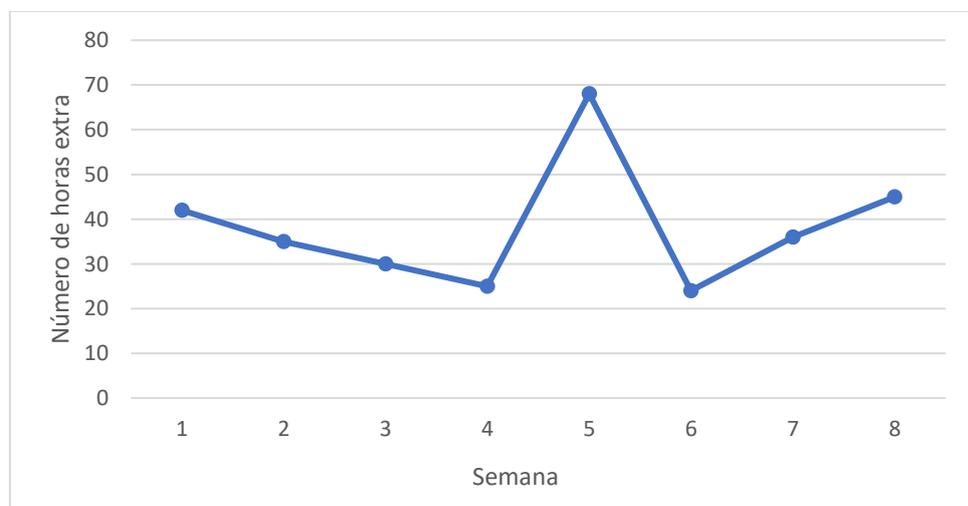
Figura 15 – Comparação do número de equipes necessárias em cada semana.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 16 é possível observar a comparação em relação ao número de horas extras necessárias em cada semana. A semana 5 foi a que necessitou do maior número de horas extras para atender a demanda, sendo necessárias aproximadamente três vezes mais horas extras do que a semana 6, que foi a semana que utilizou o menor número de horas extras no atendimento da demanda.

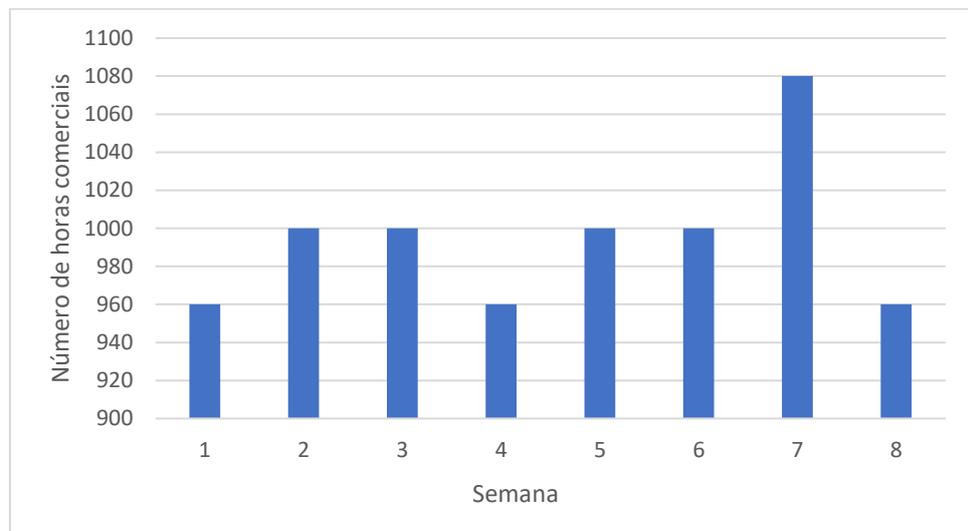
Figura 16 – Comparação do número de horas extras necessários em cada semana



Fonte: elaborado pela autora.

Observando a Figura 17, onde é apresentado o número de horas comerciais atendidas em cada semana, nota-se que a semana 7 foi a que utilizou o maior número de horas comerciais, fazendo uso dos turnos de trabalho previamente estabelecidos, sendo aproximadamente 12% maior que nas semanas 1,4 e 8 que utilizaram o menor número de horas convencionais.

Figura 17 – Comparação do número de horas comerciais utilizadas em cada semana.

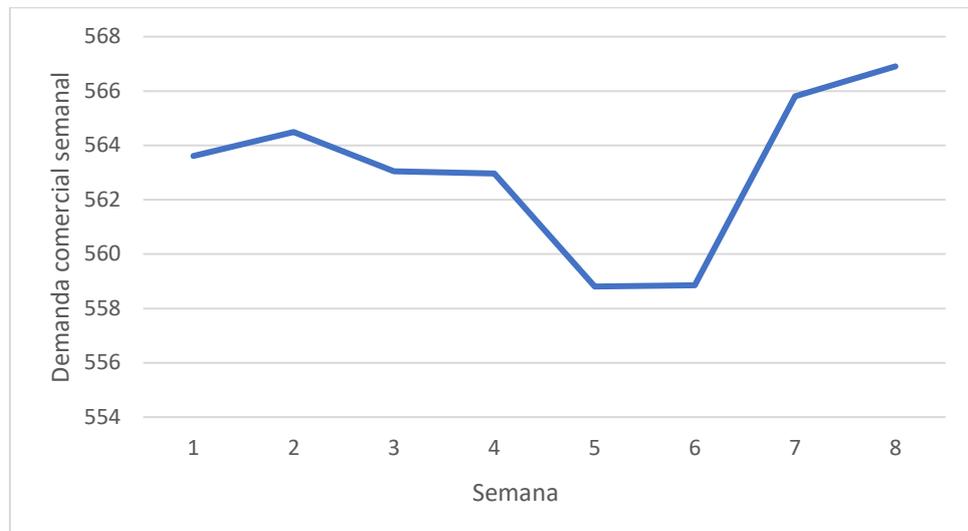


Fonte: elaborado pela autora.

Em relação a demanda comercial, observada na Figura 18, nota-se que a semana 8 apresentou a maior demanda comercial semanal, sendo aproximadamente 2% maior que a demanda comercial da semana 5, que foi a semana que apresentou os menores valores de demanda comercial.

