



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Anaís Veloso Silva

Algoritmos heurísticos para problemas de
escalonamento integrado de pessoal e tarefas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Anaís Veloso Silva

**Algoritmos heurísticos para problemas de
escalonamento integrado de pessoal e tarefas**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Cláudio Manuel Martins Alves

e do

Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto

Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 3

Declaração a incluir na Tese de Doutoramento (ou equivalente) ou no trabalho de Mestrado

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

"If I have seen further, it is by standing upon the shoulders of giants"

(Isaac Newton)

Durante o meu projeto de dissertação, pude contar com o apoio de várias pessoas, que me incentivaram e contribuíram para a concretização deste relatório. Devo agradecer a todas elas, por serem fantásticas.

Primeiramente, agradeço aos meus orientadores, os professores Cláudio Alves e Telmo Pinto, por toda a atenção, disponibilidade, motivação e confiança.

Não posso deixar de agradecer à minha família, a todos, por serem os meus pilares, por me apoiarem em qualquer momento e por acreditarem em mim.

Um agradecimento a todos os meus amigos, não vos posso referir nominalmente, mas agradeço-vos pela amizade, por caminharem ao meu lado, por me acarinharem e me apoiarem.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Algoritmos heurísticos para problemas de escalonamento integrado de pessoal e tarefas

RESUMO

Nesta dissertação considera-se um problema de escalonamento de pessoal numa empresa de serviços de *call center*. Esta empresa opera 24 horas por dia, 7 dias por semana, e o processo de escalonamento de pessoal é atualmente realizado manualmente. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento e implementação de métodos heurísticos, de forma a obter soluções para este problema num tempo menor do que aquele que é despendido até ao momento com o escalonamento manual.

A abordagem proposta consiste na construção de uma solução inicial através de uma heurística construtiva e posterior melhoria desta solução através de um método de pesquisa local. O que se pretende com esta abordagem é alocar funcionários a turnos de trabalho, procurando maximizar o número de horários invariáveis para cada funcionário em cada período. Depois de se ter desenvolvido um método de pesquisa local que melhora as soluções iniciais obtidas, foi ainda implementado um outro método de pesquisa local que minimiza as diferenças relativamente ao número de dias em que cada funcionário não é alocado a nenhum turno.

A heurística construtiva e os dois métodos de pesquisa local foram implementados no Visual Studio v.16.8.2., utilizando a linguagem C#, e testados num conjunto de instâncias, incluindo instâncias com dados reais e instâncias geradas aleatoriamente. Esta abordagem foi analisada através da comparação entre as soluções iniciais e as soluções geradas pelos métodos de pesquisa local implementados.

Palavras-chave: *call centers*, escalonamento de pessoal, heurísticas, otimização, pesquisa local

ABSTRACT

The considered problem is a personnel scheduling problem in a call center company. This company operates 24 hours per day, 7 days a week, and in which the personnel scheduling process is done manually. In this sense, the main purpose of this dissertation is the development and implementation of heuristic methods to obtain optimized solutions to this problem in a shorter amount of time than the one spent until this moment with manually built scales.

The proposed approach consists of building an initial solution through a constructive heuristic and posterior improvement of this solution through a local search method. This approach intends to allocate employees to a work shift, maximizing the number of equal shifts to which an employee is allocated in each period. After developing a local search method that improved the initial solutions, we implemented another local search method that minimized the deviation relative to the number of days in which each employee is not allocated to any shift.

The constructive heuristic and the two local search methods are implemented in Visual Studio v.16.8.2., using the language C#, and teste in several instances, including real instances and randomly generated instances. The approach was analyzed through the comparison between the initial solutions and the ones obtained by the local search methods implemented.

