



Planeamento de rotas dinâmicas para a prestação de cuidados respiratórios domiciliários

Ana Beatriz Cristóvão Ferreira

Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e Gestão

Trabalho de Projeto orientado por:
Professora Doutora Maria da Conceição da Fonseca, FCUL
Professora Doutora Ana Catarina de Carvalho Nunes,
Iscte – Instituto Universitário de Lisboa

Para a Cesária e Alberto,
os melhores avós e pais do mundo

Agradecimentos

Este projeto não seria possível sem o apoio incondicional, carinho e valores que os meus avós sempre me transmitiram. Sem eles eu não estaria aqui, pelo menos não da mesma forma que estou hoje e por isso o meu maior agradecimento é para eles.

Às minhas queridas orientadoras Professora Doutora Maria da Conceição da Fonseca e Professora Doutora Ana Catarina de Carvalho Nunes. Obrigada pelo vosso tempo, atenção, partilha de conhecimento e por todos os conselhos preciosos que me deram. Fez todo o sentido que a última fase do meu mestrado estivesse ligada à Investigação Operacional que me entusiasmou logo desde o início do meu percurso académico nas aulas, que frequentei, lecionadas pela Professora Ana Catarina no ISCTE. Não poderia ter tido mais sorte.

Um agradecimento especial ao Filipe Carvalho e Ana Sofia Pereira fundadores da empresa Wide Scope. Obrigada pelo tempo despendido, apoio e atenção na disponibilização do caso real que serviu de base e inspiração para este estudo. Sem o conhecimento partilhado este projeto não teria sido uma experiência tão gratificante e desafiante.

À Lídia, à Beatriz e ao Rúben pelo incentivo, apoio e preocupação. Obrigada por estarem ao meu lado todos os dias, sempre disponíveis para me ajudar.

Aos restantes familiares, amigos e colegas que sempre me apoiaram e ajudam todos os dias a tornar o meu percurso pessoal, académico e profissional mais feliz, um obrigada do fundo do coração.

Resumo

A prestação de cuidados de saúde no domicílio é um serviço cada vez mais relevante e exigente, que cresceu muito nos últimos anos devido à evolução tecnológica e à atual crise pandémica. Na prestação deste serviço estão envolvidos vários agentes que concentram os seus esforços no bem-estar e qualidade de vida dos seus pacientes com tratamentos prescritos.

Existe, no entanto, um agente que, devido à função que desempenha junto dos pacientes, desenvolve uma relação de proximidade e intimidade que se revela ser um critério relevante na análise da qualidade e valor dos serviços prestados. Este agente é constituído pelas empresas especializadas com equipas de técnicos que se deslocam até ao domicílio dos pacientes que necessitam dos vários tipos de serviços disponíveis.

O caso em estudo é baseado em dados reais de uma empresa que presta serviços de cuidados respiratórios domiciliários. No início do dia existem serviços que já se encontram agendados nas rotas dos técnicos disponíveis. Este planeamento é realizado no dia anterior sendo assegurada disponibilidade para que possam ser inseridos novos pedidos que chegam ao longo do dia. A empresa deve satisfazer em tempo útil cada novo pedido, minimizando o número total de horas de trabalho. Trata-se de um problema de rotas dinâmico.

Para encontrar soluções admissíveis para o problema foram desenvolvidos e implementados dois algoritmos em Python. No primeiro, partindo-se do conjunto inicial das rotas planeadas, à medida que vão surgindo novos pedidos ao longo do dia, aplica-se a heurística de inserção de menor custo com o objetivo de integrar os novos pedidos nessas rotas. O segundo, com o objetivo de melhorar a solução obtida pela heurística de menor custo de inserção, consiste em aplicar uma heurística 2-optimal sempre que inserido um novo pedido numa rota.

Os testes computacionais são realizados considerando dois cenários que variam na distribuição temporal da chegada de novos pedidos ao longo do dia e um cenário em que se consideram dois turnos de trabalho no horário laboral dos técnicos. É realizada uma análise dos resultados obtidos em termos percentuais comparando as soluções dos diferentes cenários com a solução obtida considerando os dados reais fornecidos pela empresa.

Palavras-chave: cuidados respiratórios domiciliários; problema de rotas para veículos dinâmico; heurística de inserção de menor custo; heurística 2-optimal.

Abstract

Home healthcare is an increasingly relevant and demanding service, which has grown in recent years due to technological developments and the current pandemic crisis. In the provision of this service, several agents are involved, who focus their efforts on the well-being and quality of life of their patients with prescribed treatments.

There is, however, one agent who, due to the role he plays with the patients, develops a relationship of proximity and intimacy that proves to be a relevant criterion in the analysis of the quality and value of the services provided. This agent is made up of specialized companies with teams of technicians who travel to the patient's homes who need the various types of services available.

The case under study is based on real data from a company that provides home respiratory care services. At the beginning of the day there are services that have already been scheduled on the available technicians' routes. This planning is done the day before, and availability is ensured to attend new requests that come up during the day. The company must satisfy each new request on time, minimizing the total number of working hours. This problem is classified as a dynamic routing problem.

To find feasible solutions to the problem two algorithms were developed and implemented in Python. In the first one, starting from the initial set of planned routes, the cheapest insertion heuristic is applied as new requests arise throughout the day, with the objective of integrating the new requests into those routes. The second one, with the goal of improving the solution obtained by the cheapest insertion heuristic, consists in applying a 2-optimal heuristic whenever a new request is inserted in a route.

The computational tests are performed considering two scenarios that vary in the temporal distribution of the arrival of new requests throughout the day and a third scenario in which two shifts are considered. An analysis of the results obtained in percentage terms is performed comparing the solutions of the different scenarios with the solution obtained considering the actual data provided by the company.

Keywords: home respiratory care services; *dynamic vehicle routing problem*; cheapest insertion heuristic; 2-optimal heuristic.

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	V
Abstract	VII
Índice de Figuras	XI
Índice de Tabelas.....	XI
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	3
2.1 Cuidados respiratórios domiciliários	3
2.2 Problema de Rotas para Veículos.....	7
2.3 Problema de Rotas para Veículos Dinâmico	8
3. Descrição do Problema	15
4. Caso de estudo	19
4.1 Análise dos dados	19
4.2 Descrição dos dados	21
5. Método de resolução	29
6. Resultados computacionais	37
7. Conclusões	45
Referências Bibliográficas	47
Anexos.....	49
A – Input dos dados do problema.....	49
B – Resultados detalhados das heurísticas	55

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Agentes envolvidos na prestação de CRD.....	3
Figura 2.2 - Principais terapias prescritas em Portugal, 2018 e 2019.	6
Figura 2.3 - Exemplo de uma rota dinâmica.	9
Figura 4.1 - Distribuição geográfica dos pedidos antecipados por rota.	23
Figura 4.2 - Distribuição geográfica dos pedidos imediatos.	24
Figura 4.3 – Distribuição temporal dos pedidos imediatos para os cenários real, 1 e 2.....	26
Figura 5.1 - Rota no instante t_0	30
Figura 5.2 - Rota no instante t_r	31
Figura 5.3 - Rota no instante t_T	31
Figura 6.1 - Legenda resultados obtidos.	37
Figura 6.2 – <i>Timeline</i> do horário dos técnicos nas soluções $S1$, $S1.1$, $S1.2$ e $S1.3$	41
Figura 6.3 - Total de pedidos atribuídos, por técnico em cada solução.	42
Figura 6.4 – Novos pedidos atribuídos, por técnico, em cada solução.	42

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Classificação do problema de rotas para veículos.....	7
Tabela 3.1 - Tipos de serviço prestados pela empresa.	17
Tabela 4.1 - Diferença da matriz de distâncias e de tempos.	20
Tabela 4.2 - Resumo das rotas planeadas no início do dia.....	22
Tabela 4.3 - Resumo pedidos antecipados.	22
Tabela 4.4 - Resumo pedidos imediatos.....	23
Tabela 4.5 - Percentagem de cada tipo de serviço nos pedidos.....	24
Tabela 5.1 - Matriz de tempos, em minutos.	32
Tabela 5.2 - Tempo de serviços, em minutos.....	32
Tabela 6.1 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na solução real.....	38
Tabela 6.2 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário real.	38
Tabela 6.3 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário 1.	39
Tabela 6.4 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário 2.	40
Tabela 6.5 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário 3.	40
Tabela 6.6 - Comparação de resultados entre as soluções da Fase I para os cenários real, 1, 2 e 3.	43
Tabela 6.7 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase II.	44
Tabela 6.8 - Comparação de resultados entre as soluções da Fase I e II para o cenário real.	44

Capítulo 1

Introdução

Os cuidados respiratórios domiciliares (CRD) são serviços especialmente exigentes que ganharam uma importância acrescida com a pandemia de COVID-19. Este serviço de saúde ao domicílio já existe em Portugal desde 1983 com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos pacientes com patologia respiratória, proporcionando-lhes o tratamento de que necessitam no conforto das suas habitações.

A diversidade de serviços prestados no âmbito dos CRD é cada vez maior. Para além dos tratamentos mais comuns como a terapia da apneia do sono, oxigenoterapia, aerossolterapia e ventiloterapia, os cuidados ao domicílio ainda incluem reabilitação respiratória, fisioterapia e apoio psicológico que auxiliam no tratamento de múltiplas patologias.

Na contratação de CRD estão envolvidas várias partes que devem cooperar entre si numa estratégia de coligação para que todo o sistema funcione e seja entregue um serviço de qualidade, lucrativo para todos os envolvidos. No sistema de contratação, existe o paciente, que deve estar no centro do sistema com toda a atenção voltada para si; do saber dos profissionais de saúde, que prescrevem o serviço sendo por isso o principal indutor de todo o sistema; das empresas, que fornecem os serviços e são quem na prática presta o serviço e tem uma maior relação de proximidade e intimidade com o paciente; e do Estado, que regula e financia o serviço contratado. É possível introduzir ainda uma quinta componente, a das engenharias e tecnologias que permitem novas funções, integração dos sistemas, conectividade e gestão em tempo real.

Os CRD são uma realidade cada vez mais complexa que está a ser reinventada com o objetivo de praticar uma medicina baseada na entrega de valor acrescentado ao paciente. Para isso, é necessário perceber como se avalia a qualidade da prestação do serviço. Esta avaliação é feita com base em vários critérios: 1) como correu o procedimento de contratação, 2) a qualidade do serviço prestado, 3) contributos para sustentabilidade e inovação e 4) dimensão financeira em termos de custos.

O foco do presente projeto é na perspetiva da empresa prestadora de serviços e prende-se sobretudo com os critérios 2), que diz respeito ao nível de serviço que se traduz na otimização do tempo de espera quer no cumprimento do prazo acordado para início do tratamento quer na resolução de problemas relacionados com as terapias; e 4) com a minimização dos custos de serviço.

Adicionalmente, serão identificadas oportunidades de negócio para que também estas empresas acompanhem a evolução dos CRD adaptando a sua proposta de valor e estratégia de gestão de recursos.

O problema de prestação de cuidados respiratórios ao domicílio é um problema de planeamento de rotas dinâmico. No início do dia já existem rotas planeadas tendo em conta pedidos anteriores. Ao longo do dia vão chegando novos pedidos que serão dentro do possível incorporados nas rotas já existentes tendo como objetivo a minimização da distância total ou equivalentemente o custo total.

No Capítulo 2, foi elaborada uma pesquisa acerca dos cuidados respiratórios domiciliários que visa enquadrar e elucidar no que diz respeito aos serviços prestados pelas empresas que asseguram os tratamentos prescritos de CRD, e ainda identificar tendências principalmente ligadas à tecnologia.

Neste capítulo uma vez que o problema em estudo se enquadra num problema de rotas para veículos dinâmico, uma variante importante do problema de rotas para veículos, apresenta-se uma caracterização e classificação destes problemas e observam-se algumas abordagens de resolução.

No Capítulo 3, com base nos dados de um caso real fornecidos pela empresa que colaborou no presente projeto, descreveu-se o problema em estudo realçando a chegada de novos serviços ao longo do horizonte temporal e urgência na satisfação dos mesmos, com o objetivo de assegurar todos os cuidados de saúde necessários ao bem-estar dos pacientes.

No Capítulo 4, apresenta-se o caso real de estudo identificando e validando pressupostos, classificando-o como um problema fracamente dinâmico. Neste capítulo foram contruídos três cenários. Dois deles correspondem a variações no grau de dinamismo efetivo (relacionado com a distribuição temporal da hora de chegada de novos serviços) e outro baseado na premissa de que a existência de técnicos em serviço durante toda a janela temporal dos pacientes (das 8h às 22h) poderá garantir a satisfação de um maior número de serviços.

No Capítulo 5 descreve-se o método de resolução para a obtenção de soluções admissíveis. Foram realizadas algumas adaptações aos métodos de resolução algorítmicos identificados na revisão da literatura. Numa primeira fase às rotas planeadas no início do horizonte temporal, para cada novo pedido recebido ao longo do dia, foi aplicada a heurística de inserção de menor custo, para identificar a rota e posição em que cada pedido deveria ser inserido sem alterar a ordem pela qual os pedidos antecipados estavam agendados nas rotas. Esta heurística foi aplicada aos vários cenários. Numa segunda fase, após a inserção de cada novo pedido na respetiva rota, aplica-se uma heurística 2-optimal.

Finalmente, no Capítulo 6 os resultados computacionais obtidos são apresentados e analisados e no Capítulo 7 apresentam-se as principais conclusões.

Capítulo 2

Revisão de Literatura

Neste capítulo será elaborada uma breve análise com o objetivo de compreender como interagem as empresas e outros intervenientes que operam no setor da atividade domiciliária prestando cuidados respiratórios. Posteriormente, uma vez que o problema em estudo se enquadra nos problemas de rotas dinâmicos foi elaborado um levantamento bibliográfico identificando os principais autores e estudos relevantes na área de problemas de rotas para veículos especificamente desta variante.

2.1 Cuidados respiratórios domiciliários

Os cuidados respiratórios domiciliários correspondem ao fornecimento de serviços e equipamentos no local de residência dos utentes ou dos seus familiares, com o objetivo de melhorar o funcionamento do sistema respiratório do paciente, diminuir sintomas da doença e melhorar a sua qualidade de vida (Air Liquide, 2021)¹.

Este serviço começou por estar focado apenas na disponibilização dos equipamentos e consumíveis necessários ao tratamento prescrito. Atualmente, existem empresas especializadas na prestação de CRD. Estas empresas contam com equipas de profissionais que estão disponíveis 24 horas, 7 dias por semana (24/7) e focadas nas necessidades dos seus pacientes ao longo de todo o tratamento, que pode durar meses ou até mesmo anos.

A necessidade deste tipo de serviço resulta maioritariamente de condições respiratórias crónicas, incapacidade permanente ou doença terminal.

Os principais agentes envolvidos na prestação do serviço de cuidados respiratórios domiciliários são os profissionais de saúde (pneumologista), o Estado e as empresas prestadoras do serviço (APCSD, 2021)², tal como ilustrado na Figura 2.1.

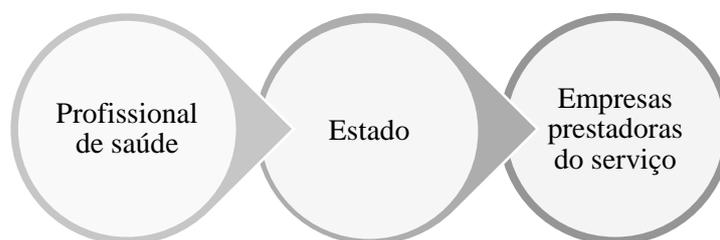


Figura 2.1 - Agentes envolvidos na prestação de CRD.

Inicialmente o paciente é diagnosticado pelo seu médico que lhe prescreve o plano de tratamento. Em Portugal, o Estado é responsável pela contratação e financiamento do serviço

¹ Empresa líder do mercado nacional na produção e comercialização de gases, tecnologias e serviços para a Indústria e a Saúde.

² Associação Portuguesa de Cuidados Respiratórios de Saúde ao domicílio.

junto da empresa prestadora. Esta empresa, com o apoio da sua equipa de profissionais, monitoriza e controla o tratamento, coordenando-o com as indicações do médico. Todos os agentes operam privilegiando as necessidades do paciente com o objetivo de melhorar a sua qualidade de vida.

As várias partes envolvidas no processo de contratação de CRD devem dispor de níveis de conectividade elevados para que todo o sistema funcione e seja entregue um serviço de qualidade, lucrativo para todas as partes.

As empresas dispõem de informação relevante uma vez que são o agente que fornece os serviços e detém uma maior relação de proximidade com o paciente (entram em sua casa e estão presentes regularmente para o acompanhamento e monitorização dos tratamentos). Essa informação deve ser partilhada com os profissionais de saúde e restantes agentes envolvidos no sistema. O maior entrave a essa partilha está relacionado com a disparidade nos meios de receção dessa informação. O desenvolvimento de sistemas de informação que uniformizem a partilha de conhecimento entre agentes terá um papel pertinente num futuro próximo na prestação de CRD.

Um dos problemas mais relevantes no setor, prende-se com as consultas de continuidade que são demoradas e por vezes inexistentes (APCSD, 2021). Estas consultas permitem um acompanhamento exigente e próximo dos pacientes, adaptação do tratamento com base na evolução dos mesmos e incentivo à adesão da terapêutica a longo prazo. Muitos pacientes, apesar do diagnóstico de doença crónica acabam por abandonar o tratamento. A pandemia introduziu a normalização do digital. Na medicina ao domicílio uma opção viável será a implementação de um sistema misto em que a 1ª consulta ocorre presencialmente (como atualmente) e seguem-se consultas curtas e periódicas de seguimento em regime não presencial.

2.1.1 Principais terapias

As empresas prestadoras de CRD realizam diferentes terapias respiratórias nos seus pacientes de acordo com a prescrição médica, apresentando diversas soluções estacionárias ou portáteis na sua oferta de serviços. Com o objetivo de compreender melhor os diferentes tipos de serviços prestados, as suas características e requisitos no que diz respeito a equipamentos e acessórios, em seguida são apresentados diversos tratamentos que são prestados diariamente de acordo com empresas que prestam este tipo de serviço em Portugal (VitalAire Portugal, 2021).

De salientar que cada vez mais o foco da prestação deste tipo de serviços está na entrega de valor acrescentado para o paciente. Como tal, é frequente que a oferta de serviços prestados pelas empresas inclua, adicionalmente, serviços tais como reabilitação respiratória, fisioterapia e apoio psicológico, transversais a diversas patologias.

Aerossolterapia

Tratamento que consiste na utilização terapêutica de medicamentos sob a forma de aerossóis. Os medicamentos mais frequentemente administrados sob esta forma são broncodilatores, anti-inflamatórios, mucolíticos e antibióticos. A sua inalação permite que o medicamento penetre nas vias respiratórias.

Esta terapia é frequentemente utilizada no tratamento de patologias respiratórias, tais como, asma e doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC).

Os técnicos efetuam a instalação do equipamento no domicílio e prosseguem com o ensino das técnicas de utilização, manutenção e limpeza.

Tratamento da apneia do sono

A síndrome da apneia obstrutiva do sono (SAOS) é caracterizada por paragens respiratórias durante o sono, por um período superior a 10 segundos. Durante estes episódios existe um colapso e obstrução das vias respiratórias superiores, impossibilitando a passagem do ar e levando a um ligeiro despertar do subconsciente, que permite restabelecer a respiração até ao próximo episódio, ou até mesmo ao despertar do paciente com uma sensação de asfixia.

A SAOS é classificada de acordo com o número de eventos contabilizados por hora – IAH – que representa o índice de apneias (paragens respiratórias) e hipoapneias (diminuição da amplitude da respiração).

As formas de tratamento mais eficazes para esta condição são a pressão positiva contínua na via aérea (CPAP), pressão positiva auto-ajustável na via aérea (AutoCPAP), pressão positiva binível na via aérea (BiPAP) realizadas através de equipamentos de pressão de ar, sendo a primeira a mais comum.

Oxigenoterapia

Tratamento que consiste na administração de oxigénio sob diferentes formas a pacientes no seu domicílio, mediante prescrição médica. As empresas disponibilizam oxigénio em quatro formas diferentes:

- Oxigénio medicinal criogénico (líquido) – É colocado no domicílio do paciente um reservatório estacionário, bem como um sistema portátil, o que permite que o paciente possa manter as suas rotinas diárias realizando o tratamento dentro e fora de casa;
- Oxigénio medicinal comprimido (gasoso) – É a forma mais tradicional, armazenado em cilindros de alta pressão. A empresa procede à instalação dos cilindros e respetivos acessórios procedendo à sua substituição sempre que necessário;
- Concentrador convencional – Disponibilização de um equipamento no qual o oxigénio é concentrado a partir do ar ambiente, o que permite maior mobilidade, segurança e independência do paciente;
- Concentrador portátil – A mais recente forma de administrar oxigénio, oferece maior autonomia e mobilidade fora do domicílio ao paciente.

A administração de oxigénio tem como objetivo a prevenção ou tratamento da carência de oxigénio no sangue.

A prescrição do tratamento é feita pelo profissional de saúde, que mede a quantidade de oxigénio no sangue do seu paciente, e prescreve, com base no resultado, o número de horas da terapia e o débito (litros/minuto).

Ventiloterapia

Este tratamento consiste na utilização de um equipamento ventilador e de uma máscara (facial ou nasal) ou peça bucal que auxilia a realização de trocas gasosas de forma efetiva pelo paciente.

O profissional de saúde prescreve a terapia, através de um diagnóstico rigoroso e preciso do estado de saúde do paciente, indicando o ventilador mais adequado à situação e volume/pressão que permite a entrada de ar enriquecido com oxigénio.

As empresas prestadoras de CRD têm disponíveis os equipamentos necessários para dar resposta às necessidades dos pacientes.