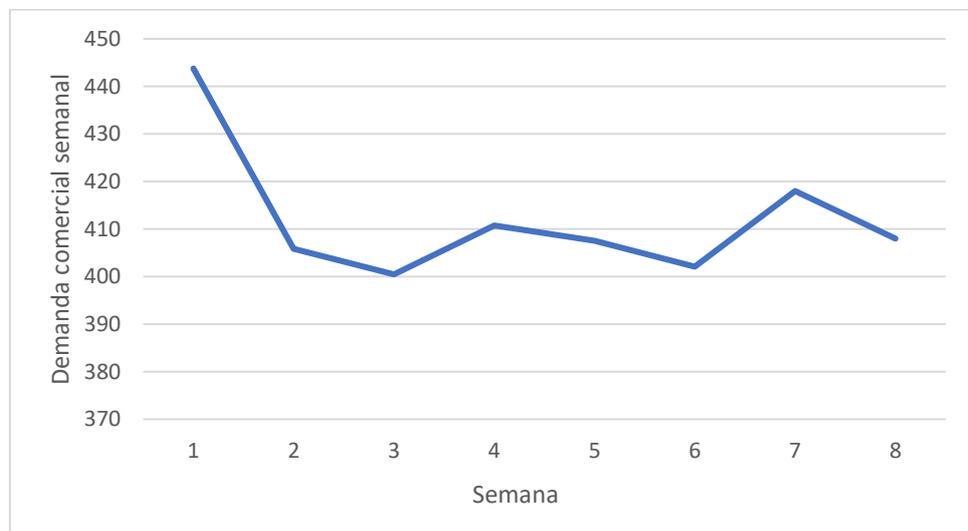
Já em relação a demanda emergencial, observada na Figura 19, nota-se que a semana 1 foi a semana que obteve o maior número de horas emergenciais a ser atendidas, sendo aproximadamente 11% maior que a demanda emergencial atendida na semana 3, que foi a semana que teve o menor número de horas emergenciais atendidas.

Figura 18 – Demanda comercial semanal em cada uma das oito semanas.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 19 – Demanda emergencial semanal em cada uma das oito semanas.



Fonte: elaborado pela autora.

#### 4.2.2 Considerando todas as semanas em um único modelo

Ao definir todas as oito semanas com um novo horizonte de planejamento, foram encontrados os seguintes dados, mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 – Dados encontrados para o horizonte de planejamento de oito semanas.

Custo (R\$)	Número de equipes	Horas comerciais trabalhadas (h)	Horas extras (h)
266.200,00	32	1280	34

Fonte: elaborado pela autora.

Comparando os dados obtidos com o horizonte de planejamento das oito semanas em conjunto, com o planejamento de cada uma em separado, é possível observar que o custo total foi maior quando todas as semanas foram consideradas juntas, sendo superior aos valores encontrados na semana 7, que foi a semana que apresentou o maior custo total.

Para uma melhor análise dos motivos que levaram a esse aumento, foram utilizados o número de equipes encontrados na solução do problema da semana 7, para o problema com as oito semanas, a fim de averiguar se com os mesmos dados o problema apresentaria solução. Foram utilizados os seguintes dados para o número de equipes em cada turno, como mostrados na Tabela 23.

Tabela 23 – Número de equipes encontradas na semana 7 em cada turno.

Turno	Número de equipes
1	4
2	3
3	0
4	2
5	4
6	4
7	2
8	2
9	2
10	4

Fonte: elaborado pela autora.

Ao resolver o problema das oito semanas com os dados da Tabela 23, não foi encontrada solução viável para o problema. Sendo assim, é possível comprovar que mesmo utilizando os dados da semana 7, que foi a semana que obteve os maiores custos, não foi o suficiente para resolver o problema das oito semanas, que necessita de um maior número de equipes para encontrar uma solução para o problema.

### 4.3 VARIABILIDADE NO ATENDIMENTO DA DEMANDA

Nesta seção serão apresentados os resultados encontrados ao utilizar a variabilidade no atendimento da demanda, apresentado tanto o cenário quando ela não é atendida ou quando esse atendimento é adiado.

#### 4.3.1 Atendendo parcialmente a demanda

Para fins de comparação ao atender parcialmente a demanda, foram selecionados cinco cenários de atendimento da demanda, considerando de 50% até 100% do valor do pico de demanda, variando de 10 em 10%. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 24:

Tabela 24 – Variação no atendimento da demanda.

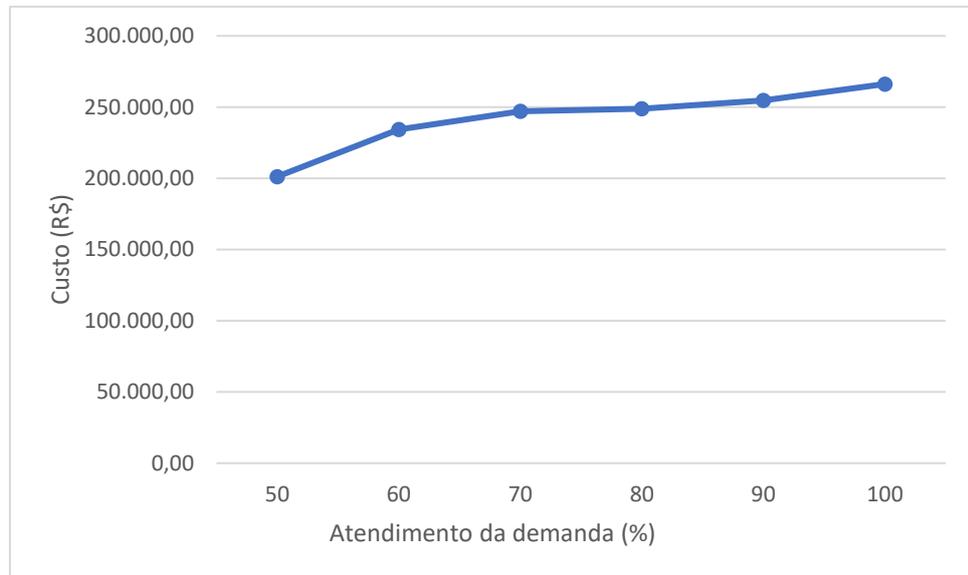
Fator que multiplica o pico da demanda (%)	Custo (R\$)	Equipes	Horas extras
50	201.200,00	22	84
60	234.300,00	27	61
70	247.000,00	29	50
80	248.800,00	29	56
90	254.700,00	30	49
100	266.200,00	32	34

Fonte: elaborado pela autora.

Em relação aos custos encontrados que levam em conta o número de equipes e as horas extras, como observado na Figura 20, a maior diferença de custo encontrada foi entre os cenários de 50% e 60% do atendimento da demanda,

ocorrendo um aumento de aproximadamente 16% e a menor taxa de aumento entre 70 e 80%, com um aumento de aproximadamente 1%.

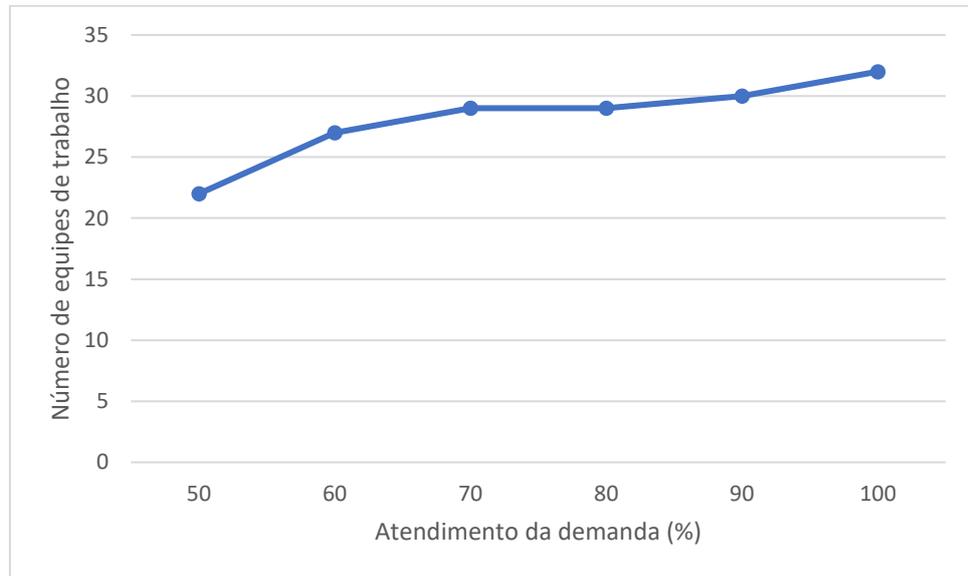
Figura 20 – Custos encontrados variando o atendimento da demanda.



