



Agendamento e Roteamento de Técnicos de Assistência ao Domicílio

CESAR MANUEL DE SOUSA NUNES

novembro de 2021

AGENDAMENTO E ROTEAMENTO DE TÉCNICOS DE ASSITÊNCIA AO DOMICÍLIO

César Manuel Sousa Nunes
1161400

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



AGENDAMENTO E ROTEAMENTO DE TÉCNICOS DE ASSISTÊNCIA AO DOMICÍLIO

César Manuel Sousa Nunes
1161400

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Manuel Pereira Lopes

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Co-orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento muito especial à minha família e amigos pelo encorajamento que sempre me deram e ao Engenheiro Manuel Lopes pela pessoa que é e pelo conhecimento que me transmitiu.

Li, obrigado pela tua paciência.

PALAVRAS CHAVE,

Serviços Técnicos, Agendamento, Roteamento Heurísticas Sistema de Apoio à Decisão

RESUMO

A presente dissertação teve como propósito o desenvolvimento de uma solução para um problema real de uma empresa de prestação de serviços de assistência técnica ao domicílio com a necessidade de implementar uma ferramenta de otimização para apoio à decisão do operador que efetua o agendamento dinâmico de serviços ao domicílio.

Este problema é designado na literatura por DTRSP (Dynamic Technician Routing and Scheduling Problem). O objetivo é, considerando as restrições do problema, elaborar um plano que aloque, de forma dinâmica, um conjunto de técnicos com valências heterogêneas a um conjunto de serviços a realizar através de um plano de rotas que minimize as distâncias percorridas. As restrições do problema são a heterogeneidade das valências entre os técnicos, heterogeneidade dos tempos de execução para cada tipologia de serviço e janelas temporais.

A formulação matemática do problema foi baseada numa formulação STRSP e a sua resolução é efetuada através de uma heurística construtiva simples denominada de inserção de menor custo. O algoritmo foi implementado na plataforma Excel usando a linguagem de programação VBA, sendo a sua arquitetura demonstrada no presente relatório.

Os resultados obtidos são analisados através da sua comparação com a solução atual fornecida pela empresa e revelam uma melhoria significativa da qualidade da solução, os ganhos em tempo de processo são também expressivos. Após vários testes verificase que o algoritmo desenvolvido é uma ferramenta essencial à qualidade e rapidez das decisões do gestor operacional.

KEYWORDS

Scheduling, Routing, Technical, Service, Insertion, Heuristics, Problem, Operational

ABSTRACT

The purpose of this dissertation was to develop a solution to a real problem of a company providing technical assistance services at home, with the need to implement an optimization tool to support the decision of the operator who performs the dynamic scheduling of services at home.

This problem is referred to in the literature as DTRSP (Dynamic Technician Routing and Scheduling Problem). The objective is, considering the constraints of the problem, to develop a plan that dynamically allocates a set of technicians with heterogeneous skills to a set of services to be performed through a route plan that minimizes the distances covered. The problem's restrictions are the heterogeneity of the valences among the technicians, the heterogeneity of execution times for each type of service and time windows.

The mathematical formulation of the problem was based on a STRSP formulation, and its resolution is carried out through a simple constructive heuristic called least cost insertion. The algorithm was implemented on the Excel platform using the VBA programming language, and its architecture is demonstrated in this report.

The results obtained are analyzed by comparing them with current solution provided by the company and reveal a significant improvement in the quality of the solution, process time gains are also significant. After several tests, it is verified that the developed algorithm is an essential tool for the quality and speed of the operational manager's decisions.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

TTSP	<i>Technician and Task Scheduling Problem</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>
TRSP	<i>Technician Routing and Scheduling Problem</i>
DTRSP	<i>Dynamic Technician Routing and Scheduling Problem</i>
VRPTW	<i>Vehicle Routing Problem whit Time Windows</i>
ALNS	<i>Adaptive Large Neighborhood Search</i>
MIP	<i>Mixed Integer Programming</i>
WSRP	<i>Workforce Scheduling and Routing Problems</i>
STRSP	<i>Service Technician Routing and Scheduling Problem</i>
MFSRP	<i>Multi-period Field Service Routing Problem</i>
MTRSP	<i>Multi-period Technician Routing and Scheduling Problem</i>
SA	Serviços agendados
TU	Técnicos utilizados
TD	Tempo de deslocações
TS	Tempo de serviços
TI	Tempo inutilizado
TT	Tempo total de disponibilidade do conjunto dos técnicos para um dia de trabalho
RT	Eficiência do roteamento
EA	Eficiência do algoritmo
EG	Eficiência global

Lista de Unidades

min	Minutos

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - FOTO VIATURA SATFIEL (SATFIEL)	47
FIGURA 2 - SISTEMA DE AGENDAMENTOS QRL (SATFIEL)	48
FIGURA 3 - SISTEMA DE AGENDAMENTOS QRL (SATFIEL)	48
FIGURA 4 - SISTEMA DE AGENDAMENTOS QRL (SATFIEL)	49
FIGURA 5 - SISTEMA DE AGENDAMENTOS QRL (SATFIEL)	49
FIGURA 6 - PROCESSO DE INSERÇÃO COM DOIS VÉRTICES	57
FIGURA 7 - ESQUEMA DE CONTABILIZAÇÃO DO TEMPO DA ROTA	63
FIGURA 8 - ESQUEMA DE VERIFICAÇÃO DA JANELA TEMPORAL	64
FIGURA 9 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO DE UMA INSERÇÃO	64
FIGURA 10 - EXEMPLO DE INSERÇÃO	64
FIGURA 11 - GRÁFICO DE TEMPO NÃO UTILIZADO NO DIA 04/01/2021	67
FIGURA 12 - SOLUÇÃO ATUAL (SATFIEL)	67
FIGURA 13 - NÚMERO DE SERVIÇOS AGENDADOS APÓS 1º PROCESSO DE AGENDAMENTO	69
FIGURA 14 - TEMPO NÃO UTILIZADO APÓS PRIMEIRO PROCESSO DE AGENDAMENTO	69
FIGURA 15 - NÚMERO DE SERVIÇOS AGENDADOS APÓS SEGUNDO PROCESSO DE AGENDAMENTO	70
FIGURA 16 - TEMPO NÃO UTILIZADO APÓS SEGUNDO PROCESSO DE AGENDAMENTO	70
FIGURA 17 - NÚMERO DE SERVIÇOS AGENDADOS POR DIA	71
FIGURA 18 - NÚMERO DE SERVIÇOS AGENDADOS APÓS TERCEIRO PROCESSO DE AGENDAMENTO	71
FIGURA 19 - TEMPO NÃO UTILIZADO APÓS TERCEIRO PROCESSO DE AGENDAMENTO	72
FIGURA 20 - NÚMERO DE SERVIÇOS AGENDADOS POR DIA	72

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - VARIANTES TTSP (KHALFAY, ET AL., 2017)	31
TABELA 2 – ABORDAGENS DE SOLUÇÕES EXATAS APLICADAS AO TTSP (KHALFAY, ET AL., 2017)	40
TABELA 3 – ABORDAGENS DE SOLUÇÃO HEURÍSTICAS APLICADAS AO TTSP (KHALFAY, ET AL., 2017)	40
TABELA 4 - TEMPOS DE TRABALHO (SATFIEL)	50
TABELA 5 -CODIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS (SATFIEL)	51
TABELA 6 - VALÊNCIAS DOS TÉCNICOS (SATFIEL)	52
TABELA 7 – TEMPOS DE SERVIÇO (SATFIEL)	52
TABELA 8 – JANELAS HORÁRIAS (SATFIEL)	53
TABELA 9 - ESTRUTURA DADOS MATRIZ <i>MTTYPE</i>	60
TABELA 10 - ESTRUTURA DE DADOS MATRIZ <i>MTEC</i>	60
TABELA 11 - ESTRUTURA DE DADOS MATRIZ <i>MSER</i>	60
TABELA 12 - ESTRUTURA DA MATRIZ <i>MRINF</i>	61
TABELA 13 - ESTRUTURA DA MATRIZ <i>MROUTES</i>	61
TABELA 14 - EXEMPLO DE INFORMAÇÃO DE SERVIÇO	61
TABELA 15 - EQUIVALÊNCIAS DO SOMATÓRIO DE TEMPOS À JANELA TEMPORAL	63
TABELA 16 - SERVIÇOS AGENDADOS NO INÍCIO DO DIA (SATFIEL)	68
TABELA 17 - COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES	73
TABELA 18 - ANÁLISE DESEMPENHO PARA O PRIMEIRO DIA	74
TABELA 19 - RESULTADOS À ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	75
TABELA 20 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA O CENÁRIO ESTÁTICO	76

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Enquadramento do trabalho.....	25
1.2	Objetivos propostos.....	25
1.3	Contribuições	26
1.4	Estrutura do relatório	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1	TTSP.....	30
2.2	Modelos matemáticos	33
2.2.1	TTSP	33
2.2.2	TRSP.....	35
2.2.3	STRSP	38
2.3	Abordagens de solução.....	40
2.4	Problema dinâmico de roteamento e agendamento de técnicos	42
3	DESENVOLVIMENTO	47
3.1	Apresentação da empresa e problema proposto	47
3.2	Caracterização do problema	50
3.2.1	Registo dos serviços	51
3.2.2	Codificação do serviço.....	51
3.2.3	Valências dos técnicos.....	52
3.2.4	Tempos de serviço.....	52
3.2.5	Localização dos serviços.....	52
3.2.6	Janelas temporais.....	53
3.2.7	Dia de trabalho de um técnico	53

3.3	Formulação matemática	53
3.4	Metodologia de desenvolvimento	56
3.4.1	Heurística de Inserção de Menor Custo	57
3.4.2	Heurística de arrependimento	58
3.5	Arquitetura do algoritmo	59
3.5.1	Estrutura de dados	59
3.5.2	Heurística de Inserção de Menor Custo	62
3.5.3	Janelas temporais	62
3.5.4	Processo de inserção	64
3.5.5	Pseudocódigo	65
3.6	Instâncias de teste	66
3.7	Testes e resultados	66
3.7.1	Comparativo entre a solução atual e os resultados obtidos para o primeiro dia	73
3.7.2	Análise de sensibilidade às restrições do problema	74
3.7.3	Gestão operacional da capacidade de trabalho	77
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	81
4.1	CONCLUSÕES	81
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	82
5	BIBLIOGRAFIA	85
6	ANEXOS	91
6.1	Anexo 1 – Dados reais de agendamento 04/01/2021 e 05/01/2021	91
6.2	Anexo 2 – Tabela de codificação de serviço	92
6.3	Anexo 3 – Tabela de valência dos técnicos	94
6.4	Anexo 4 – Tabela de tempos de serviço	95
6.5	Anexo 5 – Lista de serviços de 2020 com agendamento para 2021	95
6.6	Anexo 6 – Lista de serviços de 2020 sem agendamento	97
6.7	Anexo 7 – Primeira rotina de criação de serviço	98
6.8	Anexo 8 - Segunda rotina de criação de serviço	99
6.9	Anexo 9 – Terceira rotina de criação de serviço	100

6.10	Anexo 10 - Quarta rotina de criação de serviço.....	100
6.11	Anexo 11 – Resultados após primeiro processo de agendamento.....	101
6.12	Anexo 12 – Resultados após segundo processo de agendamento.....	101
6.13	Anexo 13 – Resultados após terceiro processo de agendamento.....	102
6.14	Anexo 14 – Resultado após quarto e quinto processo de agendamento.....	102
6.15	Anexo 15 – Resultado final após cinco processo de agendamento.....	103

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

1.2 Objetivos propostos

1.3 Contribuições

1.4 Estrutura do relatório

1 INTRODUÇÃO

Os problemas de otimização de rotas de veículos são alvo de estudo desde há muitos anos com o objetivo de otimizar rotas para uma consequente diminuição dos custos. Com o evoluir dos tempos esta tipologia de problemas adaptou o seu estudo às necessidades dos mercados, enriquecendo assim, os modelos e a eficiência dos algoritmos. As decisões relativas à alocação de um conjunto de técnicos aos serviços estão a cargo do nível operacional, a principal preocupação a este nível é obter um plano diário de rotas económico e flexível (Goldbarg, et al., 2005).

No contexto do escalonamento de pessoas existem muitos cenários nos quais pessoas devem realizar tarefas em diferentes locais sendo para tal exigido um meio de transporte, estes tipos de problemas são chamados de problemas de programação e roteamento de forças de trabalho (WSRP), pois geralmente envolvem a programação combinada de pessoas e roteamento de forma a garantir que as tarefas sejam realizadas dentro dos prazos estabelecidos (Castillo-Salazar, et al., 2014). Dentro da família dos WSRP é encontrado o problema de roteamento e agendamento dinâmico de técnicos (DTRSP), este problema trata o roteamento e a alocação dinâmica de técnicos a tarefas com requisitos de valências que devem ser cumpridos (Khalfay, et al., 2017).

A aplicabilidade desta tipologia de problemas a casos reais de empresas é definida pelo conjunto de restrições que lhe são impostas. O problema em estudo trata um caso real de uma empresa de assistência técnica (Satfiel) que dispõe de um conjunto de técnicos para realizar serviços ao domicílio, este problema tem características particulares como a heterogeneidade dos técnicos, janelas temporais e a variação dos tempos de serviço.

1.1 Enquadramento do trabalho

O desenvolvimento deste trabalho pretende enquadrar e estender o conhecimento adquirido na disciplina de Modelos de Apoio à Decisão lecionada no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica (Energia). No desenvolvimento do trabalho são adquiridos novos conhecimentos do âmbito da Gestão Operacional, algoritmia e programação.

1.2 Objetivos propostos

Através da revisão bibliográfica pretende-se adquirir conhecimento científico, baseado em artigos publicados, necessário para a modulação matemática do problema e a escolha de métodos para a sua resolução.

Pretende-se obter a capacidade de análise de um caso de estudo real e a escolha de metodologias de resolução que permitam obter de uma solução de boa qualidade com baixo tempo computacional.

Durante o desenvolvimento do trabalho pretende-se adquirir conhecimentos sobre arquitetura de algoritmos e programação baseada na linguagem *VBA*.

No final pretende-se obter a capacidade para encontrar uma solução viável, sentido de análise crítica dos resultados e a capacidade de integração do modelo no cenário empresarial.

1.3 Contribuições

O desenvolvimento deste trabalho apresenta uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida numa plataforma amigável e de fácil utilização, a sua rapidez, qualidade das soluções e resultados de fácil interpretação aliados a uma análise de eficiência das soluções são uma valiosa contribuição ao nível operacional, tático e estratégico que resultam em potenciais ganhos para a empresa.

1.4 Estrutura do relatório

No primeiro capítulo do relatório faz-se o enquadramento do problema em estudo com os problemas de otimização e são traçados os objetivos para este trabalho.

No segundo capítulo faz-se uma revisão bibliográfica baseada em artigos científicos publicados sobre problemas de roteamento e agendamento de técnicos, são apresentados vários estudos, metodologias de desenvolvimento, abordagens de solução e modelos matemáticos.

No terceiro capítulo é apresentado e desenvolvido o trabalho, é efetuada a apresentação da empresa que forneceu o problema, é efetuada a descrição do problema, apresentada a solução atual da empresa, apresentada a formulação do modelo matemático e a abordagem de solução. A arquitetura do algoritmo e os resultados são apresentados na parte final do capítulo.

Finalmente, o quarto capítulo são apresentadas as conclusões ao trabalho realizado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TTSP

2.2 Modelos matemáticos

2.3 Abordagens de solução

2.4 Problema dinâmico de roteamento e agendamento de técnicos

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O problema de roteamento e agendamento de técnicos é um problema que as empresas de assistência técnica e manutenção enfrentam nos dias de hoje, a competitividade do mercado exige rapidez de atuação, diversificação de serviços e a satisfação do cliente. A relação entre competitividade e rentabilidade das empresas passa pela eficácia da gestão dos seus recursos.

Os WSRP são uma classe de problemas que envolvem o agendamento de forças de trabalho para a execução de tarefas em diferentes locais (Castillo-Salazar, et al., 2012), este tipo de problemas tem uma ampla gama de aplicações que abrangem áreas desde saúde, manutenção de equipamentos, construção civil, telecomunicações, entre outras. Dependendo do seu contexto, os WSRP podem envolver diversas restrições como janelas temporais, requisitos de valências e dependências entre tarefas.

A família dos TTSP é constituída por cinco tipos de problemas (Khalfay, et al., 2017):

- Problema de agendamento de técnicos e tarefas (TTSP- *Technician and Task Scheduling Problem*);
- Problema de roteamento e agendamento de técnicos (TRSP- *Technician Routing and Scheduling Problem*);
- Problema de roteamento e agendamento de serviços técnicos (STRSP- *Service Technician Routing and Scheduling Problem*);
- Problema de roteamento de serviço de campo em múltiplos períodos (MFSRP- *Multi-period Field Service Routing Problem*);
- Problema de roteamento e agendamento de técnicos em múltiplos períodos (MTRSP- *Multi-period Technician Routing and Scheduling Problem*);

Esta tipologia de problemas é classificada como *NP-hard*, ou seja, não existem algoritmos conhecidos que os consigam resolver em tempo polinomial, para grandes instâncias as técnicas de solução exata não são aplicáveis a estes problemas, assim, as técnicas de aproximação apesar de não garantirem a solução ótima encontram soluções de qualidade com tempos computacionais considerados razoáveis (Ernst, et al., 2012). Para esta tipologia de problemas ter impacto nas empresas, pesquisas futuras devem concentrar-se em variantes como janelas temporais, indisponibilidade de técnicos, estratégias na formação de equipas e restrições de precedência (Khalfay, et al., 2017). Mais detalhes sobre estas aplicações podem ser observados em diversos artigos (Begur, et al., 1997) (Castillo-Salazar, et al., 2014) (Franz., et al., 1989).

2.1 TTSP

Este problema trata a alocação de técnicos a tarefas com requisitos de valências que devem ser cumpridos (Khalfay, et al., 2017). O TTSP foi a base do desafio *ROADEF 2007*, uma competição bianual proposta pela Sociedade Francesa de Pesquisa Operacional em 2007 sendo que o problema usou um conjunto de dados reais fornecidos pela *France Telecom* com instâncias de dados que variavam entre cinco e oitocentos trabalhos para um conjunto de 150 técnicos.

O TTSP tem diversas variantes (Khalfay, et al., 2017) que dependem das suas restrições adicionais, como demonstrado na tabela 2. As dimensões dos problemas bem como as diversas restrições estudadas abordam um conjunto de necessidades dos problemas reais das empresas:

- Roteamento: a complexidade do roteamento é um aspeto importante no TTSP, os técnicos qualificados devem visitar um conjunto de clientes em que existe um local de saída e chegada (comum). Os tempos de viagem são calculados entre estes locais como distâncias euclidianas, mas em muitas situações práticas o tempo de viagem pode variar dependendo do dia em que as viagens são realizadas, o uso do *SATNAV* pode ajudar a estimar o tempo total da rota tendo em consideração o congestionamento de trânsito, obras rodoviárias, etc.;
- Formação de equipas: trata-se de uma importante restrição aplicável especialmente ao setor da manutenção e serviços, alguns trabalhos exigem valências que por vezes não são alcançadas por um único técnico. A equipa deve ser formada como um conjunto de técnicos com as valências necessárias às necessidades do trabalho;
- Período único ou múltiplo período: alguns TTSPs na literatura foram adaptados de VRPs tendo assim apenas um dia de agendamento pois no VRP o objetivo é minimizar a distância. No entanto, existem alguns problemas com vários períodos onde o agendamento pode abranger mais de um mês;
- Janelas temporais: as janelas de tempo são uma restrição emergente nos TTSPs, as empresas usam esta estratégia para se valorizarem no mercado. O cliente pode escolher o seu próprio horário aumentando assim a sua satisfação com o serviço. As janelas de tempo podem variar em função da atividade;
- Precedência: a complexidade das relações de precedência pode ser encontrada em alguns tipos de problemas de agendamento, por exemplo, pode ocorrer em problemas direcionados para o setor da construção civil;
- Nível de prioridade: os níveis de prioridade também são levados em consideração nos TTSPs, o nível de prioridade quantifica o quão importante é servir um trabalho o mais cedo possível, também pode ser usado para classificar a gravidade de uma falha no setor da manutenção;
- Ferramentas e peças de substituição: são um aspeto importante no setor da manutenção, por norma existe um número de ferramentas a ser compartilhadas

entre os técnicos e as peças de substituição devem ser repostas após a sua utilização;

- Indisponibilidade: a abordagem à indisponibilidade de técnicos é uma restrição emergente uma vez que a lei laboral deve ser considerada, a indisponibilidade de recursos afeta a construção de equipas;
- Dinâmica: em alguns setores pode existir trabalhos dinâmicos, estes tipos de trabalhos requerem ajustes ao planeamento pois chegam em tempo real. Setores como os da água, serviços de gás, eletricidade são setores onde estes tipos de trabalhos chegam continuamente;

A tabela 1 apresenta as variantes do TTSP.

Tabela 1 - Variantes TTSP (Khalfay, et al., 2017)

Tipo de problema	Restrições adicionais
TTSP (F.O.R., 2016)	Formação de equipas
	Indisponibilidade de recursos
	Níveis de prioridade
	Terceirização
	Valências
	Relações de trabalho
TRSP (Pillac, et al., 2013)	Roteamento
	Janelas de tempo
	Valências
	Ferramentas e peças de substituição
TRSP (Kovacs, et al., 2011)	Formação de equipas
	Roteamento
	Janelas de tempo
	Valências
FTSP (Xu, et al., 2001)	Roteamento
	Janelas de tempo
MTRSP (Zamorano, et al., 2016)	Roteamento
	Janelas de tempo
	Valências
	Formação de equipas
MFSRP (Tricoire, et al., 2011)	Roteamento
	Janelas de tempo
	Valências
	Indisponibilidade de recursos
MTRSP (Mathlouth, et al., 2016)	Pausas
	Roteamento
	Janelas de tempo

	Valências
	Ferramentas e peças de substituição
	Prioridade
	Roteamento
	Janelas de tempo
DTRSP (Pillac, et al., 2012b)	Valências
	Ferramentas e peças de substituição
	Dinâmica

O TRSP (Pillac, et al., 2013) pode ser visto como uma extensão do problema de roteamento de veículos com janelas temporais (VRPTW). Estendeu as instâncias do problema de roteamento de veículos (VRP) (Solomon, 1987) onde são abordadas restrições adicionais como valências, ferramentas e informação de peças de substituição, no entanto, não incluiu a complexidade da formação de equipas ou precedências. Este problema foi o primeiro à data a tratar a complexidade das ferramentas e peças de substituição.