A ventilação pode ser realizada com recurso a duas técnicas:

- Mecânica não invasiva – Sem recurso a métodos invasivos da via respiratória, recorre a ventiladores semelhantes aos convencionais e a uma máscara (ou outra interface) que conecta o paciente ao aparelho com o objetivo de diminuir o esforço respiratório do paciente;
- Mecânica invasiva – Método que exige a manutenção de um acesso direto à traqueia por entubação.

2.1.2 Números e financiamento

Em Portugal, segundo o relatório anual de 2019 sobre o acesso a cuidados de saúde (Ministério da Saúde, 2019), foram prescritos cuidados respiratórios domiciliários a cerca de 179 mil utentes (+10,6% face a 2018). As principais terapias prescritas são a ventiloterapia (75%), oxigenoterapia (23%) e aerossolterapia (2%). Constatando-se desde 2015 um aumento do número de utentes aos quais são prescritos tratamentos nas modalidades de ventiloterapia e oxigenoterapia.

Pela análise da Figura 2.2 adaptada do mesmo relatório, em 2019 do total de utentes com CRD prescritos, cerca de 13 mil (7%) têm prescrita mais do que uma terapia e este número também tem vindo a aumentar nos últimos anos. A aerossolterapia tem mantido um decréscimo do número de utentes que necessitam deste tratamento, desde 2015, relacionado com boas práticas de substituição da terapia. O número de equipamentos disponibilizados aumentou face a 2018, cerca de 10,8%.

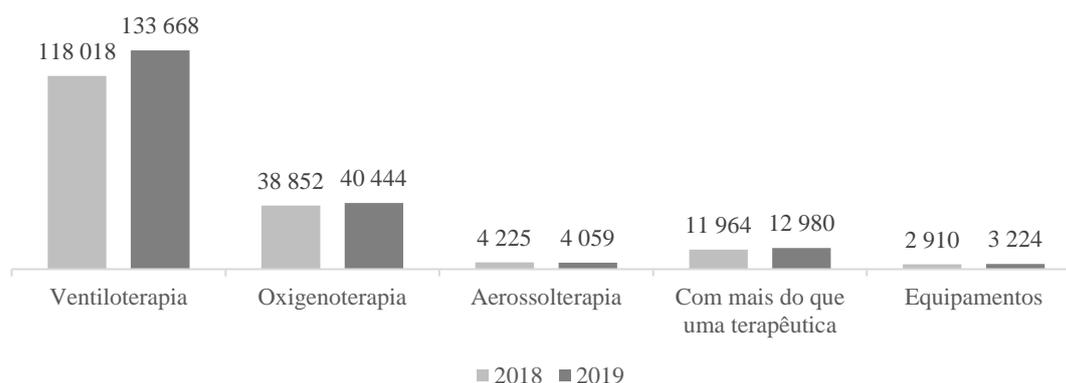


Figura 2.2 - Principais terapias prescritas em Portugal, 2018 e 2019.

Em 2018, cerca de 65,8% dos utentes com prescrição de CRD são do sexo masculino, maioritariamente com idades compreendidas entre 46 e 80 anos (Alves, et al., 2020). O índice de envelhecimento da população portuguesa e prevalência de obesidade justificam a maioria das prescrições serem respeitantes a ventiloterapia domiciliária.

Em 2019, os gastos com CRD ascenderam a 96,2 milhões de euros, representando cerca de 0,9% no total da despesa do SNS (Conselho das Finanças Públicas, 2020). Este valor tem vindo a aumentar de forma progressiva ao longo dos últimos anos. Em 2016, estes gastos totalizavam 67 milhões de euros. De entre os vários cuidados prestados, salienta-se a ventiloterapia que corresponde, desde 2017, a mais de 70% do total da despesa em saúde segundo o Relatório e Contas do Ministério da Saúde e do SNS de 2017 e 2018 (Serviço Nacional de Saúde, 2018).

2.2 Problema de Rotas para Veículos

Os problemas de determinação de rotas para veículos são habitualmente representados por grafos e podem dividir-se em dois grandes grupos: rotas em que a recolha/distribuição é feita nos vértices que correspondem aos clientes (*Node Routing Problems*); e rotas em que a recolha/distribuição é feita nos arcos (*Arc Routing Problems*).

Neste trabalho foi considerado um problema de determinação de rotas em que os clientes onde é feita a recolha/distribuição são representados por vértices de um grafo (*Node Routing Problems*) que na terminologia em inglês se designa por *vehicle routing problems* (VRP). Estes problemas têm vindo a ser objeto de estudo nas últimas décadas, existindo uma grande diversidade de variantes. O interesse é motivado pela elevada complexidade computacional que o problema apresenta, mas principalmente pela sua relevância prática. Na literatura, Dantzig e Ramser, em 1959, foram os primeiros a apresentar o VRP com o objetivo de otimizar rotas para uma frota de camiões, utilizados na distribuição de gasolina por vários postos de abastecimento (Irnich, Toth, & Vigo, 2014).

De uma forma genérica o problema de rotas para veículos consiste em dado um conjunto de clientes e uma frota de veículos, determinar um conjunto de rotas que permita satisfazer a procura de todos os clientes. A cada veículo é atribuída uma rota e o objetivo é minimizar o custo total das rotas. Em particular, decidir que clientes ficam alocados a que rota e em que sequência.

Este problema pode representar-se por um grafo em que os vértices (nodos) correspondem aos clientes e depósitos, e os arcos às ligações entre eles. O conjunto de vértices pode ser designado por $V = \{Clientes\} \cup \{depósito/armazém\}$ e o conjunto de arcos por $A = \{(i, j) . i, j \in V, i \neq j\}$. Associado a cada arco existe um custo e uma distância. Neste trabalho de projeto é utilizada sempre a designação de arco e circuito, mesmo no caso de grafos não orientados.

Como descreve (Bektaş, Repoussis, & Tarantilis, 2014) e (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013) os problemas de rotas para veículos podem ser classificados quanto às características dos seus dados (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Classificação do problema de rotas para veículos.

		Qualidade dos dados	
		Determinísticos	Estocásticos
Evolução dos dados	Conhecidos a priori	Estático e determinístico	Estático e estocástico
	Alterações ao longo do tempo	Dinâmico e determinístico	Dinâmico e estocástico

Mais detalhadamente tem-se:

- Estático e determinístico: todos os parâmetros são conhecidos a priori e com certeza. Assume-se que os dados não irão sofrer alterações ao longo da execução da rota. Este tipo de problemas pode ser resolvido no início do horizonte temporal;
- Estático e estocástico: parte dos parâmetros são conhecidos como variáveis aleatórias ou probabilísticas. Os seus valores são revelados durante a execução do processo de determinação das rotas. Os VRP com incerteza nos seus dados têm sido pouco estudados;
- Dinâmico e determinístico: parte ou toda a informação não é conhecida aquando o planeamento da rota, só fica disponível à medida que o tempo passa, com elevado grau de certeza;
- Dinâmico e estocástico: parte da informação desconhecida está na forma de informação probabilística. Neste tipo de problema existe um incentivo para explorar e utilizar toda a informação previsional disponível no processo de determinação das rotas.

Habitualmente, assume-se que os dados são determinísticos e conhecidos a priori com algum grau de certeza. Daí que os VRP estáticos e determinísticos sejam os problemas tradicionais que têm vindo a ser objeto de estudo intensivo.

2.3 Problema de Rotas para Veículos Dinâmico

O problema abordado neste trabalho enquadra-se nos problemas de rotas para veículos dinâmico ou, em inglês *dynamic vehicle routing problem* (DVRP), que é uma variante importante do VRP, estudado pela primeira vez por Wilson e Colvin, em 1977, aplicado ao *Dial a Ride Problem* (DARP) com um único veículo (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013).

Em muitas situações da vida real frequentemente os dados que estão disponíveis encontram-se incompletos, incertos ou desconhecidos numa fase inicial do planeamento. Nesta fase são determinadas rotas para os veículos de acordo com a informação que se encontra disponível e, ao longo do horizonte temporal, quando surgem novos pedidos é tomada uma decisão com base nas rotas previamente construídas. Esta decisão passa por aceitar ou rejeitar novos pedidos e perceber qual a melhor rota e posição onde inseri-los, em caso de aceitação. Todo este processo é executado num ambiente de constante mudança e evolução, sendo o objetivo não só reagir a novos pedidos, mas também antecipá-los sempre que possível.

A Figura 2.3 ilustra o processo de execução de uma rota (Bektaş, Repoussis, & Tarantilis, 2014). No instante t_0 o veículo sai do depósito, para começar a executar a rota planeada. Esta rota apenas contém pedidos conhecidos a priori, que neste caso encontram-se representados pelas letras A, B, C e D. Durante a execução da rota, no instante t_r , surge um novo pedido X e a rota planeada é reconfigurada com o objetivo de incluir este novo pedido. Nesta fase, é possível perceber que o veículo já tinha satisfeito os pedidos A e B e encontrava-se já no seu caminho para satisfazer o pedido C. A rota executada no fim do horizonte temporal, t_T , é dada pela sequência (Depósito, A, B, C, X, D, Depósito).

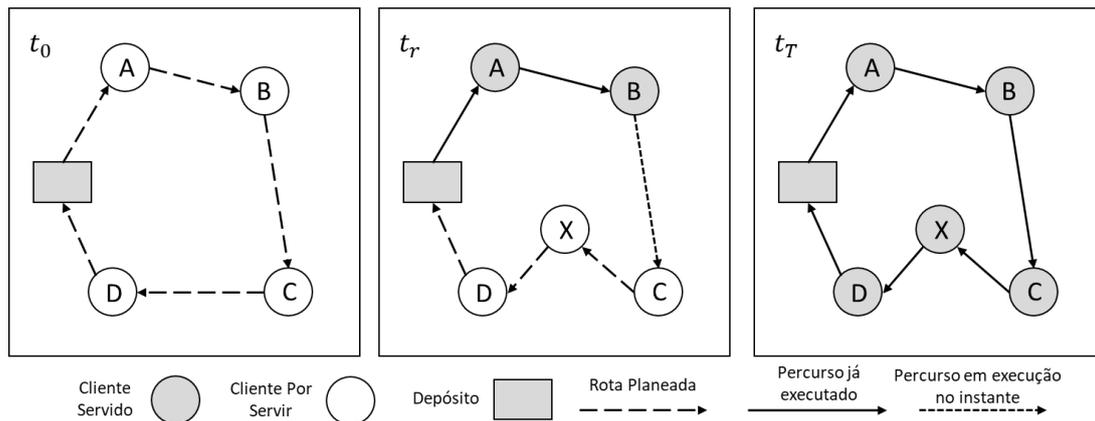


Figura 2.3 - Exemplo de uma rota dinâmica.

Com base neste exemplo serão enunciados e explicados alguns termos e noções relevantes. Psaraftis, em 1980, introduziu a seguinte terminologia: pedido antecipado (*advance request*) para denominar pedidos recebidos antes da realização do processo de planeamento de rotas e pedido imediato (*immediate request*) para referenciar pedidos que surgem no decorrer da execução das rotas (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013). Os primeiros encontram-se denominados na Figura 2.3 por A, B, C e D, e o segundo corresponde ao pedido X. Também é habitual designar os pedidos imediatos por novos pedidos.

Cada rota pode ser dividida em três partes: i) a parte da rota que já foi executada e que não pode ser alterada, representada pelas setas a cheio; ii) a posição atual do veículo aquando da receção do pedido imediato, representada pela seta pontilhada; e iii) a restante parte da rota que vai possivelmente ser executada no futuro e que pode ser alterada, representada pelas setas a tracejado.

Para poder lidar com incerteza em tempo real e tomar decisões durante a execução da rota é necessário que exista um suporte tecnológico avançado e constante comunicação entre a central e todos os veículos. Devem estar disponíveis em tempo real informações relativas a: posição de cada veículo, condições de tráfego, condições meteorológicas, entre outras. O tipo de tecnologia adotada pela empresa determina a qualidade dos dados e a frequência com que é possível interagir com o condutor, que são aspetos fulcrais para a otimização deste tipo de problemas. O suporte tecnológico normalmente utilizado pelas empresas é o GPS (*Global Positioning Systems*), o SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e o telemóvel ou smartphone com tecnologia 3G e 4G (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013).

2.3.1 Grau de dinamismo

Para obter melhores resultados para o DVRP é necessário compreender o seu grau de dinamismo. Um dos indicadores que permite avaliar o dinamismo é a frequência de alterações, que se traduz pela taxa a que cada novo pedido fica disponível ou os seus atributos são atualizados: maior frequência de alterações implica um grau de dinamismo mais elevado. Um outro indicador diz respeito à urgência dos pedidos, que corresponde ao tempo de resposta disponível (lapso de tempo entre o momento em que chega um novo pedido e o momento mais tarde em que esse pedido pode ser satisfeito).

É importante adaptar as medidas do grau de dinamismo de um problema de rotas para veículos dinâmico consoante o tipo de restrições que estão em estudo. Estas medidas não podem ser

aplicadas de igual forma a todos os tipos de problemas. A divisão mais relevante que se encontra na literatura é feita com base na existência ou não de janelas temporais (Larsen, Madsen, & Solomon, 2007).

A medida designada por *degree of dynamism (dod)* é dada pelo rácio entre o número de pedidos imediatos, n_{imm} , e o número total de pedidos, n_{tot} :

$$(2.1) \quad dod = \frac{n_{imm}}{n_{tot}}$$

No exemplo apresentado na Figura 2.3, o grau de dinamismo é de 20% (1 em 5 pedidos chega enquanto a rota está a ser executada).

Esta medida apresenta algumas limitações, como o facto de não ter em consideração os tempos de chegada de cada um dos pedidos imediatos. Comparando um problema em que estes pedidos são recebidos no início do horizonte temporal com outro, em que a sua receção ocorre perto do fim do horizonte temporal, esta medida apresenta graus de dinamismo idênticos. No entanto, um cenário em que os pedidos sejam recebidos cedo é sempre preferível. Quando os pedidos chegam já perto do fim do horizonte temporal pode não ser possível encontrar uma solução adequada, uma vez que grande parte da rota já foi executada e as possibilidades de inserção podem ser reduzidas ou até mesmo inexistentes. Se a concentração de pedidos for maior no início do horizonte temporal existem mais possibilidades de inserção dado que grande parte da rota ainda não foi executada, sendo possível obter uma solução de melhor qualidade no que diz respeito à minimização da distância total percorrida e a nível da prestação de serviço ao cliente.

Assim, uma extensão da medida apresentada, que inclui informação sobre o momento em que os pedidos imediatos são recebidos, é designada por *effective degree of dynamism (edod)*. Num horizonte temporal, 0 é definido como o instante de início e T como o instante de fim. Todos os pedidos antecipados são recebidos até ao momento 0. O instante de receção do i 'ésimo pedido imediato é denominado por t_i , $0 < t_i \leq T$. O número de pedidos imediatos é dado por n_{imm} e o número total de pedidos por n_{tot} .

$$(2.2) \quad edod = \frac{\sum_{i=1}^{n_{imm}} \frac{t_i}{T}}{n_{tot}}, \quad 0 \leq edod \leq 1$$

Esta medida representa a média do quão tarde os pedidos são recebidos comparativamente com o instante mais tarde possível em que os pedidos podem ser recebidos, capturando assim a sua distribuição temporal. Em problemas puramente dinâmicos temos $edod = 1$; do lado oposto, em problemas puramente estáticos teremos $edod = 0$, que implica os pedidos serem todos recebidos no momento T e no momento 0, respetivamente.

Com base no grau de dinamismo, cada DVRP pode ser categorizado num dos três escalões que se seguem (Larsen, Madsen, & Solomon, 2002).

Sistemas fracamente dinâmicos

Nestes sistemas as rotas iniciais são planeadas de modo a permitir que sejam inseridos pedidos imediatos. O número de pedidos imediatos é normalmente baixo comparativamente com o número total de pedidos. O que significa que a inclusão dos pedidos imediatos terá em conta primeiramente os custos de distribuição e secundariamente a maximização do nível de serviço.

Exemplos de aplicação são a distribuição de bens ou serviços, como o caso de óleo de aquecimento ou gás líquido, em que a maioria dos clientes (pelo menos 80%) são conhecidos a priori. No entanto, podem ser recebidos pedidos em tempo-real em caso de necessidade. Outro exemplo é a distribuição de cabazes de frutas e vegetais em casa dos clientes. Habitualmente a distribuição é feita semanalmente. Neste caso, o número de novos pedidos ou cancelamento de encomendas é baixo (menos de 5%).

Sistemas moderadamente dinâmicos

Neste tipo de sistemas o número de pedidos imediatos tem um peso significativo no número total de pedidos, mantendo-se os pedidos antecipados uma parte relevante. O objetivo pode ser difícil de definir uma vez que reflete uma combinação subtil da minimização dos custos de distribuição e do tempo de resposta.

Exemplos de aplicação são a recolha e entrega de correio de longa distância e os serviços de reparação de terminais de multibanco, onde os pedidos antecipados normalmente estão agendados pelo contrato e pedidos imediatos requerem uma ação rápida.

Sistemas fortemente dinâmicos

Nestes casos, não são conhecidos pedidos antecipados e o principal objetivo deste tipo de problemas é a minimização do tempo de resposta. Estes sistemas são caracterizados pela rápida mudança da informação disponível e urgência em todos os pedidos recebidos. Serviços de emergência (polícia, bombeiros e ambulâncias) e serviços de táxis são exemplos da sua aplicação.

É desta forma possível relacionar diretamente o grau de dinamismo efetivo com a estrutura de três escalões: i) o VRP é fracamente dinâmico se $edod < 30\%$; ii) moderadamente dinâmico se $30\% \leq edod < 80\%$; e iii) fortemente dinâmico se $edod \geq 80\%$ (Irnich, Toth, & Vigo, 2014). Esta informação é relevante na medida em que permite adotar métodos de resolução mais adequados, mas também estratégias de decisão que permitam o planeamento de rotas de distribuição eficientes. Em ambientes fracamente dinâmicos, podem ser aplicados métodos exatos, com maior tempo computacional. Por outro lado, em ambientes fortemente dinâmicos, é necessário utilizar métodos capazes de fornecer soluções de elevada qualidade em tempos computacionais reduzidos.

2.3.2 Objetivos

Nos DVRP são frequentemente considerados múltiplos objetivos, sendo os mais utilizados:

- Custos de transporte/distribuição: o planeamento das rotas de distribuição deve ser caracterizado por distâncias reduzidas entre serviços, dado que as distâncias percorridas se refletem em custos de transportes. A minimização deste tipo de custos é frequentemente incluída na função objetivo, especialmente em problemas fracamente dinâmicos;
- Nível de serviço: garante o nível de satisfação do cliente podendo ser traduzido no tempo de espera/atraso. A minimização do tempo de resposta a um pedido imediato tem frequentemente peso na função objetivo. No entanto, costuma implicar maiores custos de transporte. Por esse motivo, em problemas moderadamente e fortemente dinâmicos, a função objetivo é determinada pela soma ponderada deste objetivo e do anterior;

- Otimização de rendimento: relacionada com a capacidade de servir o maior número de pedidos possível. A maximização do número de pedidos servidos é usada como objetivo primário em problemas fortemente dinâmicos.

2.3.3 Diferentes abordagens de resolução

Nos VRP's Determinísticos e Dinâmicos têm vindo a ser adotadas, por diversos autores, diversas abordagens para a determinação de soluções admissíveis (Bektaş, Repoussis, & Tarantilis, 2014). Como referido, para este tipo de problemas, no início do horizonte temporal existe uma solução inicial construída com base nos pedidos antecipados. Esta solução pode ser implementada sem qualquer alteração até ao momento em que chegam novos pedidos, momento no qual é necessário fazer ajustamentos no planeamento com o objetivo de integrar estes pedidos. De salientar que esta inserção pode ser realizada sem alterar a ordem subsequente dos pedidos ou pode ser necessário replanear a parte da rota ainda não executada. De uma forma resumida são enunciadas, em seguida, cada uma destas abordagens:

1. Uma prática comum consiste em gerar uma rota base através de um algoritmo exato ou heurístico desenvolvido para resolver um problema estático. A cada pedido imediato procede-se à reotimização (periódica) da solução atual incluindo o(s) pedido(s) que chegou (chegaram). Este tipo de abordagem é utilizado em problemas fracamente dinâmicos, uma vez que não necessitam de tanta capacidade de resposta, não sendo adequado para problemas que necessitem de ações imediatas, como serviços de emergência (associados a problemas fortemente dinâmicos);
2. Uma abordagem alternativa será após gerar uma rota base (como anteriormente) atualizar localmente a rota existente através de uma heurística de inserção. Esta abordagem permite obter soluções rapidamente. No entanto, estas podem ser de baixa qualidade relativamente ao objetivo pretendido e ser necessária uma reotimização;
3. A grande maioria das abordagens encontradas na literatura utilizam heurísticas de melhoramento local após a inserção de novos pedidos na rota, e simultaneamente é realizada uma reotimização periódica da solução encontrada;
4. Uma outra abordagem consiste em antecipar eventos futuros utilizando estratégias de realocação de veículos com o objetivo de reposicionar os veículos disponíveis em locais estratégicos;
5. É ainda possível utilizar estratégias de espera em cada local, que podem ser vantajosas no caso de problemas com janelas temporais;
6. Finalmente, pode ser utilizada uma abordagem proativa que consiste em gerar e manter várias soluções (que correspondem a alternativas) que satisfazem o estado atual do problema. Destas alternativas é selecionada uma a cada período através de uma função, o que garante alguma robustez ao problema (*Multiple Plan Approach* ou MPA).

De seguida, descrevem-se algumas heurísticas e métodos de reotimização a que os autores recorrem nas abordagens acima mencionadas (Ichoua, Gendreau, & Potvin, 2007).

Técnicas para determinação de rotas e heurísticas de melhoramento local

Algumas das técnicas usadas para identificar o próximo cliente a ser servido são: *first come first serve* e *nearest neighbor* estudadas numa aplicação a um problema estocástico para diferentes graus de dinamismo (Bertsimas & Ryzin, 1991). Os resultados mostram que a técnica

do *nearest neighbor* apresenta melhores resultados em média, quando comparada com outras técnicas testadas.