Fonte: elaborado pela autora.

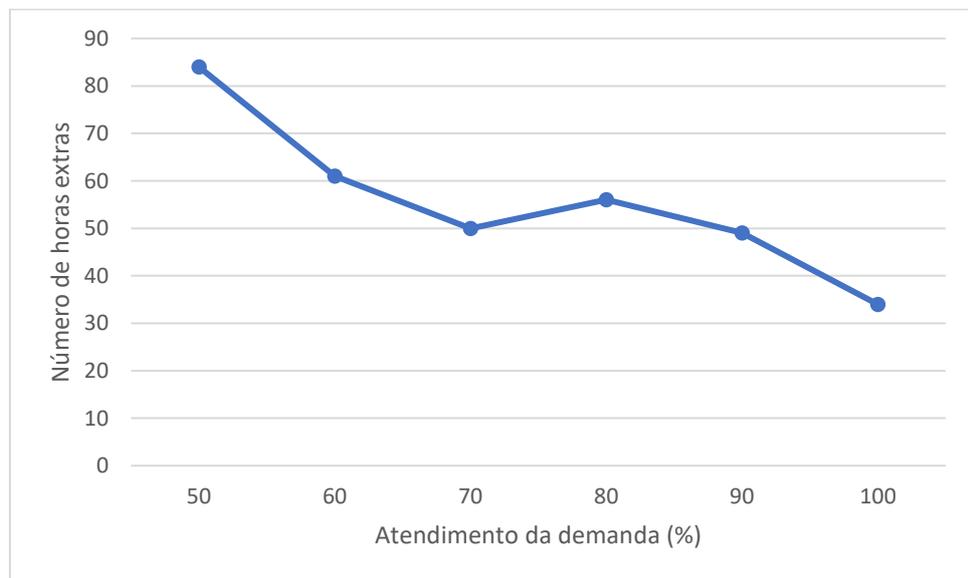
Em relação ao número de equipes a proporção foi a mesma que a dos custos, observado na Figura 21, sendo possível ver uma diferença maior em relação ao número de horas extras necessários em cada cenário, como visto na figura 22. É possível observar uma diminuição de aproximadamente 27% entre os cenários de 50 e 60% do atendimento da demanda, sendo que após isso tem outra diminuição de aproximadamente 18%, após um crescimento de 12% e outra diminuição entre os outros cenários, sendo de aproximadamente 12% e 31% respectivamente.

Figura 21 – Relação entre o número de equipes e a variabilidade no atendimento da demanda



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 22 – Número de horas extras em relação a variação do atendimento da demanda.



Fonte: elaborado pela autora.

Comparando os dados de número de equipes e de horas extras em relação aos custos encontrados, é possível perceber que o número de equipes tem um maior

impacto na função objetivo, pois os resultados encontrados tanto para os custos, como para o número de equipes em cada turno foram muito similares, sendo que essa variação no número de horas extras entre os percentis de atendimento da demanda tiveram pouco impacto no resultado final.

#### 4.3.2 Adiando o atendimento da demanda

Neste cenário, a demanda emergencial não atendida no dia é repassada para a hora seguinte e a demanda comercial não atendida, transferida para o dia seguinte. Os resultados encontrados na resolução deste problema são observados na Tabela 25.

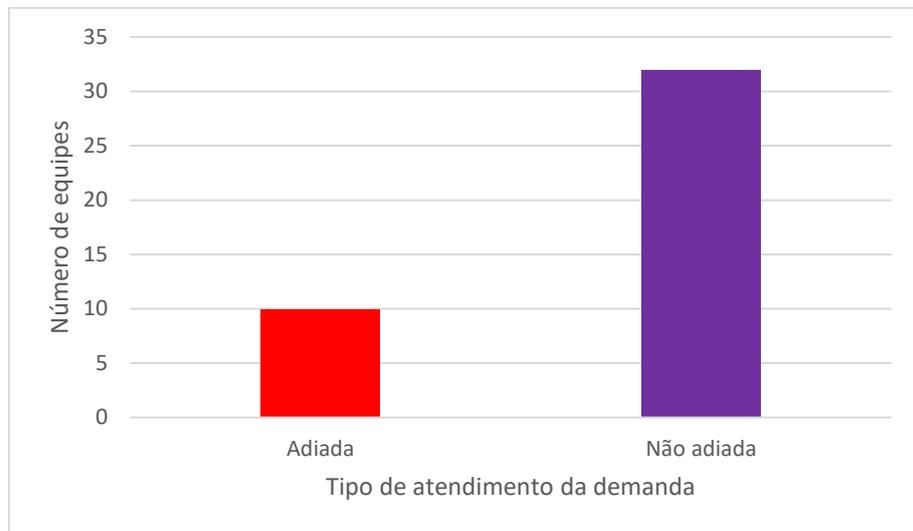
Tabela 25 – Resultados encontrados no cenário de adiamento da demanda.

Custo (R\$)	Número de equipes	Horas convencionais trabalhadas (h)	Horas extras (h)
106.178,97	10	400	51

Fonte: elaborado pela autora.

Comparando os resultados encontrados com o adiamento da demanda e de quando a demanda não foi adiada, primeiramente em relação ao número de equipes, observado na Figura 23, é possível constatar que quando a demanda foi adiada, o número de equipes necessárias foi muito menor em relação à quando essa demanda foi atendida imediatamente, utilizando aproximadamente três vezes menos equipes para atender a demanda.

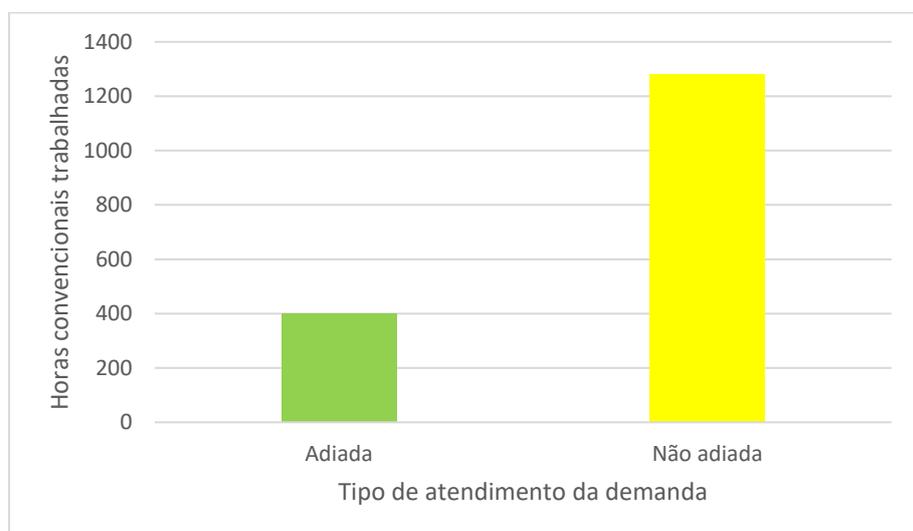
Figura 23 – Comparação dos dados encontrados em relação ao número de equipes para o adiamento ou não no atendimento da demanda.