Numa extensão do VRP para um TRSP (Kovacs, et al., 2011), são gerados requisitos de valências para cada trabalho e as equipas partem da sede para visitar um conjunto de clientes. Esta versão não considera algumas restrições presentes no problema do desafio *ROADEF 2007*, tais como relações de precedência, níveis de prioridade, indisponibilidade de técnicos, duração do dia de trabalho e terceirização, no entanto, contempla a complexidade do roteamento.

O problema de agendamento de um técnico de campo (FTSP) (Xu, et al., 2001) foi proposto com a rigidez da janela temporal dos trabalhos tratando assim a compatibilidade das valências com maior flexibilidade. Permitiu testar instâncias até mil trabalhos o que o torna representativo da escala dos problemas do mundo real que ocorrem nas empresas.

Um conjunto de 25 trabalhos (dados artificiais) foram usados para resolver o (MTRSP) (Mathlouth, et al., 2016), foi usado um modelo misto de programação inteira (MIP) através do *CPLEX*, o problema incluía complexidades como requisitos de valências, níveis de prioridade, janelas temporais, intervalos e horas exatas. Ficou demonstrado que o *CPLEX* apenas consegue resolver instâncias até dez tarefas dentro de tempos computacionais razoáveis e que o tempo computacional aumenta rapidamente com a complexidade do problema sendo necessário abordagens de solução escalonáveis e aproximadas.

Conjuntos de dados reais e artificiais foram também usados para resolver o MTRSP (Zamorano, et al., 2016), os dados artificiais eram constituídos por 25 trabalhos e os dados reais por 27 trabalhos, este estudo novamente enfatizou as dificuldades

enfrentadas com a escalabilidade do tempo computacional e a robustez da solução levando à necessidade de abordagens híbridizadas.

O problema dinâmico de roteamento e agendamento de técnicos (DTRSP) (Pillac, et al., 2012a) apresenta as principais restrições dos problemas reais, roteamento, janelas temporais, valências, ferramentas e peças de substituição. Trata as novas solicitações de trabalho em tempo real à medida que a programação é implementada, esta particularidade permite a alocação de serviços urgentes.

2.2 Modelos matemáticos

2.2.1 TTSP

No âmbito do *ROADEF 2007* (Cordeau, et al., 2010) o TTSP é apresentado matematicamente conforme o descrito abaixo.

Notação:

- N o conjunto de tarefas;
- N_p o conjunto de tarefas com prioridade p ;
- N^σ o conjunto de tarefas com sucessores;
- K o conjunto de índices de todos os dias;
- M um número suficientemente grande que cria um limite superior a K usado para o agendamento de tarefas;

Variáveis binárias:

- $x_{jkr} \in \{0,1\}$ é igual a um se o técnico j está alocado à equipa r no dia k ;
- $y_{ikr} \in \{0,1\}$ é igual a um apenas se a tarefa i está alocada à equipa r no dia k ;
- $z_i \in \{0,1\}$ assume o valor de um se a tarefa i é terceirizada;
- $u_{ii'} \in \{0,1\}, i, i' \in N, i \neq i'$ que assume o valor de um se a tarefa i acaba antes da tarefa i' começar;

Variáveis contínuas:

- $b_i \geq 0$ para o tempo de início da tarefa i ;
- $e_p \geq 0$ para o tempo final da última tarefa de prioridade p para $p \in \{q\}$ e a última tarefa geral para $p = q$.

em que:

- j é um determinado técnico;
- r é uma determinada equipa;
- i uma tarefa a ser realizada;
- b é o tempo de início da tarefa;
- e é o tempo de fim da tarefa;
- p é a prioridade da tarefa;
- q é o nível de prioridade da tarefa;

TTSP é declarado da seguinte forma:

$$\min \sum_{p=1}^q w_p e_p \quad (1)$$

sujeito a:

$$e_p \geq b_i + d_i \quad \forall p \in \{q\}, \forall i \in N_p \quad (2)$$

$$e_4 \geq b_i + d_i \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum c_i z_i \leq C \quad (4)$$

$$|\sigma_i| z_i \leq \sum_{i' \in \sigma_i} z_{i'} \quad \forall i \in N^\sigma \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^m x_{jkr} \leq 1 \quad \forall k \in K, \forall j \in \Gamma_k \quad (6)$$

$$\sum_{r=1}^m x_{jkr} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in \Gamma/\Gamma_k \quad (7)$$

$$z_i + \sum_{k \in K} \sum_{r=1}^m y_{ikr} = 1 \quad \forall i \in N \quad (8)$$

$$y_{ikr} S_{\alpha\beta}^1 \leq \sum_{j \in T_k} v_{\alpha\beta}^i x_{jkr} \quad \forall i \in N, \forall k \in K, \forall r \in \{1, \dots, p\}, \quad (9)$$

$$\forall \alpha \in \{1, \dots, p\}, \forall \beta \in \{1, \dots, q\}$$

$$b_i + d_i \leq b_{i'} + M z_i \quad \forall i \in N^\sigma, \forall i' \in \sigma_i \quad (10)$$

$$M(k-1) \sum_{r=1}^m y_{ikr} \leq b_i \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (11)$$

$$Mk \sum_{r=1}^m y_{ikr} \leq b_i + d_i \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (12)$$

$$b_i + d_i - (1 - u_{ii'})M \leq b_{i'} \quad \forall i, i' \in N, i \neq i' \quad (13)$$

$$y_{ikr} + y_{i'kr} - u_{ii'} - u_{i'i} \leq 1 \quad \forall i, i' \in N, i \neq i', \forall k \in K, \forall r \in \{1, \dots, m\} \quad (14)$$

$$x_{jkr} \in \{0,1\} \quad j \in \Gamma, \forall k \in K, \forall r \in \{1, \dots, m\} \quad (15)$$

$$y_{jkr} \in \{0,1\} \quad i \in N, \forall k \in K, \forall r \in \{1, \dots, m\} \quad (16)$$

$$z_i \in \{0,1\} \quad i \in N \quad (17)$$

$$u_{ii'} \in \{0,1\} \quad i, i' \in N, i \neq i' \quad (18)$$

$$e_p \geq 0 \quad \forall p \in \{q\} \quad (19)$$

$$b_i \geq 0 \quad i \in N \quad (20)$$

As restrições adicionais são descritas pelas equações:

- (2) e (3) definem os tempos finais usados na função objetivo;
- (4) impõe o orçamento da terceirização;
- (5) garante que se uma tarefa foi terceirizada, todos os seus sucessores também o serão;
- (6) garante que um técnico seja usado no máximo numa equipa por dia;
- (7) garante que os técnicos indisponíveis não são utilizados;
- (8) garante que cada tarefa é realizada ou terceirizada;
- (9) garante que cada tarefa é realizada por uma equipa com as valências necessárias;
- (10) reforça as restrições de precedência;
- (11) e (12) definem os limites inferior e superior de início da cada tarefa baseada no dia em a tarefa é realizada;
- (13) define corretamente a variável $u_{ii'}$ relativamente ao tempo de início da tarefa i e i' ;
- (14) garante que as tarefas i e i' não se sobrepõe se forem realizadas pela mesma equipa no mesmo dia, se duas tarefas distintas i e i' são realizadas pela mesma equipa r no mesmo dia k , então $y_{ikr} + y_{i'kr} = 2$ e ou $u_{ii'}$ ou $u_{i'i}$ devem ser iguais a um para que a desigualdade seja satisfeita;
- (15) a (20) definem os domínios das variáveis de decisão;

2.2.2 TRSP

O TRSP é considerado uma extensão do VRPTW (Pillac, et al., 2013), a formulação matemática do VRPTW (Cordeau, et al., 2000) é representada pela seguinte notação:

- A é o conjunto de arcos que interligam dois vértices;
- a_i é o instante de tempo em que abre a janela temporal do cliente i ;
- b_i é o instante de tempo em que encerra a janela temporal do cliente i ;
- E é o conjunto de arestas que interligam dois vértices;
- L é o instante máximo para um veículo terminar a rota;
- n é o número de clientes a visitar;
- d_i tarefa a realizar no cliente i ;
- c_{ij} custo de percorrer;
- C é a matriz de custos;
- K é o conjunto de veículos;
- $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } (i, j) \text{ for percorrido;} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$;
- t_{ij} é o tempo que leva a percorrer o arco ou aresta que une os vértices i e j ;
- s_i é o período que o veículo terá de permanecer no cliente i para que o serviço seja prestado;
- k é um determinado veículo;

- $x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } (i, j) \text{ for percorrido pelo veículo } k, \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$;
- w_{ik} é o instante de chegada do veículo k ao cliente i ;
- $\Delta^-(i)$ é o conjunto de vértices visitado antes do cliente i numa dada rota;
- $\Delta^+(i)$ é o conjunto de vértices visitado depois do cliente i numa dada rota;
- G é o grafo completo constituído por um conjunto de vértices e um conjunto de arcos e arestas;
- V é um conjunto de vértices que representam as diferentes localizações, se $V = 0 = n + 1$ representa o depósito;

A formulação é apresentada como modelo de fluxo de rede com janelas temporais e restrições adicionais associadas à capacidade dos veículos:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (21)$$

sujeito a

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in N \quad (22)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1, \quad \forall k \in K \quad (23)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{jik} = 0, \quad \forall k \in K, \forall j \in N \quad (24)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (25)$$

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0, \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (26)$$

$$a_i \left(\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \right) \leq w_{ik} \leq b_i \left(\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \right), \quad \forall k \in K, \forall i \in N \quad (27)$$

$$E \leq w_{ik} \leq L, \quad \forall k \in K, \forall i \in \{0, n + 1\} \quad (28)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C, \quad \forall k \in K \quad (29)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (30)$$

$$x_{ijk} \text{ binária}, \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (31)$$

O VRTW é definido na rede $G = (V, A)$ onde o depósito é representado pelos nós 0 e $n + 1$, todas as rotas viáveis correspondem aos trajetos em G que começam no nó zero e terminam no nó $n + 1$.

A janela temporal também está associada aos nós zero e $n + 1$, ou seja:

$$[a_0, b_0] = [a_{n+1}, b_{n+1}] = [E, L] \quad (32)$$

Além disso, zero pedidos e tempos de serviço são definidos para esses dois nós, ou seja:

$$d_0 = d_{n+1} = s_0 = s_{n+1} = 0 \quad (33)$$

Apenas existem soluções viáveis se,

$$a_0 = E \leq \min_{i \in V \setminus \{0\}} b_i - t_{0i} \text{ e } b_{n+1} = L \geq \min_{i \in V \setminus \{0\}} a_i + s_i + t_{i0}. \quad (34)$$

Um arco $(i, j) \in A$ pode ser eliminado devido a considerações temporais, se $a_i + s_i + t_{ij} > b_j$, ou o limite de capacidade se $d_i + d_j > C$, ou ambos os fatores. Os veículos podem ser autorizados a permanecer no depósito especialmente no caso em que o objetivo principal consiste em minimizar o uso de veículos, assim, o arco $(0, n + 1)$ com $c_{0,n+1} = t_{0,n+1} = 0$ deve ser adicionado ao conjunto de arco A .

A apresentação da formulação matemática envolve dois tipos de variáveis $x_{ijk}, (i, j) \in A, k \in K$ igual a um se o arco (i, j) é usado pelo veículo k , e zero caso contrário; as variáveis de tempo $w_{ik}, i \in V, k \in K$ especificam o início do serviço no nó i quando atendido pelo veículo k .

A função objetivo (21) desta formulação não linear expressa o custo total. Dado que $N = V \setminus \{0, n + 1\}$ representa o conjunto de clientes.

As restrições são definidas pelas equações:

- (22) assegura que o cliente i é visitado apenas uma vez pelo veículo k ;
- (23) e (24) caracterizam o fluxo no caminho a ser seguido pelo veículo k ;
- (25), (26) e (27) asseguram a admissibilidade da solução relativamente a considerações temporais, de notar que para um dado k , a restrição (27) força que $w_{ik} = 0$ sempre que um cliente i não é visitado pelo veículo k .
- (21) impõe condições binárias nas variáveis de fluxo.

As condições binárias (31) permitem que as restrições (26) sejam linearizadas como:

$$w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M_{ij}, \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (35)$$

onde M_{ij} é uma constante de valor elevado que pode ser substituída por $\max\{b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0\}$, $(i, j) \in A$ e as restrições laterais (26) e (35) só necessitam ser aplicadas para os arcos $(i, j) \in A$ de modo que $M_{ij} > 0$; caso contrário quando $\max\{b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0\} = 0$, essas restrições são satisfeitas para todos os valores de w_{ik}, w_{jk} e x_{ijk} .

2.2.3 STRSP

O STRSP (Kovacs, et al., 2011) é um problema de planeamento operacional onde podem ser distinguidas duas versões, com construção de equipas e sem construção de equipas, o último caso consiste apenas num técnico para a realização da tarefa. O STRSP é definido pelo grafo direcionado completo $G = \{V, A\}$ onde:

- V – Conjunto de vértices;
- A – Conjunto de arcos;
- V' – Um dado conjunto de tarefas $V' = \{1, \dots, n\}$ que deve ser realizada por um conjunto de técnicos T ;

No caso do STRP com construção de equipas, todos os dias todos os técnicos disponíveis do conjunto T são agrupados em equipas Γ , cada equipa mantém-se junta durante todo o dia de trabalho.

Cada técnico é especializado em diferentes áreas (competência $s \in S$) com diferentes níveis de proficiência ($l \in L$), isto é descrito numa matriz de competências $[p_{ls}^t] | L \times S$ (Cordeau, et al., 2010). Se o nível de aptidão do técnico t relativo à competência tipo s é l , então $p_{ls}^t = 1$. Cada técnico pode realizar tarefas com níveis de competência inferior ao que detém, a matriz de competências satisfaz $p_{l's}^t \leq p_{ls}^t$ para todos $l' < l$. Por outro lado, a todas as tarefas $i \in V'$ é associada uma matriz de competências $[q_{ls}^i] | L \times S$ onde q_{ls}^i determina quantos técnicos com a competência s de nível l são necessários. Se $q_{ls}^i = 1$ apenas é necessário um técnico para a realização da tarefa, no caso da construção de equipas a matriz de requisitos de competências pode também ser maior que um, por exemplo se $q_{ls}^i = 2$, a tarefa i necessita de pelo menos dois técnicos com competência s de nível l . Por uma questão de consistência, todas as matrizes de competências devem satisfazer $q_{l's}^i \geq q_{ls}^i$ para todos os $l' < l$. A tarefa i apenas pode ser alocada à equipa τ se os técnicos que a constituí têm as competências necessárias.

Todas as tarefas são associadas a um tempo de realização d_i e devem iniciar dentro da sua janela temporal $[a_i, b_i]$. Cada equipa τ parte do depósito no tempo e_0 , é assumido que cada equipa usa um veículo suficientemente grande para transportar todos os membros alocados à equipa e todos os veículos são idênticos sendo o custo c_{ij} para percorrer o arco (i, j) igual entre todos. Cada equipa parte e regressa ao depósito, denotado por 0 no início e por $n + 1$ no final do trajeto. Assim, o conjunto de vértices é definido como $V = \cup \{0, n + 1\}$ e o conjunto de arcos por $A = \{(i, j) | i \in V \setminus \{n + 1\}, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j\}$.

No caso da existência de tarefas que não são passíveis de serem cumpridas pelos técnicos disponíveis, as mesmas podem ser terceirizadas pelo custo o_i .

Para apresentar o STRSP com construção de equipas é introduzida variável real B_i^τ que define o início do serviço da equipa τ numa tarefa (ou depósito) i ;

Variáveis de decisão binária:

$$x_{ij}^{\tau} \begin{cases} 1, \text{ se o arco } (i, j) \text{ é percorrido pela equipa } \tau \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (36)$$

$$z_i \begin{cases} 1, \text{ se a tarefa } i \text{ é terceirizada} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (37)$$

$$y_i^{\tau} \begin{cases} 1, \text{ se a tarefa } i \text{ é alocada à equipa } \tau \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (38)$$

$$v^{t\tau} \begin{cases} 1, \text{ se o técnico } t \text{ é alocado à equipa } \tau \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (39)$$

O STRSP é declarado da seguinte forma:

Função objetivo:

$$\min \sum_{\tau \in \Gamma} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}^{\tau} + \sum_{i \in V'} o_i z_i \quad (40)$$

Sujeito a:

$$\sum_{\tau \in \Gamma} v^{t\tau} \leq 1 \quad \forall t \in T, \quad (41)$$

$$\sum_{\tau \in \Gamma} y_i^{\tau} + z_i = 1 \quad \forall i \in V', \quad (42)$$

$$\sum_{j \in V' \cup \{n+1\}} x_{0,j}^{\tau} = 1 \quad \forall \tau \in \Gamma, \quad (43)$$

$$\sum_{i \in V' \cup \{0\}} x_{i,n+1}^{\tau} = 1 \quad \forall \tau \in \Gamma, \quad (44)$$

$$\sum_{j \in V' \cup \{0\}} x_{ji}^{\tau} = y_i^{\tau} \quad \forall i \in V', \tau \in \Gamma, \quad (45)$$

$$\sum_{j \in V' \cup \{0\}} x_{ji}^{\tau} - \sum_{j \in V' \cup \{n+1\}} x_{ij}^{\tau} = 0 \quad \forall i \in V', \tau \in \Gamma, \quad (46)$$

$$B_j^{\tau} \geq (B_i^{\tau} + d_i + t_{ij}) x_{ij}^{\tau} \quad \forall i, j \in V, \tau \in \Gamma, \quad (47)$$

$$B_0^{\tau} = e_0 \quad \forall \tau \in \Gamma, \quad (48)$$

$$a_i \leq B_i^{\tau} \leq b_i \quad \forall i \in V' \cup \{n+1\}, \tau \in \Gamma, \quad (49)$$

$$y_i^{\tau} q_{is}^i \leq \sum_{t \in T} p_{is}^t v^{t\tau} \quad \forall i \in V', \tau \in \Gamma, l \in L, s \in S, \quad (50)$$

$$x_{ij}^{\tau} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, \tau \in \Gamma, \quad (51)$$

$$z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in V', \quad (52)$$

$$y_i^{\tau} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V', \tau \in \Gamma, \quad (53)$$

$$v^{t\tau} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, \tau \in \Gamma, \quad (54)$$

Onde a função objetivo (40) minimiza o somatório dos custos do total de rotas e tarefas terceirizadas; as equações (41) e (42) garantem que cada técnico pertence apenas a uma equipa e cada tarefa é executada por uma equipa ou terceirizada; as equações (43) e (44) garantem que todas as rotas se iniciam e finalizam no depósito; as equações (45) e (46) garantem que se uma tarefa foi alocada a uma equipa e a equipa devem entrar e sair da localização da tarefa; a inequação (47) define o tempo de trabalho diário de uma equipa; a equação (48) garante o início da rota no depósito; a inequação (49) define as janelas temporais da tarefa; a inequação (50) garante as competências necessárias para a realização da tarefa; (51), (52), (53), (54) impõem as condições binárias.

2.3 Abordagens de solução

Abordagens de solução exata foram usadas para resolver as variantes do TTSP conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Abordagens de soluções exatas aplicadas ao TTSP (Khalfay, et al., 2017)

Exatos	<i>Branch-and-Price</i>	MFSRP (Tricoire, et al., 2011) MTRSP (Zamorano, et al., 2016) TRSP (Cortés, et al., 2014)
	MIP	MTRSP (Mathlouth, et al., 2016)

O *branch-and-price* é um processo de solução exata adequado para problemas com pequenas instâncias.

O MIP foi usado para resolver um MTRSP (Mathlouth, et al., 2016), no entanto, é aplicado a problemas de pequeno porte com variáveis restritas que assumem valores inteiros, este tipo de solução não é adequado à escala dos problemas reais.

Abordagens de solução heurísticas também foram usadas para resolver o TTSP estando as suas variantes apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Abordagens de solução heurísticas aplicadas ao TTSP (Khalfay, et al., 2017)

Métodos	Abordagem	Problema	Nº de tarefas
Heurísticos	<i>Approximate MIP</i>	TTSP (Hurkens, et al., 2011) TTPS (Hurkens, 2009)	Até 800
	ALNS	TTSP (Cordeau, et al., 2010) TRSP (Kovacs, et al., 2011)	Até 800 Até 627
	GRASP	TTSP (Hashimoto, et al., 2009) FTSP (Xu, et al., 2001)	Até 800
	<i>Local Search</i>	TTSP (Estellon, et al., 2009) TTSP (Tsang, et al., 1997)	Até 800
	<i>Parallel Mat heuristic</i>	TRSP (Pillac, et al., 2013)	Até 90
	<i>Intelligent Decision Heuristic</i>	TTSP (Khalfay, et al., 2016)	Até 800

As técnicas aproximadas do MIP foram usadas para resolver o TTSP proposto no *ROADEF 2007* (Hurkens, et al., 2011) (Hurkens, 2009) nessas abordagens foi proposto um algoritmo de construção para partir o problema geral através da criação de subproblemas. O uso do *software CPLEX* para resolver os subproblemas produziu soluções de alta qualidade e problemas resolvidos até oitocentos trabalhos.

As abordagens de solução meta-heurísticas para resolver os TTSPs são divididas em duas fases, na primeira fase é gerada uma solução inicial enquanto na segunda fase os operadores locais são aplicados para perturbar a solução atual gerando assim uma solução vizinha que é avaliada através de uma meta heurística (Khalfay, et al., 2017). São três as meta-heurísticas de roteamento mais populares: *Hill Climbing*, pesquisa local iterativa e *Simulated Annealing*, cada uma destas meta-heurísticas foi usada para resolver TTSPs e as suas variantes.