Keywords: call centers, heuristics, local search, optimization, personnel scheduling

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Contextualização	1
1.2.	Motivação e objetivos	3
1.3.	Estrutura da dissertação	4
2.	Os problemas de escalonamento de pessoal	5
2.1.	Características e preferências dos funcionários	6
2.2.	O problema do reagendamento de turnos e da reatribuição de tarefas	9
2.3.	Restrições e flexibilidade	10
3.	Metodologias para a resolução de problemas de escalonamento de pessoal	15
4.	Os problemas de escalonamento de pessoal em serviços de <i>call center</i>	19
5.	Análise comparativa de ferramentas computacionais para o tratamento e resolução destes problemas	22
5.1.	<i>TSheets</i>	22
5.2.	<i>When I work</i>	23
5.3.	<i>Deputy</i>	24
5.4.	<i>Shiftboard</i>	25
5.5.	<i>Humanity</i>	26
6.	Descrição do problema	28
7.	Abordagens heurísticas para o problema em estudo	31
7.1.	Representação da solução	31
7.2.	Construção da solução inicial	33
7.2.1.	<i>Day1Week1</i>	37
7.2.2.	<i>OtherDaysAllWeeks</i>	38
7.2.3.	<i>Day1Week3</i>	41
7.2.4.	Exemplo	43
7.3.	Implementação de métodos de pesquisa local	44
7.3.1.	Funções de avaliação	44
7.3.2.	Estruturas de vizinhança	46
7.3.3.	Algoritmos de pesquisa local	49

7.3.4. Exemplo	51
8. Experiências computacionais	52
8.1. Descrição das instâncias	52
8.2. Resultados computacionais e análise crítica	53
9. Conclusão	58
referências bibliográficas	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de uma solução válida	30
Figura 2 - Exemplo da representação de uma solução	32
Figura 3 - Exemplo de um movimento na estrutura de vizinhança NS_1	47
Figura 4 - Exemplo de um movimento na estrutura de vizinhança NS_2	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Funções e respectivas funcionalidades	36
Tabela 2 - Lista dos funcionários que constituem a equipa A	43
Tabela 3 - Número mínimo de funcionários necessários a cada dia e para cada meia hora	43
Tabela 4 - Exemplo de uma solução no horizonte temporal de uma quinzena (I)	51
Tabela 5 - Exemplo de uma solução no horizonte temporal de uma quinzena (II)	51
Tabela 6 - Exemplo de uma instância: lista de funcionários da equipa A	52
Tabela 7 - Exemplo de uma instância: necessidades da organização	53
Tabela 8 - Resultados computacionais	54

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente, devido à cada vez maior globalização dos diferentes tipos de mercado e ao facto da força competitiva de uma organização ser determinada, cada vez mais, pela capacidade de controlar os seus custos as organizações investem sistematicamente em formas de melhorar e otimizar todos os processos que compõem as suas atividades (Gans, Koole, & Mandelbaum, 2003; Van der Veen, 2013). Satisfazer as necessidades dos funcionários, nomeadamente na alocação a turnos de trabalho e atribuição de dias de folga, ir ao encontro dos seus interesses e oferecer-lhes horários flexíveis são alguns dos aspetos que aumentam a produtividade e conduzem a uma maior motivação dos funcionários e, conseqüentemente, a uma maior qualidade do serviço prestado, bem como a um maior controlo dos custos laborais (Pawar, & Hanchate, 2013). É com base neste mote que, atualmente, o escalonamento de pessoal é um problema muito estudado, tanto por parte da comunidade científica, como pelos gestores empresariais de vários setores e indústrias (Burke, De Causmaecker, Berghe, & Van Landeghem, 2004; Brucker, Qu, Burke, & Post 2005). Frequentemente, os custos laborais são aqueles que representam a maior fonte de custos para uma organização. Neste sentido e uma vez que o escalonamento de pessoal tem efeitos significativos nestes custos, a implementação de horários de trabalho otimizados pode ser uma boa solução para reduzir tais custos. Os horários de trabalho podem ser considerados otimizados quando satisfazem certas condições consideradas imprescindíveis para a organização e para a redução de custos como, por exemplo, a utilização do mínimo de funcionários possível para a realização das tarefas com a qualidade requerida, satisfazendo as preferências dos funcionários e atribuindo-lhes horários justos (Hast, 2017; Van Den Bergh, Beliën, De Bruecker, Demeulemeester, & De Boeck, 2013).