Fonte: elaborado pela autora.

Os mesmos resultados foram encontrados quando comparadas as horas convencionais entre os dois tipos de atendimento da demanda, sendo que no cenário de adiamento da demanda foi utilizada aproximadamente três vezes menos horas convencionais em relação a demanda não adiada, como observado na Figura 24.

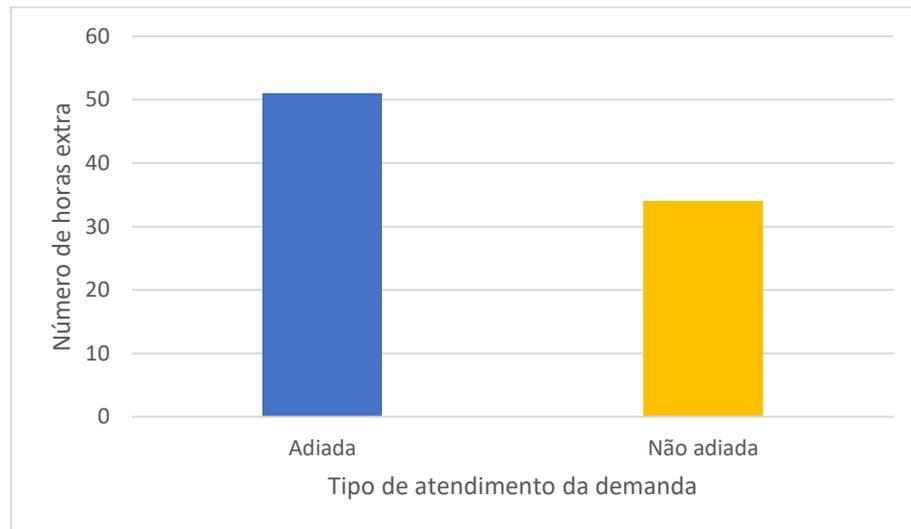
Figura 24 - Comparação dos dados encontrados em relação ao número de horas convencionais para o adiamento ou não no atendimento da demanda.



Fonte: elaborado pela autora.

Já em relação as horas extras, como visto na Figura 25, o maior número de horas extras é encontrado no cenário onde a demanda pode ser adiada, sendo 1,5 vezes maior do que quando ela não foi adiada.

Figura 25 – Comparação dos dados encontrados em relação ao número de horas extras para o adiamento ou não no atendimento da demanda.



Fonte: elaborado pela autora

Para ter uma visão melhor dos dados, foram analisados também o número de horas extras e o número de equipes necessários em cada turno para cada uma das abordagens, e a proporção entre horas extras atendidas pelo número de equipes, como visto na Tabela 26.

Tabela 26 – Proporção entre horas extras e o número de equipes.

Turno	Proporção (Horas extras/Número de equipe)	
	Adiada	Não adiada
1	7	1,67
2	4	Não teve horas extra
3	5	Não teve horas extra
4	Não teve horas extra	1,5
5	Não teve horas extra	0,75
6	5,5	2,6
7	0,5	Não teve horas extra
8	8	Não teve horas extra
9	Não	1
10	8	0,75

Fonte: elaborado pela autora.

Comparando os dados obtidos, é possível perceber que quando a demanda é adiada existe uma sobrecarga muito grande em relação as equipes, sendo que o turno 7 foi o único caso onde as equipes tiveram menos de uma hora extra a ser atendida, sendo os demais turnos todos com mais de 4 horas extras a atender tendo um pico de 8 horas extra por equipe nos turnos 8 e 10. Enquanto que quando a demanda não foi adiada, o máximo de horas extras por equipe foi observado no turno 6, sendo de aproximadamente 2,6 horas.

Com isto, é possível afirmar que em relação ao número de equipes e número de horas convencionais, a abordagem que apresentou os melhores resultados foi a de adiamento da demanda. Porém, em relação a utilização de horas extras, o cenário onde a demanda não pode ser adiada apresentou o menor número de horas extras.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização deste trabalho, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica sendo assim possível constatar como outros pesquisadores trabalharam com o problema de programação de pessoal em diversas áreas, como em setor de saúde (hospitais, clínicas médicas, entre outros), setor de aviação, entre tantas outras áreas em que este problema pode ser aplicado. Porém, ao pesquisar o assunto mais específico escolhido para tema deste trabalho, o setor elétrico, foi visto também que ainda são poucas as pesquisas aplicadas em relação a este problema.

Além disto, foi possível perceber que existem diversas vertentes do problema de programação de pessoal e que são várias as etapas incluídas neste problema, como a previsão de demanda, a programação de turnos, a alocação dos funcionários a estes turnos, entre outros.

Mais especificamente no estudo de caso desenvolvido neste trabalho, foi possível observar a realização da programação de pessoal em uma empresa do setor elétrico que atua na distribuição de energia elétrica. O modelo desenvolvido considera os funcionários divididos em equipes, que atendem tanto a demanda comercial, como a demanda emergencial, sendo que esta tem prioridade no atendimento.

Primeiramente, com os três cenários apresentados, foi possível compará-los em casos diferentes, quando não estavam disponíveis horas extras, quando elas estavam disponíveis a qualquer hora do dia e em qualquer quantidade e quando ela estava disponível na forma de turnos e que só eram possíveis de utilizar imediatamente após o fim dos turnos convencionais.

Após a análise dos três cenários iniciais, foi constatado que o que apresentou os menores custos foi o segundo cenário, porém como neste as horas extras estavam disponíveis em qualquer quantidade, a medida em que aumentam os custos de hora extra, aumentam os custos total, em uma proporção muito maior do que no terceiro cenário.

Sendo assim possível afirmar que o terceiro cenário foi o que melhor se aproximou de um cenário real, onde os turnos de hora extra só estão disponíveis após os turnos convencionais, pois normalmente a equipe só vai estar disponível para atuar em horas extras no fim do seu turno e não horas antes ou horas depois do fim do turno convencional.

Após as análises iniciais, foi aumentado o horizonte de planejamento inicial de uma semana para oito semanas, a fim de se aproximar de um cenário mais realista onde a programação se expande ao longo de um tempo maior, além de analisar como cada uma das semanas se comportaram com uma variação nos valores de demanda.

Foi possível constatar que ao aumentar o horizonte de planejamento, conseqüentemente aumentam os custos agregados, pois é necessário atender os requisitos de todas as semanas em conjunto, sendo necessárias equipes que em um horizonte de planejamento menor talvez não fossem necessárias, além de aumentar a complexidade do problema, pois precisa levar em conta um maior número de atendimentos e ainda sim encontrar uma solução viável para o problema.