A meta-heurística de escalada (*Hill Climbing*) é o processo mais simples de implementar, em primeiro através de uma heurística construtiva é gerada uma solução inicial que é registada como a melhor solução, de seguida um operador local selecionado aleatoriamente é aplicado para gerar uma solução vizinha, se esta solução vizinha for de melhor qualidade que a inicial então passa a ser a nova solução atual, este processo é repetido até que o critério de paragem seja cumprido. Esta meta-heurística tem sido bem-sucedida na solução de TTSPs, no entanto, uma das desvantagens é que não incorpora um mecanismo de escape, ou seja, pode ficar presa em ótimos locais.

A meta-heurística de pesquisa local iterativa é uma extensão da meta-heurística de escalada, a existência de um mecanismo de escape permite que o algoritmo não fique preso em mínimos locais, assim, pode garantir que regiões de soluções não pesquisadas sejam consideradas na solução.

O arrefecimento simulado é uma das meta-heurísticas mais utilizadas, é capaz de produzir resultados de qualidade não só no TTSP, mas também em outros problemas de otimização. Esta meta-heurística possuiu dois parâmetros: temperatura e decréscimo de temperatura. Tem a capacidade de escapar de ótimos locais pois aceita uma solução de pior qualidade sendo esta capacidade controlada pelo parâmetro temperatura. Durante o decorrer do processo, após cada iteração, o parâmetro temperatura é reduzido através do decréscimo de temperatura, assim, é reduzida a probabilidade de o algoritmo aceitar uma solução de pior qualidade. Quando o critério de saída é atingido é fornecida a melhor solução.

As heurísticas de pesquisa adaptativa de grande vizinhança do vizinho mais próximo (ALNS) foram usadas para resolver problemas como o TTSP e TRSP (Kovacs, et al., 2011) (Cordeau, et al., 2010), usam vários operadores destrutivos e reparadores. Um operador destrutivo remove uma parte da solução atual e o reparador reinsere as tarefas destruídas de volta à solução. Cada operação de reparação e destruição é rastreada de

forma aumentar a probabilidade de selecionar sempre os operadores com melhor desempenho e uma consequente solução de qualidade.

O procedimento de pesquisa aleatória gulosa (GRASP) foi uma das técnicas usadas para resolver o TTSP no concurso *ROADEF 2007* (Hashimoto, et al., 2009), esta abordagem foi tão bem-sucedida de forma que ganhou o concurso. A solução é obtida através do algoritmo guloso que seleciona iterativamente a melhor decisão em cada etapa do processo, enquanto a pesquisa local é usada para melhorar a solução numa pequena quantidade de tempo. O processo é executado até que a melhor solução seja encontrada.

A pesquisa local, outro método usado para resolver o desafio *ROADEF 2007* (Estellon, et al., 2009), obteve o segundo lugar através de um processo onde inicialmente é construída uma solução inicial através de uma heurística gulosa e de seguida, numa fase de melhoria, os operadores são aplicados iterativamente de forma a melhorar a solução. A heurística matemática (*parallel mat heuristic*) foi proposta para resolver um TRSP (Pillac, et al., 2013) que incluía muitas restrições, o processo é composto por três fases, um algoritmo de construção, um ALNS paralelo e uma fase de pós-otimização de programação matemática. O ALNS paralelo tira proveito das arquiteturas paralelas que resulta numa significativa aceleração computacional.

A heurística de decisão inteligente foi desenvolvida para enfrentar as instâncias do TTSP para o desafio *ROADEF 2007* (Khalfay, et al., 2016), caracterizou-se pela construção de diferentes cenários de configuração das equipas em cada etapa do processo de alocação e operadores que forneciam flexibilidades nas configurações da equipa.

O DTRSP (Pillac, et al., 2012a) admite solicitações de pedidos ao longo do tempo através de uma abordagem de reotimização rápida com base num ALNS paralelo que produz um novo plano de roteamento cada vez que entra uma nova solicitação e uma abordagem de múltiplos planos que continuamente otimizam um conjunto de rotas, estes planos são usados para tomar decisões de roteamento.

2.4 Problema dinâmico de roteamento e agendamento de técnicos

O TRSP (Pillac, et al., 2012a) na sua definição estática trata uma equipa limitada de técnicos que devem atender um conjunto de solicitações, pode ser visto como uma extensão do VRPTW onde os técnicos desempenham o papel dos veículos. No TRSP cada técnico possui um conjunto de valências, ferramentas e peças de substituição, enquanto as solicitações requerem um subconjunto de cada. O objetivo é determinar um conjunto de rotas de forma que cada solicitação seja realizada exatamente uma vez na sua janela de tempo por um técnico com as valências, ferramentas e peças de substituição necessárias. O TRSP tem naturalmente uma ampla gama de aplicações desde as áreas

das telecomunicações, saúde e serviços de manutenção. Os técnicos geralmente começam a sua rota diária a partir da sua residência com um conjunto de ferramentas e peças que lhes permite atender a um conjunto inicial de solicitações, durante o dia os técnicos podem reabastecer ferramentas e peças num depósito central e assim atender mais solicitações. As ferramentas são tratadas como bens renováveis e as peças como bens de consumo. O TRSP apresenta restrições de compatibilidade entre técnicos e solicitações, embora as valências seja atributos intrínsecos, os técnicos podem carregar ferramentas e peças diferentes.

O TRSP na sua definição dinâmica (DTRSP) (Pillac, et al., 2012a) aborda o problema num cenário no qual novas solicitações surgem enquanto os técnicos executam a sua rota, neste tipo de cenário dois tipos de decisões que devem ser tomadas em tempo real, primeiro, sempre que o técnico termine uma solicitação deve ser decidido qual será a próxima solicitação, segundo, sempre que uma nova solicitação aparece o algoritmo deve decidir se é possível ou desejável aceitá-la ou não, a rejeição de uma nova solicitação leva a uma penalidade de custo correspondente à sua terceirização ou adiamento da solicitação. Para o DTRSP são propostos dois métodos de solução, uma abordagem de reotimização periódica baseada num ALNS paralelo que produz um novo plano de rotas de cada vez que uma nova solicitação surge e uma abordagem contínua de reotimização baseada na abordagem de múltiplos planos (MPA) que continuamente otimiza um conjunto de planos de rotas usados para tomar decisões de roteamento.

Dentro dos problemas estudados como suporte científico para o desenvolvimento deste trabalho, o DTRSP, dada sua vertente dinâmica é o que reúne o maior conjunto de características que poderiam ser ligadas ao nosso problema.

O estudo de onde foi baseada a definição do modelo matemático, o STRSP (Kovacs, et al., 2011) trata-se um problema estático e indica nas suas conclusões como pesquisa futura a adaptação do algoritmo proposto a uma vertente dinâmica para o caso de serviços adicionais que aparecem no decorrer do dia e que tenham de ser agendados em tempo real.

DESENVOLVIMENTO

3.1 Apresentação da empresa e problema proposto

3.2 Caracterização do problema

3.3 Formulação matemática

3.4 Metodologia de desenvolvimento

3.5 Arquitetura do algoritmo

3.6 Instâncias de teste

3.7 Testes e resultados

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Apresentação da empresa e problema proposto

A *Satfiel* é uma com mais de 25 anos de experiência no mercado da assistência técnica e venda de peças, dispõe de mais de oitenta colaboradores em diversas áreas e uma frota com cerca de 25 viaturas que efetuam serviços de assistência ao domicílio. A figura 1 apresenta um exemplo de uma viatura da frota da empresa.



Figura 1 - Foto viatura Satfiel (Satfiel)

A gestão operacional da frota de veículos apresenta-se com um grande desafio para a empresa, uma deficiente programação destes recursos pode trazer à empresa avultadas despesas, diminuição de rentabilidade e ineficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis.

A filosofia de uma rentabilização dos recursos existentes e a perspetiva de duplicar a quantidade de técnicos de domicílio apresenta à empresa o desafio da otimização dos planos diários de rotas dos seus veículos.

A empresa dispõe de software próprio desenvolvido internamente para a gestão das agendas dos técnicos que efetuam trabalhos ao domicílio, esta plataforma é denominada de *QRL*®. A figura 2 apresenta a visão para do operador que efetua o agendamento.

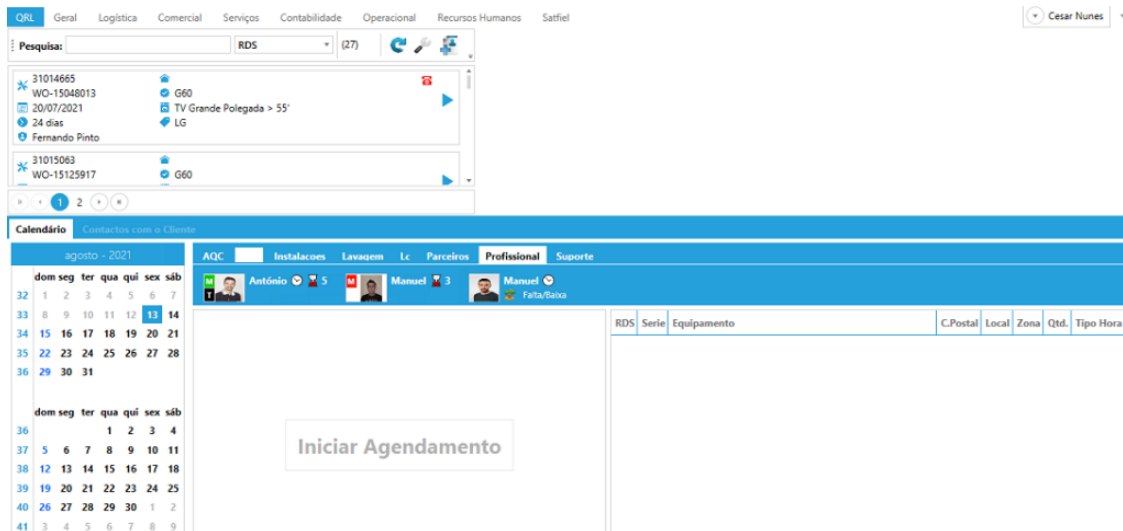


Figura 2 - Sistema de agendamentos QRL (Satfiel)

A plataforma de agendamentos dispõe de várias ferramentas de apoio à decisão (humana) que auxiliam o operador a decidir qual a rota de vai ser definida para o técnico fornecendo para um determinado serviço entre todos os técnicos qual a distância entre o serviço e as residências dos técnicos. Como apresentado na figura 3.

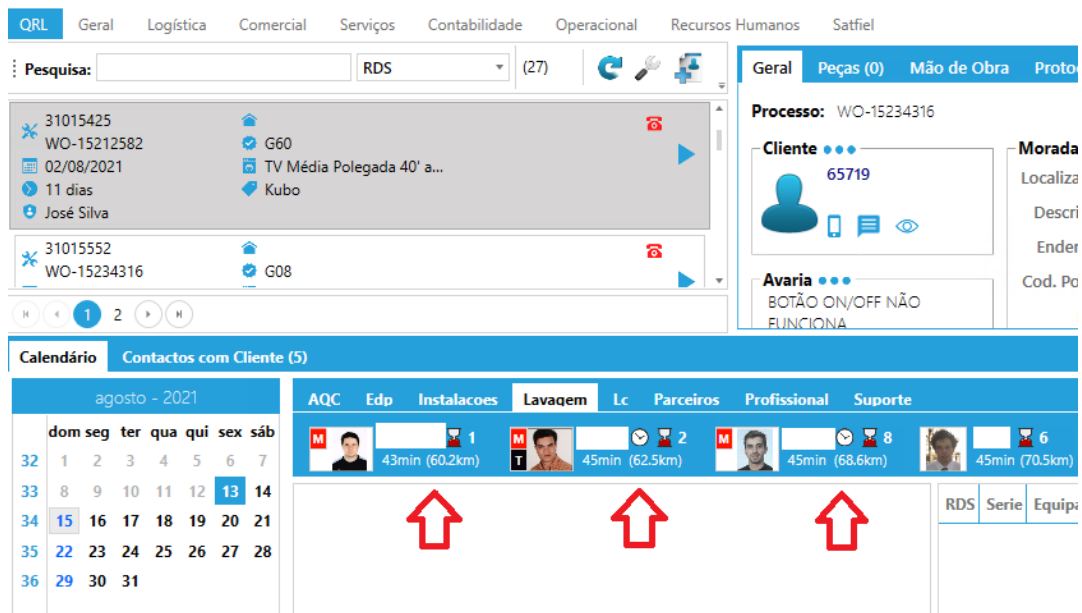
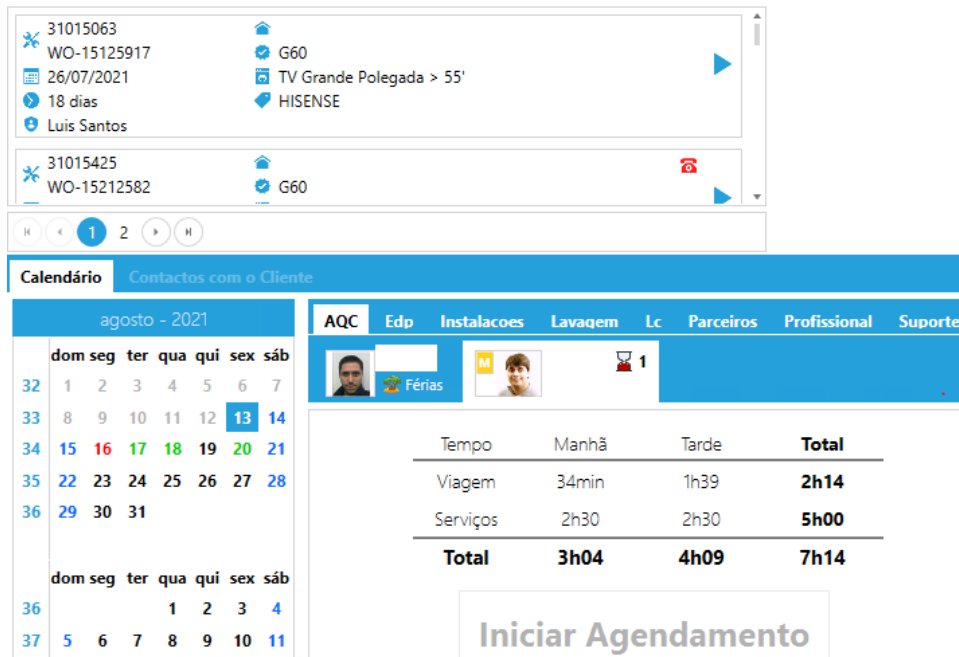


Figura 3 - Sistema de agendamentos QRL (Satfiel)

Como apresentado na figura 4, a plataforma fornece ao operador a informação do tempo utilizado num dia de trabalho (viagens + serviços) de um técnico e também a indicação no calendário através de um sistema de cores o estado da carga de tempo do técnico para os diferentes dias.



31015063 WO-15125917 26/07/2021 18 dias Luis Santos G60 TV Grande Polegada > 55' HISENSE

31015425 WO-15212582 G60

Calendário Contactos com o Cliente

agosto - 2021

dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
32	1	2	3	4	5	6
33	8	9	10	11	12	13 14
34	15	16	17	18	19	20 21
35	22	23	24	25	26	27 28
36	29	30	31			
dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
36			1	2	3	4
37	5	6	7	8	9	10 11

Tempo	Manhã	Tarde	Total
Viagem	34min	1h39	2h14
Serviços	2h30	2h30	5h00
Total	3h04	4h09	7h14

Iniciar Agendamento

Figura 4 - Sistema de agendamentos QRL (Satfiel)

Conforme apresentado na figura 5, a plataforma permite visualizar no mapa a rota de um técnico para um determinado dia.

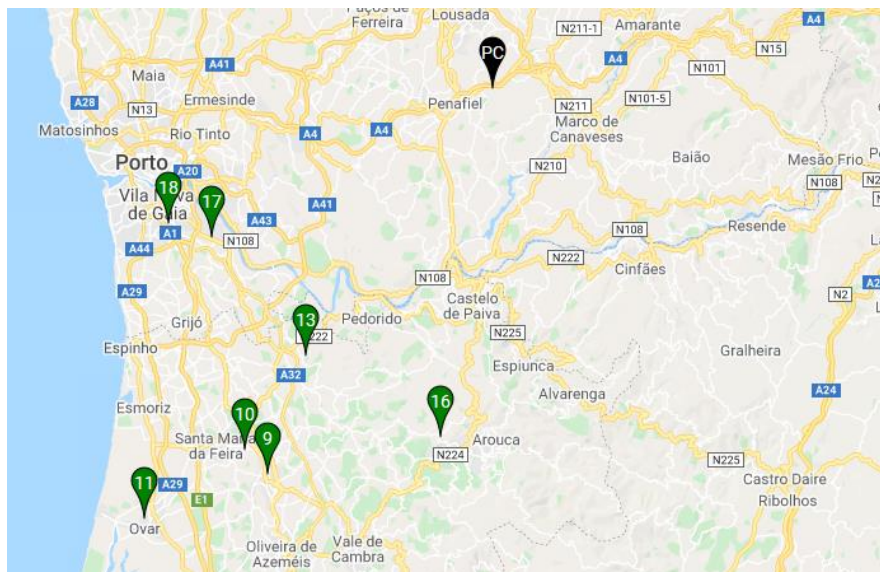


Figura 5 - Sistema de agendamentos QRL (Satfiel)

Apesar das ferramentas de apoio disponíveis ao operador que efetua o agendamento é verificado que as rotas dos técnicos não são totalmente eficientes, são observadas nas rotas situações de excesso de tempos de viagem (quilómetros percorridos) e a falta de capacidade em preencher na totalidade o dia de trabalho de um técnico (480 minutos).

A tabela 1 apresenta uma amostra dos tempos usados e número de serviços realizados pelos técnicos nos dias 04/01/2021 e 05/01/2021, os dados completos relativamente aos dois dias são apresentados no [anexo 1](#).

Tabela 4 - Tempos de trabalho (Satfiel)

Técnico	Dia 04/01/2021		Dia 05/01/2021	
	Tempo usado (min)	Nº serviços	Tempo usado (min)	Nº serviços
1	448	5	478	5
2	466	4	438	4
3	472	6	475	7
4	470	6	457	5
5	189	2	416	1

A disponibilidade do cliente, o cumprimento de prazos, as valências dos técnicos e as janelas temporais são um conjunto de fatores que influenciam o operador na construção da rota do técnico, no entanto, existe uma larga margem de melhoria através de uma ferramenta que indique ao operador em que rota deve inserir determinado serviço de forma que a sua realização tenha o menor custo possível para a empresa.

Na rota de um técnico deve ser alocada a maior quantidade possível de serviços para um dia de trabalho para que o tempo de um dia de trabalho de um técnico seja aproveitado ao máximo. Para a empresa, esta estratégia leva a uma diminuição dos tempos de viagem, diminuição das perdas diárias de tempo, aumento da rentabilidade dos técnicos e diminuição dos tempos de resposta ao cliente.

São fornecidos um conjunto de dados de serviço, os técnicos disponíveis e as suas respetivas valências, os tempos necessários à realização de cada tipologia de serviço e as coordenadas de residência dos técnicos.

É expectável pela empresa a apresentação de uma solução com resultados passíveis de implementação na sua plataforma informática bem como outras soluções que vão além do operador de agendamento.

3.2 Caracterização do problema

O estudo trata o problema real de uma empresa que presta entre outros serviços, assistência técnica a eletrodomésticos ao domicílio (Satfiel). A tipologia de serviços varia entre o tipo de equipamento (grandes domésticos, linha castanha, climatização e equipamentos de aquecimento de água) e a tipologia de serviço prestado (reparação, manutenção, peritagem e instalação).

Os serviços podem chegar através do contacto telefónico do cliente ou por plataformas digitais, no primeiro caso o agendamento é efetuado durante a mesma chamada telefónica, no segundo caso, o serviço deve ser agendado com o cliente no período máximo de 24 horas após a sua receção.

Uma estratégia implementada na empresa é que todos os serviços estejam sempre agendados com o cliente, o agendamento pode estar condicionado pela disponibilidade do cliente, no entanto, caso exista uma janela temporal a mesma é fornecida pelo operador ao cliente.

Agendamento com janela temporal ser visto como uma estratégia de aumento da qualidade de serviço para o cliente, no entanto, essa estratégia pode em parte ser substituída por um contacto anterior à deslocação do técnico para o cliente. No caso real da empresa, independentemente da existência de uma janela temporal, para todas as assistências o técnico antes de iniciar a deslocação para o cliente efetua um contacto telefónico com o mesmo.

3.2.1 Registo dos serviços

O de registo de um serviço engloba um conjunto de dados necessários para caracterizar o serviço, para o registo do serviço são necessários os seguintes dados:

- Nome do cliente;
- Morada;
- Contacto telefónico;
- Protocolo do serviço;
- Equipamento;
- Avaria ou serviço a realizar;

3.2.2 Codificação do serviço

Do conjunto de informação registada obtém-se dois dados necessários para a codificação do serviço, o tipo de equipamento e o serviço a realizar. A codificação é baseada na gama do produto, tipologia de intervenção (reparação, manutenção, arranque, levantamento, instalação, peritagem e pré visita) e certificação necessária (S-sem certificação, G – Instalador de equipamentos a gás e F – Técnico de gases fluorados). A tabela 5 apresenta algumas das codificações existentes, a tabela completa encontra-se no [anexo 2](#).

Tabela 5 -Codificação dos serviços (Satfiel)

Descrição	Gama	Tipologia	Certificação	Código
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF01
Profissional - Climatização/Aquecimento de Água - Bombas de Calor Monobloco	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF03
Profissional - Aquecimento de Água/Climatização - Bombas de Calor Split	Climatização/aquecimento	Arranque	F	PCAF01
Profissional - Aquecimento de Água/Climatização - Bombas de Calor Split	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF04

3.2.3 Valências dos técnicos

O considerável número de técnicos, a diversificação da tipologia de serviços e a ampla gama de equipamentos existentes no mercado leva à heterogeneidade das valências dos técnicos, assim mediante a sua formação, certificação e ferramentas, são atribuídas valências aos técnicos. A tabela 6 apresenta algumas das codificações existentes sendo que a tabela completa é apresentada no [anexo 3](#).