Esta análise foi mais tarde base para o estudo de um *travelling repairman problem* parcialmente dinâmico onde foram consideradas técnicas de determinação de rotas adicionais, nomeadamente *stochastic queue median* e *partitioning policy* (Larsen, Madsen, & Solomon, 2002). Também neste problema o *nearest neighbor* apresenta os melhores resultados em média, no entanto deverá ser utilizado apenas em sistemas moderadamente e fortemente dinâmicos.

Na prática são frequentemente usadas regras baseadas na experiência (*Ad Hoc Rules*) para informar os motoristas sobre qual deve ser o próximo pedido a satisfazer.

No estudo desenvolvido com base num problema de uma empresa que vende e distribui gás natural foi proposta uma heurística de inserção simples que consiste em: quando chega um novo pedido, é selecionado um conjunto de rotas baseadas na proximidade da zona do novo pedido e é calculada a posição de inserção que minimiza o custo de inserção (Madsen, Tosti, & Vaelds, 1995).

Métodos de reotimização

No estudo de um problema de determinação de rotas para a distribuição de gases industriais (oxigénio, nitrogénio, hidrogénio, etc.) foi utilizado um algoritmo estático baseado no modelo de programação inteira mista que foi resolvido usando técnicas de relaxação Lagrangeana (Bell, et al., 1983).

No problema de determinação de rotas para a distribuição de produtos derivados de petróleo (como gasolina, óleo diesel, óleo de aquecimentos, entre outros), primeiramente a heurística atribui as cargas aos veículos disponíveis e em seguida resolve-se um *traveling salesman problem* (TSP) para otimizar cada rota (Brown, Ellis, Graves, & Ronen, 1987).

No VRP dinâmico sem janelas temporais, baseado num caso real da cidade de Lugano (Suíça), foram resolvidos vários VRP's estáticos ao longo do horizonte temporal usando heurísticas *ant colony*. A informação útil é armazenada de uma iteração para a seguinte e o horizonte é dividido em parcelas de tempo fixas, pelo que apenas novos pedidos recebidos durante cada parcela de tempo são considerados para a aplicação do algoritmo (Montemanni, Gambardella, Rizzoli, & Donati, 2005).

Motivado pelos serviços de distribuição de correio, foi utilizada uma conjugação de técnicas heurísticas numa aplicação real para resolver o VRP dinâmico com janelas temporais. Primeiramente, foi utilizada uma heurística de inserção para inserir um novo pedido e em seguida foi aplicada uma heurística *tabu search* a cada solução com o objetivo de a melhorar (Gendreau, Guertin, Potvin, & Taillard, 1999).

No estudo de um VRP dinâmico com janelas temporais foi introduzida uma técnica designada por *multiple plan approach* como uma generalização do *tabu search* com memória adaptativa. Esta abordagem consistiu em manter um conjunto de soluções que são usadas para gerar uma solução distinta (Bent & Hentenryck, 2004).

Aplicado a um problema de distribuição de correio que modela o processo de decisão de um expedidor humano foi desenvolvido um algoritmo genético (Benyahia & Potvin, 1998).

Capítulo 3

Descrição do Problema

Nas empresas que prestam cuidados respiratórios domiciliares, ao longo de cada dia vão surgindo novos pedidos que a empresa deve satisfazer em tempo útil para assegurar o bem-estar do paciente.

Habitualmente, existem serviços que já se encontram inseridos no sistema e com base nesses são planeadas rotas para os técnicos que se encontram disponíveis. Neste planeamento, dadas as características do serviço, assegura-se nas rotas a existência de tempos sem serviços atribuídos, para que possam ser inseridos novos pedidos que chegam ao longo do dia.

A janela temporal para realizar cada serviço é comum a todos os pedidos e situa-se entre as oito horas e as vinte e duas horas. Cada pedido apresenta um determinado nível de urgência que é definido com base no tempo disponível para o satisfazer (diferença entre a hora de chegada e a hora mais tarde em que o pedido pode ser satisfeito).

Os pedidos podem ter origem em diversas circunstâncias e por isso têm diferentes graus de urgência. Pedidos relacionados com instalação de equipamentos e acessórios são considerados urgentes, tendo habitualmente um prazo previamente acordado para início do tratamento. Pedidos decorrentes de problemas ou anomalias inesperadas também são de carácter urgente. Existem três fontes de problemas relacionados com a terapia para os quais os pacientes devem solicitar resolução: i) aproximação do fim do consumível que representa, 40% dos problemas reportados; ii) questões técnicas com os equipamentos (30%); e iii) adaptação do tratamento (20%). Em contrapartida, pedidos relacionados com manutenção do material através de visitas regulares têm alguma flexibilidade quanto ao dia em que devem ser realizados e são por isso considerados não urgentes.

Nos casos mais urgentes, é fundamental que a empresa garanta que nenhum dos seus clientes esgote a capacidade de oxigénio que tem disponível. Pode ocorrer que a garrafa substituta não esteja nas devidas condições ou que a garrafa disponível contenha menos gás do que se esperava. No caso de prescrição médica, é necessário garantir que no dia da alta sejam instalados os equipamentos necessários ao tratamento no domicílio do paciente.

A não satisfação de um pedido urgente pode ter consequências sérias para a saúde do utente. Por isso, é sempre preferível satisfazer um pedido urgente em detrimento da satisfação de um qualquer número de pedidos não urgentes, mesmo que esta opção seja menos lucrativa para a empresa. A urgência dos pedidos encontra-se identificada através de um *rank* que pode tomar dois valores: 1 ou 2. Pedidos classificados com *rank* 1 – urgentes – são pedidos cuja data limite (mais tarde) de realização do serviço é igual ou inferior ao dia para o qual estão a ser planeadas as rotas dos técnicos. Por outro lado, pedidos classificados com *rank* 2 – não urgentes – dizem respeito a pedidos cuja data limite de realização do serviço é posterior à do dia em questão. Esta classificação funciona, assim, como uma hierarquia de escalões onde um serviço de um escalão superior é mais importante do que qualquer número de serviços de escalão inferior.

A cada pedido, para além do *rank*, está também associada uma prioridade representada por um valor numérico cuja soma a empresa tem como objetivo maximizar. As prioridades permitem

relacionar os serviços dentro do mesmo *rank* atribuindo-lhes uma importância relativa. Dentro do lote de serviços com o mesmo *rank*, existem pedidos que são mais difíceis de agendar, ora porque o paciente tem restrições a nível de horário, ora porque os técnicos com o perfil requerido são mais escassos (existem poucos técnicos habilitados a realizar esse serviço). Estes pedidos têm maior prioridade relativamente aos restantes.

A título exemplificativo, é preferível satisfazer dois pedidos de prioridade 600 do que um pedido de prioridade 1 000, uma vez que em termos absolutos obtemos uma maior soma, ficando mais “trabalho despachado”. As prioridades são consideradas como forma de desempate dentro do mesmo *rank*, em caso de necessidade.

É também importante para a empresa otimizar as visitas que realiza ao mesmo cliente. Por este motivo, quando existe uma visita a um domicílio por parte do técnico, é verificado se está agendada para breve uma revisita de manutenção (que é realizada a cada seis meses). Em caso afirmativo, é antecipado este serviço com o objetivo de realizar todos os pedidos previstos com apenas uma visita.

No presente trabalho, cada técnico encontra-se alocado a um veículo e inicia e termina o seu percurso no armazém. No entanto, existem empresas em que cada técnico inicia e termina o seu percurso na sua residência.

Constata-se ainda que, neste negócio, existe flexibilidade no horário de trabalho dos técnicos. Neste estudo, cada técnico tem o seu próprio horário de entrada (o mais cedo possível corresponde às 8h), diferindo também o seu horário de saída (ao fim de nove horas, incluindo pausa de uma hora para almoço). Além disso, a hora de almoço é igual para todos os técnicos e começa entre as 14h e as 15h. No entanto, nem todos os técnicos começam a sua hora de almoço pelas 14h: pode acontecer que, por estar a terminar um serviço no domicílio de um paciente, a sua hora de almoço comece mais tarde e consequentemente também termine mais tarde. Independentemente do caso, cada técnico terá sempre direito a uma pausa de uma hora para almoçar. Para outras empresas, as regras de pausa para almoço podem diferir destas.

Ao longo do dia, cada técnico tem alguma liberdade para aceitar ou rejeitar novos pedidos. A sua remuneração difere consoante o número de pedidos que realiza. Por este motivo, a empresa capta informação relativamente ao desempenho de cada um dos técnicos. Dado que técnicos com maior produtividade têm tendência a aceitar um maior número de pedidos por dia, esta informação é útil para a construção das rotas de cada veículo.

Nem todos os técnicos têm as mesmas competências, pelo que nem todos os serviços podem ser realizados por todos os técnicos. Nesta indústria existem dois tipos de perfil: o que compreende a logística de todos os mecanismos e produtos relativos à instalação de sistemas de ventilação assistida (VENT) e o que compreende a logística de fornecimento de gás para efeitos medicinais (OXIG). Na Tabela 3.1 encontram-se de forma resumida os tipos de serviços prestados pela empresa, respetivo tratamento do paciente e perfil do técnico que o pode realizar.

Tabela 3.1 - Tipos de serviço prestados pela empresa.

Tratamento	Tipo de Técnico	Tipo de Serviço	Descrição ³
Aerossolterapia	VENT	Aerossolterapia	Utilização terapêutica de medicamentos sob a forma de aerossóis. A sua inalação permite que o medicamento penetre nas vias aéreas.
	VENT	CPAP	Equipamento médico de pressão positiva contínua nas vias aéreas.
Tratamento da Apneia do Sono	VENT	AUTOCPAP	Equipamento médico para o tratamento com CPAP por pressão de ar automática.
	VENT	BIPAP Controlada	Sistemas que definem dois níveis de pressão na respiração, permitindo que alguns pacientes tenham uma melhor adaptação.
Oxigenoterapia Fixa	OXIG	Garrafas de Oxigénio	É um medicamento que está no estado gasoso, e que se encontra comprimido sendo fornecido em garrafa (cilindro). Dado que as garrafas têm capacidade limitada, é necessário fazer a sua reposição periódica, de acordo com as necessidades do paciente.
	OXIG	Concentrador de Oxigénio	É um dispositivo médico elétrico que separa o oxigénio dos restantes gases do ar ambiente, concentrando-o, resultando assim no fornecimento de uma mistura enriquecida em oxigénio.
	OXIG	Oxigénio Líquido	O oxigénio em estado líquido trata-se de um medicamento e é fornecido num reservatório criogénico (dispositivo médico).
Oxigenoterapia Portátil	OXIG	Oxigénio Portátil	Versão portátil do concentrador de oxigénio indicado para pacientes que utilizam de forma contínua este equipamento permitindo maior mobilidade na sua rotina.
Ventiloterapia	VENT	Ventilação Invasiva	O Ventilador assegura as trocas gasosas e facilita a respiração via endotraqueal.
	VENT	Ventilação Não Invasiva	O Ventilador assegura as trocas gasosas e facilita a respiração com o auxílio de uma máscara, que pode ser facial ou nasal.
Monitorização / Outros	VENT	Aspirador de secreção	Indicado para a aspiração de fluídos orais, nasais e traqueais.
	VENT	Assistente de Tosse	O assistente de tosse é um equipamento para pessoas que não conseguem tossir ou eliminar as secreções de maneira eficaz por conta própria.
	VENT	Poligrafia Respiratória Domiciliária	Teste, realizado em casa do paciente, que consiste na monitorização e registo das variáveis cardiorrespiratórias da polissonografia convencional.
	VENT	Oxímetro de pulso	Aparelho indicado para pacientes que costumam ter períodos de baixa oxigenação sanguínea que permite monitorizar o nível de O ₂ e, assim, saber se é necessário aumentar o fluxo de oxigénio suplementar.

Por norma, os veículos levam à consignação uma reserva adicional de produtos (garrafas, aparelhos portáteis, peças) que são pedidos com maior frequência. Desta forma, quando surge um novo pedido existem duas opções: i) quando o produto existe no seu veículo, o técnico pode realizar o serviço sem ter de regressar ao armazém; ii) caso não exista, precisará de regressar ao armazém antes de poder realizar o serviço. Neste problema, a capacidade dos veículos não é

³ A função do técnico passa pela instalação, ensino de utilização e manutenção, manutenção periódica ou reposição conforme o tipo de serviço.

considerada como restrição, pois não é comum que um veículo não tenha capacidade para carregar todos os equipamentos e acessórios necessários à satisfação dos pedidos agendados para o dia.

Ao longo do dia vão surgindo novos pedidos. De acordo com o seu nível de urgência é analisado se este deve ser satisfeito nesse mesmo dia ou se é adiado para os dias seguintes.

Se o novo pedido não for urgente pode ficar pendente e será incluído na rota de serviço agendada para outro dia. Se for um pedido urgente, este terá de ser satisfeito a qualquer custo havendo duas opções: i) caso existam técnicos ainda com disponibilidade para o fazer, é necessário decidir a que técnico atribuir o serviço e onde inseri-lo na rota já previamente construída para esse mesmo técnico; ii) caso não exista disponibilidade para realizar o novo pedido por parte de nenhum dos técnicos ter-se-á de abdicar da realização de um ou mais pedidos não urgentes agendados para esse dia. Neste caso, é necessário tomar as mesmas duas decisões, mas agora dentro do grupo de técnicos que tem na sua rota agendados pedidos não urgentes. Esta disponibilidade está relacionada com o número de horas de trabalho diário e com a possibilidade de realizar horas extra.

A inserção dos novos pedidos nas rotas já existentes tem de obedecer a várias restrições tais como: i) garantir que as janelas temporais de todos os clientes são verificadas; ii) não exceder o horário de trabalho diário dos motoristas contemplando a possibilidade de realizar horas extra; iii) respeitar as horas de almoço dos motoristas; e iv) garantir que o serviço é alocado a um técnico que tem o perfil indicado para o realizar.

Este problema consiste na determinação de rotas dinâmicas para veículos. No início de cada dia já existem rotas afetas a cada técnico constituídas por pedidos antecipados. Ao longo do dia vão surgindo novos pedidos (imediatos) que vão sendo inseridos nas rotas pré-existentes com o objetivo de minimizar o tempo total.

Capítulo 4

Caso de estudo

Neste capítulo será apresentado em detalhe o caso de estudo. Uma vez que existiam algumas omissões nos dados fornecidos pela empresa foi necessário fazer adaptações e assumir alguns pressupostos que serão enunciados e explicados na primeira secção. Na segunda secção deste capítulo serão apresentados os dados em detalhe.

4.1 Análise dos dados

O caso em estudo tem por base os dados reais do dia 15 de abril de 2021 de uma empresa que presta cuidados respiratórios domiciliários.

Nestes dados existia alguma informação que não estava completa. A perda de parte da informação está relacionada com a impossibilidade de satisfação de um serviço mesmo após concretização da visita ao domicílio do paciente. Para estes casos, é contabilizado o tempo de deslocação a casa do paciente, mas não a duração da execução do pedido no tempo da rota. Estas ocorrências podem estar relacionadas com falta de peças, ausência do cliente na morada à hora da visita, entre outros. Estes pedidos têm, então, de ser repetidos num dia posterior sendo as datas dos serviços alteradas e ficando apenas o registo da tentativa. A informação sobre estes pedidos volta a aparecer em dados de dias posteriores. Nesta fase existiam 44 pedidos nesta situação.

Para obter a informação completa sobre estes serviços teriam de ser fornecidos também dados de todos os dias posteriores para os quais ficaram agendados estes pedidos. Fornecer esta quantidade de informação seria muito demorado e exigiria um grande esforço por parte da empresa que colaborou para a concretização do presente trabalho. Ainda houve uma tentativa de partilhar esta informação e foi fornecido o registo dos serviços do dia 27 de abril de 2021 de onde foi possível resgatar 12 dos 44 pedidos em falta.

Foram assim feitas algumas adaptações e encontradas soluções para ultrapassar as limitações que existiam. Estas limitações resumiram-se em duas grandes questões: não existia uma matriz de distâncias e tempos que incluísse todos os pedidos e existiam pedidos para os quais não existia informação para além do tipo de técnicos que os realizaram, duração do serviço e coordenadas geográficas.

Primeiramente, relativo às matrizes incompletas, foi utilizado o serviço de Distance Matrix API da plataforma do Google Maps, com implementação em Python, que calcula as distâncias de viagem entre várias origens e destinos. Para a utilização deste serviço é necessário fornecer input relativo ao modo de viagem (*driving* que indica direções de viagem utilizando a rede de estradas), modelo de tráfego (*bestguess* que calcula a duração de viagem com base na melhor estimativa que combina histórico de condições de tráfego e tráfego em tempo real), data e hora de partida desejada que deve ser definida para a hora atual ou dia posterior (quinta-feira, dia 27 de maio de 2021, às 10h) e, por fim, as coordenadas das origens e destinos para os quais se pretende construir a matriz de distâncias.

A matriz pretendida é de 123x123 (clientes únicos com pedidos antecipados agendados (83) + clientes únicos com pedidos imediatos (39) + armazém (1)). Na Tabela 4.1 é possível comparar, parcialmente, as matrizes obtidas com as originais fornecidas pela empresa. Nesta tabela apresentam-se as diferenças em quilómetros e em percentagem entre as distâncias dadas pela Google API e pela empresa. Quando as diferenças são negativas aparecem entre parênteses.

Tabela 4.1 - Diferença da matriz de distâncias e de tempos.

Origem-Destino	Método	Km	Minutos	Dif. Km	%	Dif. Min.	%
(33-43)	Empresa	8,7	13				
	Google API (27/5/2021 10:00 5ª feira)	8,1	9	(0,6)	(7%)	(4)	(29%)
(34-15)	Empresa	8,9	13				
	Google API (27/5/2021 10:00 5ª feira)	8,5	18	(0,4)	(4%)	5	35%
(43-47)	Empresa	9,0	13				
	Google API (27/5/2021 10:00 5ª feira)	9,3	15	0,3	3%	2	14%
(9-35)	Empresa	87,1	80				
	Google API (27/5/2021 10:00 5ª feira)	83,1	59	(4,0)	(5%)	(21)	(26%)
(33-69)	Empresa	142,2	128				
	Google API (27/5/2021 10:00 5ª feira)	124,0	80	(18,2)	(13%)	(48)	(38%)
(73-43)	Empresa	150,5	135				
	Google API (27/5/2021 10:00 5ª feira)	131,5	86	(19,0)	(13%)	(49)	(36%)

Verifica-se que é nos serviços com maior distância entre si que existe maior diferença em termos de quilómetros percorridos (diferenças de 13%) e conseqüente tempo de viagem em minutos (diferenças de 36% ou 38%). Estas diferenças podem ser explicadas pela velocidade dos veículos, hora em que o troço de estrada é percorrido, caminhos alternativos e/ou congestionamentos de trânsito. Apesar das conclusões apresentadas, pressupõe-se que as diferenças nas distâncias e tempos não são significativas para excluir este método de obtenção das matrizes completas.

Uma vez que os dados disponibilizados relativos ao dia em questão foram fornecidos já com a solução obtida no fim do dia, após a inserção dos pedidos imediatos, existia informação relativa às coordenadas de todos os serviços realizados neste dia (antecipados e imediatos). No entanto, não existiam coordenadas dos serviços imediatos que não tinham sido realizados, mas que deveriam ser considerados na obtenção da solução. Para obter estas coordenadas recorreu-se a uma conta de demonstração do *software* Routyn. Este é um sistema de planeamento e otimização de rotas de veículos desenvolvido pela Wide Scope, a empresa que colaborou com o presente projeto. Este *software* permitiu ter um melhor conhecimento acerca do problema e da sua dinâmica.

Por fim, foi necessário recuperar informação que estava incompleta em alguns pedidos, nomeadamente tipo de serviço, data mais tarde em que é possível realizar o serviço (necessária para obter o seu *rank*) e data de criação no sistema (que define se o pedido é antecipado ou imediato).

Era conhecida a existência de 87 pedidos antecipados e 39 pedidos imediatos. Existiam 32 pedidos cujo dia e hora em que foram recebidos eram desconhecidos. Com base na literatura,

sabe-se que problemas de distribuição de serviços de gás líquido são exemplos de aplicação de problemas fracamente dinâmicos, em que pelo menos 80% dos pedidos são conhecidos a priori.

Na tentativa de classificar os 32 pedidos cujo tipo era desconhecido, calculou-se o *dod* considerando todos os pedidos desconhecidos como antecipados:

$$(4.1) \quad dod = \frac{39}{158} = 24,7\%$$

O grau de dinamismo obtido é de aproximadamente 25% o que classifica o problema entre os fracamente e moderadamente dinâmicos. Sabendo que problemas neste setor de atividade são frequentemente exemplos de problemas fracamente dinâmicos, considerar uma parte dos pedidos desconhecidos como imediatos tornaria o grau de dinamismo ainda maior. Por esta razão, no âmbito deste projeto, optou-se por considerar como antecipados os 32 pedidos de tipo desconhecido.

4.2 Descrição dos dados

No dia 15 de abril de 2021, a empresa empregava 18 técnicos dos quais 10 estavam disponíveis como apresentado na Tabela 4.2. Destes 10 técnicos, 5 têm habilitação para realizar terapêuticas médicas complementares (CMT), sendo na indústria identificados como “Ventilação” ou VENT. Os restantes 5 são identificados como TI, “oxigênio” ou OXIG.

Os técnicos entram ao serviço entre as 8h e as 11h, trabalham nove horas incluindo pausa de uma hora para almoço (por volta das 14h) e saem entre as 17h e as 20h, caso não realizem horas extra.

No início do dia já existem rotas planeadas com serviços antecipados agendados (Tabela 4.2). A distribuição dos pedidos não foi feita de forma uniforme pelos técnicos disponíveis. A cerca de 30% dos técnicos é-lhes atribuído no máximo 4 pedidos, a cerca de 50% dos técnicos no máximo 7 pedidos e a cerca de 80% dos técnicos no máximo 12 pedidos. O técnico com mais pedidos agendados para o dia é o TI – J, com 19 pedidos, e no extremo oposto encontra-se o CMT - Q com apenas 2 pedidos agendados no início do dia.