Quando analisada a variabilidade no atendimento da demanda, foi possível constatar que, dependendo do caso, é melhor adiar um atendimento de uma hora para outra, ou de um dia para o outro, para diminuir os custos com equipes, sendo utilizadas três vezes menos equipes do que quando ela não é adiada.

Porém em relação ao número de horas extras foi possível perceber que é necessário um número maior dessas horas quando é adiado um atendimento, de aproximadamente 1,5 vezes mais horas, além da sobrecarga de horas extras para cada uma das equipes de atendimento.

Sendo assim, o gestor com as definições e preferências da sua empresa, deve levar em consideração o que é melhor para o seu caso específico.

Além da aplicação prática, este trabalho também apresenta uma grande relevância teórica, devido à escassez de trabalhos na literatura sobre a programação de pessoal na área do setor de serviços, principalmente no setor elétrico.

Como trabalhos futuros, uma abordagem oportuna seria considerar os outros passos utilizados na programação de pessoal, como a previsão de demanda ou ainda após a definição dos turnos ver o que aconteceria com o roteamento destas equipes. Além disso, também seria possível utilizar a definição de limitantes para a utilização dos turnos de trabalho convencionais e também das horas extra, por exemplo.

## REFERÊNCIAS

- ADAMUTHE, A. C.; BICHKAR, R. S. **Tabu Search for Solving Personnel Scheduling Problem**. 2012 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT). Mumbai, India: IEEE. 2012. p. 1-6.
- AGRALI, S.; TASKIN, Z. C.; UNAL, A. T. Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. **Omega**, v. 66, n. PA, p. 159-169, Jan. 2017.
- BARRERA, D.; VELASCO, N.; AMAYA, C.-A. A network-based approach to the multi-activity combined timetabling and crew scheduling problem: Workforce scheduling for public health policy implementation. **Computers & Industrial Engineering**, v. 63, n. 4, p. 802–812, 2012.
- BELIEN, J. et al. Integrated staffing and scheduling for an aircraft line maintenance problem. **Computers and Operations Research**, v. 40, n. 4, p. 1023-1033, 2013. ISSN 0305-0548.
- BORENSTEIN, Y. et al. On the partitioning of dynamic workforce scheduling problems. **Journal of Scheduling**, v. 13, n. 4, p. 411-425, 2010.
- BRUCKER, P.; QU, R.; BURKE, E. Personnel scheduling: Models and complexity. **European Journal of Operational Research**, v. 210, n. 3, p. 467-473, 2011. ISSN 0377-2217.
- CAIRES, L. M.; GUIMARÃES, I.; GARCIA, V. J. **Estratégias para o despacho de ordens de serviço com vistas ao equilíbrio entre capacidade e demanda**. 5º Fórum Internacional Ecoinnovar. Santa Maria: Ecoinnovar. 2016. p. 14.
- CAMPBELL, G. M. On-call overtime for service workforce scheduling when demand is uncertain. **Decision Sciences**, v. 43, n. 5, p. 817-850, Oct. 2012.
- CASTILLO-SALAZAR, A.; LANDA-SILVA, D.; QU, R. **A survey of workforce scheduling and routing**. 9th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2012). Oslo, Norway: [s.n.]. 2012. p. 28-31.
- CASTILLO-SALAZAR, J. A.; LANDA-SILVA, D.; QU, R. Workforce scheduling and routing problems: literature survey and computational study. **Annals of Operations Research**, v. 239, n. 1, p. 39-67, 2016.
- CHEN, P.-S.; LIN, Y.-J.; PENG, N.-C. A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments. **Computers & Industrial Engineering**, Tarrytown, NY, USA, v. 99, n. C, p. 174-188, Sept. 2016. ISSN 0360-8352.
- CHUA, P. C.; WIRAWAN, H. T. **Implicit modelling for manpower scheduling with part-time workers**. 2016 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Bali, Indonesia: IEEE. 2016. p. 1688-1692.

DANTZIG, G. B. A comment on Edie's traffic delays at toll booths. **Journal of the Operations Research Society of America**, v.2, p. 339-341, Aug. 1954. ISSN 0096-3984.

DEFRAEYE, M.; NIEUWENHUYSE, I. V. Staffing and scheduling under nonstationary demand for service: A literature review. **Omega - The International Journal of Management Science**, Oxford, v. 58, p. 4-25, Jan. 2016. ISSN 0305-0483.

ERNST, A. T. et al. An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. **Annals of Operations Research**, v. 127, p. 21-144, 2004.

ERNST, A. T. et al. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 1, p. 3-27, 2004. ISSN 0377-2217.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de serviços: Operações, Estratégia e Tecnologia da Informação**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

GANS, N. et al. Parametric Forecasting and Stochastic Programming Models for Call-Center Workforce Scheduling. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 17, n. 4, p. 571-588, 2015. ISSN 1526-5498.

GARCIA, V. J. et al. **Problema de roteamento de veículos para atendimento de ordens emergenciais em concessionária de distribuição de energia elétrica**. XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional/ XVI Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa. Rio de Janeiro: XLIV SBPO/XVI CLAIO. 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONSALVES, E. P. **Conversas sobre iniciação à pesquisa científica**. 5. ed. Campinas: Alínea, 2012.

GÜLER, M. G.; IDIN, K.; GÜLER, E. Y. A goal programming model for scheduling residents in an anesthesia and reanimation department. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 6, p. 2117–2126, 2013.

HOJATI, M.; PATIL, A. S. An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees. **European Journal of Operational Research**, v. 209, n. 1, p. 37-50, 2011. ISSN 0377-2217.

JIANG, Y.; SEIDMANN, A. Capacity planning and performance contracting for service facilities. **Decision Support Systems**, v. 58, p.31-42, Feb. 2014.

JOHNSTON, R.; CLARK, G. **Administração de Operações de Serviços**. Tradução de Ailton Bomfim Brandão. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224-3210-4.

KARMAKAR, S. et al. **Meta-heuristics for solving nurse scheduling problem: A comparative study**. 2016 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA) (Fall). Bareilly: IEEE. 2016. p. 1-5.

KAUARK, F.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. 1. ed. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KIM, K.; MEHROTRA, S. A Two-Stage Stochastic Integer Programming Approach to Integrated Staffing and Scheduling with Application to Nurse Management. **Operations Research**, Maryland, USA, v. 63, n. 6, p. 1431-1451, Nov./Dec. 2015. ISSN 1526-5463.

LAESANKLANG, W.; LANDA-SILVA, D.; CASTILLO-SALAZAR, J. A. **Mixed Integer Programming with Decomposition to Solve a Workforce Scheduling and Routing Problem**. International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2015). Lisbon, Portugal: [s.n.]. 2015.

LAPÈGUE, T.; BELLENGUEZ-MORINEAU, O.; PROT, D. A constraint-based approach for the shift design personnel task scheduling problem with equity. **Computers and Operations Research**, v. 40, n. 10, p. 2450–2465, 2013.

LEGRAIN, A.; BOUARAB, H.; LAHRICHI, N. The nurse scheduling problem in real-life. **Journal of Medical Systems**, v. 39, n. 1, p. 160, Jan. 2015. ISSN 1573-689X.