Tabela 6 - Valências dos técnicos (Satfiel)

Código	140	26	66	149	125	22	126	158	147	128	3	134	142	129
DCRG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRS02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRS03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRG02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCIG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
.....

3.2.4 Tempos de serviço

Devido à especificidade de cada serviço são necessários diferentes tempos para a sua realização, estes tempos são essenciais para definir a rota diária de um técnico pois devem ser somados ao tempo utilizado em deslocações. Com base em dados estatísticos referentes ao ano de 2020 (Satfiel), a tabela 7 mostra alguns dos tempos atribuídos a cada serviço, a tabela completa encontra-se no anexo 4.

Tabela 7 – Tempos de serviço (Satfiel)

Código	Tempo (min)	Código	Tempo (min)	Código	Tempo (min)	Código	Tempo (min)
PCRF01	100	PCRG03	100	DCRG05	50	PCPS01	50
PCRF03	50	PCRG04	100	DCRG01	50	DLRS04	50
PCAF01	200	PCRG05	100	DCRS02	50	DLRS01	50
PCRF04	100	PCRS04	100	DCRS03	50	DLRS02	50
PCRF02	50	PFRF02	100	DCRG02	50	DLRS03	50

3.2.5 Localização dos serviços

A empresa presta os seus serviços numa área geográfica compreendida pelos distritos do Porto, Braga, Aveiro e Vila Real, no entanto está prevista a expansão da área de intervenção para o distrito de Lisboa e Vale do Tejo.

Os dados de localização de cada serviço são a morada do cliente, no entanto, para o desenvolvimento do problema são usadas as coordenadas geográficas de cada serviço. Os técnicos inicializam e finalizam o seu dia de trabalho na sua residência sendo a sua localização determinada também por coordenadas geográficas.

3.2.6 Janelas temporais

A possibilidade de o agendamento ser realizado com o cliente dentro de uma janela temporal é uma opção presente no agendamento, no entanto, é privilegiado o agendamento sem janela temporal substituído pelo contacto telefónico antes da deslocação. Para os agendamentos que por imposição contratual ou indisponibilidade do cliente é exigida uma janela de temporal para a chegada do técnico ao cliente o mesmo pode ser realizado com uma janela de chegada de duas horas. A tabela 8, apresenta as janelas horárias disponíveis para agendamento.

Tabela 8 – Janelas horárias (Satfiel)

Janela 1	Início	09h
	Fim	11h
Janela 2	Início	10h
	Fim	12h
Janela 3	Início	11h
	Fim	13h
Janela 4	Início	13h
	Fim	15h
Janela 5	Início	14h
	Fim	16h
Janela 6	Início	15h
	Fim	17h
Janela 7	Início	16h
	Fim	18h

3.2.7 Dia de trabalho de um técnico

O dia de trabalho de um técnico é constituído por oito horas (480 min), a rota do tecnico calculada em minutos compreende o tempo de deslocação da sua residência para o primeiro serviço, o tempo de deslocação entre serviços conforme a tabela 7 e o tempo de regresso do último serviço até à sua residência.

As pausas do dia de trabalho ficam ao critério do técnico sendo que não estão previstas no algoritmo.

3.3 Formulação matemática

A formulação matemática do problema é obtida através da adaptação da formulação do STRSP (Kovacs, et al., 2011) ao problema em estudo, a sua formulação original prevê a construção de equipas e a terceirização do serviço. No problema em estudo não são construídas equipas de técnicos e não está prevista a terceirização de serviço, assim, com estas duas exclusões e a alteração do local de saída e chegada dos técnicos para a

sua residência (formulação original tem essa localização na sede) obtém-se a seguinte formulação:

O problema apresenta a seguinte notação:

- $G = \{V, A\}$ – Grafo direcionado completo;
- V – Conjunto de vértices;
- A – Conjunto de arcos;
- V' – Um dado conjunto de tarefas $V' = \{1, \dots, n\}$ que deve ser realizada por um conjunto de técnicos T ;
- i – Serviço;
- s – Valência;
- S – Conjunto de valências;
- l – Nível de competência;
- L – Conjunto de níveis de valências;
- t – Técnico;
- T – Conjunto de técnicos t ;
- $[p_{is}^t] | L \times |S|$ - Matriz de valência de um técnico t ;
- $[q_{is}^i] | L \times |S|$ - Matriz de valências de um serviço i ;
- a_i – Início da janela temporal de um serviço i ;
- b_i - Fim da janela temporal de um serviço i ;
- $[a_i, b_i]$ – Janela temporal de um serviço i ;
- d_i - Tempo de realização do serviço i ;
- e_0 – Total do tempo de trabalho;
- c_{ij} – Custo para percorrer o arco (i, j) ;
- t_{ij} – Tempo para percorrer o arco (i, j) ;
- B_i^t – Define o início da rota do técnico t no serviço i ou residência;

Todas as tarefas são associadas a um tempo de realização d_i e devem iniciar dentro da sua janela temporal $[a_i, b_i]$. Cada técnico t parte da sua residência no tempo e_0 . Cada técnico parte e regressa à sua residência, denotado por 0 no início e por $n + 1$ no final do trajeto. Assim, o conjunto de vértices é definido como $V = \cup \{0, n + 1\}$ e o conjunto de arcos por $A = \{(i, j) | i \in V \setminus \{n + 1\}, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j\}$.

Variáveis de decisão binária:

$$x_{ij}^t \begin{cases} 1, \text{ se o arco } (i, j) \text{ é percorrido pelo técnico } t, \\ 0, \text{ caso contrário,} \end{cases} \quad (55)$$

$$y_i^t \begin{cases} 1, \text{ se a tarefa } i \text{ é alocada ao técnico } t, \\ 0, \text{ caso contrário,} \end{cases} \quad (56)$$

Função objetivo:

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{(i, j) \in A} c_{ij} x_{ij}^t \quad (58)$$

Sujeito a:

$$\sum_{t \in T} y_i^t = 1 \quad \forall i \in V', \quad (59)$$

$$\sum_{j \in V' \cup \{n+1\}} x_{0,j}^t = 1 \quad \forall t \in T, \quad (60)$$

$$\sum_{i \in V' \cup \{0\}} x_{i,n+1}^t = 1 \quad \forall t \in T, \quad (61)$$

$$\sum_{j \in V' \cup \{0\}} x_{ji}^t = y_i^t \quad \forall i \in V', t \in T, \quad (62)$$

$$\sum_{j \in V' \cup \{0\}} x_{ji}^t - \sum_{j \in V' \cup \{n+1\}} x_{ij}^t = 0 \quad \forall i \in V', t \in T, \quad (63)$$

$$B_j^t \geq (B_i^t + d_i + t_{ij}^t) x_{ij}^t \quad \forall i, j \in V, t \in T \quad (64)$$

$$B_0^t = e_0 \quad \forall t \in T, \quad (65)$$

$$a_i \leq B_i^t \leq b_i \quad \forall i \in V' \cup \{n+1\}, t \in T, \quad (66)$$

$$y_i^t q_{ls}^i \leq p_{ls}^t \quad \forall i \in V', t \in T, l \in L, s \in S \quad (67)$$

$$x_{ij}^t \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, t \in T, \quad (68)$$

$$y_i^t \in \{0,1\} \quad \forall i \in A, t \in T, \quad (69)$$

Onde a função objetivo (58) minimiza o somatório dos custos do total de rotas; a equação (59) garante que todos os serviços são realizados;; as equações (60) e (61) garantem que todas as rotas se iniciam e finalizam na residência de cada técnico; as equações (62) e (63) garantem que se um serviço foi alocado a um técnico, o mesmo deve entrar e sair no local do serviço; a inequação (64) define o tempo de trabalho diário de um técnico; a equação (65) garante o início da rota na residência do técnico; a inequação (66) define as janelas temporais do serviço; a inequação (67) garante as competências necessárias para a realização da tarefa; (68) e (69) impõem as condições binárias.

O STRSP é um problema *NP-hard* uma vez que combina elementos do TTSP, ou seja, requisitos de valências e formação de equipas com rotemaneto de veículos com janelas temporais. Não é espectável que resolva de forma consistente instâncias de tamanho real através de métodos exatos, assim, a resolução do STRSP é desenvolvida através de uma abordagem metaheurística (Kovacs, et al., 2011).

3.4 Metodologia de desenvolvimento

Os problemas da família do TTSP (Khalfay, et al., 2017) apresentam na sua generalidade um conjunto de restrições adicionais similares ao problema em estudo, no entanto, existe um conjunto de particularidades do problema em estudo a ser consideradas:

- Todos os técnicos partem no início do dia de trabalho da sua residência e regressam no final do dia de trabalho à sua residência. O tempo total de um dia de trabalho deve contemplar essas duas viagens;
- Todos os técnicos possuem nas suas viaturas todas a ferramentas necessárias para a execução das valências que lhe estão associadas;
- O fornecimento de peças de substituição não é contemplado na rota dado que na sua generalidade as peças são enviadas por transportadora para o técnico;
- O tempo total da rota de um dia de trabalho deve contemplar o tempo necessário para a execução do serviço, um dia de trabalho deve ser o somatório das viagens mais o somatório dos tempos necessários para as intervenções;
- Não está contemplada a formação de equipas, os serviços que necessitam de mais de um técnico são associados a um técnico com ajudante;
- As janelas temporais definem a hora de chegada do técnico ao serviço com uma folga de duas horas;
- Os tempos para a realização dos serviços variam em função da sua especificidade;
- Após ser agendado com o cliente, o dia e horário (caso se aplique), não mais pode ser alterado;
- O horizonte temporal de agendamento é variável em função da disponibilidade do cliente ou quantidade de serviço para realizar;
- O objetivo é todos os técnicos terem a agenda completa antes de iniciar o dia de trabalho, no entanto, quando isso não é possível o agendamento de serviço para o técnico pode ser realizado no próprio dia;
- A rapidez de resposta a um serviço pode colocar em detrimento o custo de uma rota;
- Não está contemplada a terceirização de serviço;
- Não existem relações de precedência entre os trabalhos;
- A pausa para almoço é definida pelo técnico, as janelas temporais aplicadas permitem que o técnico faça essa gestão;
- Não estão estabelecidos níveis de prioridade para os serviços.

Tendo em conta as características específicas do problema em estudo e a necessidade de obtenção de boas soluções em tempo computacional muito curto, que permitam a construção rápida de cenários de apoio à decisão operacional, a opção vai para heurísticas construtivas habitualmente usadas em processos de construção de soluções em abordagens meta heurísticas.

3.4.1 Heurística de Inserção de Menor Custo

A filosofia das inserções consiste em inicializar o processo com apenas um percurso de dois vértices e, iterativamente, ir anexando vértices até obter um percurso Hamiltoniano. Esta heurística pode ser aplicada quer a problemas simétricos quer a problemas assimétricos.

Procedimento:

- Inicializar um percurso de 2 vértices v_1 e v_2 tal que:

$$c_{v_1 v_2} + c_{v_1 v_2} = \left(\min_{(i,j) \in v} (c_{ij} + c_{ji}) \right) \quad (70)$$

Sendo:

v_1 e v_2 a residência do técnico

c o custo

A figura 6 demonstra o processo de inserção com 2 vértices.

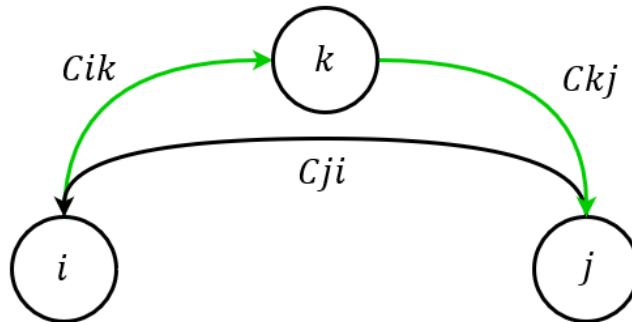


Figura 6 - Processo de inserção com dois vértices

- Enquanto existirem vértices não visitados, inserir no percurso o vértice k , entre os vértices i e j , cujo custo de inserção seja mínimo:

$$c_k = \min_{(i,j) \in \text{Percurso}} (c_{ik} + c_{kj} - c_{ji}) \quad (71)$$

Uma abordagem simples é inserir repetidamente uma solicitação na rota de menor custo possível. Formalmente, $\Delta f_{i,k}$ representa a mudança no valor da função objetivo incorrida pela inserção i na rota k . Caso a solicitação i não seja inserida na rota k então $\Delta f_{i,k} = \infty$. A abordagem gananciosa é calculada:

$$(i, k) := \arg \min_{i \in U, k \in R} \Delta f_{i,k} \quad (72)$$

A solicitação i é inserida na rota k na posição com menor custo. Este processo é executado de forma contínua até que todas as solicitações sejam inseridas ou não seja viável a inserção de mais solicitações.

A complexidade de tempo desta heurística é diminuída através da tabulação de todos os valores de $\Delta f_{i,k}$ e garantindo que apenas uma rota é alterada em cada inserção (Pisinger, et al., 2005).

3.4.2 Heurística de arrependimento

Um problema das heurísticas gananciosas básicas é que em muitas situações adia a colocação dos pedidos mais difíceis até as últimas iterações onde não existe muita liberdade de ação. A heurística de arrependimento tenta contornar o problema ao incorporar um tipo de informação antecipada ao selecionar a solicitação a ser inserida (Pisinger, et al., 2005).

Formalmente, Δf_i^q representa a mudança no valor da função objetivo incorrido pela inserção da solicitação i na melhor posição na q th rota de menor custo para a solicitação i . por exemplo, Δf_i^2 representa a mudança no valor da função objetivo quando é inserida a solicitação i na rota onde a solicitação pode ser inserida com o segundo custo mais baixo. Em cada iteração a heurística de arrependimento define a posição de inserção de acordo com:

$$i := \arg \max_{i \in U} (\Delta f_i^2 - \Delta f_i^1) \quad (73)$$

A solicitação é inserida na melhor rota possível para a posição com menor custo, este processo é repetido enquanto existirem solicitações passíveis de ser inseridas. A heurística pode ser estendida de uma forma natural para definir uma classe de heurísticas de arrependimento, assim, a heurística de arrependimento q é a heurística de construção em que cada etapa da construção opta por inserir a solicitação i dada por:

$$i := \arg \max_{i \in U} \left(\sum_{h=2}^q \Delta f_i^h - \Delta f_i^1 \right) \quad (74)$$

As heurísticas de arrependimento não consideram apenas o custo mínimo de inserção, consideram também o segundo menor custo, o terceiro menor custo, e por aí em diante. Na generalidade a heurística (*Regret- n*) calcula a parte com maior diferença de custo entre as inserções de menor custo e as $n - 1$ próximas inserções de menor custo (Lutz, 2014).

Para instâncias de 250 ou 500 solicitações a heurística de inserção de menor custo é capaz de produzir soluções de menor custo comparativamente com a heurística de arrependimento (Lutz, 2014).

3.5 Arquitetura do algoritmo

O algoritmo é desenvolvido na plataforma Excel através da linguagem VBA.

3.5.1 Estrutura de dados

O algoritmo antes de iniciar o processo de inserção carrega todos os dados na forma de matrizes para a memória, esta operação permite uma otimização no processamento do algoritmo. A entrada de novos serviços obriga que esta rotina seja efetuada.

A sub-rotina *ReadData* carrega para a memória na forma de matrizes os seguintes dados:

- Serviços já agendados (técnico, dia e janela temporal);
- Serviços para agendar;
- Valências dos técnicos;
- Tempos de serviço;
- Coordenadas de localização das residências dos técnicos;
- Estado das rotas;
- Sequência das rotas;

No final da sub-rotina *ReadData* é introduzida uma outra sub-rotina (*LoadServ*) que vai carregar em sistema os serviços já agendados com janela temporal, dia e técnico definidos e fixos. A inclusão da sub-rotina *LoadServ* permite o teste no cenário real em que as agendas dos técnicos já se encontram parcialmente preenchidas com serviços que possuem uma janela temporal, técnico e dia fixo (dia e hora a pedido do cliente) e para um cenário em que o técnico tem de voltar a segunda vez a um serviço (colocação de peças após diagnóstico) sendo que o serviço deve necessariamente agendado para o mesmo técnico.

O agendamento é um processo contínuo durante o dia, no entanto o processo de criação dos novos serviços é na generalidade um processo que ocorre em determinados períodos no dia.

Os dados recolhidos na empresa (Satfiel), foram tratados de forma a otimizar o algoritmo através da construção de matrizes para albergar os dados.

A matriz de valências e tempos de serviço (*MTType*) indica para cada tipologia de serviço quais os técnicos aptos (formato binário) e qual o tempo necessário para a realização do serviço. A tabela 9 apresenta a estrutura de parte da matriz.

Tabela 9 - Estrutura dados matriz *MTType*

		Código de serviço						
		DAAG01	DAIG01	DAIS01	DAMG01	DAPS01	DARG03	...
Técnico	1	1	1	0	1	0	1	...
	2	1	1	0	1	0	1	...
	3	0	0	0	0	0	0	...
	4	0	0	0	0	0	0	...

Tempo de serviço		50	100	100	50	50	50	...

A matriz (*MTec*) alberga as coordenadas referentes à residência de cada técnico, a tabela 10 apresenta parte da estrutura da matriz.

Tabela 10 - Estrutura de dados matriz *MTec*

Técnico	Latitude	longitude
3	41,235	-8,2154
19	41,2135	-8,2819
140	41,2763	-8,2707
...

A matriz de dados dos serviços (*MServ*) alberga as coordenadas dos serviços, codificação dos serviços e o seu estado. A definição do estado do serviço é caracterizada pelos números zero (serviço ainda por agendar), um (serviço alocado pelo algoritmo) e dois (serviço já agendado com restrição ao técnico, dia e janela temporal), para os serviços caracterizados com estado dois, o dia, o técnico e a janela temporal não variáveis que não podem ser alterados. A tabela 11 apresenta a estrutura de parte da matriz *MServ*.

Tabela 11 - Estrutura de dados matriz *MSer*

Serviço	Latitude	Longitude	Tipo	Início (min)	Fim (min)	Estado	Dia	Técnico
1	41,178912	-8,625875	30	1	1	2	1	10
2	41,176018	-8,644944	30	1	1	2	1	11
3	41,189728	-8,659829	24	1	1	2	1	24
4	40,832666	-8,608478	24	0	0	0	1	0
5	41,179557	-8,684557	18	60	60	2	1	12
...

A matriz de informação das rotas (*MRinf*) indica para cada técnico e para cada dia o número de serviços alocados e o tempo de folga da rota.

A tabela 12 apresenta um exemplo da estrutura de parte da matriz *MRinf*, verifica-se que para o primeiro dia os técnicos apresentam serviços alocados sendo que para o segundo e terceiro dia não têm serviços alocados.

Tabela 12 - Estrutura da matriz *MRinf*

Técnico	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia	
	Nº serv.	T. folga (min)	Nº serv.	T. folga (min)	Nº serv.	T. folga (min)	Nº serv.	T. folga (min)
1	5	40	0	480	0	480
2	6	30	0	480	0	480
3	8	4	0	480	0	480
4	2	300	0	480	0	480
...

A matriz de informação das rotas (*MRoutes*) indica para cada técnico e respetivo dia qual a sequência da rota, sendo que para cada serviço da rota existe um vetor com a informação do serviço (índice do serviço, tempo de deslocação do serviço anterior, tempo de início da janela temporal, tempo de serviço e tempo de fim da janela temporal). A tabela 13 apresenta a estrutura da matriz, no dia um o primeiro técnico deve seguir a sequência de serviços apresentada a esquerda para a direita.

Tabela 13 - Estrutura da matriz *MRoutes*

Técnico	Dia 1					Dia 2					Dia							
1	19	103	26	22	80													
2	62	71	34	75														
3	12	9	90	106														
4	81	63	82	72														
...

A tabela 14 apresenta o vetor referente à informação de cada serviço alocado à rota do primeiro técnico no primeiro dia.

Tabela 14 - Exemplo de informação de serviço

Técnico	Dia	Índice de serviço	Tempo deslocação do serviço anterior (min)	Início da janela temporal	Tempo serviço	Fim da janela temporal
1	1	19	34	34	150	184
1	1	103	1	120	50	170
1	1	26	20	320	50	370
1	1	22	22	380	50	430
1	1	80	12	420	50	470
1	1	80	12	420	50	470

3.5.2 Heurística de Inserção de Menor Custo

O objetivo do algoritmo é preencher o primeiro dia de todos os técnicos, na fase de inserção testa o primeiro serviço sem agendamento ao percorrer as agendas de todos os técnicos com a valência necessária para a sua realização até conseguir alocá-lo na rota de um técnico pelo menor custo, caso o algoritmo não consiga inserir o serviço no primeiro dia, o mesmo fica por agendar até que o algoritmo passe para o segundo dia e assim consecutivamente até ser possível a sua inserção.

O algoritmo verifica o primeiro serviço com estado zero na matriz $MSer$, de seguida verifica na matriz $MTType$ qual o primeiro técnico com a valência necessária para a sua realização de seguida através da matriz $MRinf$ verifica se o técnico ainda tem tempo disponível para a realização do serviço (o tempo de realização de serviço deve ser menor que o tempo de folga da rota).

A matriz $MRoutes$ fornece qual a sequência da rota do técnico, para cada inserção o algoritmo determina o custo da inserção através da equação 71.

O tempo de viagem é obtido através da função $Geodist$ (TBonfi, 2018), com uma média horária de sessenta quilómetros por hora e ajuste de 15% de compensação para diferenças entre distâncias lineares e rodoviárias.

Neste problema o objetivo é minimizar o custo (tempo), assim, num processo de inserção o custo é igual ao somatório dos arcos de inserção menos o arco quebrado pela inserção (equação 71).