Existem dois motivos que podem explicar as discrepâncias no planeamento das rotas: i) restrição imposta pela empresa, que agrupa os pedidos com base na proximidade geográfica e apenas permite que um determinado grupo de técnicos os visite; ii) nível de produtividade: a cada técnico é atribuída uma pontuação que se traduz na probabilidade de aceitar pedidos (técnicos com maior produtividade, que em média trabalham mais horas, estão mais predispostos a não recusar novos pedidos). Esta informação não consta nos dados fornecidos pela empresa apesar de ser conhecida a sua existência.

Tabela 4.2 - Resumo das rotas planeadas no início do dia.

ID Técnico	Tipo de técnico	Disponível	Horário de entrada	Horário de saída	Nº de serviços antecipados agendados
CMT - A	VENT	Não	11:00	20:00	0
CMT - B	VENT	Sim	08:00	17:00	11
CMT - C	VENT	Sim	08:00	17:00	4
CMT - D	VENT	Sim	08:00	17:00	14
CMT - E	VENT	Não	08:00	17:00	0
CMT - F	VENT	Sim	10:30	19:30	5
CMT - G	VENT	Não	11:00	20:00	0
CMT - H	VENT	Não	08:00	17:00	0
CMT - I	VENT	Não	08:00	17:00	0
TI - J	OXIG	Sim	08:00	17:00	19
TI - K	OXIG	Sim	11:00	20:00	3
TI - L	OXIG	Sim	11:00	20:00	9
TI - M	OXIG	Não	11:00	20:00	0
TI - N	OXIG	Sim	11:00	20:00	5
TI - O	OXIG	Não	08:00	17:00	0
TI - P	OXIG	Não	11:00	20:00	0
CMT - Q	VENT	Sim	08:00	17:00	2
TI - R	OXIG	Sim	11:00	20:00	11

Na Tabela 4.3 consta informação resumida sobre os pedidos antecipados. No dia em estudo, existiam 119 pedidos antecipados, com duração média de serviço de 15 minutos, dos quais 64% tinham *rank* 1 (urgente). Foram agendados para esse dia 70% desses pedidos (83/119), 33% destes ficaram satisfeitos após uma visita e 37% ficaram por satisfazer. A não satisfação destes pedidos pode ter vários motivos, entre os quais: indisponibilidade do cliente, ausência do cliente na sua residência ou falta de peças. A única diferença face a um pedido satisfeito prende-se com a contabilização da duração do serviço na duração da rota, que se assume ser zero.

Tabela 4.3 - Resumo pedidos antecipados.

	Número	%
Número	119	
<i>Rank</i> 1	76	64%
<i>Rank</i> 2	43	36%
Duração média (min)	15,08	
Serviços satisfeitos Após uma visita	39	33%
Serviços por satisfazer Após uma visita	44	37%
Serviços não agendados Após uma visita	36	30%

A Figura 4.1 ilustra a distribuição geográfica dos pedidos antecipados de acordo com as rotas planeadas. A maior concentração de pedidos encontra-se junto ao armazém, destacando-se o técnico TI - J pelo número de pedidos agendados na sua rota.

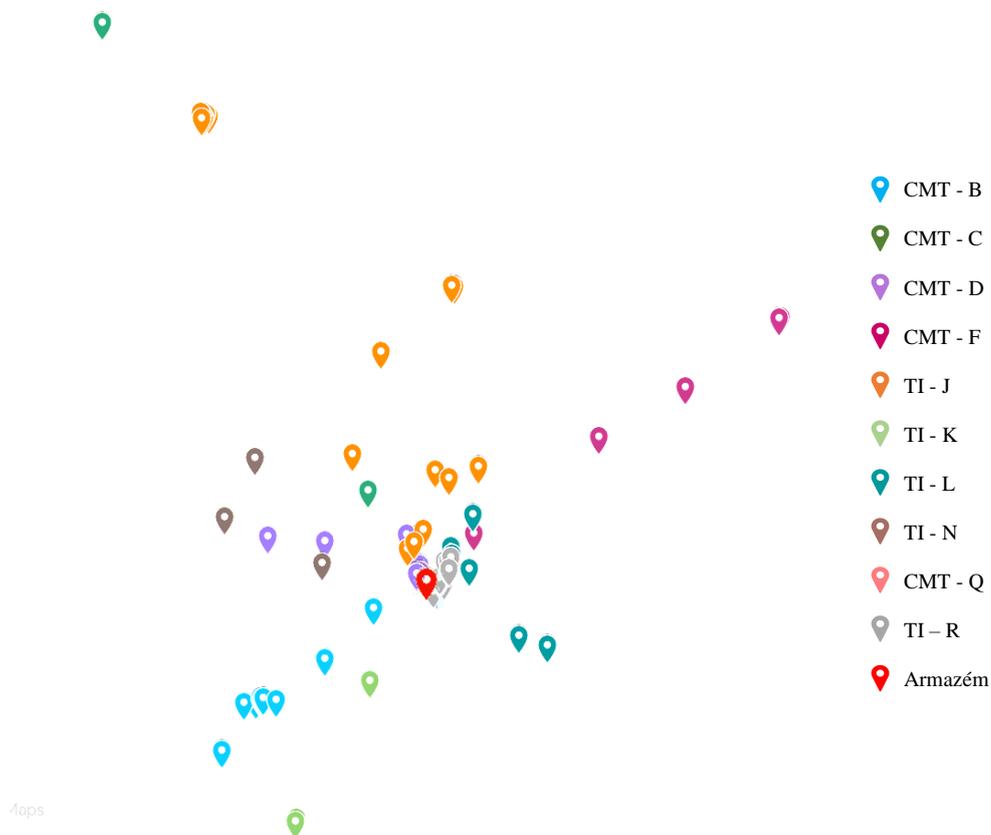


Figura 4.1 - Distribuição geográfica dos pedidos antecipados por rota.

Durante o dia em análise, chegaram 39 novos pedidos com duração média de serviço de 18 minutos (ver Tabela 4.4). Destes pedidos, 95% estavam classificados com *rank* 1 (urgente). Dado que a janela temporal para satisfação destes pedidos é relativamente curta (chegam no próprio dia e precisam de ser satisfeitos nesse mesmo dia) considerou-se que todos eles ficariam satisfeitos após uma visita.

Tabela 4.4 - Resumo pedidos imediatos.

	Número	%
Número	39	
<i>Rank</i> 1	37	95%
<i>Rank</i> 2	2	5%
Duração média (min.)	18,21	
Serviços satisfeitos Após uma visita	39	100%
Serviços por satisfazer Após uma visita	0	0%

A Figura 4.2 ilustra a distribuição geográfica dos pedidos imediatos. Para estes pedidos também existe uma maior tendência para que a sua localização seja próxima do armazém.



Figura 4.2 - Distribuição geográfica dos pedidos imediatos.

Segundo a Tabela 4.5, o tipo de serviço mais recorrente é o de instalação do equipamento concentrador de oxigénio, que deverá ser realizado por um técnico de TI, seguindo-se CPAP e BIPAP controlada, que devem ser realizados por técnicos CMT. Estes serviços representam 84% dos pedidos imediatos e 69% dos pedidos antecipados recebidos pela empresa, estando indicados para o tratamento da apneia do sono e oxigenoterapia, tratamentos com bastante relevância na prescrição de cuidados respiratórios domiciliários.

Tabela 4.5 - Percentagem de cada tipo de serviço nos pedidos.

Tipo de serviço	Tipo de técnico	% Pedidos antecipados	% Pedidos imediatos
Oxigénio concentrador	TI	34%	46%
CPAP	CMT	26%	23%
BIPAP Controlada	CMT	9%	15%
Ventil. não invasiva	CMT	6%	0%
Oxigénio portátil	TI	5%	0%
Oxigénio líquido	TI	5%	0%
Oxigénio garrafas	TI	5%	3%
Aspi. Secrecões	CMT	3%	0%
Ventil. invasiva	CMT	2%	0%
Assist. tosse	CMT	1%	0%
Aerossolterapia	CMT	1%	5%
Oxímetro de pulso	CMT	1%	0%
AUTOCPAP	CMT	1%	0%
Poligrafia Domic.	CMT	0%	8%

Nos anexos A1 e A2 encontra-se informação detalhada sobre cada um dos pedidos antecipados e imediatos, respetivamente.

Como já foi referido, neste caso de estudo o *dod* do problema é de 25%, isto é, um problema que se pode considerar na fronteira entre o fracamente e o moderadamente dinâmico.

No entanto, dada a relevância de ter em consideração também os tempos de chegada de cada um dos pedidos imediatos na classificação do grau de dinamismo do problema, em seguida apresenta-se o cálculo do *edod* para o problema em estudo. Para o qual, foram assumidos os seguintes pressupostos:

- As rotas são planeadas até às 23:59 do dia 14/04/2021. Logo todos os pedidos antecipados são recebidos no máximo até ao instante 0, que corresponde às 23:59 do dia 14/04/2021;
- Os pedidos imediatos são recebidos entre 00:00 e as 21:30 do dia 15/04/2021.

Assim,

$$(4.2) \quad n_{imm} = 39$$

$$(4.3) \quad n_{tot} = 158$$

$$(4.4) \quad T \text{ (horas)} = 15/04/2021 \text{ 21:30} - 15/04/2021 \text{ 00:00} = 21.5 \text{ h}$$

$$(4.5) \quad \sum_{i=1}^{39} t_i = 424.7^4$$

$$(4.6) \quad edod = \frac{\sum_{i=1}^{n_{imm}} t_i}{n_{tot} T} = \frac{\sum_{i=1}^{39} t_i}{158 \cdot 21.5} = \frac{424.7}{158 \cdot 21.5} = 0.13, \quad 0 < edod < 0.25$$

O grau de dinamismo efetivo do problema é de 13%. Para problemas moderadamente dinâmicos tem-se $0.3 \leq edod < 0.8$, com $edod \in [0, 1]$. Uma vez que $edod < 30\%$, o problema em estudo é classificado como fracamente dinâmico, apesar do *dod* apresentado anteriormente.

Com o objetivo de testar se diferentes variações desta medida têm influência sobre os resultados obtidos, no que diz respeito aos custos de distribuição e nível de serviço foram considerados dois cenários adicionais: 1) maior incidência de chegada de novos pedidos no início do horizonte temporal; 2) maior incidência de chegada de novos pedidos no fim do horizonte temporal.

Assumindo os mesmos pressupostos enunciados anteriormente, temos os seguintes valores para os cenários 1 e 2:

$$(4.7) \quad \sum_{i=1}^{39} t_i^{Cen1} = 220.6^5$$

$$(4.8) \quad \sum_{i=1}^{39} t_i^{Cen2} = 649.8^6$$

⁴ Instante de chegada para cada pedido imediato (em horas) no anexo A.

⁵ Instante de chegada para cada pedido imediato (em horas) no anexo A.

⁶ Instante de chegada para cada pedido imediato (em horas) no anexo A.

$$(4.9) \quad edod^{Cen1} = \frac{220.6}{21.5} = 0.06, \quad 0 < edod^{Cen1} < 0,25$$

$$(4.10) \quad edod^{Cen2} = \frac{649.8}{21.5} = 0.19, \quad 0 < edod^{Cen2} < 0,25$$

Para os dados reais o resultado de *edod* obtido traduz-se numa maior concentração de receção de novos pedidos sensivelmente a meio do horizonte temporal (13%). Para o cenário 1 foi obtido um *edod* de 6%, que se traduz numa concentração maior de receção de novos pedidos entre as 00h00 e as 12h00. No cenário 2, apresenta-se um valor de 19% para a mesma medida, que se traduz na chegada de maior número de pedidos entre as 12h00 e as 21h30.

Para visualizar e compreender de melhor forma a diferença entre os três cenários foi elaborada a Figura 4.3. Considera-se o cenário 1 mais estático face aos restantes (*edod* mais próximo de 0) e o cenário 2 o mais dinâmico (*edod* mais próximo 1).

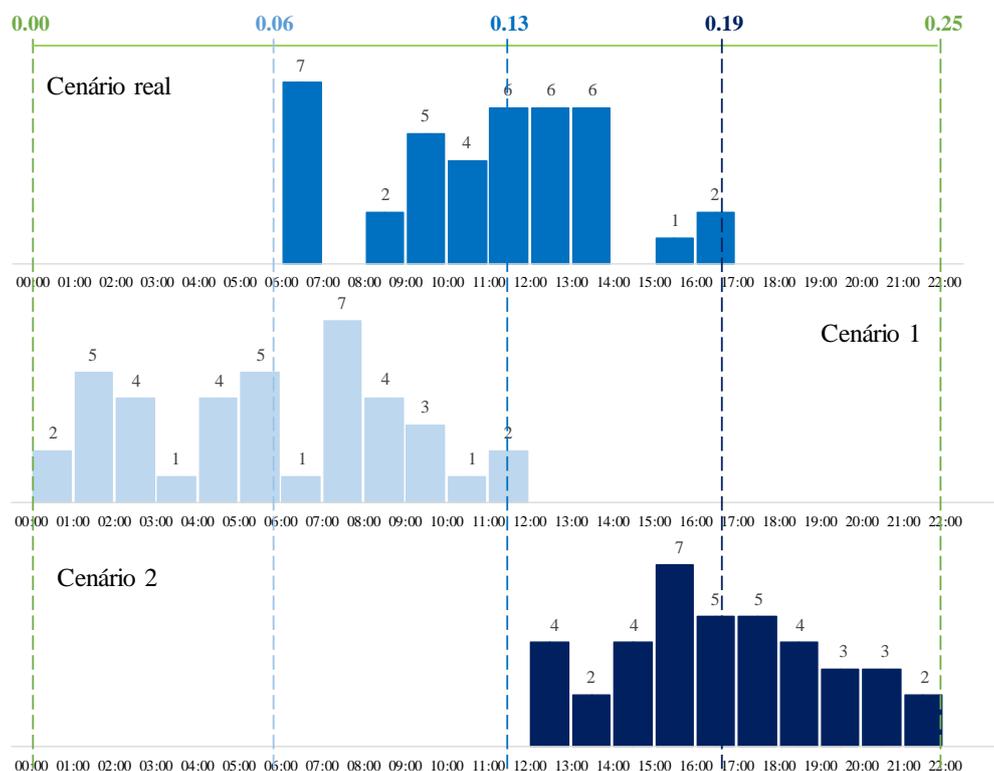


Figura 4.3 – Distribuição temporal dos pedidos imediatos para os cenários real, 1 e 2.

Adicionalmente, foi construído um terceiro cenário, no qual são considerados dois turnos de 8h para os técnicos que colaboram na empresa:

- Turno 1 – das 8h às 17h (com pausa de 1h para almoço a partir das 14h);
- Turno 2 – das 13h às 22h (com pausa de 1h para jantar às 19h).

Para a atribuição dos técnicos a cada turno partiu-se do seguinte pressuposto, apenas para os técnicos disponíveis no dia em questão (ver Tabela 4.2):

- Turno 1 (8:00 – 17:00): técnicos que entram às 8h no cenário real (CMT - B, CMT - C, CMT - D, TI - J, CMT - Q);
- Turno 2 (13:00 – 22:00): técnicos que entram depois das 8h no cenário real (CMT - F, TI - K, TI - L, TI - N e TI - R).

Neste cenário são considerados os tempos de chegada dos novos pedidos correspondentes ao caso real. Pretende-se compreender se em termos de custos de distribuição e nível de serviço existem vantagens em elaborar um mapa de horários por turno diferente do atual praticado pela empresa.

Os resultados extraídos destes quatro cenários podem trazer conhecimento relevante para o modo de operação, planeamento de rotas e gestão de recursos da empresa.

Capítulo 5

Método de resolução

Neste capítulo descrevem-se os dois métodos usados para a obtenção das soluções admissíveis para o problema em estudo aplicados em duas fases do projeto. Na Fase I a inserção dos novos pedidos (imediatos) que chegam durante o dia não altera a ordem pela qual os pedidos são realizados nas rotas originais. Nesta fase recorre-se a uma heurística construtiva baseada na heurística inserção de menor custo. Na Fase II aplica-se à solução obtida na fase construtiva uma heurística de melhoramento local 2-optimal, nesta fase é permitida a alteração da ordem pela qual os serviços são realizados.

O problema em estudo classifica-se como um VRP Dinâmico e Determinístico com consolidação (Bektaş, Repoussis, & Tarantilis, 2014) que é caracterizado por parcial ou total incerteza. A reotimização das rotas só pode ser realizada à medida que nova informação fica disponível. É permitida a consolidação de vários pedidos pelo mesmo veículo, o que torna crucial a necessidade de sequenciar de forma adequada os pedidos nas rotas planeadas. Neste estudo, o problema não tem janelas temporais, mas tem tempo limite.

A Fase I consiste numa heurística de inserção de menor custo para o TSP aplicada a cada uma das rotas. Nesta heurística, começa-se com um circuito já existente e pretende-se inserir um novo pedido. Para esse pedido, calcula-se o custo de inserção entre cada par de clientes já presentes no circuito e é escolhida a posição cujo custo de inserção é menor. Este processo repete-se para todas as rotas admissíveis, isto é, cujos técnicos se encontrem disponíveis e o seu perfil seja adequado ao tipo de serviço, e escolhe-se a rota e a inserção que corresponde ao menor custo.

O principal objetivo é minimizar a duração total da rota medida em número de horas de trabalho, que se traduz na minimização de custos de distribuição. Considera-se que os técnicos podem realizar horas extra dado que na solução real (fornecida pela empresa) também constatava a realização de horário extra laboral. Assume-se que é permitido realizar horas extra até ao fim da janela temporal dos pacientes e sem limite de número de horas por técnico, não sendo considerada penalização na função objetivo.

Apresentam-se de seguida várias condições e pressupostos a que deve obedecer a construção das rotas:

1. A janela temporal dos serviços é das 8h às 22h.
2. Cada técnico pode realizar horas extra ao seu horário laboral desde que ainda esteja em serviço.
3. Cada técnico tem definido o seu horário de entrada, sendo que pode começar a trabalhar a partir das 8h.
4. O horário de saída de cada técnico depende da hora a que começa a trabalhar. Os técnicos podem terminar o seu turno quando completam 8 horas de trabalho, ou seja, ao fim de 9 horas contabilizando uma hora de pausa para almoço.
5. Os técnicos devem regressar ao armazém no máximo até às 22h;

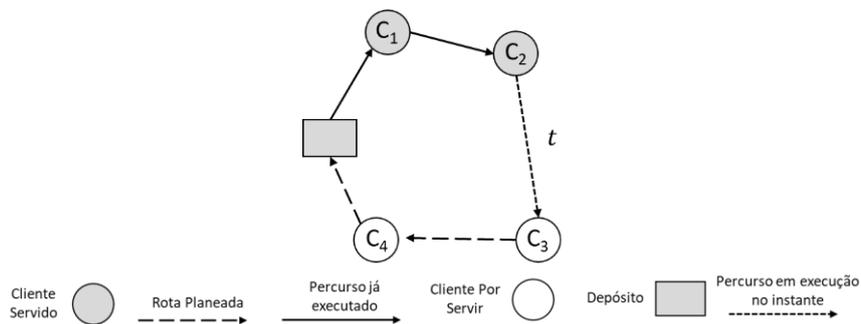


Figura 5.2 - Rota no instante t_r .

Esse novo pedido pode ser satisfeito entre C_3 e o armazém (Depósito), tendo duas possibilidades de inserção entre C_3 e C_4 ou entre C_4 e o armazém. Calcula-se a sua inserção na parte da rota que ainda falta ser executada de modo a minimizar o tempo total da rota.

Suponhamos que o local de inserção que minimiza o tempo total da rota é entre C_3 e C_4 . Tem-se então a rota representada na Figura 5.3.

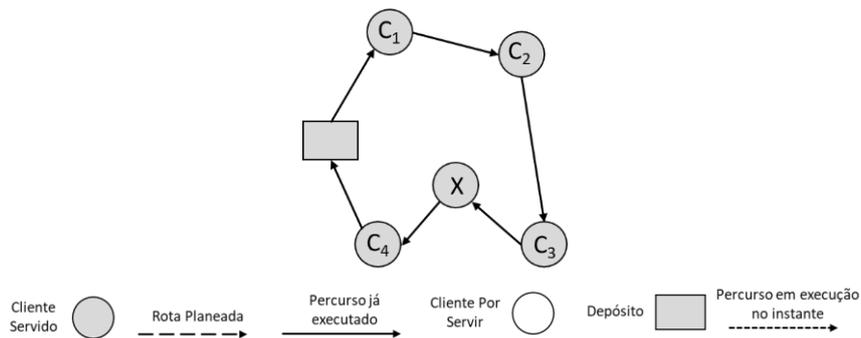


Figura 5.3 - Rota no instante t_T .

Quando entra um novo pedido no sistema, é identificada a posição do técnico à hora da chegada desse pedido, podendo ocorrer uma de três situações:

- Se o novo pedido chega antes da hora de entrada do técnico, considera-se a rota completa;
- Se o técnico está a caminho da casa do cliente i ou já se encontra nessa posição, é considerada a parte da rota que começa no cliente i ;
- Se o novo pedido chega e o técnico já realizou todos os pedidos agendados e ainda não cumpriu 8h de trabalho, significa que se encontra no armazém a aguardar. Neste caso considera-se a saída do armazém para casa do novo cliente e o regresso ao armazém. É contabilizado na duração da rota o tempo que o técnico esteve no armazém à espera de um novo pedido.

Exemplo 2

Neste exemplo serão ilustrados os vários casos possíveis que ocorrem quando entra um novo pedido no sistema.