MACHUCA, J. A. D.; GONZÁLEZ-ZAMORA, M. D. M.; AGUILAR-ESCOBAR, V. G. Service Operations Management research. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 3, p. 585-603, Apr. 2007. ISSN 02726963.

MAENHOUT, B.; VANHOUCHE, M. Branching strategies in a branch-and-price approach for a multiple objective nurse scheduling problem. **Journal of Scheduling**, Hingham, MA, USA, v. 13, n. 1, p. 77-93, Feb. 2010. ISSN 1094-6136.

MENDES, K. C. S. **Gestão da capacidade e da demanda no varejo: Um estudo realizado em uma empresa supermercadista de Belo Horizonte**. 2009. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração)–Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG, 2009.

MENEZES, L. **Gerenciamento de capacidade e demanda em operações de serviços: um estudo exploratório em uma central de atendimento ao cliente**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: ENEGEP. 2010.

ÖZGÜVEN, C.; SUNGUR, B. Integer programming models for hierarchical workforce scheduling problems including excess off-days and idle labour times. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 22, p. 9117 - 9131, 2013. ISSN 0307-904X.

PARISIO, A.; JONES, C. N. A two-stage stochastic programming approach to employee scheduling in retail outlets with uncertain demand. **Omega**, v. 53, p. 97-103, 2015. ISSN 0305-0483.

PINEDO, M.; ZACHARIAS, C.; ZHU, N. Scheduling in the service industries: An overview. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 24, n. 1, Mar. 2015.

ROBBINS, T. R.; HARRISON, T. P. A stochastic programming model for scheduling call centers with global Service Level Agreements. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1608-1619, 2010. ISSN 0377-2217.

RÖMER, M.; MELLOULI, T. **Future demand uncertainty in personnel scheduling: Investigating deterministic lookahead policies using optimization and simulation.** 30th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS). Regensburg, Germany: Scopus. 2016. p. 502-507.

ROSÁRIO, R. R. L. D. **Algoritmos evolutivos adaptativos para problemas de programação de pessoal.** 2011. 231 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

ROSOCHA, L.; VERNEROVÁ, S.; VERNER, R. Medical staff scheduling using simulated annealing. **Quality innovation prosperity**, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2015. ISSN 1338-984X.

SADJADI, S. J.; HEIDARI, M.; ESBOEI, A. A. Augmented  $\epsilon$ -constraint method in multiobjective staff scheduling problem: a case study. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 70, n. 5, p. 1505–1514, Feb. 2014. ISSN 1433-3015.

SAGNAK, M.; KAZANCOGLU, Y. Shift Scheduling with Fuzzy Logic: An Application with an Integer Programming Model. **Procedia Economics and Finance**, v. 26, p. 827 - 832, 2015. ISSN 2212-5671.

SANTOS, A. R. **Metodologia científica: a construção do conhecimento.** 7. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMET, P.; ERNST, A. T.; BERGHE, G. V. Heuristic decomposition approaches for an integrated task scheduling and personnel rostering problem. **Computers & Operations Research**, v. 76, p. 60-72, 2016. ISSN 0305-0548.

SOUKOUR, A. A. et al. A Memetic Algorithm for staff scheduling problem in airport security service. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 18, p. 7504-7512, 2013. ISSN 0957-4174.

STEINER, M. T. A. et al. Técnicas da pesquisa operacional aplicadas à logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica. **Sistemas & Gestão**, v. 1, n. 3, p. 229-243, dez. 2006.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 27 p.

TASKIRAN, G. K.; ZHANG, X. Mathematical models and solution approach for cross-training staff scheduling at call centers. **Computers & Operations Research**, p. 1-12, July. 2016.

TOPALOGLU, S.; OZKARAHAN, I. A constraint programming-based solution approach for medical resident scheduling problems. **Computers & Operations Research**, v. 38, n. 1, p. 246–255, 2011.

TOPALOGLU, S.; SELIM, H. Nurse scheduling using fuzzy modeling approach. **Fuzzy Sets and Systems**, Amsterdam, v. 161, n. 11, p. 1543-1563, June. 2010. ISSN 0165-0114.

TSAI, C. C.; LI, S. H. A. A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 5, p. 9506-9512, July. 2009. ISSN 0957-4174.

VAN DEN BERGH, J. et al. Personnel scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 226, n. 3, p. 367-385, 2013. ISSN 0377-2217.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

VILLARREAL, M. C.; GOLDSMAN, D.; KESKINOCAK, P. Workforce Management and Scheduling Under Flexible Demand. **Service Science**, Maryland, USA, v. 7, n. 4, p. 331–351, Dec. 2015. ISSN 2164-3970.

VOLLAND, J.; FÜGENER, A.; BRUNNER, J. O. A column generation approach for the integrated shift and task scheduling problem of logistics assistants in hospitals. **European Journal of Operational Research**, v. 260, n. 1, p. 316–334, July. 2017. ISSN 0377-2217.

ZAMORANO, E.; STOLLETZ, R. Branch-and-price approaches for the Multiperiod Technician Routing and Scheduling Problem. **European Journal of Operational Research**, v. 257, n. 1, p. 55–68, Feb. 2017. ISSN 0377-2217.

ZHU, J. Optimization of Power System Operation. **Wiley-IEEE Press**. 2009.

## APÊNDICE A

### a) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 1

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,24	1,47	1,33	1,74	1,82	0,91	0,79
01:00	1,80	0,84	0,68	0,15	0,63	1,39	1,90
02:00	1,67	1,27	1,29	0,08	1,92	1,34	1,22
03:00	0,78	1,32	1,59	0,78	0,67	0,03	1,27
04:00	1,42	0,62	0,80	1,83	1,73	1,26	0,53
05:00	0,14	1,01	1,20	1,46	0,41	1,11	0,05
06:00	1,89	0,82	0,36	0,83	0,25	1,26	0,06
07:00	2,60	3,73	2,13	2,55	4,24	4,33	4,54
08:00	3,22	4,81	4,08	3,65	4,36	3,71	2,72
09:00	2,32	2,69	2,25	4,66	3,38	3,91	3,58
10:00	2,37	4,24	4,00	4,83	4,09	3,81	2,58
11:00	3,62	3,48	4,65	4,43	4,10	2,82	4,11
12:00	2,53	3,10	4,80	4,72	3,44	3,92	4,17
13:00	4,09	3,36	4,12	2,35	3,07	4,65	4,21
14:00	4,95	2,41	2,10	4,12	2,73	2,96	4,40
15:00	2,57	2,24	4,50	3,81	4,92	2,62	3,58
16:00	4,25	2,71	4,80	2,36	4,72	4,85	4,56
17:00	2,70	5,85	6,79	2,23	5,14	6,88	5,16
18:00	6,53	6,22	5,73	4,73	2,22	2,36	6,89
19:00	3,13	5,98	4,59	2,23	3,83	3,11	2,80
20:00	4,98	2,28	2,63	4,65	5,51	3,01	3,17
21:00	1,49	1,13	0,33	0,34	0,39	1,09	1,19
22:00	1,30	0,03	1,52	0,38	0,59	1,10	1,97
23:00	0,26	0,39	0,69	0,24	0,15	1,18	1,45