3.5.3 Janelas temporais

As janelas temporais são uma restrição do problema, a existência de serviços já agendados para um determinado técnico, dia ou dentro de determinada janela horária resulta de casos em que existe uma janela temporal a pedido do cliente ou por imposição comercial em que os agendamentos devem ser realizados num determinado dia dentro de uma janela temporal específica. O início da janela temporal não é um horário fixo de chegada do técnico ao serviço, por exemplo, para a janela temporal 10h-12h é indicado ao cliente no agendamento que o técnico tem um horário previsto de chegada entre as 10h e as 12h.

Os tempos de realização para cada tipologia de serviço são obtidos através da média de tempo usada por todos os técnicos com essa valência nos últimos seis meses, trata-se de valores aproximados da realidade, no entanto existem fatores não considerados que podem levar a desvios nesses valores:

- O tempo utilizado para a mesma reparação varia de técnico para técnico, este fator advém da existência de diferentes métodos de diagnóstico/reparação, nível de conhecimento e experiência entre os técnicos.
- Dentro da mesma tipologia de serviço o tempo de intervenção varia entre equipamentos e tipo de avaria, existem avarias de rápida resolução e avarias mais complexas.

Os tempos estabelecidos para um dia de trabalho de um técnico podem ser condicionados pela variação do tempo de intervenção, mas também por outros fatores alheios como atraso dos clientes, ausências de clientes e situações de trânsito que condiciona os tempos de viagem. Estes fatores inviabilizam a aplicação de horários fixos de chegada do técnico ao cliente, assim, para os casos em que se aplique uma janela temporal a mesma é fornecida ao cliente sob a forma de um período de tempo.

A verificação da janela temporal é contemplada no algoritmo através a verificação durante o processo de inserção, esta verificação é efetuada:

- À esquerda da inserção: o somatório de todos os tempos de serviço e tempos de viagem deve ser inferior ao tempo de início da janela temporal
- À direita: o somatório de todos os tempos de serviço e tempos de viagem deve ser inferior ao tempo de fim da janela temporal;

A tabela 15 apresenta a equivalência do somatório de tempos à janela horária.

Tabela 15 - Equivalências do somatório de tempos à janela temporal

TW	Σ tempos (min)
09h - 11h	até 60
10h - 12h	60 a 120
11h - 13h	120 a 180
13h - 15h	240 a 300
14h - 16h	300 a 360
15h - 17h	360 a 420
16h - 18h	420 a 480

Durante o processo de inserção sempre que exista um ou mais serviços com janela temporal em todas as inserções é verificado que a inserção do serviço não afeta as janelas temporais fixas. A figura 7 apresenta um exemplo do esquema de contabilização do tempo (minutos) da rota de um técnico.

Residência	Viagem	Serviço 1	Viagem	Serviço 2	Viagem	Serviço 3	Viagem	Total
0	10	50	15	50	20	75	15	235
10		65		70		90		235
Tempo de viagem da residência do técnico até ao primeiro serviço		Tempo de realização do primeiro serviço e viagem até ao segundo serviço		Tempo de realização do segundo serviço e viagem até ao terceiro serviço		Tempo de realização do terceiro serviço e viagem até à residência do técnico		Total de tempo da rota

Figura 7 - Esquema de contabilização do tempo da rota

A inserção de menor custo só é válida se o somatório dos tempos (serviços mais viagens) mais o custo de inserção não ultrapassar o tempo de início/fim da janela temporal. A figura 8 apresenta a situação do serviço 1 com uma janela temporal com valor de início de sessenta minutos (10h/12h), para a inserção ser considerada válida à esquerda, o somatório dos tempos (zero, pois não existe nenhum serviço agendado à esquerda) mais o custo de inserção (55 min) não pode ultrapassar o tempo de início da janela temporal.

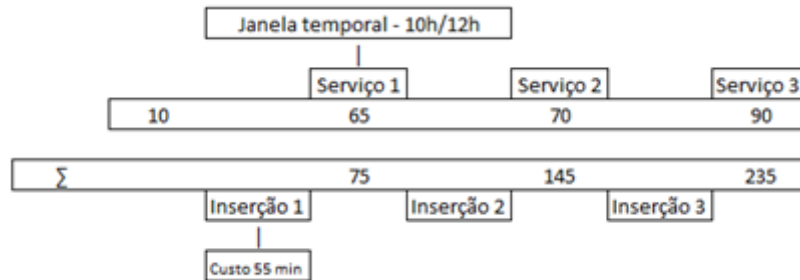


Figura 8 - Esquema de verificação da janela temporal

3.5.4 Processo de inserção

O algoritmo após verificar o menor custo de inserção em todas as posições das rotas de todos os técnicos válidos, efetua a inserção do novo serviço na posição onde o custo de inserção é menor. A figura 9 exemplifica a verificação de um processo de inserção numa determinada rota, caso a inserção seja válida perante a restrição da janela temporal, o novo serviço é inserido entre o serviço dois e o serviço quatro.

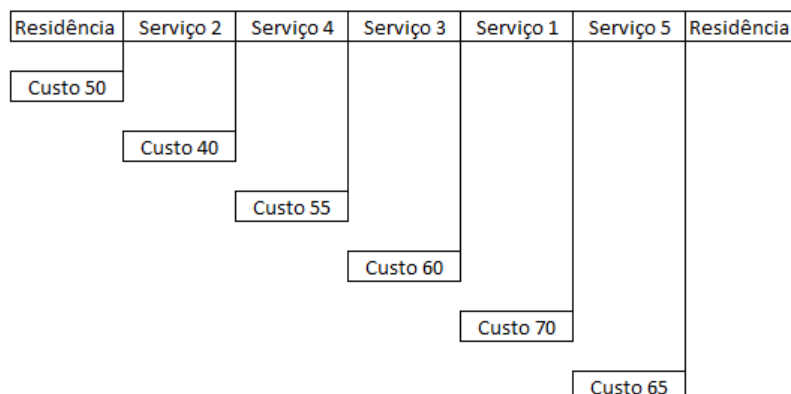


Figura 9 - Exemplo de verificação de uma inserção

A figura 10 apresenta o mesmo cenário para a rota antes e depois da inserção.

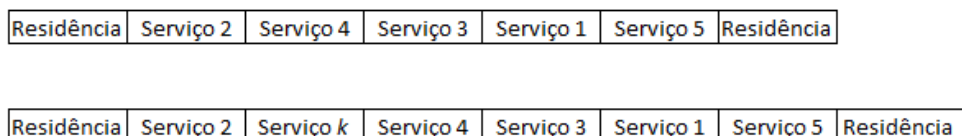


Figura 10 - Exemplo de inserção

3.5.5 Pseudocódigo

Início

Carrega dados

Carrega serviços pré-agendados

iday = 0

Do While iserv < Nser

iday = iday + 1

Mincost_service=0

For i = 1 To Nser

For j = 1 To Ntec

If tech j skilled for the job

If service duration < route time available

Calculate Geodistance

Calculate insert cost

If insert cost < Minimum cost Then

If travel+service duration <= route time available

If time windows of next firm services are not violated

Mincost = insert cost

Mincost_service = i

End If

End If

End If

End If

End If

Next j

If Mincost_service > 0

Insert service

End if

Next i

Loop

Em que:

- *iday* – horizonte temporal (dias);
- *iserv* – índice de serviço
- *Nser* – número de serviços para agendar;
- *Ntec* – conjunto dos técnicos;
- *Geodistance* – função de cálculo do tempo de viagem entre duas coordenadas;

3.6 Instâncias de teste

Os testes são realizados com um conjunto de 350 serviços (Satfiel) referentes ao ano 2020 e 2021, de 2020 são os serviços do final do ano que ficaram por agendar (clientes incontactáveis) e os que ficaram agendados para 2021, relativamente aos serviços de 2021 são os processos criados nos dois primeiros dias uteis de 2021.

O [anexo 5](#) apresenta a lista de serviços de 2020 com agendamento fixo para 2021.

O [anexo 6](#) apresenta a lista de serviços de 2020 que ficaram sem agendamento.

A criação de novos processos na sua generalidade é efetuada por rotinas em que o operador cria um conjunto de serviços para agendar.

O [anexo 7](#) apresenta a lista de serviços referente à primeira rotina de criação de processos de 2021.

O [anexo 8](#) apresenta a lista de serviços referente à segunda rotina de criação de processos de 2021.

O [anexo 9](#) apresenta a lista de serviços referente à terceira rotina de criação de processos de 2021.

O [anexo 10](#) apresenta a lista de serviços referente à quarta rotina de criação de processos de 2021.

3.7 Testes e resultados

Os dados das agendas dos técnicos relativos ao primeiro dia útil de 2021 permitem verificar a existência de técnicos com elevado tempo não utilizado no dia de trabalho. O gráfico da figura 11 apresenta os valores referentes ao dia 04/01/2021.

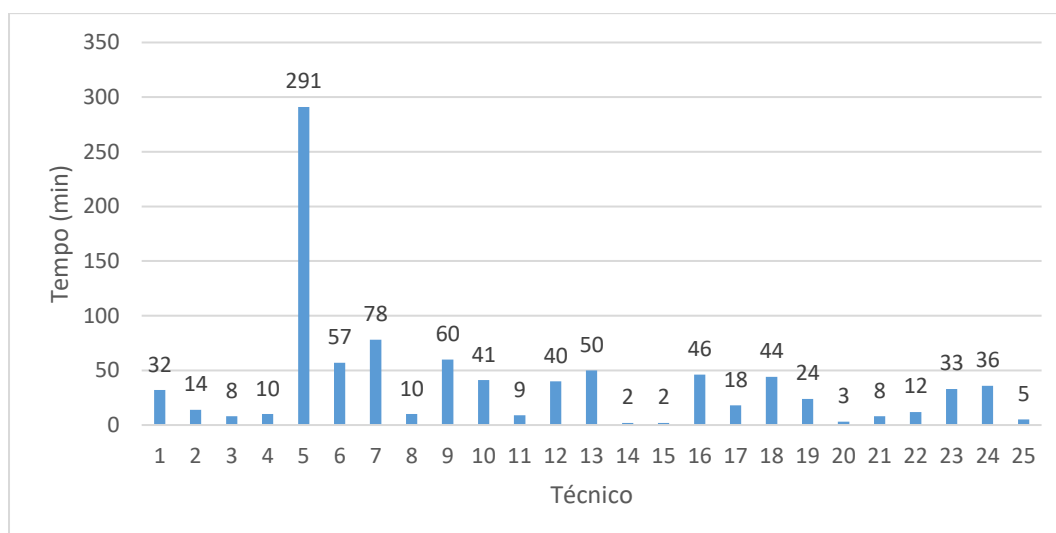


Figura 11 - Gráfico de tempo não utilizado no dia 04/01/2021

Na realidade não existem rotas perfeitas capazes de utilizar a totalidade dos 480 minutos de um dia de trabalho de um técnico, a soma dos tempos não utilizados perfaz um total 1144 minutos desperdiçados, ou seja, aproximadamente o equivalente ao tempo de dois técnicos. Na teoria a empresa neste cenário teria um excedente de dois técnicos ou, por outro lado, teria mais capacidade técnica por dia o que levaria a uma diminuição do tempo de resposta ao cliente.

O número de serviços realizados por cada técnico é um fator variável pois depende dos tempos de realização dos serviços que lhe são alocados, apesar de cerca de 85% dos serviços apresentarem um tempo de intervenção de cinquenta minutos, por exemplo, os serviços alocados ao técnico 21 apresentam um tempo médio de realização de 75 minutos. O gráfico da figura 12 apresenta os números de serviços alocados a cada técnico no dia 04/01/2021 (segundo a tabela 1).

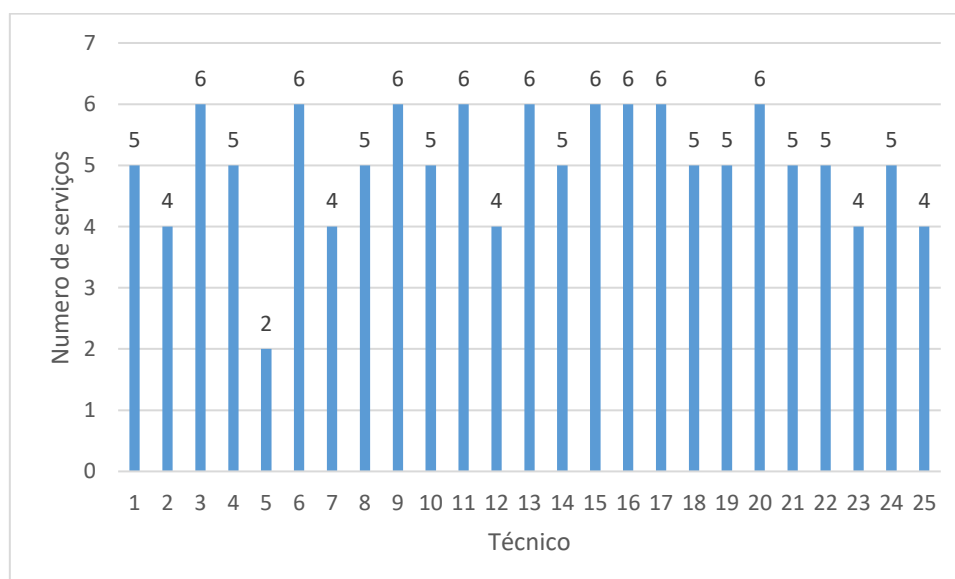


Figura 12 - Solução atual (Satfiel)

Por observação diária na empresa e como verificado na generalidade do gráfico a média de serviços realizados pelos técnicos é de seis serviços por dia.

O objetivo do algoritmo é minimizar o tempo não usado por cada técnico e consequentemente aumentar o número total de serviços realizados.

Primeiro processo de agendamento

No início do primeiro dia verifica-se que as agendas dos técnicos ainda não estão completamente cheias conforme apresentado na tabela 16 (dados referentes ao conjunto de serviços do [anexo 5](#)).

Tabela 16 - Serviços agendados no início do dia (Satfiel)

Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)	Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)
1	5	32	14	3	62
2	4	14	15	2	334
3	4	192	16	2	241
4	4	164	17	4	190
5		480	18	2	268
6	4	135	19	4	162
7	4	188	20	4	172
8	4	185	21	4	50
9		480	22	4	142
10	4	172	23		480
11	5	50	24	3	223
12	2	140	25	3	213
13	4	154			

Na primeira fase o algoritmo vai alocar o conjunto de serviços de 2020 ainda sem agendamento ([anexo 6](#)) com a finalidade de preencher a totalidade das agendas dos técnicos. O [anexo 11](#) apresenta o número de serviços alocados e tempo não utilizado após o primeiro processo de agendamento.

Através do gráfico da figura 13, verifica-se um aumento do número de serviços alocados a cada técnico, no entanto ainda existem técnicos que não estão completamente utilizados, e o caso do técnico 23 que ainda não tem nenhum serviço alocado e o técnico 5 com apenas um serviço alocado. No caso do técnico 23 trata-se de um técnico sem valências para o conjunto de serviços tratado e no caso do técnico cinco apesar da grande quantidade de valências que lhe estão atribuídas no conjunto de serviços tratados apenas existe um serviço que lhe pode ser alocado.

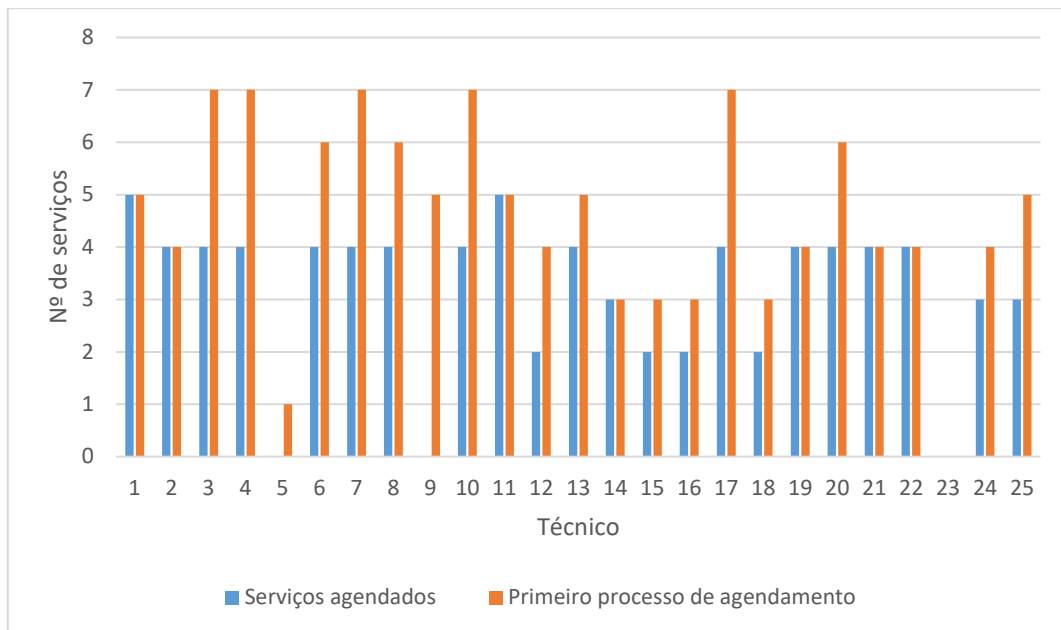


Figura 13 -Número de serviços agendados após 1º processo de agendamento

Relativamente à quantidade de tempo não utilizado o gráfico da figura 14 apresenta um aumento da ocupação dos técnicos após o primeiro processo de agendamento.

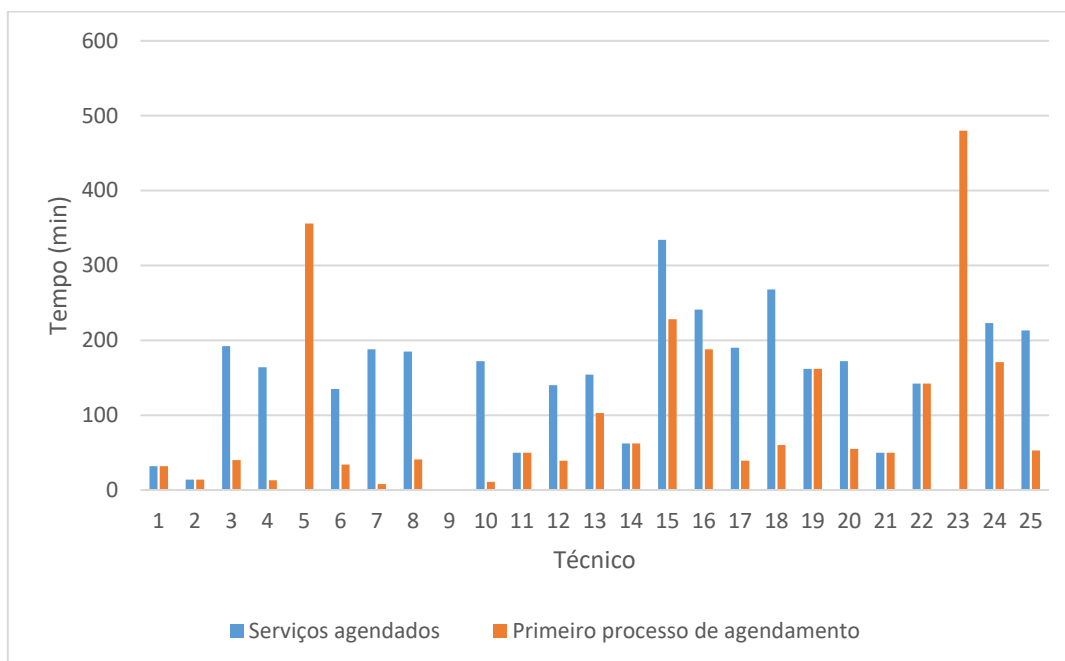


Figura 14 - Tempo não utilizado após primeiro processo de agendamento

Segundo processo de agendamento

No início do dia um dos operadores efetua uma rotina de criar novos processos, após o agendamento dos serviços relativos a 2020 é iniciado o segundo processo de agendamento do primeiro conjunto de serviço de 2021 ([anexo 7](#)). O [anexo 12](#) apresenta o número de serviços agendados e tempo não utilizado após este processo de agendamento.

No gráfico apresentado na figura 15 verifica-se um aumento do número de serviços agendados, para o caso do técnico 23 a alocação de serviço apenas se deu no segundo processo de agendamento.

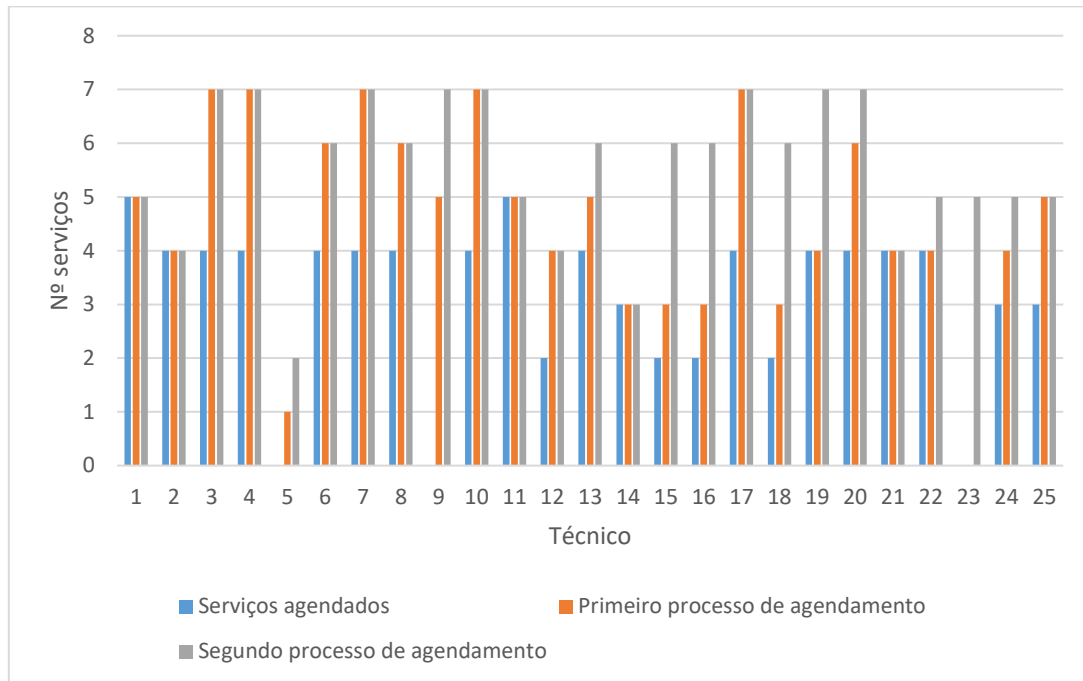


Figura 15 - Número de serviços agendados após segundo processo de agendamento

No gráfico apresentado na figura 16 verifica-se uma consequente diminuição do tempo não usado por cada técnico no primeiro dia.