Considere-se a seguinte rota (A, B, C, D, A) onde A representa o armazém:

- Para simplificar não é considerada a hora de almoço;
- Considera-se o número de horas de trabalho mínimo de 75 minutos;
- A matriz de tempos entre clientes e entre o armazém e os clientes e a duração de cada serviço em casa do cliente encontram-se na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2, respetivamente.

Tabela 5.1 - Matriz de tempos, em minutos.

	A	B	C	D
A	0	20	6	10
B	5	0	3	5
C	6	15	0	7
D	5	10	5	0

Tabela 5.2 - Tempo de serviços, em minutos.

ID	Tempo de Serviço
A	5
B	10
C	15
D	6

Caso 1

Considere-se que o técnico da rota acima começa a trabalhar às 8h e o pedido chega às 8h10 (10 minutos depois). Posição do técnico: $t_{AB} = 20 > 10$, o técnico encontrava-se a caminho do cliente B e ainda não tinha cumprido 75 minutos de trabalho:

Considere-se a rota (B, C, D, A)

Possibilidades de inserção: $\{(B, C), (C, D), (D, A)\}$.

Calculam-se os custos de inserção e insere-se o novo pedido entre os pedidos a que corresponde o valor mínimo.

Caso 2

Considere-se que o técnico da rota acima começa a trabalhar às 9h e o pedido chega às 8h10 (50 minutos antes). Considera-se a rota completa (A, B, C, D, A) . O técnico ainda não tinha cumprido 75 minutos de trabalho.

Possibilidades de inserção: $\{(A, B), (B, C), (C, D), (D, A)\}$

Calculam-se os custos de inserção e insere-se o novo pedido entre os pedidos a que corresponde o valor mínimo.

Caso 3

Considere-se que o técnico da rota acima começa a trabalhar às 8h e o pedido chega às 8h40 (40 minutos depois). Posição do técnico: $t_{AB} + s_B + t_{BC} + s_C = 20 + 10 + 3 + 15 = 48 > 40$, o técnico encontrava-se no domicílio do cliente C e ainda não tinha cumprido 75 minutos de trabalho.

Considera-se a rota (C, D, A)

Possibilidades de inserção: $\{(C, D), (D, A)\}$

Calculam-se os custos de inserção e insere-se o novo pedido entre os pedidos a que corresponde o valor mínimo.

Caso 4

Considere-se que o técnico da rota acima começa a trabalhar às 8h e o pedido chega às 9h10 (70 minutos depois). Posição do técnico: $t_{AB} + s_B + t_{BC} + s_C + t_{CD} + s_D + t_{DA} = 20 + 10 + 3 + 15 + 7 + 6 + 5 = 66 < 70$. O técnico encontra-se no armazém. Contabilizamos para o tempo de rota o tempo de espera no armazém.

Tempo da rota: *tempo atual + tempo de espera no armazém até ao novo pedido* = $66 + (70 - 66) = 66 + 4 = 70$. O técnico ainda não tinha cumprido 75 minutos de trabalho.

Considera-se a rota $(A, novo\ pedido, A)$

Caso 5

Considere-se que o técnico da rota acima começa a trabalhar às 8h e o pedido chega às 9h20 (80 minutos depois). Posição do técnico: $t_{AB} + s_B + t_{BC} + s_C + t_{CD} + s_D + t_{DA} = 20 + 10 + 3 + 15 + 7 + 6 + 5 = 66 < 70$. O técnico encontra-se no armazém. Contabilizamos para o tempo de rota o tempo de espera no armazém.

Tempo da rota: *tempo atual + tempo de espera no armazém até ao novo pedido* = $66 + (80 - 66) = 66 + 14 = 80$. O técnico já cumpriu 75 minutos de trabalho.

Não é possível inserir o novo pedido.

Apresenta-se de seguida o Algoritmo 1, que corresponde à Fase I, ou seja, à heurística de inserção de menor custo.

Algoritmo 1

INPUT: Janela temporal (das 8h às 22h)

Todos os pedidos que chegarem 30 min antes das 22h podem ser realizados nesse dia, caso contrário ficam para o dia seguinte.

Matriz de distâncias $D = [d_{ij}]$ $i, j \in V$ e dos tempos $T = [t_{ij}]$ $i, j \in V$ entre todos os clientes e entre o armazém e os clientes

Rotas existentes no início do dia, tipo de técnico afeto à rota. Informação sobre início do serviço do técnico (em minutos) e hora de almoço prevista (em minutos)

Pedidos imediatos (novos): tipo de serviço, ID, *rank*, hora de chegada, duração do serviço (minutos).

Pedidos antecipados (antigos): tipo de serviço, ID, *rank*, duração do serviço (minutos).

PASSO 1. Para cada novo pedido j , fazer:

$$S_j = \{\text{rotas afetas a técnicos que podem realizar } j\}$$

Para cada rota $K \in S_j$ determinar o primeiro cliente i da rota a partir do qual se pode inserir o novo pedido j .

Para cada par (l, m) de pedidos consecutivos na rota K a partir de i (inclusive) calcular o custo, em termos de tempo, de inserção de j entre l e m , dado por

$$t_{lj} + t_{jm} - t_{lm}$$

Determinar para cada rota $K \in S_j$ o valor e o par a que corresponde o custo mínimo.

Inserir o novo pedido j na rota $K \in S_j$ entre o par (l, m) a que corresponde o menor custo de inserção.

Atualizar o tempo e a sequência de pedidos da rota escolhida.

Repetir PASSO 1 entre as 8h e as 21h30

OUTPUT: Rotas finais, tempos totais e distâncias totais percorridas. Para cada rota, a hora de chegada a casa de cada cliente incluindo hora de chegada ao armazém e número total de horas de trabalho.

Na Fase II, tenta-se melhorar a solução obtida usando o Algoritmo 1, recorrendo a uma heurística 2-optimal. Nesta heurística, dada uma solução admissível, fazem-se trocas de clientes com o objetivo de obter uma solução de menor valor. Para tal, sempre que um pedido imediato é inserido numa rota, aplica-se a heurística 2-optimal. Na Fase II permite-se que a ordem dos pedidos na rota seja alterada.

Defina-se a vizinhança $N_2(K)$, onde K representa a rota parcial depois de inserir um novo pedido.

$N_2(K) = \{p: \text{tal que } p \text{ é uma rota parcial com os mesmos elementos que } K \text{ e difere de } K \text{ no máximo em 2 arestas}\}$

Algoritmo 2

INPUT: Janela temporal (das 8h às 22h)

Todos os pedidos que chegarem 30 min antes das 22h podem ser realizados nesse dia, caso contrário ficam para o dia seguinte.

Matriz de distâncias $D = [d_{ij}]$ $i, j \in V$ e dos tempos $T = [t_{ij}]$ $i, j \in V$ entre todos os clientes e entre o armazém e os clientes

Rotas existentes no início do dia, tipo de técnico afeto à rota. Informação sobre início do serviço do técnico (em minutos) e hora de almoço prevista (em minutos)

Pedidos imediatos (novos): tipo de serviço, ID, *rank*, hora de chegada, duração do serviço (minutos).

Pedidos antecipados (antigos): tipo de serviço, ID, *rank*, duração do serviço (minutos).

Para cada novo pedido j fazer:

PASSO 1. Aplicar Algoritmo 1. Seja K a rota obtida por este algoritmo

PASSO 2. Determinar $N_2(K)$

Seja Q a rota de $N_2(K)$ a que corresponde o custo mínimo

Se $\text{custo}(Q) < \text{custo}(K)$ Fazer $K \leftarrow Q$. Repetir o Passo 2

Caso contrário TERMINA

PASSO 3. Atualizar a sequência de pedidos da rota K .

OUTPUT: Rotas finais, tempos totais e distâncias totais percorridas. Para cada rota, a hora de chegada a casa de cada cliente incluindo hora de chegada ao armazém, número total de horas de trabalho e número de melhorias em cada iteração.

Capítulo 6

Resultados computacionais

Neste capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos na Fase I e II do Projeto comparando os diferentes cenários construídos no que diz respeito a custos de distribuição e nível de serviço.

Os resultados computacionais foram obtidos num computador com processador Intel ® Core™ i3-4130 CPU @ 3.40GHz e memória RAM de 8GB. A versão utilizada do Software Python é 3.9.5.

Na Figura 6.1 encontra-se a legenda das tabelas que refletem as soluções obtidas, onde se encontram os principais resultados que serviram de base para a comparação. Importa referir que os técnicos apenas ficam indisponíveis para receber novos pedidos quando cumprem 9 horas de trabalho, até lá, assume-se que estes se encontram em espera no armazém disponíveis para que lhes possam ser atribuídos novos pedidos. O número total de horas de trabalho apresentado inclui tempos de deslocação, duração dos serviços, pausa para refeição e tempos de espera em armazém entre pedidos (caso existam). Não estão incluídos os tempos de espera em armazém após o último pedido servido.



Figura 6.1 - Legenda resultados obtidos.

As rotas previamente planeadas pela empresa no início do dia encontram-se resumidas na Tabela 4.2. Nestas rotas apenas estão contidos pedidos antecipados. Ao longo do dia foram recebidos vários pedidos imediatos que de acordo com o método habitual foram inseridos nas rotas dos técnicos. A solução obtida foi facultada pela empresa para a presente análise e será denominada por solução real ou S^0 .

Na Tabela 6.1, encontra-se de forma resumida a solução real, isto é, a solução facultada pela empresa. Neste planeamento foi possível inserir 29 dos 39 pedidos recebidos, tendo sido realizadas 112 visitas a clientes com tratamento prescrito de CRD percorrendo um total de 2 840 km. Nem todos os técnicos cumpriram as 9 horas de trabalho, tendo três dos dez técnicos realizado menos de 6 horas de trabalho. Houve, no entanto, necessidade de 2 técnicos realizarem horas extra tendo no seu conjunto trabalhado 7:18 horas para além do seu horário laboral. O detalhe do planeamento de cada rota encontra-se no anexo B1.

Tabela 6.1 - Resumo das rotas planejadas para cada técnico obtidas na solução real.

Solução real

15-04-2021

 10/18
  112/158
  29/39
  2 840 km
  74h39m
  07h18m

ID Técnico	Partida	Chegada	Almoço					
CMT - B	08:00	12:39		12	1	184,5	4:36	0:00
CMT - C	08:00	18:32	14:11 - 15:11	7	3	548,7	10:32	1:32
CMT - D	08:00	15:20	14:00 - 15:00	15	1	170,5	7:20	0:00
CMT - F	10:30	16:58	14:00 - 15:00	6	1	295,2	6:28	0:00
TI - J	08:00	22:46	14:00 - 15:00	24	5	885,2	14:46	5:46
TI - K	11:00	17:10	14:01 - 15:01	7	4	222,9	6:10	0:00
TI - L	11:00	18:30	14:17 - 15:17	13	4	249,4	7:30	0:00
TI - N	11:00	15:58	14:00 - 15:00	6	1	201,9	4:58	0:00
CMT - Q	08:00	13:33		7	5	37,0	5:33	0:00
TI - R	11:00	17:46	14:00 - 15:00	15	4	43,7	6:46	0:00

Na Fase I do projeto, partiu-se das rotas originais planejadas pela empresa no início do dia e foram inseridos os novos pedidos pela ordem de chegada. No caso de não existirem rotas com folga disponível para inserção de um novo pedido é dada prioridade a pedidos de *rank* 1. A decisão de inserção destes pedidos foi realizada recorrendo ao algoritmo 1, não alterando a ordem pela qual os serviços são realizados nas rotas originais.

Pela análise da Tabela 6.2 onde se encontra a solução S^1 obtida na Fase I considerando o cenário real, verifica-se que ao longo do dia foi possível inserir todos os pedidos imediatos (39) nas rotas dos dez técnicos disponíveis. No total, foram visitados 122 clientes, percorridos 2 695 km e realizadas 72 horas de trabalho, das quais 5:17 horas correspondem a horas extra. Houve apenas necessidade de dois técnicos realizarem horas extra, para além das 9 horas de trabalho diário. O técnico que realizou mais pedidos visitou um total de 25 clientes, percorrendo cerca de 530 km. No extremo oposto, encontra-se um técnico que apenas realizou 5 pedidos, percorrendo um total de 29 km. O detalhe do planeamento de cada rota encontra-se no anexo B2.

Tabela 6.2 - Resumo das rotas planejadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário real.

Solução Cenário real

15-04-2021

 10/18
  122/158
  39/39
  2 695 km
  72h03m
  05h17m

ID Técnico	Partida	Chegada	Almoço					
CMT - B	08:00	16:28	14:17 - 15:17	14	3	341,8	8:28	0:00
CMT - C	08:00	19:31	14:00 - 15:00	13	9	647,6	11:31	2:31
CMT - D	08:00	16:43	14:26 - 15:26	17	3	212,0	8:43	0:00
CMT - F	10:30	17:22	14:00 - 15:00	7	2	299,4	6:52	0:00
TI - J	08:00	19:46	14:00 - 15:00	25	6	527,9	11:46	2:46
TI - K	11:00	17:03	14:03 - 15:03	7	4	254,7	6:03	0:00
TI - L	11:00	15:40	14:01 - 15:01	11	2	140,7	4:40	0:00
TI - N	11:00	15:50	14:07 - 15:07	6	1	185,0	4:50	0:00
CMT - Q	08:00	09:28	14:00 - 15:00	5	3	29,0	1:28	0:00
TI - R	11:00	18:42	14:00 - 15:00	17	6	56,7	7:42	0:00

Na Fase I, para o dia em estudo foram realizadas várias adaptações, apresentadas no Capítulo 4, face aos dados disponíveis. Não existe informação em tempo real acerca de decisões tomadas pelos técnicos partindo-se do pressuposto de que realizam o horário de trabalho completo, estão disponíveis para realizar horas extra e aceitam todos os pedidos que lhes são atribuídos. Em contexto real de trabalho é frequente que existam outras limitações e informação adicional. Por isso, as soluções S^0 e S^1 não podem ser diretamente comparadas.

Na Tabela 6.3 encontra-se a solução obtida na Fase I correspondente ao cenário 1 ($S^{1.1}$) que foi construído com uma maior concentração de novos pedidos pela manhã e por isso mais estático. Todos os pedidos imediatos foram introduzidos nas rotas dos técnicos, tal como na solução S^1 (que corresponde a um problema ligeiramente mais dinâmico). Na solução $S^{1.1}$ são percorridos 2 284 km, realizadas 67:50 horas de trabalho das quais 2:55 horas correspondem a horas extra.

Tabela 6.3 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário 1.

Solução Cenário 1

15-04-2021

 10/18
  122/158
  39/39
  2 284 km
  67h 50m
  02h 55m

ID Técnico	Partida	Chegada	Almoço					
CMT - B	08:00	15:30	14:09 - 15:09	14	3	246,4	7:30	0:00
CMT - C	08:00	15:17	14:00 - 15:00	8	4	399,4	7:17	0:00
CMT - D	08:00	17:12	14:00 - 15:00	19	5	204,7	9:12	0:12
CMT - F	10:30	18:37	14:06 - 15:06	10	5	298,5	8:07	0:00
TI - J	08:00	19:43	14:00 - 15:00	25	6	526,2	11:43	2:43
TI - K	11:00	16:41	14:00 - 15:00	7	4	213,8	5:41	0:00
TI - L	11:00	16:13	14:14 - 15:14	12	3	141,8	5:13	0:00
TI - N	11:00	15:50	14:07 - 15:07	6	1	185,0	4:50	0:00
CMT - Q	08:00	09:28	14:00 - 15:00	5	3	29,0	1:28	0:00
TI - R	11:00	17:49	14:11 - 15:11	16	5	39,7	6:49	0:00

A solução que corresponde ao cenário 2 ($S^{1.2}$) com uma maior concentração de novos pedidos perto do fim da janela temporal encontra-se representada na Tabela 6.4. Nesta solução não foi possível introduzir todos os novos pedidos, apenas 24 destes foram introduzidos. Esta corresponde à solução mais dinâmica com menor tempo de resposta disponível e menos possibilidades de inserção dado que à hora de chegada dos pedidos os técnicos já executaram uma parte significativa das suas rotas. Na solução $S^{1.2}$ são percorridos 2 890 km, realizadas 68:26 horas de trabalho das quais 11:31 horas correspondem a horas extra.

Tabela 6.4 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário 2.

Solução Cenário 2

15-04-2021

 10/18
  107/158
  24/39
  2 890 km
  68h26m
  11h31m

ID Técnico	Partida	Chegada	Almoço					
CMT - B	08:00	21:40	14:00 - 15:00	15	4	577,4	13:40	4:40
CMT - C	08:00	13:13	14:00 - 15:00	5	1	414,4	5:13	0:00
CMT - D	08:00	13:45	14:00 - 15:00	14	0	153,5	5:45	0:00
CMT - F	10:30	21:44	14:00 - 15:00	14	9	463,2	11:14	2:14
TI - J	08:00	21:37	14:00 - 15:00	27	8	710,3	13:37	4:37
TI - K	11:00	15:17	14:00 - 15:00	3	0	201,4	4:17	0:00
TI - L	11:00	15:03	14:00 - 15:00	9	0	140,4	4:03	0:00
TI - N	11:00	15:10	14:00 - 15:00	5	0	159,0	4:10	0:00
CMT - Q	08:00	08:37	14:00 - 15:00	2	0	26,5	0:37	0:00
TI - R	11:00	16:50	14:00 - 15:00	13	2	43,5	5:50	0:00

No Tabela 6.5 apresenta-se a solução do cenário 3 ou S^{1-3} , cuja variável de estudo corresponde ao horário de trabalho dos técnicos, que passam a trabalhar em dois turnos perfazendo 9 horas de trabalho diário. Neste cenário, são agendadas as 39 visitas correspondentes a todos os novos pedidos recebidos para as quais é necessário percorrer 2 682 km num total de 66:54 horas. São realizadas 5:17 horas de trabalho para além das 9h horas definidas para cada técnico diariamente.

Tabela 6.5 - Resumo das rotas planeadas para cada técnico obtidas na Fase I cenário 3.

Solução Cenário 3

15-04-2021

 10/18
  122/158
  39/39
  2 682 km
  66h54m
  5h17m

ID Técnico	Partida	Chegada	Pausa Refeição					
CMT - B	08:00	16:28	14:17 - 15:17	14	3	341,8	8:28	0:00
CMT - C	08:00	19:31	14:00 - 15:00	13	9	647,6	11:31	2:31
CMT - D	08:00	16:43	14:26 - 15:26	17	3	212,0	8:43	0:00
CMT - F	13:00	18:52	19:00 - 20:00	7	2	299,4	5:52	0:00
TI - J	08:00	19:46	14:00 - 15:00	25	6	527,9	11:46	2:46
TI - K	13:00	18:03	19:00 - 20:00	7	4	254,7	5:03	0:00
TI - L	13:00	17:39	19:00 - 20:00	13	4	145,4	4:39	0:00
TI - N	13:00	16:50	19:00 - 20:00	6	1	185,0	3:50	0:00
CMT - Q	08:00	09:28	14:00 - 15:00	5	3	29,0	1:28	0:00
TI - R	13:00	18:34	19:00 - 20:00	15	4	39,7	5:34	0:00

No que diz respeito ao horário dos técnicos, a Figura 6.2 permite ter uma perceção geral das horas de trabalho dos técnicos para cada uma das soluções obtidas.

O técnico TI - J realiza sempre trabalho extraordinário independentemente da solução apresentada. Este técnico é a quem está atribuído um maior número de pedidos no início do horizonte temporal (19 pedidos antecipados), pelo que deverá ser um dos técnicos com melhor desempenho e conseqüentemente mais predisposto a aceitar novos pedidos. Dado que percorre

um elevado número de quilómetros e continua ao serviço, tem maior probabilidade de lhe continuarem a ser atribuídos novos pedidos. O menor custo de inserção corresponde à sua rota várias vezes, sendo-lhe atribuídos entre 6 e 8 pedidos imediatos em cada solução.

A maioria dos técnicos não cumpre 9 horas de serviço, apesar de se assumir que ficam à espera no armazém, podendo-lhes ser atribuídos novos pedidos. Esta discrepância nos horários de trabalho e atribuição de pedidos está relacionada com:

- planeamento das rotas no início do horizonte temporal;
- localização dos serviços. Existe um técnico cuja rota planeada é a que está mais perto dos novos pedidos que vão surgindo;
- não existem mais novos pedidos no dia apesar da disponibilidade dos técnicos.

Em $S^{1.3}$ o número de técnicos a trabalhar em simultâneo diminui consideravelmente, por exemplo, entre as 11h e as 13h em qualquer uma das restantes soluções, existiam 10 técnicos em serviço. Pelo contrário, entre as 20h e as 22h à exceção de técnicos que estivessem a cumprir horas extra não existiam técnicos disponíveis para satisfazer pedidos.