O escalonamento de pessoal teve a sua origem há alguns séculos, quando começaram a aparecer os primeiros trabalhos por turnos, devido à necessidade de vigias militares 24 horas por dia (Weaver, 2006). Com o surgimento da Revolução Industrial, o trabalho por turnos começou a crescer em diferentes setores e começaram a aparecer as primeiras organizações com funcionários a trabalhar durante a noite (Rocha, 2020; Weaver, 2006). Com o aumento dos custos e do tempo necessário para iniciar as máquinas, tornou-se financeiramente mais viável para certas

indústrias a concretização de uma produção contínua (Rocha, 2020). Nessa época, começaram a surgir os primeiros modelos tradicionais de escalonamento de pessoal. Estes modelos dividiam, geralmente, os trabalhadores em grupos rotativos diurnos e noturnos. Este tipo de horários resultou em altos níveis de stress, acidentes de trabalho e lesões e, por isso, os funcionários exigiam horários mais equilibrados, com direito a mais horas de descanso e lazer (Rocha, 2020). No entanto, só muito mais tarde é que começaram a surgir leis a detalhar o salário mínimo, o número máximo de horas de trabalho, entre outras regras e regulamentos (Ribeiro, 2008). Embora a sociedade se tenha tornado dependente do trabalho por turnos, atualmente, as organizações de diferentes setores e indústrias oferecem diferentes durações de turnos, horas de descanso obrigatórias entre eles e dias de folga obrigatórios.

O escalonamento de pessoal pode ser definido como o processo de construção de horários de trabalho, de forma a que uma organização possa atender à procura existente pelos seus bens e serviços. Os problemas de escalonamento de pessoal envolvem várias decisões como, por exemplo, o modo de alocação dos funcionários a turnos e a satisfação de diversos critérios incluindo dias de folga, horas de descanso entre turnos e necessidades e interesses dos funcionários (Hast, 2017; Pawar, & Hanchate, 2014). Além disso, impõem-se requisitos legais e contratuais em qualquer uma das decisões tomadas a este nível e, por isso, este problema pode tomar mais formas.

Em vários setores e serviços, o processo de escalonamento de pessoal torna-se ainda mais exigente uma vez que é necessário ter em consideração outros aspetos: as características – por exemplo, aptidões – dos funcionários, o tipo de contrato de trabalho e o tipo de entidade (considerar o funcionário como trabalhador individual ou como parte de uma equipa).

Os serviços de *call center* surgiram como um dos principais veículos para a comunicação entre organizações e clientes, transformando os postos de atendimento ao cliente em operações rotineiras e de alta velocidade (Gans, Koole, & Mandelbaum, 2003). Neste tipo de serviços, o problema de escalonamento de pessoal é um problema complexo. A taxa de chegada das chamadas recebidas em serviços de *call center* varia com o tempo e é, geralmente, prevista a partir de dados históricos e, por isso, as previsões das taxas de chegada não são exatas. Portanto, o número de funcionários para cada turno deve ser planeado cuidadosamente para ser flexível o suficiente para garantir a satisfação do cliente, que é também um dos principais objetivos de uma organização (Fukunaga et al., 2002). Neste sentido, neste tipo de serviços, é imprescindível ter

um escalonamento de pessoal otimizado, de forma a controlar custos e satisfazer, simultaneamente, colaboradores e clientes.

1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Como se depreende, a implementação de um método capaz de resolver problemas de escalonamento de pessoal, otimizando a afetação de pessoal, pode resultar em oportunidades de se criar mais por menos: mais qualidade por menos custos.