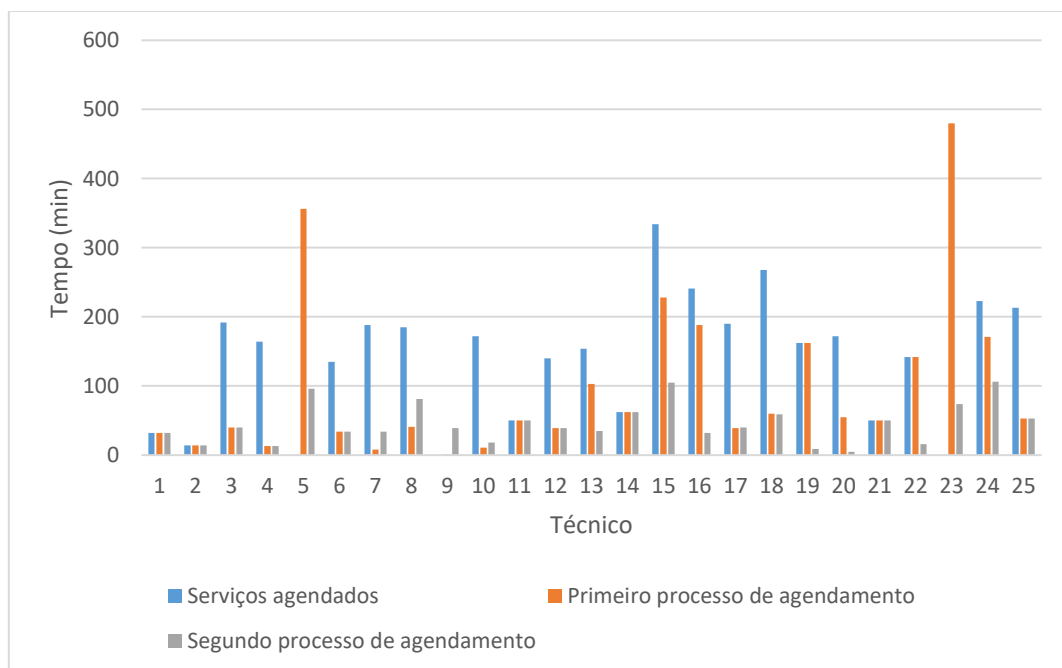


Figura 16 - Tempo não utilizado após segundo processo de agendamento

Verifica-se já a alocação de processos para o segundo e terceiro dia, esta situação é fruto da heterogeneidade das valências entre os técnicos. O gráfico da figura 17 apresenta a distribuição da quantidade de serviços por dia.

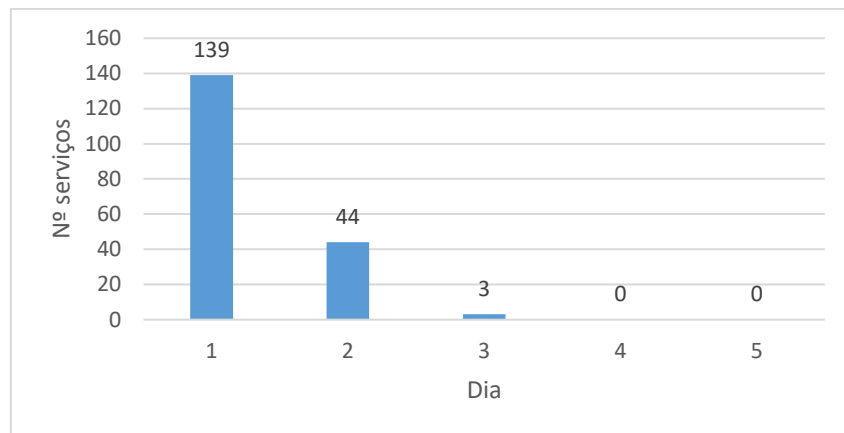


Figura 17 - Número de serviços agendados por dia

Terceiro processo de agendamento

O segundo conjunto de serviços criados no primeiro dia ([anexo 8](#)) contém serviços com a possibilidade de ainda serem alocados a técnicos com as agendas por preencher, nesta tentativa dá-se início ao terceiro processo de agendamento. O [anexo 13](#) apresenta o número de serviços agendados e tempo não utilizado para o primeiro dia após este processo.

O gráfico da figura 18 apresenta um acréscimo de serviços alocados no primeiro dia.

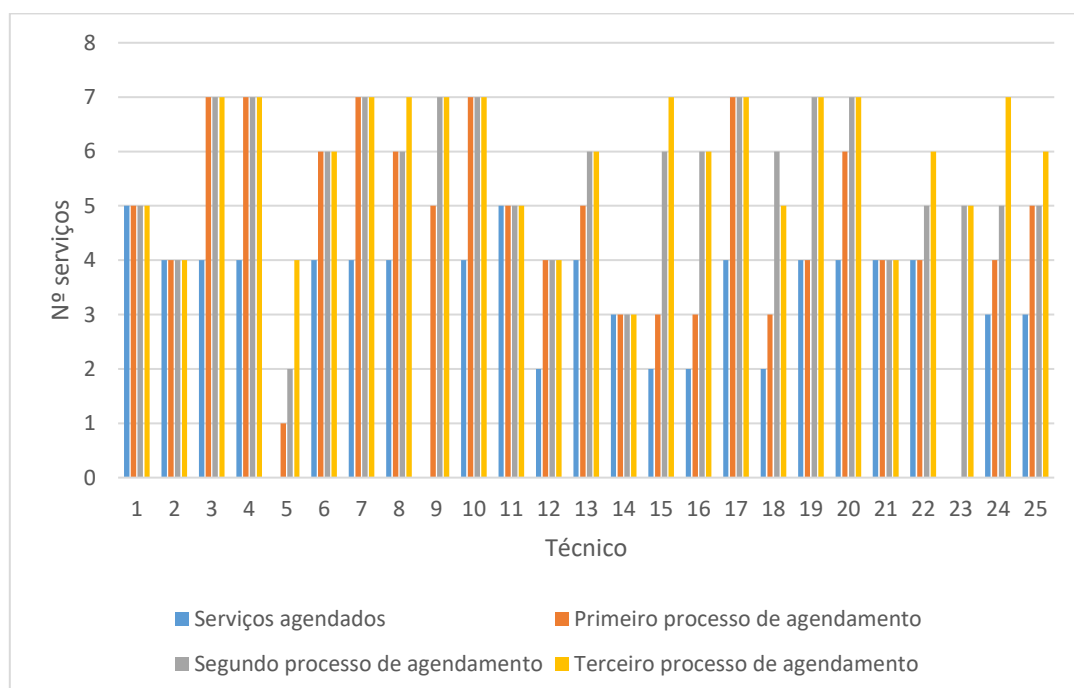


Figura 18 - Número de serviços agendados após terceiro processo de agendamento

O gráfico da figura 19 apresenta a evolução do tempo não utilizado por cada técnico para o primeiro dia.

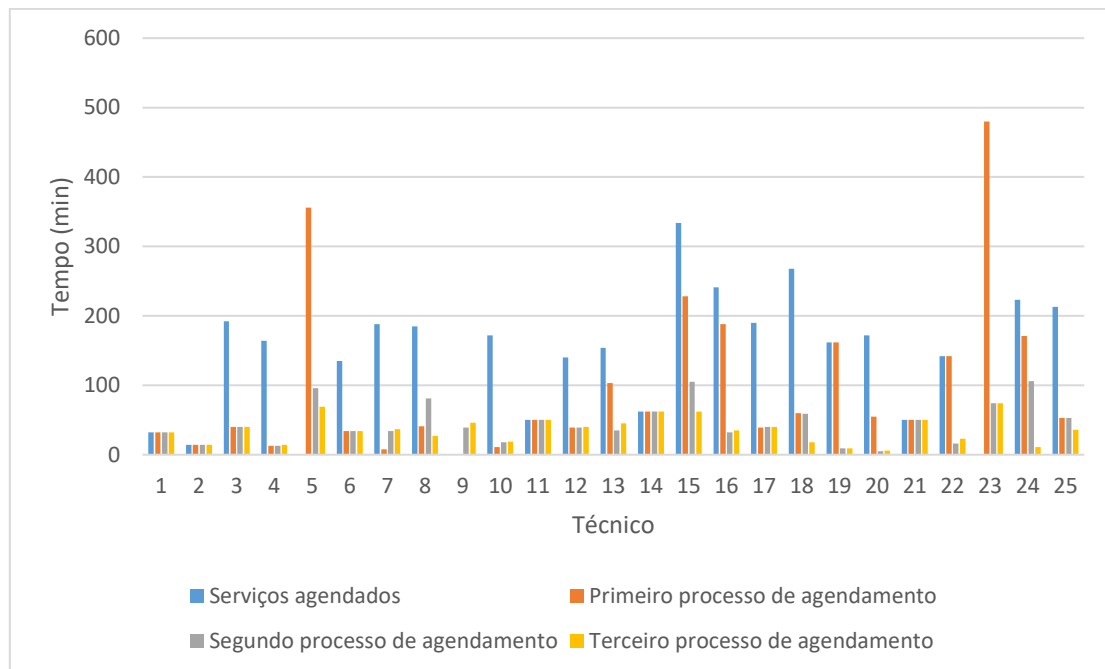


Figura 19 - Tempo não utilizado após terceiro processo de agendamento

O gráfico da figura 20 apresenta a evolução do número de serviços agendados por dia após a terceira iteração do processo de agendamento.

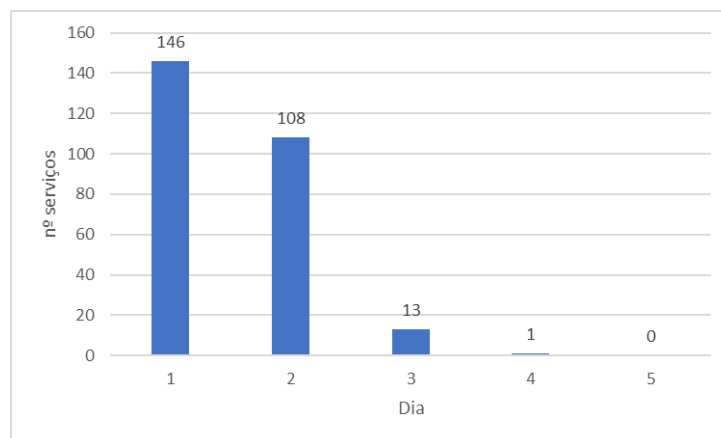


Figura 20 - Número de serviços agendados por dia

Quarto e quinto processo de agendamento

O quarto processo de agendamento ocorre no início do segundo dia com o objetivo de completar a agenda dos técnicos para o segundo dia com um conjunto de novos serviços ([anexo 8](#)). O quinto processo de agendamento ocorre também no segundo dia e são agendados um conjunto de novos serviços ([anexo 9](#)), maioritariamente para o terceiro dia.

O [anexo 14](#) apresenta os resultados dos cinco processos de agendamento para o primeiro dia e o [anexo 15](#) apresenta a distribuição dos serviços pelos técnicos para um horizonte temporal de cinco dias.

3.7.1 Comparativo entre a solução atual e os resultados obtidos para o primeiro dia

A tabela 17 apresenta o comparativo dos resultados entre a solução atual (Satfiel) e o resultado do algoritmo para o primeiro dia.

Tabela 17 - Comparativo entre soluções

	Solução atual	Resultado do algoritmo
Número de serviços agendados (SA)	126	146
Número de técnicos utilizados (TU)	25	25
Tempo de deslocções (TD)	3956	3182
Tempo de serviços (TS)	6900	7925
Tempo inutilizado (TI)	1144	893

O resultado do algoritmo apresenta um acréscimo de mais dezoito serviços em relação à solução atual que se traduz na diminuição do tempo de deslocções.

Para a análise do desempenho do algoritmo são criados três indicadores de desempenho (KPI).

A eficiência de roteamento (RT) é dada por:

$$RT = \left(\frac{TS}{TD + TS} \right) * 100 \quad (75)$$

A eficiência do algoritmo (EA) é dada por:

$$EA = \frac{TS}{TT} * 100 \quad (76)$$

Em que TT é o tempo total de disponibilidade do conjunto dos técnicos para um dia de trabalho.

A eficiência global (EG) é dada por:

$$EG = \left(1 - \frac{TI}{TT} \right) * 100 \quad (76)$$

A tabela 18 apresenta os resultados obtidos na análise de desempenho para o primeiro dia.

Tabela 18 - Análise desempenho para o primeiro dia

	Solução atual	Resultado do algoritmo
SA	126	146
TU	25	25
TD (min)	3956	3182
TS (min)	6900	7925
TI (min)	1144	893
TT (min)	12000	12000
RT	63,6%	71,4%
EA	57,5%	66,0%
EG	90,5%	92,6%

O resultado do algoritmo para o primeiro dia apresenta melhores resultados em todos os indicadores de desempenho relativamente à solução atual.

3.7.2 Análise de sensibilidade às restrições do problema

As restrições associadas ao problema podem condicionar o resultado do algoritmo, exige-se uma análise de sensibilidade às suas restrições. Os testes são realizados com as instâncias e sequências de processos de agendamento adotadas para os resultados obtidos no primeiro dia.

Para esta análise são testados quatro cenários diferentes:

Cenário 1 – Janelas horárias grandes.

A disponibilização ao cliente de uma hora exata para a chegada do técnico à sua residência elevaria consideravelmente o seu grau de satisfação, no entanto, como mencionado atrás operacionalmente não é possível rentabilizar tal situação, o cenário atual prevê a chegada do técnico numa baliza temporal de duas horas.

O primeiro teste analisa todos os serviços pré agendados ([anexo 5](#)) num cenário em que as janelas horárias refletem períodos do dia (manhã/tarde), ou seja, as janelas horárias existentes no período da manhã passam de duas horas para as quatro horas da manhã e as janelas existentes no período da tarde passam de duas horas para as quatro horas da tarde.

Cenário 2 – Janelas horárias pequenas.

O segundo teste, usa janelas horárias mais curtas que as existentes, é testada a abordagem a janelas horárias de uma hora.

Cenário 3 – Valências homogêneas.

As restrições associadas às valências dos técnicos podem condicionar a alocação de serviço a técnicos que detêm um menor número de valências, o terceiro teste verifica um cenário em que os técnicos detêm valências homogêneas.

Cenário 4 – Saída da sede.

A distribuição dos técnicos associada à localização dos serviços pode condicionar o desempenho do algoritmo, o quarto teste verifica um cenário em que os técnicos iniciam e finalizam as suas rotas na sede da empresa.

A tabela 19 apresenta o resultado da análise de eficiência para os quatro cenários testados.

Tabela 19 - Resultados à análise de sensibilidade

	Solução atual	Resultado do algoritmo	Janelas horárias grandes	Janelas horárias pequenas	Valências homogêneas	Saída da sede
SA	126	146	149	144	154	150
TU	25	25	25	25	25	25
TD	3956	3182	3187	3203	2899	3087
TS	6900	7925	8075	7825	8325	8100
TI	1144	893	738	972	776	813
TT	12000	12000	12000	12000	12000	12000
RT	63,6%	71,4%	71,7%	71,0%	74,2%	72,4%
EA	57,5%	66,0%	67,3%	65,2%	69,4%	67,5%
EG	90,5%	92,6%	93,9%	91,9%	93,5%	93,2%

A eficiência de roteamento (RT) em relação ao resultado do algoritmo aumenta ligeiramente para o cenário das janelas horárias grandes e diminui ligeiramente para o cenário das janelas horárias pequenas. Verifica-se um aumento de 1% quando todos os técnicos iniciam na sede da empresa, o aumento mais relevante verifica-se no cenário em que as valências dos técnicos são homogêneas, 2,5% em relação à solução do algoritmo e 10,6% em relação à solução atual.

A eficiência do algoritmo (EA) aumenta relativamente à solução do algoritmo para o cenário de janelas horárias grandes, saída da sede e valências homogêneas (maior aumento, 3,4%). Diminuí ligeiramente para o cenário das janelas horárias pequenas.

A eficiência global (EG) diminuí em relação ao resultado do algoritmo para a janelas horárias pequenas e aumenta para o cenário das janelas horárias grandes, valências homogêneas e saída da sede. Neste indicador pela primeira vez o cenário das janelas horárias grande apresenta melhor resultado que o cenário das valências homogêneas.

Análise de desempenho como um problema estático

Como referido, o problema foi testado com cinco processos de agendamento, em que os primeiros três são referentes ao primeiro dia. Esta análise observa o desempenho do algoritmo num cenário em que toda a instância de serviços passíveis de ser alocados no primeiro dia é testada de uma só vez (são mantidos os serviços pré agendados).

O teste é realizado com quatro cenários de restrições.

Cenário 1 – Janelas horárias, valências dos técnicos heterógenas e localização dos técnicos no seu domicílio.

Cenário 2 – Janelas horárias, valências dos técnicos homogéneas e localização dos técnicos no seu domicílio.

Cenário 3 – Janelas horárias grandes, valências dos técnicos homogéneas e localização dos técnicos no seu domicílio.

Cenário 4 – Janelas horárias grandes, valências dos técnicos homogéneas e localização dos técnicos na sede da empresa.

A tabela 20 apresenta os resultados da análise de sensibilidade para o cenário de um problema estático.

Tabela 20 - Resultados da análise de sensibilidade para o cenário estático

	Solução atual	Resultado do algoritmo	Janelas horárias, valências heterogéneas e saída do domicílio	Janelas horárias, valências homogéneas e saída do domicílio	Janelas horárias grandes, valências homogéneas e saída do domicílio	Janelas horárias grandes, valências homogéneas e saída da sede
SA	126	146	149	157	156	155
TU	25	25	25	25	25	25
TD	3956	3182	2206	2047	2075	1896
TS	6900	7925	8825	9200	9175	9425
TI	1144	893	969	753	750	679
TT	12000	12000	12000	12000	12000	12000
RT	63,6%	71,4%	80,0%	81,8%	81,6%	83,3%
EA	57,5%	66,0%	73,5%	76,7%	76,5%	78,5%
EG	90,5%	92,6%	91,9%	93,7%	93,8%	94,3%

A versão estática apresenta um considerável aumento da eficiência de roteamento e da eficiência do algoritmo quando comparada com a versão dinâmica, este aumento

mantém-se quando são testadas diferentes restrições ao problema (janelas horárias, valências e localização da saída).

A versão estática não apresenta ganhos de eficiências global quando comparada com a versão dinâmica, no entanto, quando são testadas alterações às restrições a eficiência global na versão estática aumenta relativamente à versão dinâmica.

3.7.3 Gestão operacional da capacidade de trabalho

O algoritmo foi projetado para ser uma ferramenta de apoio ao operador que efetua o agendamento dos serviços, no entanto, com o decorrer dos testes realizados, verifica-se que o algoritmo é uma importante ferramenta de apoio à decisão na ótica do gestor de operações, nos níveis estratégico e tático.

A gestão da capacidade diária de trabalho deve abranger um conjunto de fatores que podem melhorar a sua rentabilidade, o algoritmo permite ao gestor operacional tomar decisões baseado em dados credíveis.

Na ótica do cliente um agendamento com uma hora exata de chegada do técnico influencia consideravelmente o seu grau de satisfação, no entanto, como demonstrado devido a um conjunto de fatores o agendamento com a marcação de uma hora de chegada exata não é viável nesta operação. O algoritmo trabalha de forma válida a restrição das janelas horárias, o aumento da janela de chegada do técnico para períodos manhã/tarde apresenta ganho de eficiência relativamente à solução atual e à solução do algoritmo. O balanço entre a satisfação do cliente a sua influência na rentabilidade dos técnicos é uma decisão muito condicionada pelas condições contratuais dos vários protocolos de serviço, no entanto, estes dados são uma base credível para argumentar alterações nessas condições contratuais.

O equilíbrio da força de trabalho com os fluxos de trabalho é um tema de grande complexidade para o gestor operacional. Os fluxos de trabalho são influenciados pela sazonalidade de utilização dos equipamentos e pela variação da sua densidade em função das zonas geográficas. Verifica-se no decorrer dos testes um conjunto de ilações que o gestor deve reter:

- A existência de técnicos com um menor número de valências o que dificulta o preenchimento da sua agenda;
- A existência de técnicos com elevado número de valências, mas com a falta na sua zona geográfica de intervenção;
- A existências de certas tipologias de serviço em que apenas um técnico tem as valências necessárias, situação que leva a um aumento do tempo de visita ao cliente;
- Um desequilíbrio entre conjuntos de serviços com determinadas tipologias e o conjunto de técnicos com as valências necessárias para os realizar;

- Técnicos com a sua morada de residência deslocada dos locais onde existe maior densidade de serviço, este fator ganha grande importância com a expansão da zona geográfica de intervenção;

O gestor operacional pode tomar decisões baseadas em cenários que podem melhorar o desempenho operacional:

- A negociação de outras tipologias de trabalho para colmatar a falta de serviço de alguns técnicos;
- A atribuição através de planos de formação de mais valências aos técnicos, o desempenho do algoritmo aumenta consideravelmente quando existe homogeneidade das valências dos técnicos;
- Um fator relevante no ato contratação deve ser a morada de residência do técnico;

A gestão dos custos associados à operação pode ser apoiada nos resultados fornecidos pelo algoritmo. Um técnico com viatura tem um custo de cerca de 3000€ por mês, na ótica da gestão operacional da totalidade da equipa de técnicos o aumento da quantidade de serviços realizados diariamente fornece maior faturação à empresa e a redução do tempo usado em deslocações reduz a despesa com veículos. A diminuição do tempo não utilizado pode ser traduzida redução dos custos associados ao número de técnicos ou à maior capacidade diária de realização de serviço, verifica-se uma redução entre a solução atual e o resultado do algoritmo de tempo não utilizado, esta diminuição ainda é mais evidente quando são testadas alterações às restrições do problema.