### b) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 2

(continua)

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,19	1,22	0,82	1,97	1,30	1,21	0,71
01:00	2,49	0,53	0,91	0,13	0,43	1,15	1,84
02:00	1,27	0,87	1,26	0,11	1,48	0,67	0,72
03:00	0,90	0,65	1,57	0,95	0,81	0,03	1,19
04:00	1,57	0,43	0,48	1,71	1,11	0,95	0,52
05:00	0,08	0,97	1,42	1,04	0,36	0,86	0,07

06:00	1,69	0,53	0,24	1,10	0,16	0,71	0,04
07:00	3,11	4,91	1,22	2,47	2,57	3,90	3,42
08:00	3,10	6,46	3,95	2,52	3,31	2,74	2,45
09:00	2,45	2,82	2,00	4,59	3,14	2,71	3,71
10:00	1,99	4,03	2,66	5,94	2,59	2,25	2,41
11:00	4,62	2,41	3,84	3,49	2,70	2,65	3,82
12:00	1,52	1,82	5,47	3,92	2,82	4,47	3,01
13:00	4,08	2,37	3,98	1,50	2,23	3,37	4,50
14:00	5,15	1,38	2,10	3,59	2,27	1,68	4,02
15:00	2,80	3,13	2,70	3,71	5,66	1,39	2,61
16:00	3,70	3,21	4,05	2,73	3,58	3,67	5,25
17:00	1,54	4,63	6,38	2,25	6,52	9,26	5,63
18:00	6,56	7,16	6,62	5,58	1,57	2,17	5,74
19:00	2,23	6,90	5,63	1,57	4,89	2,11	3,56
20:00	6,74	1,88	1,99	4,69	3,72	2,21	2,14
21:00	0,86	0,84	0,20	0,20	0,53	0,92	0,64
22:00	0,53	0,03	1,28	0,47	0,60	1,37	1,20
23:00	0,26	0,51	0,72	0,29	0,12	0,92	1,67

## c) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 3

(continua)

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,16	0,76	0,99	0,94	1,08	0,65	0,88
01:00	2,03	1,09	0,68	0,13	0,67	1,11	2,05
02:00	1,02	1,08	0,99	0,09	1,20	1,50	1,39
03:00	0,94	1,68	1,64	0,79	0,64	0,03	0,67
04:00	1,68	0,72	1,06	1,40	1,48	0,64	0,33
05:00	0,12	0,74	0,61	1,30	0,35	1,22	0,07
06:00	1,52	0,52	0,30	1,14	0,13	0,77	0,07
07:00	1,98	2,50	1,46	2,47	4,11	3,50	2,54
08:00	3,84	3,90	3,03	4,32	2,92	4,97	3,24
09:00	1,90	2,86	2,53	3,33	2,40	5,01	2,33
10:00	2,72	4,96	3,60	2,74	2,55	2,13	1,65
11:00	2,35	3,32	5,91	4,09	3,85	2,37	4,00
12:00	1,77	3,00	3,25	3,00	2,25	5,31	4,28
13:00	5,26	2,86	2,81	1,33	3,56	5,65	3,45
14:00	6,25	2,92	1,85	4,51	1,98	3,50	5,24
15:00	2,28	2,57	2,75	2,35	4,44	3,25	2,46
16:00	2,90	2,94	3,17	1,34	4,60	3,98	6,20
17:00	2,93	6,64	8,40	1,67	3,21	6,88	3,97

18:00	8,40	3,72	5,39	5,67	1,27	2,01	9,11
19:00	2,15	4,01	4,57	2,74	3,10	3,31	2,29
20:00	4,06	2,35	1,93	4,86	3,82	2,40	1,91
21:00	1,21	0,97	0,31	0,21	0,46	0,52	0,71
22:00	0,91	0,04	1,40	0,28	0,41	1,04	1,72
23:00	0,20	0,51	0,84	0,21	0,08	0,94	1,04

## d) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 4

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,28	1,40	0,88	1,30	1,87	0,64	0,56
01:00	1,76	0,52	0,46	0,16	0,80	1,36	1,43
02:00	0,98	1,32	0,79	0,09	2,47	1,44	1,16
03:00	0,76	0,85	1,23	0,57	0,49	0,04	0,78
04:00	1,64	0,41	0,95	1,19	1,30	1,05	0,65
05:00	0,16	0,82	0,61	1,08	0,24	1,06	0,07
06:00	1,80	0,99	0,39	0,60	0,17	0,68	0,06
07:00	1,70	4,71	1,27	2,06	3,67	3,46	2,84
08:00	2,14	5,77	2,48	3,18	5,13	4,11	3,32
09:00	1,59	2,09	1,38	6,19	3,86	3,14	3,45
10:00	1,91	3,03	2,62	3,66	2,37	2,80	2,93
11:00	2,38	4,79	5,03	3,05	4,47	2,74	4,34
12:00	2,10	1,98	5,92	4,29	3,57	4,56	3,73
13:00	3,12	3,69	4,81	2,92	2,26	5,16	3,83
14:00	5,55	2,93	1,71	4,36	2,10	2,97	4,96
15:00	1,59	1,94	2,88	4,70	5,21	2,18	3,36
16:00	4,69	3,06	4,42	1,79	5,50	2,75	3,98
17:00	2,50	5,69	6,35	2,12	4,85	4,40	4,99
18:00	8,37	7,61	6,20	5,68	1,27	2,57	5,22
19:00	3,07	5,77	3,94	1,46	3,25	3,72	2,31
20:00	6,17	2,58	1,50	3,37	5,76	2,86	2,16
21:00	1,18	0,67	0,27	0,37	0,31	0,49	0,62
22:00	0,92	0,04	1,61	0,28	0,73	1,00	1,82
23:00	0,22	0,34	0,85	0,23	0,09	1,54	0,86

## e) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 5

(continua)

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,17	0,87	0,73	1,14	1,82	0,97	0,52
01:00	1,37	1,05	0,82	0,15	0,52	1,10	2,27

02:00	0,93	0,65	1,49	0,09	2,11	1,43	0,73
03:00	0,62	1,33	0,83	0,93	0,40	0,03	0,76
04:00	0,93	0,64	0,66	1,92	0,98	0,96	0,52
05:00	0,13	0,64	1,14	1,75	0,35	1,05	0,03
06:00	1,73	0,92	0,44	0,70	0,26	1,57	0,06
07:00	1,51	4,73	2,09	2,63	4,23	2,62	4,78
08:00	2,81	3,79	2,38	3,65	3,41	3,19	3,00
09:00	2,43	2,84	2,26	5,39	2,76	2,81	3,70
10:00	2,87	5,37	5,14	3,84	3,23	2,96	2,19
11:00	2,97	2,63	3,04	3,77	5,07	2,69	4,61
12:00	3,38	3,07	3,02	3,33	2,50	4,27	3,82
13:00	2,86	3,10	3,97	2,04	2,60	3,71	4,05
14:00	3,49	1,91	1,14	3,49	1,78	2,65	3,83
15:00	2,72	1,45	3,29	3,27	6,40	2,02	3,97
16:00	5,03	2,98	3,62	1,94	3,20	5,59	6,20
17:00	3,27	4,60	8,57	1,82	4,32	5,02	5,13
18:00	6,63	8,07	4,36	3,24	1,65	2,15	5,70
19:00	3,41	7,93	6,27	1,99	3,80	3,71	3,71
20:00	5,28	1,13	2,71	3,32	4,79	3,36	1,89
21:00	0,80	0,86	0,25	0,38	0,47	0,44	0,84
22:00	0,67	0,04	1,11	0,27	0,36	1,06	2,02
23:00	0,24	0,42	0,82	0,16	0,16	0,71	1,33

f) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 6

(continua)