O tratamento de problemas de escalonamento de pessoal envolve várias decisões e tem um grande impacto, tanto a nível financeiro como a nível da satisfação de clientes e colaboradores. De modo a reduzir os custos laborais, provenientes, em parte, das decisões tomadas ao nível do escalonamento de pessoal, e maximizar a eficácia, as organizações procuram cronogramas de trabalho que cubram a procura de forma eficaz (Hast, 2017; Van Den Bergh et al., 2013). Um processo de escalonamento de pessoal inadequado pode exigir a contratação de funcionários temporários, aumentando os custos, levar a penalidades por desrespeito das restrições legais, tempos de espera mais elevados e conduzir à insatisfação de funcionários e clientes. Por isso, oferecer horários flexíveis, que promovam o bem-estar dos funcionários, satisfaçam o cliente e ter, simultaneamente, uma afetação de pessoal otimizada, que evite a falta ou excesso de pessoal e satisfaça a procura, é fundamental para as organizações.

No domínio da satisfação do cliente, os *call center* têm um papel fundamental: são os principais responsáveis pela interação entre organizações e clientes e, por isso, são uma ferramenta importante para as organizações. A eficiência destes serviços é fulcral, uma vez que longos tempos de espera podem traduzir-se numa redução da satisfação dos clientes, sendo fundamental para os *call center* manterem os tempos de espera o mais baixo possível. Por outro lado, para manter os custos laborais baixos, a contratação de funcionários em excesso é de evitar. O escalonamento de pessoal neste setor – em que é necessário ter em consideração vários objetivos, muitas vezes conflituosos entre si – é uma tarefa complexa. Por isso, os serviços de *call center* recorrem, cada vez mais, a ferramentas que os auxiliam nesta tarefa. No entanto, em várias organizações, tanto do setor dos serviços como da indústria, o processo de escalonamento de pessoal é manual.

Nesta dissertação é abordado um problema de otimização inerente a um problema de escalonamento de pessoal numa empresa de serviços de *call center*, que opera 24 horas por dia, 7 dias por semana, e na qual o processo de escalonamento de pessoal é realizado manualmente

em cada mês. Neste sentido, esta dissertação tem como principal foco o desenvolvimento de um método heurístico capaz de resolver problemas de escalonamento de pessoal em *call centers* em relativamente pouco tempo, construindo horários de trabalho, que contemplem turnos e dias de folga, com qualidade. Isto é, escalas de trabalho que promovam o bem-estar dos funcionários e satisfaçam as necessidades da organização de tal forma que o escalonamento automático seja preferível ao escalonamento feito manualmente.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho de dissertação está dividido em sete capítulos, incluindo o presente capítulo que diz respeito à *Introdução*.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura associada a problemas de escalonamento integrado de pessoal e tarefas. Neste capítulo são apresentados alguns métodos de classificação deste tipo de problemas e as suas principais características.

O capítulo 3 apresenta diferentes metodologias utilizadas no tratamento e resolução de problemas de escalonamento de pessoal, recorrendo a exemplos da literatura.

No capítulo 4 é feita uma breve revisão de literatura sobre problemas de escalonamento de pessoal em serviços de *call center*.

O capítulo 5 apresenta algumas ferramentas computacionais disponíveis para o tratamento e resolução de problemas de escalonamento integrado de pessoal e tarefas.

O capítulo 6 descreve o problema em análise, incluindo as suas características e fornece o exemplo de uma solução válida.

No capítulo 7 são descritas as abordagens heurísticas desenvolvidas para o tratamento e resolução do problema em estudo. Neste capítulo, é apresentado o modo de representação das soluções, o método de construção da solução inicial e é fornecida uma descrição do modo de implementação de dois métodos de pesquisa local.

No capítulo 8 é feita uma breve descrição das instâncias utilizadas para as experiências computacionais realizadas e são apresentados e analisados os resultados obtidos nestas experiências.

O capítulo 9 consiste num resumo das principais conclusões e algumas sugestões de trabalho futuro.