Um importante fator para o grau de satisfação do cliente é a rapidez do primeiro contacto para agendamento, este fator determina a dinâmica do agendamento. As diferentes iterações realizadas são o reflexo dessa dinâmica existente, serviço após ser criado no sistema deve ser imediatamente agendado com o cliente. O teste efetuado num cenário de problema estático apresenta um melhor desempenho relativamente à versão estática, esta observação feita permite ao gestor operacional regular as rotinas de trabalho do *call center* de forma a otimizar os resultados do algoritmo.

CONCLUSÕES

4.1 Conclusões

4.2 Proposta de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido aborda um problema real de uma empresa de prestação de assistência técnica ao domicílio, um conjunto variado de serviços (necessidade de valências e tempos de execução específicos) deve ser agendado para um conjunto de técnicos com valências heterogéneas e localizações geográficas (início e fim da rota) baseadas nos seus diferentes locais de residência. O agendamento do serviço deve ser dinâmico e está condicionado pela existência de uma janela horária que corresponde à chegada prevista do técnico à residência do cliente.

O âmbito deste trabalho recai sobre uma tipologia de problemas amplamente estudada, no entanto, dadas as características do problema em estudo não é conhecido qualquer estudo já efetuado com o qual seja possível comparar os resultados obtidos.

Este problema pertence à classe de problemas que envolvem o agendamento de forças de trabalho para a execução de tarefas em diferentes locais e enquadra-se na família dos TTSP através do DTRSP. O modelo matemático é baseado numa adaptação do STRSP.

A vertente dinâmica do problema (o algoritmo é ativado sempre que o operador efetua um agendamento) leva a uma abordagem de solução baseada na heurística da inserção de menor custo, que revela resultados de boa qualidade e rapidez de processamento do algoritmo.

As análises de desempenho dos resultados mostram um aumento considerável nos níveis de eficiência da solução obtida quando comparada a atual solução da empresa. A análise de sensibilidade revela que a falta de homogeneidade das valências entre os técnicos a variação dos fluxos de serviços são fatores que devem ser tidos em conta ao nível da gestão operacional dos recursos e contratualização de trabalho, e que o aumento das janelas horárias também pode contribuir para melhorar a eficiência do processo.

A ferramenta de apoio idealizada para o operador que efetua os agendamentos, após a realização de um conjunto de testes mostrou também ser uma importante ferramenta de apoio à decisão para o gestor operacional, os dados obtidos identificam um conjunto de importantes fatores que influenciam a tomada de decisão ao nível do gestor.

4.2 Proposta de trabalhos futuros

Em futuros trabalhos de desenvolvimento sugere-se o estudo de uma meta heurística para a resolução do problema e a comparação dos resultados relativamente a uma abordagem de solução exata.

Os dados usados relativamente aos tempos de intervenção são o resultado de uma média entre todos os técnicos nos últimos seis meses, o cálculo do tempo deve ser individualizado ao técnico, o seu tempo de intervenção pode variar em função da aquisição e melhoria das suas capacidades. A atribuição de um serviço a um técnico, além do fator distância, deve contemplar como critério o resultado de uma avaliação dinâmica do seu desempenho.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 Bibliografia

- Begur, S. V., Miller, D. M., & Weaver, J. R. (1997). *An Integrated Spatial DSS for Scheduling and Routing Home-Health-Care Nurses*.
- Castillo-Salazar, J. A., Landa-Silva, D., & Qu, R. (2012). *A Survey on Workforce Scheduling and Routing Problems*.
- Castillo-Salazar, J. A., Landa-Silva, D., & Qu, R. (2014). *Workforce Scheduling and Routing Problems: Literature Survey and Computational Study*.
- Cordeau, J. F., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M. M., & Soumis, F. (2000). *The VRP With Time Window*.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Pasin, F., & Ropke, S. (2010). *Scheduling Technicians and Tasks in a Telecommunications Company*.
- Cortés, C. E., Gendreau, M., Rousseau, L. M., Souyris, S., & Weintraub, A. (2014). *Branch-and-price and Constraint Programming for Solving a Real-Life Technician Dispatching Problem*.
- Ernst, A. T., M, H. J., Krishnamoorthy, & Sier, D. (2012). *Staff Scheduling and Rostering: A Review of Applications, Methods and Models*.
- Estellon, B., Gardi, F., & Nouioua, K. (2009). *High-Performance Local Search for Task Scheduling with Human Resource Allocation*.
- F.O.R., S. (2016). What is the ROADEF 2007 Challenge. Obtido de <http://challenge.roadef.org/2007/en/>
- Franz., L., & Rakes, H. M. (1989). *A Mathematical Model for Scheduling and Staffing Multiclinic Health Regions*.
- Goldberg, M. C., & Luna, H. P. (2005). *Otimização Combinatória e programação Linear*. Elsevier.
- Hashimoto, H., Boussier, S., Vasquez, M., & Wilbaut, C. (2009). *A GRASP-Based Approach for Technicians and Interventions Scheduling for Telecommunications*.
- Hurkens, C. A. (2009). *Incorporating the Strength of MIP Modeling in Schedule Construction*.
- Hurkens, C., & Firat, M. (2011). *An Improved MIP-Based Approach for a Multi-Skill Workforce Scheduling Problem*.

- Khalfay, A., Crispin, A., & Crockett, K. (2017). *A Review of Technician and Task Scheduling Problems, Datasets and Solution Approaches*.
- Khalfay, A., Crispin, A., & Crockett, K. A. (2016). *Solving Technician and Task Scheduling Problems with an Intelligent Decision Heuristic*.
- Kovacs, A. A., Parragh, S. N., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2011). *Adaptive Large Neighborhood Search for Service Technician Routing and Scheduling Problems*.
- Lutz, R. (2014). *Adaptive Large Neighborhood Search*.
- Mathlouth, I., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2016). *Mixed Integer Programming for a Multi-attribute Technician Routing and Scheduling Problem*.
- Park, H.-S., & Dang, X.-P. (2011). *Design and Simulation-Based Optimization of Cooling Channels for Plastic Injection Mold*.
- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. (2012a). *On the Dynamic Technician Routing and Scheduling Problem*.
- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. (2012b). A parallel matheuristic for the technician routing and scheduling problem. *A parallel matheuristic for the technician routing and scheduling problem*.
- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). *A Parallel Matheuristic for the Technician Routing and Scheduling Problem*.
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2005). A general heuristic for vehicle routing problems .
- Satfiel, L. (s.d.). Dados de Serviços de Assistência Técnica.
- Silva, S. L. (2009). *Sistemática para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Solomon, M. M. (1987). *Algorithms for The Vehicle Routing and Scheduling Problems With Time Window Constraints*.
- TBonfi. (2018). *GitHub*. Obtido em 2021, de GitHub:
<https://github.com/TBonfi/Haversine-en-excel/blob/master/Haversine-Distancia.bas>
- Tricoire, F., Bostel, N., & Dejax, P. (2011). *Exact and Hybrid Methods for the Multiperiod Field Service Routing Problem*.
- Tsang, E., & Voudouris, C. (1997). *Fast Local Search and Guided Local Search and Their Application to British Telecom's Workforce Scheduling Problem*.
- Xu, J., & Chiu, S. Y. (2001). *Effective Heuristic Procedures for a Field Technician Scheduling Problem*.

Zamorano, E., & Stolletz, R. (2016). *Branch-and-Price Approaches for the Multiperiod Technician Routing and Scheduling Problem*.

ANEXOS

- 6.1 Anexo 1 – Dados reais de agendamento 04/01/2021 e 05/01/2021
 - 6.2 Anexo 2 – Tabela de codificação de serviço
 - 6.3 Anexo 3 – Tabela de valência dos técnicos
 - 6.4 Anexo 4 – Tabela de tempos de serviço
- 6.5 Anexo 5 – Lista de serviços de 2020 com agendamento para 2021
 - 6.6 Anexo 6 – Lista de serviços de 2020 sem agendamento
 - 6.7 Anexo 7 – Primeira rotina de criação de serviço
 - 6.8 Anexo 8 - Segunda rotina de criação de serviço
 - 6.9 Anexo 9 – Terceira rotina de criação de serviço
 - 6.10 Anexo 10 - Quarta rotina de criação de serviço
- 6.11 Anexo 11 – Resultados após primeiro processo de agendamento
- 6.12 Anexo 12 – Resultados após segundo processo de agendamento
- 6.13 Anexo 13 – Resultados após terceiro processo de agendamento
- 6.14 Anexo 14 – Resultado após quarto e quinto processo de agendamento
- 6.15 Anexo 15 – Resultado final após cinco processo de agendamento

6 ANEXOS

6.1 Anexo 1 – Dados reais de agendamento 04/01/2021 e 05/01/2021

Técnico	Dia 04/01/2021		Dia 05/01/2021	
	Tempo usado (min)	Nº serviços	Tempo usado (min)	Nº serviços
1	448	5	478	5
2	466	4	438	4
3	472	6	475	7
4	470	5	457	5
5	189	2	416	1
6	423	6	362	1
7	402	4	412	6
8	470	5	472	7
9	420	6	470	7
10	439	5	474	3
11	471	6	479	6
12	440	4	458	5
13	430	6	621	9
14	478	5	412	6
15	478	6	444	4
16	434	6	452	6
17	462	6	478	6
18	436	5	420	5
19	456	5	465	6
20	477	6	448	7
21	472	5	479	5
22	352	5	425	5
23	352	4	447	8
24	444	5	426	5
25	475	4	453	5

6.2 Anexo 2 – Tabela de codificação de serviço

Descrição	Gama	Tipologia	Certificação	Código
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF01
Profissional - Climatização/Aquecimento de Água - Bombas de Calor Monobloco	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF03
Profissional - Aquecimento de Água/Climatização - Bombas de Calor Split	Climatização/aquecimento	Arranque	F	PCAF01
Profissional - Aquecimento de Água/Climatização - Bombas de Calor Split	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF04
Profissional - Climatização/aquecimento - Emissor Térmico	Climatização/aquecimento	Reparação	F	PCRF02
Profissional - Frio - Equipamentos de Conservação/Congelação	Frio	Reparação	F	PFRF01
Profissional - Cozinha - Fornos de a Gás/Elétricos	Cozinha	Reparação	G	PCRG02
Profissional - Frio - Máquinas de Gelo em Cubo	Frio	Reparação	F	PFRF03
Profissional - Lavagem - Máquinas de Lavar Louça	Lavagem	Reparação	S	PCRS03
Profissional - Aquecimento de Água - Painel Solar	Climatização/aquecimento	Reparação	S	PCRS01
Profissional - Cozinha - Trituradoras	Cozinha	Reparação	S	PCRS05
Profissional - Cozinha - Fogão a Gás/Elétrico/Trempe	Cozinha	Reparação	G	PCRG01
Profissional - Cozinha - Banhos-Maria	Cozinha	Reparação	S	PCRS01
Profissional - Cozinha - Descascadores de batatas	Cozinha	Reparação	S	PCRS02
Profissional - Cozinha - Fritadeira a Gás/Elétrica	Cozinha	Reparação	G	PCRG03
Profissional - Cozinha - Grelhadores a Gás/elétricos	Cozinha	Reparação	G	PCRG04
Profissional - Cozinha - Painéis de Sopa	Cozinha	Reparação	G	PCRG05
Profissional - Cozinha - Torradeiras	Cozinha	Reparação	S	PCRS04
Profissional - Frio - Abatedores de Temperatura	Frio	Reparação	F	PFRF02
Doméstico - Frio - Frigoríficos/Combinados/Caves de Vinho/Arcas	Frio	Reparação	S	DFRS01
Doméstico - Frio - Desumidificadores	Frio	Reparação	S	DFRS02
Doméstico - Aquecimento de Água - Caldeiras Murais a Gás	Aquecimento	Arranque	G	DAAG01
Doméstico - Aquecimento de Água - Caldeiras Murais a Gás	Aquecimento	Manutenção	G	DAMG01
Doméstico - Aquecimento de Água - Caldeiras Murais a Gás	Aquecimento	Reparação	G	DARG03
Doméstico - Aquecimento de Água - Esquentadores	Aquecimento	Instalação	G	DAIG01
Doméstico - Aquecimento de Água - Esquentadores	Aquecimento	Reparação	G	DARG04
Doméstico - Aquecimento de Água - Termoacumuladores	Aquecimento	Reparação	S	DARS01

Doméstico - Cozinha - Exaustores/Campânula /Extrator	Cozinha	Reparação	S	DCRS01
Doméstico - Cozinha - Fogões a Gás/Elétrico	Cozinha	Reparação	G	DCRG05
Doméstico - Cozinha - Fornos a Gás/Elétrico	Cozinha	Reparação	G	DCRG01
Doméstico - Cozinha - Máquina Café Encastre	Cozinha	Reparação	S	DCRS02
Doméstico - Cozinha - Micro-ondas de Encastre	Cozinha	Reparação	S	DCRS03
Doméstico - Cozinha - Placas a Gás/Elétrico	Cozinha	Reparação	G	DCRG02
Doméstico - Cozinha - Equipamentos	Cozinha	Instalação	G	DCIG01
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Manutenção	F	PCMF01
Doméstico - Aquecimento de Água - Termoacumuladores	Aquecimento	Pré-visita	S	DAPS01
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Instalação	F	PCIF01
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Instalação	F	PCIF02
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Instalação	F	PCIF03
Doméstico - Linha castanha - TV	Linha castanha	Levantamento/entrega	S	DBLS01
Doméstico - Linha castanha - TV	Linha castanha	Instalação	S	DBIS01
Doméstico - Aquecimento de Água - Termoacumuladores	Aquecimento	Instalação	S	DAIS01
Profissional - Climatização/aquecimento - Ar Condicionado	Climatização/aquecimento	Pré-visita	S	PCPS01
Doméstico - Lavagem - Máquinas de Lavar e Secar Roupa	Lavagem	Reparação	S	DLRS04
Doméstico - Lavagem - Máquinas de Lavar Loiça	Lavagem	Reparação	S	DLRS01
Doméstico - Lavagem - Máquinas de Lavar Roupa	Lavagem	Reparação	S	DLRS02
Doméstico - Lavagem - Máquinas de Secar Roupa	Lavagem	Reparação	S	DLRS03
Doméstico - Linha castanha - Computador	Linha castanha	Reparação	S	DBRS02
Doméstico - Linha castanha - Equipamentos de áudio	Linha castanha	Reparação	S	DBRS03
Doméstico - Linha castanha - Equipamentos ginásio (elétricos)	Linha castanha	Reparação	S	DBRS04
Doméstico - Linha castanha - Home cinema	Linha castanha	Reparação	S	DBRS05
Doméstico - Linha castanha - Instalação e configuração de impressoras	Linha castanha	Reparação	S	DBRS06
Doméstico - Linha castanha - TV	Linha castanha	Reparação	S	DBRS01
Doméstico - Casa - Bombas de água	Casa	Peritagem	S	DHPS01
Doméstico - Casa - Iluminação	Casa	Peritagem	S	DHPS02
Doméstico - Casa - Portões elétricos/campainhas	Casa	Peritagem	S	DHPS03

6.3 Anexo 3 – Tabela de valência dos técnicos

Código	140	26	66	149	125	22	126	158	147	128	3	134	142	129
PCRFO1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRFO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCAF01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRFO4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRFO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFRFO1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRG02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFRFO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRS03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRS05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRG01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRS02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRG03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRG04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRG05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCRS04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFRFO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DFRS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DFRS02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAAG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DAMG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DARG03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DAIG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DARG04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DARS01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRS01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRG05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRS02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRS03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCRG02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
DCIG01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
PCMF01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAPS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCIF01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCIF02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCIF03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBLS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBIS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAIS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCPS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DLRS04	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
DLRS01	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
DLRS02	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
DLRS03	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
DBRS02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBRS03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DBRS04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBRS05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBRS06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBRS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DHPS01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DHPS02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DHPS03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.4 Anexo 4 – Tabela de tempos de serviço

Código	Tempo (min)	Código	Tempo (min)	Código	Tempo (min)	Código	Tempo (min)
PCRF01	100	PCRG03	100	DCRG05	50	PCPS01	50
PCRF03	50	PCRG04	100	DCRG01	50	DLRS04	50
PCAF01	200	PCRG05	100	DCRS02	50	DLRS01	50
PCRF04	100	PCRS04	100	DCRS03	50	DLRS02	50
PCRF02	50	PFRF02	100	DCRG02	50	DLRS03	50
PFRF01	100	DFRS01	50	DCIG01	100	DBRS02	50
PCRG02	100	DFRS02	50	PCMF01	100	DBRS03	50
PFRF03	100	DAAG01	50	DAPS01	50	DBRS04	50
PCRS03	100	DAMG01	50	PCIF01	200	DBRS05	50
PCRS01	100	DARG03	150	PCIF02	250	DBRS06	50
PCRS05	50	DAIG01	100	PCIF03	350	DBRS01	50
PCRG01	100	DARG04	50	DBLS01	25	DHPS01	50
PCRS01	100	DARS01	50	DBIS01	50	DHPS02	50
PCRS02	100	DCRS01	50	DAIS01	100	DHPS03	50

6.5 Anexo 5 – Lista de serviços de 2020 com agendamento para 2021

Code	FO	Lat	Log	Start	End	Day	Tec
DLRS02	30023161	41,178912	-8,6258748	1	60	1	10
DLRS02	30023505	41,176018	-8,6449436	1	60	1	11
DFRS01	30023510	41,189728	-8,6598285	1	60	1	24
DCRG01	30023661	41,179557	-8,684557	60	120	1	12
DLRS02	30023942	41,1323	-8,62894	240	300	1	3
DLRS02	30023956	41,225939	-8,235109	60	120	1	11
DFRS01	30024036	41,058935	-8,4978905	180	240	1	15
DLRS02	30024136	41,18952	-8,6373	1	60	1	3
DBRS01	30024388	41,332192	-8,561129	1	60	1	6
DARG03	30024439	41,40511	-8,53433	1	60	1	1
DFRS01	30024585	41,181375	-8,5850863	60	120	1	24
DCRG01	30024606	41,25075	-8,41398	380	420	1	1
DBRS01	30024634	41,175741	-8,6370709	240	300	1	6
DBRS01	30024642	41,512099	-8,5852566	380	420	1	6

DCRG01	30024826	41,40411	-8,29087	320	380	1	1
DFRS01	30024837	41,193993	-8,472472	1	60	1	25
DARG04	30024882	41,874084	-8,8371398	420	480	1	12
DLRS02	30024892	41,007191	-8,6410332	420	480	1	20
DCRG05	30024973	41,265314	-8,7165404	1	60	1	13
DLRS02	30025031	41,108037	-8,6361426	120	180	1	11
DLRS02	30025085	41,190188	-8,6657537	380	420	1	11
DAAG01	30025147	41,47435	-8,3426	320	380	1	2
DLRS02	30025154	41,361664	-8,2275025	420	480	1	11
DLRS01	30025159	41,396903	-8,7308021	180	240	1	13
DCRS01	30025163	40,692985	-8,4809597	1	60	1	16
DCRS01	30025168	41,280815	-8,3785319	320	380	1	13
DFRS01	30025176	41,265462	-8,7263811	420	480	1	22
DLRS02	30025194	41,22145	-8,5541085	380	420	1	17
DARG04	30025269	41,183524	-8,6301671	380	420	1	13
DCRG01	30025326	41,201727	-8,3299082	1	60	1	19
DLRS04	30025368	41,16168	-8,55031	1	60	1	17
DLRS03	30025384	41,216792	-8,6788957	120	180	1	17
DLRS02	30025397	41,170395	-8,5263246	240	300	1	10
DLRS01	30025413	41,168273	-8,3216679	60	120	1	10
DLRS01	30025418	41,041565	-8,5053761	320	380	1	20
DCRG01	30025441	41,267449	-8,2243252	120	180	1	19
DLRS01	30025453	41,23902	-8,6259516	420	480	1	17
DFRS01	30025458	41,229417	-8,5279442	1	60	1	22
DLRS02	30025550	41,17416	-8,58964	1	60	1	7
DFRS01	30025558	41,176537	-8,5592579	60	120	1	25
DFRS01	30025578	41,094831	-8,5721176	1	60	1	15
DAIG01	30025584	41,50335	-8,3295	1	60	1	2
DLRS02	30025588	41,36685	-8,19329	120	180	1	4
DCRG01	30025596	41,549288	-8,4363306	240	300	1	19
DARG04	30025686	41,564903	-8,39157	380	420	1	19
DARS01	30025689	41,60637	-8,42237	120	180	1	2
DLRS02	30025709	41,21453	-8,31647	420	480	1	4
DLRS01	30025718	41,0387	-8,51023	420	480	1	7
DARG04	30025725	41,193823	-8,2760021	1	60	1	18
DARG03	30025726	41,19362	-8,31516	380	420	1	2
DLRS01	30025733	41,17893	-8,65818	60	120	1	7
DLRS02	30025749	40,993539	-8,49665	120	180	1	14
DLRS02	30025758	41,19837	-8,58411	320	380	1	7
DARG04	30025784	41,28899	-8,28832	420	480	1	1
DLRS02	30025802	41,36248	-7,8879	1	60	1	4
DLRS01	30025809	41,12219	-8,18932	320	380	1	4
DLRS02	30025811	41,40304	-8,53178	420	480	1	8