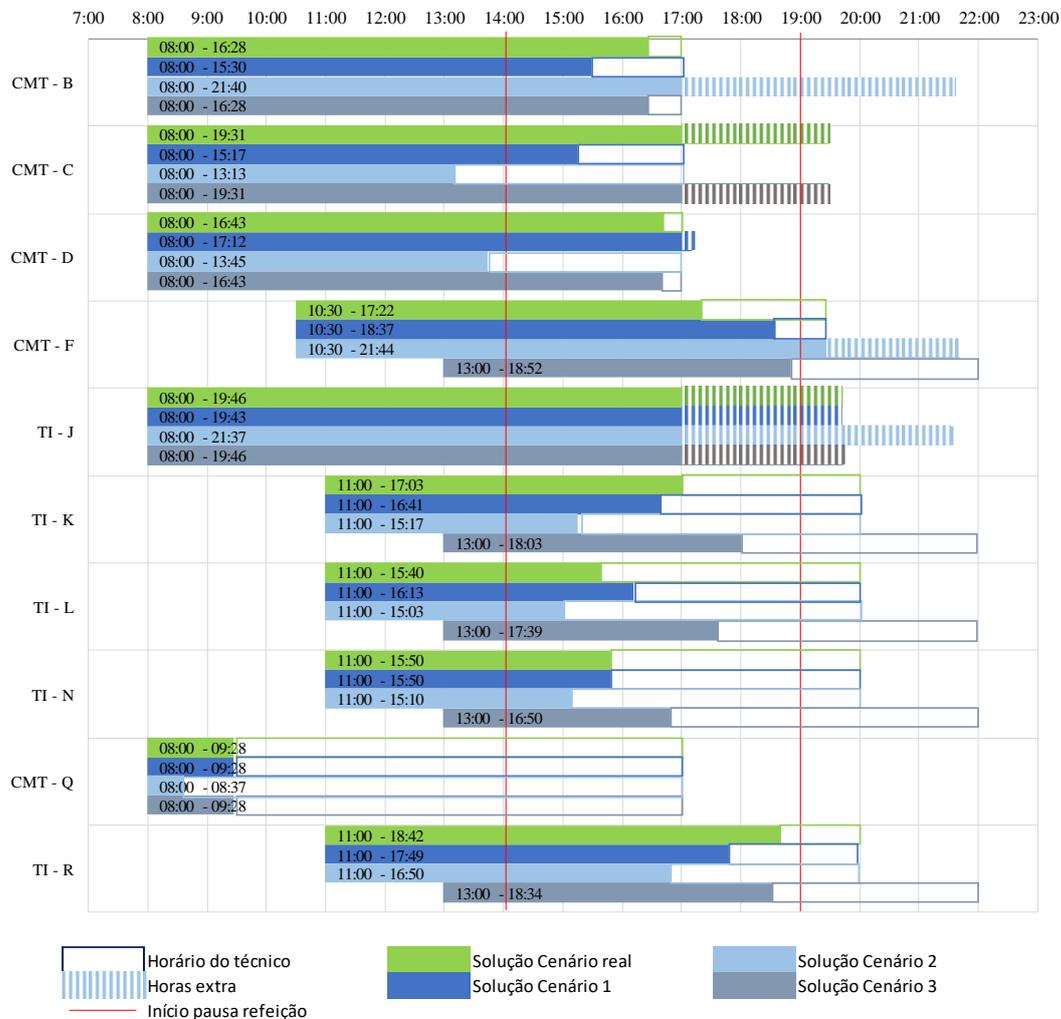


Figura 6.2 – Timeline do horário dos técnicos nas soluções S^1 , $S^{1.1}$, $S^{1.2}$ e $S^{1.3}$.

A Figura 6.3 ilustra o número total de pedidos agendados no fim do horizonte temporal para cada técnico, em cada solução. Todas as soluções partem das mesmas rotas planeadas no início do dia e uma vez que a maioria dos pedidos agendados na rota é antecipado (problema fracamente dinâmico), as soluções apresentadas não apresentam diferenças significativas no que diz respeito ao número total de pedidos agendados.

O técnico TI – J, como referido anteriormente, destaca-se pelo número total de pedidos imediatos atribuídos (entre 25 e 27 no total) nas diversas soluções apresentadas. Em média são atribuídos entre 11 e 13 pedidos a cada técnico, sendo no cenário 2 que frequentemente são atribuídos menos pedidos. Uma vez que este corresponde ao cenário mais dinâmico, existem pedidos que já não podem ser satisfeitos no dia.

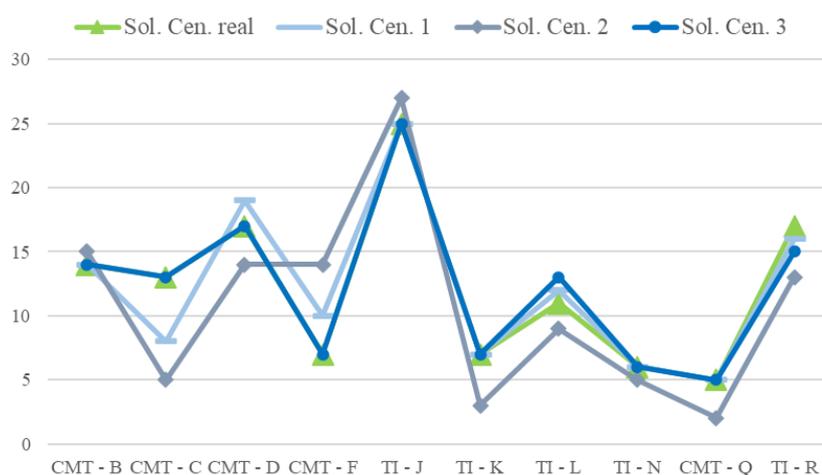


Figura 6.3 - Total de pedidos atribuídos, por técnico em cada solução.

Na Figura 6.4 encontra-se o número de novos pedidos atribuídos a cada técnico ao longo do horizonte temporal para cada uma das soluções apresentadas. São atribuídos novos pedidos a todos os técnicos em todas as soluções à exceção da $S^{1.2}$ em que apenas são atribuídos a quatro técnicos. Para cada cenário, em média são atribuídos entre 2 e 4 novos pedidos a cada técnico. Nesta análise, as diferenças entre as soluções apresentadas são mais visíveis, sendo a $S^{1.2}$ a que apresenta um comportamento mais divergente em relação às restantes.

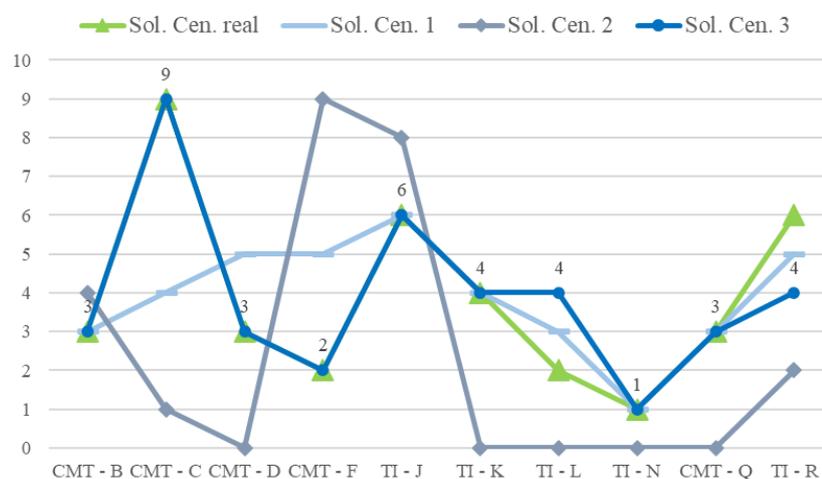


Figura 6.4 – Novos pedidos atribuídos, por técnico, em cada solução.

A Tabela 6.6 compara os resultados obtidos nas soluções para os cenários real, 1, 2 e 3, apresentando as diferenças dos três cenários construídos comparativamente com o cenário real. Os valores entre parênteses representam diferenças negativas.

Em termos da função objetivo considerada (número total de horas de trabalho) verifica-se que o cenário 3 corresponde à melhor solução conhecida. Neste cenário são agendados todos os pedidos imediatos (tal como em S^1) sendo o número de horas de trabalho reduzido em 7% face a S^1 .

O nível de serviço, que se traduz no tempo desde que o novo pedido foi recebido pela central até ao momento em que o técnico realiza a visita ao paciente - tempo médio de espera - também se encontra apresentado na Tabela 6.6.

No cenário 2, os custos de distribuição são menores em 5% e o tempo médio de espera é o menor, de apenas 2:47 horas, no entanto este cenário não é o ideal uma vez que não é possível agendar todos os novos pedidos. Na solução considerando os dados reais o tempo de espera foi de 3:26 horas. É frequente que a minimização dos custos de transporte implique um maior tempo de espera.

No cenário 3, o tempo médio de espera do cliente é de 4h43 superior em 33% face a S^1 , mas razoável para o tipo de serviço prestado. Assim, será vantajoso propor que sejam planeados os horários dos técnicos com escala de rotações e por turnos, havendo sempre técnicos disponíveis em toda a janela temporal dos clientes.

Tabela 6.6 - Comparação de resultados entre as soluções da Fase I para os cenários real, 1, 2 e 3.

	Novos pedidos inseridos	Km percorridos	Nº total horas de trabalho	Nº de horas extra	Tempo de espera médio (Pedidos imediatos)	Tempo de execução em seg.
Cen. real	39	2 695	72:03	5:17	3:26	1,2957
Cen. 1	39	2 284	67:50	2:55	4:49	1,1744
Dif. Cen. 1 vs real	0 0%	(411) (15%)	(4:13) (6%)	(2:22) (45%)	1:23 41%	(0,1213) (9%)
Cen. 2	24	2 890	68:26	11:31	2:47	1,6188
Dif. Cen. 2 vs real	(15) (38%)	195 7%	(3:37) (5%)	6:14 118%	(0:38) (19%)	0,3232 25%
Cen. 3	39	2 682	66:54	5:17	4:43	1,2968
Dif. Cen. 3 vs real	0 0,0%	(13) (0,5%)	(5:09) (7,1%)	0:00 0,0%	1:08 33%	0,0011 0,1%

Na Fase II do projeto foi implementado o algoritmo 2 (heurística 2-optimal) que consiste reotimização da parte da rota que ainda não foi executada sempre que é inserido um novo pedido através do algoritmo 1, tal como descrito no Capítulo 5. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 6.7. Para concretizar todos os serviços agendados para o dia, incluindo os 39 pedidos imediatos, foram percorridos 2 641 km em 71:03 horas de trabalho tendo sido realizadas 6:08 em horas extra. Algumas das rotas foram otimizadas após a inserção de pedidos imediatos (6/10 rotas), sendo 7 o número máximo de melhoramentos realizados. O detalhe do planeamento de cada rota encontra-se no anexo B3.

Tabela 6.7 - Resumo das rotas planejadas para cada técnico obtidas na Fase II.

Solução Fase II

15-04-2021








 10/18 122/158 39/39 2 641 km 71h03m 06h08m

ID Técnico	Partida	Chegada	Almoço						Nº melhoramentos
CMT - B	08:00	16:28	14:16 - 15:16	14	3	341,7	8:28	0:00	2
CMT - C	08:00	21:40	14:00 - 15:00	15	11	754,3	13:40	4:40	1
CMT - D	08:00	15:00	14:00 - 15:00	15	1	146,0	7:00	0:00	4
CMT - F	10:30	17:22	14:00 - 15:00	7	2	299,4	6:52	0:00	
TI - J	08:00	18:28	14:13 - 15:13	25	6	432,1	10:28	1:28	7
TI - K	11:00	17:03	14:03 - 15:03	7	4	254,7	6:03	0:00	
TI - L	11:00	15:40	14:01 - 15:01	11	2	140,7	4:40	0:00	
TI - N	11:00	15:46	14:05 - 15:05	6	1	184,0	4:46	0:00	1
CMT - Q	08:00	09:28	14:00 - 15:00	5	3	29,0	1:28	0:00	
TI - R	11:00	18:38	14:00 - 15:00	17	6	58,8	7:38	0:00	4

A solução obtida na Fase II (S^2) apresenta melhorias para o mesmo número de pedidos agendados, como descrito na Tabela 6.8 onde os valores entre parênteses representam diferenças negativas. O número de quilómetros percorridos decresceu em 2% e o número de horas de trabalho em 1% face à solução obtida em S^1 . Considerando o tempo computacional adicional (inferior a 0,15 segundos), fará sentido aplicar uma heurística de melhoramento. O tempo médio de espera da solução é de 3:42 horas, aumentando em 8% face a S^1 , como previsto uma vez que os custos de distribuição são menores.

Tabela 6.8 - Comparação de resultados entre as soluções da Fase I e II para o cenário real.

	Novos pedidos inseridos	Km percorridos	Nº total de horas de trabalho	Nº de horas extra	Tempo de espera médio (Pedidos imediatos)	Tempo de execução em seg.
Fase I – Cen. real	39	2 695	72:03	5:17	3:26	1,2957
Fase II – Cen. real	39	2 641	71:03	6:08	3:42	1,4374
Dif. Cen. real	0	(54)	(1:00)	0:51	0:16	0,1417
Fase I vs Fase II	0%	(2%)	(1%)	16%	8%	11%

De uma forma geral a minimização do número de horas efetivas de trabalho e de quilómetros percorridos (diretamente proporcionais) - custos de distribuição – implica maior número de horas extra realizadas pelos técnicos e maior tempo médio de espera por parte dos pacientes.

Para o presente problema que se classifica como fracamente dinâmico, poderia ser vantajoso considerar a minimização da soma ponderada dos dois objetivos, custos de distribuição e tempo médio de espera. Neste projeto considerou-se apenas a minimização dos custos de distribuição uma vez que é a medida de desempenho mais frequentemente utilizada neste tipo de problemas fracamente dinâmicos. Para os dados reais verifica-se que todos os pedidos imediatos (*rank* 1 e 2) podem ser satisfeitos e que o tempo médio de espera (inferior a 4 horas) se pode considerar razoável.

Capítulo 7

Conclusões

A qualidade dos serviços prestados pelas empresas de cuidados respiratórios domiciliários na perspectiva dos pacientes mede-se pelo cumprimento de prazos acordados para o início do tratamento, pelo tempo de resposta na resolução de problemas, profissionalismo dos técnicos e apoio prestado.

O objeto de estudo deste projeto tem enfoque no cumprimento de prazos e custos de distribuição. Com o objetivo de satisfazer o maior número de novos pedidos que vão surgindo ao longo do dia minimizando os custos de distribuição foram desenvolvidos e implementados dois algoritmos. No início do dia existem rotas já planejadas que foram fornecidas pela empresa. No algoritmo 1 os novos pedidos foram inseridos nestas rotas usando a heurística de inserção de menor custo. No algoritmo 2 sempre que é inserido um novo pedido através do algoritmo 1 aplica-se a heurística 2-optimal com o objetivo de reotimizar a parte da rota que ainda não foi executada. Estas heurísticas são frequentemente usadas quando se trata de problemas fracamente dinâmicos.

Consideraram-se, além do cenário correspondente aos dados reais, três cenários com o objetivo de testar diferentes realidades que podem ocorrer num dia: um mais estático em que a chegada de novos pedidos concentra-se no início do dia, um mais dinâmico com maior concentração de chegada de novos pedidos mais perto do fim do dia e outro em que os técnicos trabalham em dois turnos ao invés de todos começarem o seu horário de trabalho pela manhã.

No cenário real da Fase I do projeto foi possível inserir todos os pedidos imediatos. Considerou-se este algoritmo um método de obtenção de solução rápido (tempo computacional inferior a 1,3 segundos) e adequado.

Relativamente aos cenários 1 e 2 os resultados obtidos não contrariam o que seria esperado. No caso do cenário 1, um cenário mais estático, aplicando o algoritmo 1 foi possível inserir todos os pedidos imediatos sendo o número de quilómetros e de horas de trabalho reduzido em 15% e 6%, respetivamente, face ao resultado apresentado no cenário real. A empresa poderá alertar e sensibilizar clientes, clínicas e hospitais para que todos os pedidos sejam enviados no máximo até determinada hora do dia, reservando as últimas horas do dia exclusivamente para casos imprevistos e de prioridade máxima. No cenário 2, um cenário mais dinâmico e com maior grau de incerteza, não foi possível visitar 15 dos 39 pacientes que solicitaram o serviço. Tendo em consideração que neste tipo de serviço é sempre preferível realizar um pedido urgente ainda que a empresa tenha que suportar custos acrescidos, este cenário pode ter consequências sérias para a saúde dos pacientes dada a impossibilidade do técnico realizar a visita.

A solução obtida para o cenário 3 pode ser um alerta relativamente à pertinência do horário atual praticado pelos técnicos da empresa. Propôs-se um mapa de horários com escala de rotações e por turnos, havendo sempre técnicos disponíveis em toda a janela temporal dos clientes. Aplicando o algoritmo 1 foram inseridos todos os pedidos imediatos e as rotas obtidas melhoraram em 0,5% e 7% no número de quilómetros percorridos e total de horas de trabalho, respetivamente, face ao resultado obtido para os dados reais.

Na Fase II do projeto foi aplicado o algoritmo 2. Para o mesmo número de novos pedidos agendados (39), o número de quilómetros percorridos teve uma melhoria de 2% e o número de horas de trabalho uma melhoria de 1% comparativamente com a solução para os dados reais na Fase I. Uma vez que a diferença de tempo computacional é inferior a 0,15 segundos, considera-se relevante a utilização de um sistema de reotimização para melhorar a solução inicial tirando vantagem da rapidez das heurísticas de inserção local e do poder dos procedimentos de reotimização em termos de qualidade da solução.

Apesar de não ter sido objetivo deste trabalho uniformizar as rotas dos técnicos, a solução obtida é mais equilibrada em termos de horário extra laboral comparativamente com a solução real. Embora sejam necessários mais testes para viabilizar com maior grau de certeza as conclusões obtidas poderá ser objeto de estudo relevante para a empresa a uniformização do serviço extraordinário dos técnicos dadas as diferenças que existem nas rotas dos técnicos.

A prestação de cuidados respiratórios domiciliários é muito mais do que o fornecimento isolado de oxigénio em casa dos pacientes. É um compromisso de apoio e de promoção constante do seu bem-estar. Com o objetivo de acompanhar a perspetiva do sistema de CRD de entregar maior valor aos pacientes a empresa poderá adaptar alguns dos seus sistemas e regras promovendo acordos de nível de serviço exigentes.

Referências Bibliográficas

- Air Liquide. (2021). Obtido de airliquide.com
- Alves, R., Caneiras, C., Santos, A. I., Barbosa, P., Cardoso, J., Caseiro, P., . . . Escoval, A. (2020). Medical Electronic Prescription for Home Respiratory Care Services (PEM-CRD) at a Portuguese University Tertiary Care Centre (2014–2018): A Case Study. *Sustainability, EISSN 2071-1050, Published by MDPI, 12(23)*, 11.
- APCSD. (21-28 de setembro de 2021). Ciclo de Debates "Presente e futuro dos Cuidados Respiratórios Domiciliários em Portugal". Portugal.
- Bektaş, T., Repoussis, P. P., & Tarantilis, C. D. (2014). Dynamic Vehicle Routing Problems. Em P. Toth, & D. Vigo, *Vehicle Routing: Problems, Methods and Applications*. (pp. 299-347). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics and the Mathematical Optimization Society.
- Bell, W. J., Dalberto, L. M., Fisher, M. L., Greenfield, A. J., Jaikumar, R., Kedia, P., . . . Prutzman, P. J. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces, 13(6)*, 4-23.
- Bent, R. W., & Hentenryck, P. V. (2004). Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers. *Operations Research, 52(6)*, 977-987.
- Benyahia, I., & Potvin, J.-Y. (1998). Decision support for vehicle dispatching using genetic programming. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, 28(3)*, 306-314.
- Bertsimas, D. J., & Ryzin, G. V. (1991). A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the Euclidean plane. *Operations Research, 39(4)*, 601-615.
- Brown, G. G., Ellis, C. J., Graves, G. W., & Ronen, D. (1987). Real time wide area dispatch of Mobil tank trucks. *Interfaces, 17(1)*, 107-120.
- Conselho das Finanças Públicas. (2020). *Evolução Orçamental do Serviço Nacional de Saúde 2013-2019*. Relatório N.º 10/2020. Obtido de https://www.cfp.pt/uploads/publicacoes_ficheiros/cfp-rel-10-2020.pdf
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.-Y., & Taillard, É. (1999). Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching. *Transportation Science, 33(4)*, 381-390.
- Ichoua, S., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2007). Planned route optimization for real-time vehicle routing. Em V. Zempeki, C. D. Tarantilis, G. M. Giaglis, & I. Minis, *Dynamic Fleet Management: Concepts, Systems, Algorithms and Case Studies* (pp. 1-18). Spring Street, New York: Springer.
- Irnich, S., Toth, P., & Vigo, D. (2014). The Family of Vehicle Routing Problems. Em P. Toth, & D. Vigo, *Vehicle Routing: Problems, Methods and Applications* (pp. 1-34). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics and the Mathematical Optimization Society.
- Larsen, A., Madsen, O. B., & Solomon, M. M. (2002). Partially dynamic vehicle routing—models and algorithms. *Journal of the Operational Research Society, 53(6)*, 637-646.

- Larsen, A., Madsen, O. B., & Solomon, M. M. (2007). Classification of Dynamic Vehicle Routing Systems. Em V. Zeimpekis, C. D. Tarantilis, G. M. Giaglis, & I. Minis, *Dynamic Fleet Management: Concepts, Systems, Algorithms and Case Studies* (pp. 19-40). Spring Street, New York: Springer.
- Madsen, O. B., Tosti, K., & Vaelds, J. (1995). A heuristic method for dispatching repair men. *Annals of Operations Research*, 61, 213-226.
- Ministério da Saúde. (2019). *Acesso a cuidados de saúde nos estabelecimentos do SNS e entidades convencionais*. Relatório Anual. Obtido de http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2020/08/Relatorio_Anual_Acesso_2019.pdf
- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Donati, A. V. (2005). Ant Colony System for a Dynamic Vehicle Routing Problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 10(4), 327-343.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 17-41.
- Serviço Nacional de Saúde. (2018). Anual. Obtido de Relatório e contas do Ministério da Saúde e do SNS: http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/10/Relatorio_Contas_MS-SNS_2018.pdf
- VitalAire Portugal. (2021). Obtido de vitalaire.pt

Anexos

A – Input dos dados do problema

A1 – Dados pedidos antecipados

A1.1 – Detalhe dos pedidos antecipados.