2. OS PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DE PESSOAL

Nas últimas décadas, os problemas de escalonamento de pessoal têm sido alvo de intensivos estudos, tanto por parte da comunidade científica, como pelos gestores empresariais, pelo sector da saúde e indústria, entre outros (Brucker, Qu, Burke, & Post 2005; Burke, De Causmaecker, Berghe, & Van Landeghem, 2004).

A crescente preocupação com estes problemas deve-se ao facto da força competitiva de uma organização ser determinada, cada vez mais, pela capacidade de controlar os seus custos e mantê-los o mais baixos possível (Van der Veen, 2013). Frequentemente, os custos laborais são aqueles que representam a maior fonte de custos para uma organização e uma vez que o escalonamento de pessoal tem efeitos significativos nestes custos, principalmente em indústrias onde a força de trabalho é intensiva, a implementação de bons horários de trabalho, isto é, horários construídos com o objetivo de utilizar o mínimo de funcionários possível para a realização das tarefas com a qualidade requerida, satisfazendo as preferências dos funcionários e atribuindo-lhes horários justos e com poucas alterações nos turnos e equipas, pode ser uma boa solução para reduzir esses custos (Hast, 2017; Van Den Bergh, Beliën, De Bruecker, Demeulemeester, & De Boeck, 2013).

De um modo geral, o tratamento de problemas de escalonamento de pessoal envolve a alocação adequada dos funcionários de forma a atender à procura e satisfazer vários critérios incluindo, entre outros, férias obrigatórias, horas de descanso suficientes e preferências dos funcionários (Hast, 2017). Considerar as necessidades e interesses dos funcionários e oferecer-lhes horários flexíveis são alguns dos aspetos que aumentam a sua produtividade, que conduzem a uma maior motivação dos mesmos, e, conseqüentemente, a uma maior qualidade do serviço prestado (Pawar & Hanchate, 2014).

Em problemas de escalonamento integrado de pessoal e tarefas, as tarefas, turnos e dias de folga devem ser atribuídos simultaneamente. Uma tarefa pode ser vista como um intervalo de tempo no qual um funcionário deve realizar um determinado trabalho, e um turno é um intervalo de tempo no qual um funcionário pode ser designado para a realização de determinadas tarefas. Assim, o problema do escalonamento de pessoal está relacionado com a atribuição de turnos e dias de folga a funcionários, de modo a criar um horário de trabalho para cada um e o problema da atribuição de tarefas visa a atribuição de tarefas a funcionários, de acordo com a sua disponibilidade e as suas capacidades. Sob este pressuposto, o problema da atribuição de tarefas

está, portanto, relacionado com o problema do escalonamento de pessoal, uma vez que a disponibilidade de cada funcionário é determinada pela sua linha de trabalho, isto é, pelos turnos e dias de folga dos mesmos. Note-se ainda que a integração destes dois problemas conduz a uma melhoria significativa do sucesso no processo de escalonamento de pessoal (Maenhout & Vanhoucke, 2018).

Baker (2006) apresentou um dos primeiros métodos de classificação para problemas de escalonamento de pessoal, que reconhece três grupos distintos:

1. o planeamento de turnos, que consiste em determinar o número de turnos de trabalho necessários para satisfazer a procura ao longo de um dia de trabalho e, portanto, o horizonte de planeamento é diário;
2. o planeamento dos dias de folga, que identifica o número de funcionários necessários para satisfazer a procura diária e garante o número de dias de folga adequado para cada um deles;
3. e o planeamento tour, que resulta da combinação dos outros dois tipos (Bailey, 1985; Bailey & Field, 1985).

Porém, existem outros métodos de classificação como, por exemplo, os que se baseiam no método de solução aplicado (Van Den Bergh et al., 2013).