DBRS01	30025840	41,261971	-8,7239855	120	180	1	6
DLRS03	30025870	41,56112	-8,47211	120	180	1	8
DLRS02	30025882	41,12461	-8,60421	380	420	1	3
DCRG05	30025915	41,149594	-8,6228917	120	180	1	18
DLRS01	30025932	40,336612	-8,4628798	380	420	1	14
DFRS01	30025958	41,239217	-8,1967292	60	120	1	22
DFRS01	30025999	41,43473	-8,41389	1	60	1	8
DLRS03	30026002	41,203374	-8,5777755	380	420	1	10
DLRS01	30026003	40,872047	-8,6731248	420	480	1	14
DLRS02	30026007	41,48908	-8,50258	380	420	1	8
DCRG02	30026013	41,40361	-8,53589	120	180	1	1
DFRS01	30026021	41,153441	-8,6571295	240	300	1	25
DLRS01	30026029	41,07931	-8,62685	420	480	1	3
DFRS01	30026035	41,294458	-8,0441537	420	480	1	24
DFRS01	30026037	41,209671	-8,6135686	320	380	1	22
PCRF01	30026038	41,355502	-8,1757776	1	60	1	21
DLRS01	30026039	41,039547	-8,2652019	1	60	1	20
PCRF01	30026041	41,183826	-8,4420392	120	180	1	21
PCRF01	30026042	41,292269	-8,3425104	320	380	1	21
DLRS02	30026044	41,065394	-8,2565339	60	120	1	20
PCRF01	30026046	41,152451	-8,6304674	420	480	1	21
DCRS01	30026055	40,655022	-8,4680911	60	120	1	16

6.6 Anexo 6 – Lista de serviços de 2020 sem agendamento

Code	FO	Latitude	Longitude	Type	Code	FO	Latitude	Longitude	Type
DFRS01	30023616	40,83267	-8,60848	24	DLRS02	30025645	41,24073	-8,58111	30
DBRS01	30023792	41,1845	-8,14776	11	DLRS03	30025665	41,21301	-8,46374	31
DBRS01	30023825	40,83396	-8,57995	11	PCRF04	30025770	41,29064	-8,21321	42
DBRS01	30023842	40,77205	-8,54835	11	DLRS02	30025828	41,30806	-8,14853	30
DBRS01	30024209	40,61094	-8,47679	11	DBRS01	30025842	41,26197	-8,72399	11
DBRS01	30024217	41,37022	-8,15674	11	DLRS02	30025849	41,36212	-8,11302	30
DBRS01	30024321	41,23038	-8,17989	11	DLRS01	30025871	41,31964	-8,14955	29
DARG03	30024425	41,53151	-8,69611	6	DLRS03	30025908	41,21704	-8,6359	31
DLRS01	30024427	41,10161	-8,11069	29	DBRS01	30025926	41,22879	-8,61683	11
DCRG02	30024518	41,24752	-8,6587	19	DLRS03	30025987	41,18699	-8,64076	31
DLRS02	30024710	41,09181	-8,65047	30	DLRS02	30025988	41,15971	-8,6415	30
PCRF04	30024903	41,23792	-8,22153	42	DLRS01	30026004	41,15976	-8,63791	29
PCRF04	30025252	40,94505	-8,53012	42	DARS01	30026014	41,1016	-8,59007	8
DLRS03	30025317	41,21082	-8,17337	31	DLRS03	30026034	41,39374	-8,25926	31
DLRS02	30025385	41,14986	-8,3913	30	DBRS01	30026048	41,04313	-7,81222	11
DLRS02	30025425	41,17784	-8,63182	30	DLRS02	30026049	41,05717	-8,22788	30

DLRS02	30025433	41,16283	-8,60289	30	DLRS01	30026053	41,54248	-8,42703	29
DLRS02	30025444	41,17511	-8,32822	30	DLRS02	30026054	41,33522	-8,46404	30
DFRS01	30025477	41,31612	-8,09642	24	DLRS02	30026058	41,21472	-8,61198	30
DLRS02	30025575	41,21396	-8,55894	30	PCMF01	30026066	41,31114	-7,73135	37
DLRS01	30025593	41,25154	-8,06933	29	PCMF01	30026067	41,16606	-8,57478	37
DLRS01	30025638	41,21418	-8,31694	29	PCMF01	30026068	41,37561	-8,3073	37
DLRS01	30025641	41,23688	-8,41663	29					

6.7 Anexo 7 – Primeira rotina de criação de serviço

Code	FO	Latitude	Longitude	Code	FO	Latitude	Longitude
DBRS01	31000002	41,03227	-8,63504	PCRF01	31000037	41,29374	-8,1518908
PCRF03	31000003	41,88197	-8,81499	PCRF01	31000038	41,29374	-8,1518908
DLRS01	31000004	41,24854	-8,19618	DLRS03	31000039	41,12059	-8,0109237
DLRS01	31000005	41,21508	-8,2641	DLRS02	31000040	41,19853	-8,3603988
DCRG01	31000006	41,41256	-8,51555	DCRS01	31000041	41,15489	-8,659258
DBRS01	31000007	41,29064	-8,21321	DLRS03	31000042	41,36231	-8,18785
DLRS02	31000008	40,98353	-8,59859	DLRS01	31000043	41,09479	-8,5933978
DLRS03	31000009	40,98353	-8,59859	DLRS03	31000044	41,19065	-8,4986261
PCMF01	31000010	41,16325	-8,61458	DBIS01	31000045	41,07225	-8,6016967
DLRS01	31000011	41,36743	-8,31764	DLRS03	31000046	41,04164	-8,6461622
DFRS01	31000012	41,47711	-8,43849	DLRS01	31000047	41,04164	-8,6461622
DCRG02	31000013	41,36743	-8,31764	DCRS03	31000048	41,04164	-8,6461622
DLRS02	31000015	41,19046	-8,31228	DBIS01	31000049	41,07225	-8,6016967
DARG04	31000016	41,22055	-8,5395	DFRS01	31000050	41,04164	-8,6461622
DLRS02	31000018	41,02809	-8,52873	DAAG01	31000051	41,40512	-8,5344017
DARG04	31000019	41,04336	-8,60606	DCRG01	31000053	41,27909	-8,3694548
DBRS01	31000020	41,19857	-8,69808	DFRS01	31000054	41,33652	-8,5620326
DARS01	31000021	41,05057	-8,6045	DBIS01	31000055	41,18718	-8,66466
DCRG05	31000022	41,1758	-8,63011	PCRF01	31000056	41,24325	-8,3098063
DBRS01	31000023	41,17646	-8,60891	DBIS01	31000058	41,19532	-8,1506265
DCRG01	31000024	41,55447	-8,38754	DCRS01	31000059	41,41123	-7,9526065
DBRS01	31000025	41,0206	-8,5743	DARS01	31000061	41,54915	-8,4356747
DBRS01	31000026	41,1845	-8,14776	PCRF01	31000062	41,21572	-8,5567798
DLRS03	31000027	41,13157	-8,63841	DLRS01	31000064	41,24482	-8,4143522
DBRS01	31000028	41,17464	-8,46115	DLRS01	31000065	41,07704	-8,5694211
DARG03	31000029	41,18338	-7,71945	DLRS02	31000066	41,21725	-8,599938
DBRS01	31000030	41,04762	-8,63464	DARS01	31000067	41,1361	-8,5395555
DARG04	31000031	41,49412	-8,34661	DARG04	31000068	41,43574	-8,2878769
DBRS01	31000033	41,25964	-8,46659	DLRS02	31000069	41,20302	-8,6163251
DARS01	31000034	41,15691	-8,346	DLRS01	31000074	41,06699	-8,6494772
DAIS01	31000035	41,2474	-8,18071				

6.8 Anexo 8 - Segunda rotina de criação de serviço

Code	FO	Latitude	Longitude	Code	FO	Latitude	Longitude
DFRS01	31000076	40,89406	-8,4928239	DARG03	31000124	41,1872522	-8,434873
PCRF04	31000077	41,59591	-8,4311596	DCRG01	31000125	41,200703	-8,2736559
DLRS02	31000079	41,1868	-8,6714162	DLRS04	31000126	41,1327482	-8,6613771
DLRS02	31000080	41,17824	-8,6321467	DLRS02	31000127	41,1624212	-8,5669438
DLRS02	31000081	40,5087	-8,4459885	DLRS03	31000128	40,9331912	-8,5491088
DARS01	31000083	41,19234	-8,3819453	DBRS01	31000134	41,0804471	-8,597156
DLRS02	31000084	41,35202	-8,4892116	DLRS01	31000135	41,1814644	-8,3485771
DFRS01	31000085	40,60191	-8,6727213	DFRS01	31000136	41,3753132	-8,7522287
DLRS03	31000086	40,97048	-8,5310728	DCRS01	31000138	41,0915507	-8,5932085
DBRS01	31000087	41,15062	-8,4130796	DCRG05	31000140	41,1243019	-8,6044519
DLRS03	31000088	41,1015	-8,6227149	PCRF01	31000146	41,2250893	-8,293015
DFRS01	31000089	41,19377	-8,6705859	DFRS01	31000148	41,2071028	-8,5117533
DARS01	31000090	41,19729	-8,1962252	DBRS01	31000149	41,3811522	-8,3409295
DLRS01	31000091	41,19285	-8,4487635	DBRS01	31000150	41,3432614	-8,4745963
DLRS02	31000092	41,25986	-8,0238042	DLRS03	31000151	41,1019144	-8,6442408
DFRS01	31000094	41,29498	-8,6897515	DLRS03	31000152	41,2305206	-8,6085069
DFRS01	31000094	41,29498	-8,6897515	DLRS02	31000153	41,3704742	-8,2007887
DLRS02	31000095	41,1942	-8,6072286	DLRS02	31000154	41,2028513	-8,5888406
DLRS04	31000097	41,12913	-8,640984	DLRS03	31000155	41,1736286	-8,5211715
DFRS01	31000098	41,17911	-8,307493	DLRS02	31000156	41,1975262	-8,5398397
DLRS02	31000099	41,31732	-8,5727297	DLRS02	31000158	41,2326374	-8,6255339
DLRS02	31000101	41,27435	-8,1882894	PCRF04	31000161	41,1845657	-8,1452375
DCRG02	31000102	41,34332	-8,4831647	PCRF04	31000161	41,1845657	-8,1452375
DFRS01	31000103	41,36144	-8,4164734	DLRS02	31000162	41,0620352	-8,5692937
DLRS02	31000104	41,17049	-8,6638263	DARG04	31000163	41,8740837	-8,8371398
DLRS03	31000105	41,33882	-8,4892969	DARG04	31000163	41,8740837	-8,8371398
DARG04	31000107	41,06017	-8,5197422	DFRS01	31000164	41,3708072	-8,1967151
DBRS01	31000108	40,75122	-8,6220111	DLRS02	31000166	41,0962977	-8,5900574
DBRS01	31000109	41,17772	-8,6110076	DLRS02	31000166	41,0962977	-8,5900574
DLRS02	31000110	41,3225	-8,4158941	DBRS01	31000168	41,1813317	-8,6772715
DARG04	31000112	41,19419	-8,3018976	DFRS01	31000169	41,1524576	-8,5997432
DCRS01	31000113	41,10958	-8,6102071	DLRS04	31000174	41,548654	-8,4037505
DLRS02	31000114	41,14178	-8,5341971	DARG04	31000177	41,2062528	-8,6830208
DLRS02	31000115	41,19254	-8,6423632	DFRS01	31000178	41,2645876	-8,2596599
DBRS01	31000116	41,39066	-8,755572	DARG04	31000180	41,1796919	-8,1623425
DCRS01	31000117	41,03848	-8,6277702	PCRF01	31000181	40,9955499	-8,6367141
DLRS02	31000118	40,9246	-8,4274039	DLRS02	31000182	41,1997856	-8,4191276
DBRS01	31000119	41,18725	-8,434873	DARG04	31000184	41,8369568	-8,3774932
DBRS01	31000120	41,18258	-8,1387769	DARG04	31000185	41,1990312	-8,6101686
DLRS01	31000122	41,10718	-8,597366	DLRS02	31000186	41,0956764	-8,0824456

DFRS01	31000123	40,94309	-8,4585073	DCRS01	31000187	41,2450523	-8,3623398
--------	----------	----------	------------	--------	----------	------------	------------

6.9 Anexo 9 – Terceira rotina de criação de serviço

Code	FO	Latitude	Longitude	Code	FO	Latitude	Longitude
DLRS01	31000188	41,18901	-8,2719639	DLRS02	31000227	41,15075	-8,59376
PCRF01	31000189	41,36818	-8,190271	DLRS04	31000230	41,12381	-8,59493
PCRF01	31000191	41,024	-8,5734374	DAIG01	31000231	41,24773	-8,66715
DFRS01	31000192	41,0973	-8,5888888	DLRS03	31000232	41,24434	-8,58398
PCRF01	31000193	41,024	-8,5734374	PCRF01	31000233	41,38074	-8,30284
DLRS03	31000197	40,63653	-8,5965526	DLRS03	31000234	41,18965	-8,52554
PCRF01	31000199	41,52779	-8,2969631	DFRS01	31000235	41,23602	-8,29301
PCRF02	31000200	41,11281	-8,6448903	DARS01	31000236	41,44312	-8,56638
DLRS03	31000201	41,26294	-8,6066474	DLRS03	31000237	40,49396	-8,64931
DLRS02	31000202	41,07133	-8,6536342	DLRS03	31000239	41,15298	-8,59936
DARG04	31000203	41,18011	-8,6287778	DLRS02	31000240	41,27833	-8,45538
DLRS02	31000205	41,01034	-8,6370132	DFRS01	31000241	41,23043	-8,18736
DFRS01	31000206	41,1445	-8,5442809	DFRS01	31000242	41,25619	-8,31976
DCRG02	31000207	41,37619	-8,1925509	DAIG01	31000245	41,04631	-8,63739
DLRS02	31000209	41,29103	-8,3504813	DLRS04	31000247	41,07387	-8,57346
DLRS01	31000210	41,19609	-8,6611306	DLRS02	31000249	41,1834	-8,44631
DAIG01	31000212	40,89498	-8,4832789	PCPS01	31000250	41,45891	-8,31253
DFRS01	31000213	41,20808	-8,648106	DLRS02	31000251	41,01335	-8,55663
DAIG01	31000214	41,33949	-8,5556646	DLRS03	31000253	41,12899	-8,63473
DLRS02	31000215	41,24507	-8,3145934	DFRS01	31000254	41,37134	-8,23656
DAIG01	31000219	41,1445	-8,524821	DARG04	31000255	41,5355	-8,61236
DAIG01	31000219	41,1445	-8,524821	DFRS01	31000256	41,21507	-8,55808
DLRS02	31000220	41,15619	-8,5935921	DCRG02	31000257	41,2854	-8,30451
PCRF01	31000223	41,12287	-8,5420842	DLRS01	31000259	41,27614	-8,2795
DBRS01	31000224	41,14493	-8,6081463	DFRS01	31000260	41,18851	-8,5053
PCRF01	31000225	41,38074	-8,3028366	DLRS01	31000262	41,18851	-8,5053
DLRS02	31000226	41,35482	-8,4182687				

6.10 Anexo 10 - Quarta rotina de criação de serviço

Code	FO	Latitude	Longitude	Code	FO	Latitude	Longitude
DLRS02	31000263	41,1491151	-8,668028	DCRG01	31000287	41,17358	-8,5978783
DLRS02	31000263	41,1491151	-8,668028	DCRG02	31000290	41,2056	-8,2764636
DFRS01	31000265	41,2371977	-8,163885	DFRS01	31000291	41,26979	-8,2789901
DLRS02	31000266	41,3269742	-8,268125	DLRS03	31000293	41,16714	-8,6400188
DCRG01	31000268	41,2376037	-8,649059	DLRS01	31000296	41,16769	-8,3676005
DCRG01	31000269	41,1923026	-8,44419	DLRS01	31000300	41,20325	-8,2684128

DCRG02	31000271	40,9144494	-8,4829	DARG03	31000303	41,54018	-8,4300821
DLRS02	31000272	41,1646372	-8,438842	DFRS01	31000308	41,1625	-8,3014815
DCRG01	31000273	41,1073925	-8,602619	DLRS02	31000312	41,21114	-8,3913098
DLRS01	31000275	41,1808484	-8,677469	DLRS02	31000317	40,87228	-8,612646
DCRG01	31000278	41,24297046	-8,381526	DLRS03	31000320	41,21026	-8,5061402
DFRS01	31000281	41,1821245	-8,668867	DLRS02	31000321	41,1642	-8,6240776
DARG04	31000282	41,0282662	-8,638531	DLRS02	31000327	41,246	-8,3702809
DLRS01	31000283	41,1359055	-8,37648	DLRS03	31000329	41,17709	-8,6826979
DLRS01	31000285	41,2063143	-8,180906	DARG04	31000330	41,19241	-8,6409549

6.11 Anexo 11 – Resultados após primeiro processo de agendamento

Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)	Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)
1	5	32	14	3	62
2	4	14	15	3	228
3	7	40	16	3	188
4	7	13	17	7	39
5	1	356	18	3	60
6	6	34	19	4	162
7	7	8	20	6	55
8	6	41	21	4	50
9	5	1	22	4	142
10	7	11	23		480
11	5	50	24	4	171
12	4	39	25	5	53
13	5	103			

6.12 Anexo 12 – Resultados após segundo processo de agendamento

Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)	Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)
1	5	32	14	3	62
2	4	14	15	6	105
3	7	40	16	6	32
4	7	13	17	7	40
5	2	96	18	6	59
6	6	34	19	7	9
7	7	34	20	7	5
8	6	81	21	4	50
9	7	39	22	5	16
10	7	18	23	5	74
11	5	50	24	5	106

12	4	39	25	5	53
13	6	35			

6.13 Anexo 13 – Resultados após terceiro processo de agendamento

Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)	Técnico	Nº serviços agendados	Tempo de folga (min)
1	5	32	14	3	62
2	4	14	15	7	62
3	7	40	16	6	35
4	7	14	17	7	40
5	4	69	18	5	18
6	6	34	19	7	9
7	7	37	20	7	6
8	7	27	21	4	50
9	7	46	22	6	23
10	7	19	23	5	74
11	5	50	24	7	11
12	4	40	25	6	36
13	6	45			

6.14 Anexo 14 – Resultado após quarto e quinto processo de agendamento

Técnico	Agendados		1º processo de agendamento		2º processo de agendamento		3º processo de agendamento		4º processo de agendamento		5º processo de agendamento	
	Nº Serv.	Folga	Nº Serv	Folga	Nº Serv	Folga	Nº Serv	Folga	Nº Serv	Folga	Nº Serv	Folga
1	5	32	5	32	5	32	5	32	5	32	5	32
2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
3	4	192	7	40	7	40	7	40	7	40	7	40
4	4	164	7	13	7	13	7	14	7	14	7	14
5		480	1	356	2	96	4	69	5	22	5	22
6	4	135	6	34	6	34	6	34	6	34	6	34
7	4	188	7	8	7	34	7	37	7	37	7	37
8	4	185	6	48	6	64	7	10	7	27	7	27
9		480	5	1	7	39	7	46	7	46	7	46
10	4	172	7	11	7	17	7	19	7	20	7	21
11	5	50	5	50	5	50	5	50	5	50	5	50
12	2	140	4	39	4	39	4	40	4	40	4	40
13	4	154	4	154	4	154	4	154	6	45	6	45
14	3	62	3	62	3	62	3	62	3	62	3	62
15	2	334	4	100	7	32	7	49	8	9	8	9
16	2	241	3	188	6	32	6	35	5	40	5	41

17	4	190	7	39	7	40	7	40	7	40	7	40
18	2	268	2	268	6	59	5	18	5	18	5	18
19	4	162	4	162	7	1	7	9	7	9	7	9
20	4	172	6	55	7	5	7	6	7	7	7	8
21	4	50	4	50	4	50	4	50	4	50	4	50
22	4	142	4	142	5	16	6	23	6	41	6	41
23		480		480	5	74	5	74	5	74	5	74
24	3	223	4	171	5	106	7	11	7	20	7	20
25	3	213	5	53	5	53	6	36	7	6	7	8

6.15 Anexo 15 – Resultado final após cinco processo de agendamento

Índice do serviço																
Técnico	Dia 1							Dia 2								
1	19	103	26	22	80			198	261	43	127	317	171	331	267	
2	62	71	34	75				228	268	54	233	159	137	216	66	128
3	12	189	339	101	9	90	106	60	244	219	283	121	247	276	68	
4	81	87	63	207	335	82	72	188	330	210	322	321	229	218		
5	275	30	79	249	248			311	187	41						
6	16	85	86	23	93	24		14	116	147	224	6	15			
7	58	76	96	184	78	230	73	180	255	296	204	225	254	162	309	
8	98	135	88	258	118	102	83	215	305	119	192	294	209	324	57	
9	130	239	240	153	149	195	223	214	144	141	256	292	151	232		
10	1	49	340	328	245	48	99	341	47	310	320	163	246	346	199	
11	2	10	32	33	35			222	231	185	277	25	206			
12	69	5	259	28				200	158	266	18	154	326	64		
13	31	20	36	211	38	42		336	278	51	143	97	347	52	295	290
14	77	94	100					314	134	107	243	253	161	89	84	
15	271	61	11	280	304	148	241	313	300	298	242	285	197	349	169	196
16	37	120	284	327	212			288	289	182	235	142	140			
17	45	203	46	91	181	40	55	318	287	348	344	263	67	179	282	
18	74	92	227	191	337	0	0	176	183	281	150					
19	44	53	136	65	177	145	70	138	265	350	160	217	329	104	236	
20	111	114	117	334	50	139	29	131	132	279	166	165	250	312	194	
21	110	112	113	115				237	174	269	157	156	0			
22	56	95	307	316	109	39		172	234	202	201	205	343			
23	173	168	164	175	155											
24	3	21	238	301	338	260	108	323	4	193	186	226				
25	27	59	332	105	257	319	306	126								

Índice do serviço			
Técnico	Dia 3	Dia 4	Dia 5

1	252																		1	252
2	170	302	315	342	152														2	170
6	213	13																	6	213
9	146	8	7	125	220														9	146
12	264	252	251	0															12	264
13	325	297	286	129	208														13	325
16	308	167	333	221															16	308
19	264	251	17																19	264
20	345	190	303	273															20	345
21	299	274	293	124		270	291	123	133	178	41	201	282	397					21	299