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,27	0,76	1,28	1,23	0,91	0,95	0,74
01:00	0,91	0,95	0,48	0,18	0,48	1,27	1,47
02:00	1,00	0,89	1,33	0,06	2,15	0,92	1,00
03:00	0,63	1,38	1,75	0,64	0,82	0,02	1,71
04:00	1,25	0,44	0,81	1,73	1,87	0,75	0,48
05:00	0,12	0,42	1,02	1,89	0,30	1,20	0,05
06:00	1,91	0,51	0,39	1,12	0,14	0,92	0,04
07:00	3,08	4,31	2,25	1,98	2,45	2,90	4,22
08:00	3,80	5,54	4,11	3,70	5,39	3,17	2,03
09:00	1,79	2,36	1,73	2,84	2,99	3,16	2,40
10:00	2,45	2,51	4,99	6,05	5,07	3,59	2,39
11:00	3,89	2,19	4,19	5,65	2,59	2,34	3,31
12:00	1,94	3,13	2,97	4,17	4,69	3,13	4,38
13:00	2,89	3,65	4,11	1,50	1,91	3,07	4,53

14:00	2,83	1,84	2,00	4,07	2,36	3,39	2,91
15:00	2,81	1,72	3,10	4,24	5,58	1,49	2,26
16:00	3,70	2,24	5,22	2,74	2,86	5,50	2,96
17:00	2,94	6,36	7,22	1,35	6,65	3,92	3,32
18:00	4,81	8,23	3,65	5,51	2,00	1,76	8,26
19:00	2,58	5,37	5,76	2,39	2,45	3,56	1,92
20:00	5,04	1,49	2,03	4,42	5,53	1,84	3,95
21:00	1,33	0,46	0,30	0,31	0,41	1,33	1,08
22:00	0,98	0,03	1,29	0,48	0,57	1,46	1,09
23:00	0,19	0,21	0,75	0,13	0,11	1,06	1,43

## g) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 7

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,14	1,51	1,57	2,09	1,43	0,58	0,69
01:00	1,38	0,53	0,61	0,10	0,58	1,41	1,48
02:00	1,78	0,66	1,54	0,07	2,14	1,69	1,18
03:00	0,97	1,47	1,24	0,81	0,66	0,02	0,80
04:00	0,96	0,52	0,99	1,80	1,73	0,58	0,58
05:00	0,07	0,71	0,76	1,50	0,46	1,20	0,06
06:00	0,99	1,09	0,49	0,52	0,21	0,54	0,05
07:00	2,22	4,36	2,32	1,56	2,94	5,39	5,02
08:00	3,06	3,80	2,45	3,05	3,95	3,47	1,64
09:00	1,60	1,95	2,30	3,05	4,57	4,67	3,43
10:00	1,40	4,75	4,98	4,34	4,11	4,25	2,11
11:00	2,37	2,99	5,25	3,55	2,48	2,35	4,49
12:00	2,42	2,04	4,71	3,47	3,60	2,31	3,20
13:00	3,93	2,86	2,82	2,45	3,05	3,65	4,45
14:00	2,93	2,50	2,18	3,66	3,22	1,61	5,32
15:00	2,33	1,66	2,97	3,45	5,62	2,37	3,99
16:00	3,68	2,99	4,27	3,10	3,91	3,97	5,47
17:00	1,48	4,76	6,84	2,06	4,63	6,17	6,06
18:00	7,13	6,73	6,32	5,49	1,61	2,50	7,59
19:00	2,80	7,47	5,13	2,25	4,89	2,32	3,22
20:00	5,45	1,87	2,36	6,20	5,88	2,89	3,46
21:00	1,59	0,68	0,29	0,42	0,34	0,64	0,71
22:00	0,83	0,04	1,54	0,40	0,81	0,90	2,23
23:00	0,17	0,38	0,62	0,21	0,15	1,17	1,01

## h) Demanda emergencial dos dias da semana em horas da semana 8

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
00:00	0,28	1,44	1,19	1,86	1,75	0,89	1,07
01:00	1,37	0,63	0,62	0,13	0,51	1,11	1,76
02:00	1,63	1,15	1,27	0,08	1,87	1,05	1,38
03:00	0,71	1,25	1,15	0,85	0,59	0,03	1,35
04:00	0,95	0,41	0,83	1,33	1,90	1,02	0,42
05:00	0,17	1,10	0,63	1,18	0,52	1,26	0,07
06:00	1,76	0,84	0,35	0,87	0,17	0,49	0,07
07:00	1,52	3,47	1,58	1,50	3,32	5,58	3,75
08:00	2,82	5,92	4,26	4,23	5,80	3,70	2,06
09:00	3,05	3,15	1,86	3,52	2,37	5,12	4,21
10:00	1,28	3,95	5,19	3,91	3,71	3,93	1,66
11:00	3,69	2,51	4,86	5,89	5,16	3,24	3,68
12:00	3,04	2,68	5,36	6,38	2,00	3,96	3,03
13:00	2,90	3,44	4,24	2,14	3,47	3,25	5,05
14:00	5,04	2,23	1,56	2,58	2,96	3,41	4,43
15:00	1,63	2,19	5,62	2,81	5,63	1,71	3,23
16:00	2,58	2,57	6,22	1,83	3,30	2,99	5,55
17:00	1,74	3,48	7,04	1,26	5,73	5,01	3,25
18:00	7,07	6,33	3,77	4,12	1,42	1,38	6,64
19:00	2,23	4,79	3,16	2,54	4,00	1,89	1,78
20:00	6,47	1,80	2,13	3,00	3,49	2,25	3,43
21:00	1,14	0,97	0,41	0,36	0,47	0,69	1,03
22:00	0,67	0,02	1,45	0,24	0,62	1,39	1,97
23:00	0,28	0,37	0,58	0,12	0,10	1,08	1,03

## i) Demanda comercial dos dias da semana em horas

SEMANA	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
1	81,19	78,42	82,48	67,45	81,47	79,19	93,41
2	82,60	76,87	80,02	69,07	82,45	80,25	93,23
3	82,70	79,74	80,53	69,88	79,30	77,76	93,14
4	81,85	79,61	80,75	66,41	83,73	78,61	92,02
5	81,30	79,04	80,27	66,88	81,84	77,15	92,33
6	80,57	78,31	81,43	66,36	79,20	78,24	94,74
7	82,50	78,15	82,58	69,84	80,48	80,51	91,74
8	81,36	78,70	80,10	68,81	83,47	81,98	92,50