ID Cliente	Tipo de serviço	Data mais tarde	Rank	Prioridade	Duração	Data e hora de chegada	Satisfeito Após 1 visita	Agendado
40	sem info.	sem info.	1	sem info.	10	sem info.	não	CMT - C
41	sem info.	sem info.	1	sem info.	25	sem info.	não	CMT - C
42	sem info.	sem info.	1	sem info.	25	sem info.	não	CMT - C
43	sem info.	sem info.	1	sem info.	25	sem info.	não	CMT - C
44	sem info.	sem info.	1	sem info.	20	sem info.	não	CMT - C
45	sem info.	sem info.	1	sem info.	20	sem info.	não	TI - E
46	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - E
47	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	TI - E
48	sem info.	sem info.	1	sem info.	10	sem info.	não	TI - E
49	sem info.	sem info.	1	sem info.	20	sem info.	não	TI - E
50	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - E
51	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - E
52	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - E
53	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	TI - E
54	sem info.	sem info.	1	sem info.	10	sem info.	não	CMT - B
55	sem info.	sem info.	1	sem info.	18	sem info.	não	CMT - A
56	sem info.	sem info.	1	sem info.	18	sem info.	não	CMT - B
57	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	CMT - C
58	sem info.	sem info.	1	sem info.	20	sem info.	não	CMT - D
59	sem info.	sem info.	1	sem info.	20	sem info.	não	TI - E
60	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	TI - F
61	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	TI - G
62	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	TI - H
63	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - G
64	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - G
65	sem info.	sem info.	1	sem info.	5	sem info.	não	TI - G
66	sem info.	sem info.	1	sem info.	10	sem info.	não	TI - G
67	sem info.	sem info.	1	sem info.	18	sem info.	não	TI - G
68	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	TI - G
69	sem info.	sem info.	1	sem info.	30	sem info.	não	TI - J
70	sem info.	sem info.	1	sem info.	15	sem info.	não	CMT - I
71	sem info.	sem info.	1	sem info.	20	sem info.	não	CMT - I
72	Oxigênio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - H

ID Cliente	Tipo de serviço	Data mais tarde	Rank	Prioridade	Duração	Data e hora de chegada	Satisfeito Após 1 visita	Agendado
73	BIPAP Controlada	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	CMT - D
74	Ventil. invasiva	26/04/2021	2	190	30	sem info.	sim	CMT - C
75	BIPAP Controlada	07/05/2021	2	180	25	sem info.	sim	CMT - C
76	BIPAP Controlada	12/05/2021	2	180	25	sem info.	sim	CMT - C
77	BIPAP Controlada	20/04/2021	2	180	25	sem info.	sim	CMT - C
78	BIPAP Controlada	18/05/2021	2	180	25	sem info.	sim	CMT - C
79	BIPAP Controlada	20/04/2021	2	180	25	sem info.	sim	CMT - C
80	BIPAP Controlada	18/05/2021	2	180	25	sem info.	sim	CMT - C
81	Oxigénio garrafas	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - E
82	Oxigénio líquido	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - J
83	Oxigénio garrafas	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - E
84	Oxigénio líquido	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - J
85	Oxigénio líquido	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - H
86	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - J
87	Oxigénio portátil	28/04/2021	2	200	18	sem info.	sim	TI - J
88	CPAP	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	CMT - A
89	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - J
90	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	950	5	sem info.	sim	TI - J
91	Oxigénio garrafas	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - J
92	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - J
93	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - H
94	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - F
95	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - E
96	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - H
97	CPAP	22/04/2021	2	200	5	sem info.	sim	CMT - A
98	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	sem info.	sim	TI - J
99	CPAP	31/12/2022	2	sem info.	15	sem info.	não	CMT - B
100	Ventil. invasiva	31/12/2022	2	190	30	sem info.	não	CMT - B
101	Ventil. não invasiva	02/05/2021	2	190	20	sem info.	não	CMT - C
102	Oxigénio portátil	28/04/2021	2	200	18	sem info.	não	TI - E
103	Oxigénio concentrador	28/04/2021	2	950	5	sem info.	não	TI - E
104	Oxigénio portátil	28/04/2021	2	200	18	sem info.	não	TI - E
105	Oxigénio garrafas	19/04/2021	2	200	10	sem info.	não	TI - E
106	CPAP	28/04/2021	2	200	5	sem info.	não	CMT - D
107	Oxigénio concentrador	23/04/2021	2	950	5	sem info.	não	TI - E
108	Oxigénio concentrador	26/04/2021	2	950	5	sem info.	não	TI - E
109	Oxigénio concentrador	27/04/2021	2	950	5	sem info.	não	TI - E
110	Ventil. não invasiva	27/04/2021	2	1000	20	5/4/21 13:21	não	CMT - C
111	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	20	5/4/21 13:21	sim	TI - G
112	Oxigénio portátil	15/04/2021	1	1000	20	6/4/21 10:00	sim	TI - G
113	AUTOCPAP	15/04/2021	1	1000	15	13/4/21 8:15	sim	CMT - D

ID Cliente	Tipo de serviço	Data mais tarde	Rank	Prioridade	Duração	Data e hora de chegada	Satisfeito Após 1 visita	Agendado
114	CPAP	15/04/2021	1	1000	15	13/4/21 8:24	sim	CMT - D
115	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	14/4/21 10:18	sim	TI - F
116	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	10	14/4/21 11:25	sim	TI - G
117	BIPAP Controlada	15/04/2021	1	1000	30	14/4/21 11:26	sim	CMT - D
118	Aspi. Secreções	15/04/2021	1	1000	5	14/4/21 12:37	sim	CMT - A
119	CPAP	15/04/2021	1	1000	15	14/4/21 12:58	sim	CMT - B
120	Ventil. não invasiva	15/04/2021	1	1000	20	14/4/21 14:23	sim	CMT - A
121	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	20	14/4/21 14:50	sim	TI - J
122	Oxigénio líquido	15/04/2021	1	1000	10	sem info.	sim	TI - F
123	CPAP	16/04/2021	2	200	5	sem info.		
124	CPAP	16/04/2021	2	200	5	sem info.		
125	CPAP	15/04/2021	1	1000	15	sem info.		
126	Aerossolterapia	31/12/2022	2	sem info.	12	sem info.		
127	CPAP	29/08/2021	2	sem info.	15	sem info.		
128	CPAP	29/08/2021	2	sem info.	15	sem info.		
129	CPAP	29/08/2021	2	sem info.	15	sem info.		
130	CPAP	15/04/2021	1	200	5	sem info.		
131	CPAP	15/04/2021	1	1000	30	sem info.		
132	CPAP	08/07/2021	2	sem info.	15	sem info.		
133	CPAP	08/07/2021	2	sem info.	15	sem info.		
134	Oxigénio concentrador	27/05/2021	2	sem info.	20	sem info.		
135	Oxigénio concentrador	27/05/2021	2	sem info.	20	sem info.		
136	Oxigénio concentrador	27/05/2021	2	sem info.	20	sem info.		
137	Oxigénio concentrador	27/05/2021	2	sem info.	20	sem info.		
138	Aspi. Secreções	27/05/2021	2	180	10	sem info.		
139	Oxímetro de pulso	27/05/2021	2	180	10	sem info.		
140	Oxigénio concentrador	03/06/2021	2	sem info.	20	sem info.		
141	CPAP	15/04/2021	1	1000	30	sem info.		
142	Oxigénio concentrador	25/06/2021	2	sem info.	20	sem info.		
143	CPAP	15/04/2021	1	200	5	sem info.		
144	CPAP	15/04/2021	1	1000	30	sem info.		
145	Oxigénio concentrador	14/07/2021	2	sem info.	20	sem info.		
146	CPAP	15/04/2021	1	1000	30	sem info.		
147	Ventil. não invasiva	15/04/2021	1	200	15	sem info.		
148	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	950	5	sem info.		
149	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	10	sem info.		
150	Aspi. Secreções	15/04/2021	1	1000	10	sem info.		
151	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	950	5	sem info.		
152	Assist. tosse	22/04/2021	2	200	5	sem info.		
153	Ventil. não invasiva	19/04/2021	2	200	15	sem info.		
154	CPAP	22/04/2021	2	200	5	sem info.		

ID Cliente	Tipo de serviço	Data mais tarde	Rank	Prioridade	Duração	Data e hora de chegada	Satisfeito Após 1 visita	Agendado
155	CPAP	22/04/2021	2	200	5	sem info.		
156	Oxigénio concentrador	20/04/2021	2	1000	30	12/4/21 12:28		
157	CPAP	15/04/2021	1	1000	15	14/4/21 11:41		
158	Oxigénio concentrador	15/04/2021	1	1000	15	14/4/21 14:23		

A2 – Dados pedidos imediatos

A2.1 – Detalhe dos pedidos imediatos.

ID Cliente	Tipo de serviço	Data e hora mais tarde	Rank	Prioridade	Duração	Data e hora de chegada	Instante de chegada (horas)	Satisfeito Após 1 visita
1	BIPAP Controlada	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 6:41	6,7	sim
2	BIPAP Controlada	15/04/2021 21:30	1	1000	10	15/4/21 6:41	6,7	sim
3	BIPAP Controlada	15/04/2021 21:30	2	1000	25	15/4/21 6:42	6,7	sim
4	Oxigénio garrafas	15/04/2021 21:30	1	1000	10	15/4/21 6:42	6,7	sim
5	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 6:42	6,7	sim
6	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 6:42	6,7	sim
7	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	10	15/4/21 6:42	6,7	sim
8	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 8:10	8,2	sim
9	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 8:11	8,2	sim
10	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 9:18	9,3	sim
11	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 9:27	9,5	sim
12	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 9:30	9,5	sim
13	Poligrafia Domic.	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 9:31	9,5	sim
14	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 9:34	9,6	sim
15	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	20	15/4/21 10:05	10,1	sim
16	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 10:06	10,1	sim
17	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 10:27	10,5	sim
18	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 10:50	10,8	sim
19	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	20	15/4/21 11:13	11,2	sim
20	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	5	15/4/21 11:14	11,2	sim
21	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 11:15	11,3	sim
22	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	5	15/4/21 11:16	11,3	sim
23	CPAP	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 11:23	11,4	sim
24	Aerossolterapia	15/04/2021 21:30	1	1000	10	15/4/21 11:54	11,9	sim
25	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 12:01	12,0	sim
26	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	2	1000	20	15/4/21 12:01	12,0	sim
27	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 12:15	12,3	sim
28	BIPAP Controlada	15/04/2021 21:30	1	1000	5	15/4/21 12:21	12,4	sim
29	Poligrafia Domic.	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 12:38	12,6	sim
30	Aerossolterapia	15/04/2021 21:30	1	1000	10	15/4/21 12:58	13,0	sim
31	Poligrafia Domic.	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 13:02	13,0	sim
32	BIPAP Controlada	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 13:25	13,4	sim
33	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 13:29	13,5	sim
34	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 13:52	13,9	sim
35	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 13:55	13,9	sim
36	BIPAP Controlada	15/04/2021 21:30	1	1000	20	15/4/21 13:57	14,0	sim
37	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 15:34	15,6	sim
38	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	15	15/4/21 16:13	16,2	sim
39	Oxigénio concentrador	15/04/2021 21:30	1	1000	30	15/4/21 16:45	16,8	sim

A2.2 – Dados distribuição temporal dos pedidos imediatos Cenário 1 e 2.

ID Cliente	Data e hora de chegada (Cenário 1)	Instante de chegada em horas (Cenário 1)	Data e hora de chegada (Cenário 2)	Instante de chegada em horas (Cenário 2)
1	15/04/2021 00:07	0,1	15/04/2021 12:05	12,1
2	15/04/2021 00:28	0,5	15/04/2021 12:51	12,9
3	15/04/2021 01:05	1,1	15/04/2021 12:54	12,9
4	15/04/2021 01:22	1,4	15/04/2021 12:57	13,0
5	15/04/2021 01:31	1,5	15/04/2021 13:10	13,2
6	15/04/2021 01:34	1,6	15/04/2021 13:50	13,8
7	15/04/2021 01:50	1,8	15/04/2021 14:21	14,4
8	15/04/2021 02:10	2,2	15/04/2021 14:40	14,7
9	15/04/2021 02:15	2,3	15/04/2021 14:53	14,9
10	15/04/2021 02:20	2,3	15/04/2021 14:58	15,0
11	15/04/2021 02:30	2,5	15/04/2021 15:01	15,0
12	15/04/2021 03:06	3,1	15/04/2021 15:03	15,1
13	15/04/2021 04:02	4,0	15/04/2021 15:09	15,2
14	15/04/2021 04:10	4,2	15/04/2021 15:28	15,5
15	15/04/2021 04:24	4,4	15/04/2021 15:32	15,5
16	15/04/2021 04:28	4,5	15/04/2021 15:47	15,8
17	15/04/2021 05:14	5,2	15/04/2021 15:56	15,9
18	15/04/2021 05:23	5,4	15/04/2021 16:00	16,0
19	15/04/2021 05:35	5,6	15/04/2021 16:08	16,1
20	15/04/2021 05:51	5,9	15/04/2021 16:31	16,5
21	15/04/2021 05:52	5,9	15/04/2021 16:34	16,6
22	15/04/2021 06:24	6,4	15/04/2021 16:40	16,7
23	15/04/2021 07:09	7,2	15/04/2021 17:06	17,1
24	15/04/2021 07:28	7,5	15/04/2021 17:19	17,3
25	15/04/2021 07:29	7,5	15/04/2021 17:23	17,4
26	15/04/2021 07:37	7,6	15/04/2021 17:41	17,7
27	15/04/2021 07:43	7,7	15/04/2021 17:58	18,0
28	15/04/2021 07:53	7,9	15/04/2021 18:03	18,1
29	15/04/2021 07:55	7,9	15/04/2021 18:04	18,1
30	15/04/2021 08:05	8,1	15/04/2021 18:24	18,4
31	15/04/2021 08:06	8,1	15/04/2021 18:42	18,7
32	15/04/2021 08:10	8,2	15/04/2021 19:17	19,3
33	15/04/2021 08:57	9,0	15/04/2021 19:31	19,5
34	15/04/2021 09:04	9,1	15/04/2021 19:57	20,0
35	15/04/2021 09:42	9,7	15/04/2021 20:05	20,1
36	15/04/2021 09:52	9,9	15/04/2021 20:23	20,4
37	15/04/2021 10:38	10,6	15/04/2021 20:42	20,7
38	15/04/2021 11:23	11,4	15/04/2021 21:20	21,3
39	15/04/2021 11:44	11,7	15/04/2021 21:24	21,4

B – Resultados detalhados das heurísticas

B1 – Solução real

B1.1 – Rota final técnico B.

Técnico | CMT - B
15-04-2021

08:00 - 12:39
Armazém

12/158

1/39

184,5 km

Solução real
4h36m

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:55	18 min	ID: 55 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	82,1 km
#2	08:55	18 min	ID: 56 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#3	09:17	15 min	ID: 9 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	17,7 km
#4	09:38	5 min	ID: 97 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	1,7 km
#5	10:17	15 min	ID: 57 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	7 km
#6	10:41	20 min	ID: 58 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,6 km
#7	10:43	20 min	ID: 59 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,4 km
#8	10:47	15 min	ID: 88 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	1,1 km
#9	11:04	5 min	ID: 118 (8:00 - 22:00)	Aspi. secreção	Sim	0,5 km
#10	11:17	15 min	ID: 60 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	4,8 km
#11	11:39	15 min	ID: 61 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	20,7 km
#12	11:59	20 min	ID: 120 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Sim	21,3 km

B1.2 – Rota final técnico C.

Técnico | CMT - C
15-04-2021

08:00 - 18:32
Armazém

7/158

3/39

548,7 km

Solução real
10h32m

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	09:55	15 min	ID: 99 (8:00 - 22:00)	CPAP	Não	191,7 km
#2	09:55	10 min	ID: 54 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#3	12:24	10 min	ID: 24 (8:00 - 22:00)	Aerossolterapia	Sim	39,4 km
#4	13:56	15 min	ID: 12 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	130,3 km
#5	15:53	30 min	ID: 13 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	52,2 km
#6	17:25	30 min	ID: 100 (8:00 - 22:00)	VENT invasiva	Não	81,6 km
#7	17:55	15 min	ID: 119 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	27,8 km

B1.3 - Rota final técnico D.

Técnico | CMT - D
15-04-2021

08:00 - 15:20
Armazém

15/158

1/39

170,5 km

7h20m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:11	25 min	ID: 75 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	6,2 km
#2	08:43	10 min	ID: 40 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	3,7 km
#3	09:08	30 min	ID: 74 (8:00 - 22:00)	VENT invasiva	Sim	22,7 km
#4	10:04	10 min	ID: 2 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	20 km
#5	10:30	25 min	ID: 41 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	7,3 km
#6	10:30	25 min	ID: 76 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km
#7	11:03	25 min	ID: 77 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	3,5 km
#8	11:28	25 min	ID: 78 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km
#9	11:58	25 min	ID: 79 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	1,3 km
#10	12:23	25 min	ID: 80 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km
#11	12:54	25 min	ID: 42 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km
#12	12:54	25 min	ID: 43 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#13	13:19	20 min	ID: 101 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Não	28,1 km
#14	13:27	20 min	ID: 110 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Não	6 km
#15	13:48	20 min	ID: 44 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	22 km

B1.4 - Rota final técnico F.

Técnico | CMT - F
15-04-2021

10:30 - 16:58
Armazém

6/158

1/39

295,2 km

6h28m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	10:56	15 min	ID: 114 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	28 km
#2	11:28	15 min	ID: 5 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	9,7 km
#3	13:00	30 min	ID: 117 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	109,6 km
#4	13:36	15 min	ID: 113 (8:00 - 22:00)	AUTOCPAP	Sim	1,4 km
#5	15:21	15 min	ID: 73 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	37,3 km
#6	16:05	5 min	ID: 106 (8:00 - 22:00)	CPAP	Não	33,7 km

B1.5 - Rota final técnico J.

Técnico | TI - J
15-04-2021

08:00 - 22:46
Armazém

24/158

5/39

885,2 km

14h46m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:18	10 min	ID: 83 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	14,3 km
#2	08:45	20 min	ID: 45 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	8,2 km
#3	09:08	5 min	ID: 46 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	21,6 km
#4	09:16	15 min	ID: 47 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	4,9 km
#5	09:27	10 min	ID: 105 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Não	9 km
#6	09:27	10 min	ID: 48 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#7	10:19	15 min	ID: 95 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	54,8 km
#8	10:38	5 min	ID: 108 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	0,8 km
#9	10:41	20 min	ID: 49 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,7 km
#10	10:45	5 min	ID: 107 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	0,8 km
#11	11:16	15 min	ID: 18 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	26,5 km
#12	12:41	18 min	ID: 102 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Não	110,8 km
#13	15:04	20 min	ID: 19 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	132,8 km
#14	16:46	5 min	ID: 50 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	133,9 km
#15	16:55	5 min	ID: 51 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	2,6 km
#16	17:00	5 min	ID: 52 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,1 km
#17	17:04	5 min	ID: 103 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	1,2 km
#18	17:11	18 min	ID: 104 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Não	1,7 km
#19	18:44	30 min	ID: 35 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	142,4 km
#20	19:45	5 min	ID: 109 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	33,7 km
#21	20:15	10 min	ID: 81 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	33,7 km
#22	20:32	10 min	ID: 4 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	3,6 km
#23	21:31	15 min	ID: 53 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	64,8 km
#24	21:38	15 min	ID: 8 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	2,4 km

B1.6 - Rota final técnico K.

Técnico | TI - K
15-04-2021

11:00 - 17:10
Armazém

7/158

4/39

222,9 km

6h10m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:34	10 min	ID: 122 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	44,7 km
#2	12:08	5 min	ID: 20 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	18,3 km
#3	12:18	30 min	ID: 27 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,8 km
#4	12:51	5 min	ID: 22 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,5 km
#5	13:46	15 min	ID: 115 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	56,8 km
#6	15:04	15 min	ID: 94 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,7 km
#7	16:13	15 min	ID: 37 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	38,7 km

B1.7 - Rota final técnico L.

Técnico | TI - L
15-04-2021

11:00 - 18:30
Armazém

13/158

4/39

249,4 km

7h30m

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:24	5 min	ID: 63 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	29,9 km
#2	11:24	5 min	ID: 64 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#3	11:39	5 min	ID: 65 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	13,7 km
#4	11:46	10 min	ID: 66 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	3,2 km
#5	12:01	10 min	ID: 116 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	8,4 km
#6	12:44	20 min	ID: 111 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	37,2 km
#7	13:04	20 min	ID: 112 (8:00 - 22:00)	OXIG portátil	Sim	0 km
#8	13:57	20 min	ID: 26 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	37,2 km
#9	15:17	15 min	ID: 25 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0 km
#10	16:04	18 min	ID: 67 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	33,8 km
#11	16:04	15 min	ID: 68 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#12	16:41	30 min	ID: 34 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	42,4 km
#13	17:37	30 min	ID: 39 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	20,4 km

B1.8 - Rota final técnico N.

Técnico | TI - N
15-04-2021

11:00 - 15:48
Armazém

6/158

1/39

201,9 km

4h58m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:31	15 min	ID: 62 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	37 km
#2	12:11	15 min	ID: 21 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	50,2 km
#3	12:54	15 min	ID: 96 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	31 km
#4	13:29	15 min	ID: 93 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	20,5 km
#5	13:45	10 min	ID: 85 (8:00 - 22:00)	OXIG líquido	Sim	0,3 km
#6	15:01	15 min	ID: 72 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,3 km

B1.9 - Rota final técnico Q.

Técnico | CMT - Q
15-04-2021

08:00 - 13:33
Armazém

7/158

5/39

37,0 km

5h33m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:13	15 min	ID 1 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	10,4 km
#2	08:36	10 min	ID 7 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	4,4 km
#3	08:52	15 min	ID 70 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,6 km
#4	08:56	20 min	ID 71 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km
#5	09:44	15 min	ID 14 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	2,9 km
#6	10:06	15 min	ID 6 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	2,2 km
#7	13:09	10 min	ID 30 (8:00 - 22:00)	Aerossolterapia	Sim	5,9 km

B1.10 – Rota final técnico R.

Técnico | TI - R
15-04-2021

11:00 - 17:46
Armazém

15/158

4/39

43,7 km

6h46m

Solução real

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:09	15 min	ID: 89 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,3 km
#2	11:32	15 min	ID: 86 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	4,2 km
#3	11:51	30 min	ID: 16 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,9 km
#4	12:21	20 min	ID: 15 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,1 km
#5	12:48	10 min	ID: 82 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	3 km
#6	13:01	10 min	ID: 84 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	1,1 km
#7	13:20	15 min	ID: 92 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	3,9 km
#8	13:41	15 min	ID: 98 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,2 km
#9	15:01	18 min	ID: 87 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Sim	1,1 km
#10	15:28	20 min	ID: 121 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	2,3 km
#11	15:56	10 min	ID: 91 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	2 km
#12	16:16	15 min	ID: 11 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	2,5 km
#13	16:41	5 min	ID: 90 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	3,2 km
#14	16:57	30 min	ID: 33 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,2 km
#15	17:31	30 min	ID: 69 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,7 km

B2 – Solução Fase I - Cenário real

B2.1 – Rota final técnico B.

Técnico CMT - B		08:00 - 16:28		Solução Fase I			
15-04-2021		Armazém		14/158	3/39	341,8 km	8h28m
Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	
#1	08:55	18 min	Cliente: 55 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	82,1 km	
#2	08:55	18 min	Cliente: 56 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km	
#3	09:19	5 min	Cliente: 97 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	23,3 km	
#4	09:29	15 min	Cliente: 9 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	1,3 km	
#5	10:14	15 min	Cliente: 57 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,5 km	
#6	10:38	20 min	Cliente: 58 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,6 km	
#7	10:39	20 min	Cliente: 59 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,4 km	
#8	10:44	15 min	Cliente: 88 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	1,1 km	
#9	11:01	5 min	Cliente: 118 (8:00 - 22:00)	Aspi. secreção	Sim	0,5 km	
#10	11:14	15 min	Cliente: 60 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	4,8 km	
#11	11:33	30 min	Cliente: 13 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	19,7 km	
#12	12:07	15 min	Cliente: 61 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km	
#13	12:27	20 min	Cliente: 120 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Sim	21,3 km	
#14	13:47	30 min	Cliente: 29 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	74,3 km	

B2.2 – Rota final técnico C.

Técnico CMT - C		08:00 - 19:31		Solução Fase I			
15-04-2021		Armazém		13/158	9/39	647,6 km	11h31m
Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	
#1	09:55	15 min	Cliente: 99 (8:00 - 22:00)	CPAP	Não	191,7 km	
#2	09:55	10 min	Cliente: 54 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km	
#3	11:43	30 min	Cliente: 100 (8:00 - 22:00)	VENT invasiva	Não	167,1 km	
#4	12:15	15 min	Cliente: 23 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	18,6 km	
#5	13:35	10 min	Cliente: 24 (8:00 - 22:00)	Aerossolterapia	Sim	101 km	
#6	16:06	15 min	Cliente: 12 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	130,3 km	
#7	16:35	15 min	Cliente: 119 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	8,5 km	
#8	16:55	15 min	Cliente: 17 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	1,5 km	
#9	17:22	15 min	Cliente: 10 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	12,2 km	
#10	17:44	15 min	Cliente: 14 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	4,5 km	
#11	18:05	30 min	Cliente: 31 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	1,6 km	
#12	18:45	25 min	Cliente: 3 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	5,4 km	
#13	19:10	10 min	Cliente: 2 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km	

B2.3 – Rota final técnico D.

Técnico | CMT - D
15-04-2021

08:00 - 16:43
Armazém

17/158 3/39 212,0 km 8h43m

Solução Fase I

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:11	25 min	Cliente: 75 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	6,2 km
#2	08:43	10 min	Cliente: 40 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	3,7 km
#3	09:08	30 min	Cliente: 74 (8:00 - 22:00)	VENT invasiva	Sim	22,7 km
#4	09:55	25 min	Cliente: 41 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	10,4 km
#5	09:55	25 min	Cliente: 76 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km
#6	10:28	25 min	Cliente: 77 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	3,5 km
#7	10:53	25 min	Cliente: 78 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km
#8	11:23	25 min	Cliente: 79 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	1,3 km
#9	11:48	25 min	Cliente: 80 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km
#10	12:19	25 min	Cliente: 42 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km
#11	12:19	25 min	Cliente: 43 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#12	12:44	20 min	Cliente: 101 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Não	28,1 km
#13	12:52	20 min	Cliente: 110 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Não	6 km
#14	13:14	5 min	Cliente: 28 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	24 km
#15	13:25	20 min	Cliente: 44 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	4 km
#16	13:56	30 min	Cliente: 32 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	36,5 km
#17	15:57	20 min	Cliente: 36 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	32,2 km

B2.4 – Rota final técnico F.

Técnico | CMT - F
15-04-2021

10:30 - 17:22
Armazém

7/158 2/39 299,4 km 6h52m

Solução Fase I

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	10:56	15 min	Cliente: 114 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	28 km
#2	11:28	15 min	Cliente: 5 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	9,7 km
#3	13:00	30 min	Cliente: 117 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	109,6 km
#4	13:36	15 min	Cliente: 113 (8:00 - 22:00)	AUTOCPAP	Sim	1,4 km
#5	15:21	15 min	Cliente: 73 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	37,3 km
#6	16:05	5 min	Cliente: 106 (8:00 - 22:00)	CPAP	Não	33,7 km
#7	16:57	10 min	Cliente: 30 (8:00 - 22:00)	Aerossolterapia	Sim	71,3 km

B2.5 – Rota final técnico J.

Técnico | TI - J
15-04-2021

08:00 - 19:46
Armazém

25/158

6/39

527,9 km

11h46m

Solução Fase I

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:18	10 min	Cliente: 83 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	14,3 km
#2	08:31	10 min	Cliente: 4 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	0,9 km
#3	08:58	20 min	Cliente: 45 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	8,8 km
#4	09:20	5 min	Cliente: 46 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	21,6 km
#5	09:28	15 min	Cliente: 47 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	4,9 km
#6	09:39	10 min	Cliente: 105 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Não	9 km
#7	09:39	10 min	Cliente: 48 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#8	10:32	15 min	Cliente: 95 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	54,8 km
#9	10:51	5 min	Cliente: 108 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	0,8 km
#10	10:54	20 min	Cliente: 49 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,7 km
#11	10:57	5 min	Cliente: 107 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	0,8 km
#12	12:08	18 min	Cliente: 102 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Não	88,3 km
#13	12:11	5 min	Cliente: 50 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,9 km
#14	12:20	5 min	Cliente: 51 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	2,6 km
#15	12:25	5 min	Cliente: 52 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,1 km
#16	12:29	5 min	Cliente: 103 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	1,2 km
#17	12:35	18 min	Cliente: 104 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Não	1,7 km
#18	13:48	5 min	Cliente: 109 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	110,2 km
#19	15:18	10 min	Cliente: 81 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	33,7 km
#20	15:40	20 min	Cliente: 19 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,5 km
#21	16:42	15 min	Cliente: 53 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	59,3 km
#22	16:52	15 min	Cliente: 18 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	10,8 km
#23	17:17	15 min	Cliente: 8 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	8,6 km
#24	18:12	30 min	Cliente: 39 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	58,5 km
#25	18:53	30 min	Cliente: 35 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,7 km

B2.6 – Rota final técnico K.

Técnico | TI - K
15-04-2021

11:00 - 17:03
Armazém

7/158

4/39

254,7 km

6h03m

Solução Fase I

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:34	10 min	Cliente: 122 (8:00 - 22:00)	OXIG líquido	Sim	44,7 km
#2	12:31	15 min	Cliente: 115 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	61,9 km
#3	12:50	15 min	Cliente: 94 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,7 km
#4	13:58	5 min	Cliente: 22 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	63,4 km
#5	15:09	5 min	Cliente: 20 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,5 km
#6	15:17	30 min	Cliente: 27 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,8 km
#7	16:06	15 min	Cliente: 37 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	20,3 km

B2.7 – Rota final técnico L.

Técnico | TI - L  11:00 - 15:40  11/158  2/39  140,7 km  4h40m **Solução Fase I**

15-04-2021 **Armazém**

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:24	5 min	Cliente: 63 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	29,9 km
#2	11:24	5 min	Cliente: 64 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km
#3	11:39	5 min	Cliente: 65 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	13,7 km
#4	11:46	10 min	Cliente: 66 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	3,2 km
#5	12:01	10 min	Cliente: 116 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	8,4 km
#6	12:12	20 min	Cliente: 26 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,2 km
#7	12:32	15 min	Cliente: 25 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0 km
#8	13:21	20 min	Cliente: 111 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	37,2 km
#9	13:41	20 min	Cliente: 112 (8:00 - 22:00)	OXIG portátil	Sim	0 km
#10	15:13	18 min	Cliente: 67 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	11,2 km
#11	15:13	15 min	Cliente: 68 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km

B2.8 – Rota final técnico N.

Técnico | TI - N  11:00 - 15:50  6/158  1/39  185,0 km  4h50m **Solução Fase I**

15-04-2021 **Armazém**

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:31	15 min	Cliente: 62 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	37 km
#2	12:06	15 min	Cliente: 96 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	38,2 km
#3	12:50	15 min	Cliente: 21 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	30,8 km
#4	13:21	15 min	Cliente: 93 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	15,7 km
#5	13:37	10 min	Cliente: 85 (8:00 - 22:00)	OXIG líquido	Sim	0,3 km
#6	13:52	15 min	Cliente: 72 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,3 km

B2.9 – Rota final técnico Q.

Técnico | CMT - Q  08:00 - 09:28  5/158  3/39  29,0 km  1h28m **Solução Fase I**

15-04-2021 **Armazém**

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	08:13	10 min	Cliente: 7 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	12,3 km
#2	08:30	15 min	Cliente: 70 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,6 km
#3	08:34	20 min	Cliente: 71 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km
#4	08:41	15 min	Cliente: 6 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	2,4 km
#5	09:01	15 min	Cliente: 1 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	2 km

B2.10 – Rota final técnico R.

Técnico | TI - R
15-04-2021

11:00 - 18:42
Armazém

17/158

6/39

56,7 km

7h42m

Solução Fase I

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância
#1	11:09	15 min	Cliente: 89 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,3 km
#2	11:33	30 min	Cliente: 16 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	4,1 km
#3	12:04	20 min	Cliente: 15 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,1 km
#4	12:27	15 min	Cliente: 86 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,7 km
#5	12:48	10 min	Cliente: 82 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	3 km
#6	13:01	10 min	Cliente: 84 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	1,1 km
#7	13:20	15 min	Cliente: 92 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	3,9 km
#8	13:41	15 min	Cliente: 98 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,2 km
#9	15:01	18 min	Cliente: 87 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Sim	1,1 km
#10	15:28	20 min	Cliente: 121 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	2,3 km
#11	15:50	15 min	Cliente: 11 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,6 km
#12	16:16	10 min	Cliente: 91 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	2,4 km
#13	16:32	5 min	Cliente: 90 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,6 km
#14	16:50	30 min	Cliente: 34 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	7,5 km
#15	17:34	30 min	Cliente: 69 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,7 km
#16	17:37	30 min	Cliente: 33 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,6 km
#17	18:16	15 min	Cliente: 38 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	8 km

B3 – Solução Fase II – Cenário real

B3.1 - Rota final técnico B.

Técnico | CMT - B
15-04-2021

08:00 - 16:28
Armazém

14/158 3/39 341,7 km 8h28m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	08:55	18 min	Cliente: 55 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	82,1 km	
#2	08:55	18 min	Cliente: 56 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km	
#3	09:19	5 min	Cliente: 97 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	23,3 km	
#4	09:29	15 min	Cliente: 9 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	1,3 km	2
#5	10:14	15 min	Cliente: 57 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,5 km	
#6	10:39	20 min	Cliente: 59 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	7 km	
#7	10:41	20 min	Cliente: 58 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,4 km	
#8	10:44	5 min	Cliente: 118 (8:00 - 22:00)	Aspi. secreção	Sim	1 km	
#9	10:51	15 min	Cliente: 88 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	0,3 km	
#10	11:14	15 min	Cliente: 60 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	4,7 km	
#11	11:33	30 min	Cliente: 13 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	19,7 km	0
#12	12:07	15 min	Cliente: 61 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km	
#13	12:27	20 min	Cliente: 120 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Sim	21,3 km	
#14	13:46	30 min	Cliente: 29 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	74,3 km	0

B3.2 – Rota final técnico C.

Técnico | CMT - C
15-04-2021

08:00 - 21:40
Armazém

15/158 11/39 754,3 km 13h40m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	08:24	15 min	Cliente: 119 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	26,7 km	
#2	09:08	30 min	Cliente: 100 (8:00 - 22:00)	VENT invasiva	Não	27,3 km	
#3	10:55	10 min	Cliente: 54 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	166,8 km	
#4	10:55	15 min	Cliente: 99 (8:00 - 22:00)	CPAP	Não	0 km	
#5	12:38	15 min	Cliente: 17 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	170,2 km	0
#6	15:13	10 min	Cliente: 24 (8:00 - 22:00)	Aerossolterapia	Sim	131 km	0
#7	16:31	15 min	Cliente: 23 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	102,4 km	0
#8	17:22	30 min	Cliente: 32 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	32,3 km	0
#9	18:21	5 min	Cliente: 28 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	23,7 km	0
#10	18:43	20 min	Cliente: 36 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	19,8 km	0
#11	19:31	15 min	Cliente: 10 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	37,2 km	0
#12	19:53	15 min	Cliente: 14 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	4,5 km	0
#13	20:13	30 min	Cliente: 31 (8:00 - 22:00)	Poligrafia resp.	Sim	1,6 km	0
#14	20:54	25 min	Cliente: 3 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	5,4 km	0
#15	21:19	10 min	Cliente: 2 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km	1

B3.3 – Rota final técnico D.

Técnico | CMT - D
15-04-2021

08:00 - 15:00
Armazém

15/158

1/39

146,0 km

7h00m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	08:11	25 min	Ciente: 75 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	6,2 km	
#2	08:43	10 min	Ciente: 40 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	3,7 km	
#3	09:08	30 min	Ciente: 74 (8:00 - 22:00)	VENT invasiva	Sim	22,7 km	
#4	09:46	15 min	Ciente: 12 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	4,8 km	4
#5	10:35	20 min	Ciente: 44 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	40,5 km	
#6	10:49	20 min	Ciente: 101 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Não	16,8 km	
#7	10:58	20 min	Ciente: 110 (8:00 - 22:00)	VENT não invasiva	Não	6 km	
#8	11:28	25 min	Ciente: 41 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	35,6 km	
#9	11:28	25 min	Ciente: 76 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km	
#10	12:01	25 min	Ciente: 77 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	3,5 km	
#11	12:26	25 min	Ciente: 78 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km	
#12	12:57	25 min	Ciente: 43 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,3 km	
#13	12:57	25 min	Ciente: 42 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km	
#14	13:02	25 min	Ciente: 80 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	1,8 km	
#15	13:27	25 min	Ciente: 79 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	0 km	

B3.4 – Rota final técnico F.

Técnico | CMT - F
15-04-2021

10:30 - 17:22
Armazém

7/158

2/39

299,4 km

6h52m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	10:56	15 min	Ciente: 114 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	28 km	
#2	11:28	15 min	Ciente: 5 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	9,7 km	0
#3	13:00	30 min	Ciente: 117 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	109,6 km	
#4	13:36	15 min	Ciente: 113 (8:00 - 22:00)	AUTOCPAP	Sim	1,4 km	
#5	15:21	15 min	Ciente: 73 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	37,3 km	
#6	16:05	5 min	Ciente: 106 (8:00 - 22:00)	CPAP	Não	33,7 km	
#7	16:57	10 min	Ciente: 30 (8:00 - 22:00)	Aerosolterapia	Sim	71,3 km	0

B3.5 – Rota final técnico J.

Técnico | TI - J
15-04-2021

08:00 - 18:28
Armazém

25/158 6/39 432,1 km 10h28m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	08:18	10 min	Ciente: 83 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	14,3 km	
#2	08:31	10 min	Ciente: 4 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	0,9 km	6
#3	08:48	10 min	Ciente: 81 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	3,6 km	
#4	09:12	20 min	Ciente: 45 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,9 km	
#5	09:37	10 min	Ciente: 48 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	24,5 km	
#6	09:37	10 min	Ciente: 105 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Não	0 km	
#7	09:52	15 min	Ciente: 47 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	10,9 km	
#8	10:00	5 min	Ciente: 46 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	5,3 km	
#9	10:32	5 min	Ciente: 109 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	33,9 km	
#10	11:43	18 min	Ciente: 104 (8:00 - 22:00)	OXIG portátil	Não	104,5 km	
#11	11:49	5 min	Ciente: 103 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	2,3 km	
#12	11:52	5 min	Ciente: 52 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,9 km	
#13	11:57	5 min	Ciente: 51 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km	
#14	12:02	5 min	Ciente: 50 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1 km	
#15	12:05	18 min	Ciente: 102 (8:00 - 22:00)	OXIG portátil	Não	0,8 km	
#16	13:08	15 min	Ciente: 95 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	88,5 km	
#17	13:26	20 min	Ciente: 49 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0,7 km	
#18	13:28	5 min	Ciente: 108 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	0,5 km	
#19	13:31	5 min	Ciente: 107 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Não	0,7 km	
#20	13:58	15 min	Ciente: 18 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	26,5 km	1
#21	15:22	15 min	Ciente: 8 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	8,6 km	0
#22	15:44	15 min	Ciente: 53 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	5,6 km	
#23	16:27	20 min	Ciente: 19 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	59,5 km	0
#24	16:53	30 min	Ciente: 39 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,6 km	0
#25	17:35	30 min	Ciente: 35 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,7 km	0

B3.6 – Rota final técnico K.

Técnico | TI - K
15-04-2021

11:00 - 17:03
Armazém

7/158 4/39 254,7 km 6h03m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	11:34	10 min	Ciente: 122 (8:00 - 22:00)	OXIG líquido	Sim	44,7 km	
#2	12:31	15 min	Ciente: 115 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	61,9 km	
#3	12:50	15 min	Ciente: 94 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,7 km	
#4	13:58	5 min	Ciente: 22 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	63,4 km	0
#5	15:09	5 min	Ciente: 20 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,5 km	0
#6	15:17	30 min	Ciente: 27 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,8 km	0
#7	16:06	15 min	Ciente: 37 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	20,3 km	0

B3.7 – Rota final técnico L.

Técnico | TI - L
15-04-2021

11:00 - 15:40
Armazém

11/158 2/39 140,7 km 4h40m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	11:24	5 min	Cliente: 63 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	29,9 km	
#2	11:24	5 min	Cliente: 64 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km	
#3	11:39	5 min	Cliente: 65 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	13,7 km	
#4	11:46	10 min	Cliente: 66 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	3,2 km	
#5	12:01	10 min	Cliente: 116 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	8,4 km	
#6	12:12	20 min	Cliente: 26 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,2 km	0
#7	12:32	15 min	Cliente: 25 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0 km	0
#8	13:21	20 min	Cliente: 111 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	37,2 km	
#9	13:41	20 min	Cliente: 112 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Sim	0 km	
#10	15:13	18 min	Cliente: 67 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	11,2 km	
#11	15:13	15 min	Cliente: 68 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	0 km	

B3.8 – Rota final técnico N.

Técnico | TI - N
15-04-2021

11:00 - 15:46
Armazém

6/158 1/39 184,0 km 4h46m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	11:31	15 min	Cliente: 62 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	37 km	
#2	12:06	15 min	Cliente: 96 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	38,2 km	
#3	12:50	15 min	Cliente: 21 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	30,8 km	1
#4	13:21	15 min	Cliente: 93 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	15,7 km	
#5	13:38	15 min	Cliente: 72 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,5 km	
#6	13:55	10 min	Cliente: 85 (8:00 - 22:00)	OXIG líquido	Sim	0,3 km	

B3.9 – Rota final técnico Q.

Técnico | CMT - Q
15-04-2021

08:00 - 09:28
Armazém

5/158 3/39 29,0 km 1h28m

Solução Fase II

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	08:13	10 min	Cliente: 7 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	12,3 km	0
#2	08:30	15 min	Cliente: 70 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,6 km	
#3	08:34	20 min	Cliente: 71 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	1,2 km	
#4	08:41	15 min	Cliente: 6 (8:00 - 22:00)	CPAP	Sim	2,4 km	0
#5	09:01	15 min	Cliente: 1 (8:00 - 22:00)	BIPAP controlada	Sim	2 km	0

B3.10 – Rota final técnico R.

Técnico | TI - R
15-04-2021

11:00 - 18:38
Armazém

17/158

6/39

Solução Fase II

58,8 km

7h38m

Paragem	Chegada	Duração	Serviço	Tipo de serviço	Satisfeito Após 1 visita	Distância	Melhoramentos
#1	11:09	15 min	Cliente: 89 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	5,3 km	
#2	11:33	30 min	Cliente: 16 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	4,1 km	0
#3	12:04	20 min	Cliente: 15 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,1 km	0
#4	12:27	15 min	Cliente: 86 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,7 km	
#5	12:48	10 min	Cliente: 82 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	3 km	
#6	13:01	10 min	Cliente: 84 (8:00 - 22:00)	OXIG liquido	Sim	1,1 km	
#7	13:20	15 min	Cliente: 92 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	3,9 km	
#8	13:41	15 min	Cliente: 98 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,2 km	
#9	15:01	18 min	Cliente: 87 (8:00 - 22:00)	OXIG portatil	Sim	1,1 km	
#10	15:25	10 min	Cliente: 91 (8:00 - 22:00)	OXIG garrafas	Sim	1,3 km	
#11	15:42	5 min	Cliente: 90 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	1,6 km	
#12	16:00	30 min	Cliente: 34 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	7,5 km	0
#13	16:44	30 min	Cliente: 69 (8:00 - 22:00)	Serviço	Não	6,7 km	
#14	16:46	30 min	Cliente: 33 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,6 km	0
#15	17:23	15 min	Cliente: 11 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	3,3 km	4
#16	17:41	20 min	Cliente: 121 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	0,8 km	
#17	18:12	15 min	Cliente: 38 (8:00 - 22:00)	OXIG concentrador	Sim	10 km	0