Van Den Bergh et al. (2013) organizam a literatura em torno dos problemas de escalonamento de pessoal através de diferentes perspetivas: as características dos funcionários, tipos de restrições e flexibilidade, método de solução aplicado e área de aplicação. Seguindo o método de classificação proposto por estes autores, os funcionários podem ser classificados de acordo com as suas aptidões, o contrato de trabalho associado (contrato a tempo parcial ou integral) ou as entidades (funcionários individuais ou grupos de trabalho) envolvidas em dada tarefa. Estas informações são essenciais quando chega o momento de determinar turnos de trabalho e quem os irá ocupar, de modo a satisfazer as necessidades dos funcionários e da organização.

2.1. CARACTERÍSTICAS E PREFERÊNCIAS DOS FUNCIONÁRIOS

As características dos funcionários e preferências em termos de centros de trabalho, dias de folga ou turnos são informações essenciais que precisam de ser consideradas de forma adequada na preparação dos cronogramas de trabalho de cada funcionário, de forma a criar um ambiente de trabalho agradável e justo para todos.

Uma forma de classificar os funcionários é através das suas aptidões. A aptidão de um funcionário pode ser definida como a capacidade para fazer bem certa tarefa e esta capacidade pode ser determinada pela idade, experiência do funcionário, grau de conhecimento técnico relativamente ao trabalho em questão e habilitações. Determinadas tarefas exigem aptidões específicas ou grupos de trabalho ao invés de trabalhadores individuais e, conseqüentemente, é importante classificar os funcionários de acordo com as suas aptidões e, caso seja necessário, formar grupos de trabalho de funcionários com diferentes aptidões (De Bruecker, Van Den Bergh, Beliën, & Demeulemeester 2015).

Alguns problemas consideram que determinadas tarefas só podem ser realizadas por membros com uma dada aptidão ou nível de aptidão e, portanto, classificar os funcionários de acordo com as suas aptidões permite que a organização seja capaz de perceber se determinado funcionário é ou não indicado para a realização de uma determinada tarefa com a qualidade requerida.

De Bruecker et al. (2015) identificam duas classes para as aptidões: a classe hierárquica e a classe categórica. No caso da classe hierárquica, os funcionários são classificados de acordo com as suas aptidões e, assim sendo, funcionários classificados com um nível de aptidão superior podem fazer mais que trabalhadores com um nível de aptidão menos elevado, isto é, são capazes de executar mais tarefas ou executar determinada tarefa com um nível de qualidade mais elevado. A idade, a experiência e o grau de conhecimento técnico são alguns dos determinantes que contribuem para que um funcionário seja classificado com um nível de aptidão superior em organizações cuja classe de aptidões é hierárquica. De preferência, os funcionários são designados para um turno que requer a sua aptidão "primária", isto é, a aptidão para a qual estão mais aptos, no entanto, se necessário, podem ser chamados para turnos que exigem as suas aptidões "secundárias", ou seja, aptidões menos desenvolvidas pelo funcionário. Deste modo, quando não estão disponíveis funcionários suficientes para determinada tarefa, estas podem ser realizadas por funcionários numa categoria hierárquica superior. No entanto, uma vez que o funcionário em questão poderá ser menos eficiente e ter uma produtividade associada, relativamente à tarefa, menor, os custos têm tendência a aumentar. Por sua vez, no caso da classe categórica, não há diferenças no nível de capacidade e as aptidões de um funcionário determinam quais as tarefas que este pode ou não executar. Nesta classe, o cargo, as qualificações ou os certificados dos funcionários são alguns dos determinantes utilizados para classificar um funcionário, isto é, para definir que tarefas pode realizar.

Hanne, Dornberger & Frey (2009) estudam um problema de escalonamento numa tripulação ferroviária, no qual os funcionários pertencem a uma hierarquia de categorias. É através da idade dos condutores que os autores estabelecem um intervalo mínimo de descanso entre cada viagem, uma vez que acreditam que funcionários com mais idade necessitam de descansar mais entre viagens. Ho & Leung (2010) estudam um problema de escalonamento de pessoal numa companhia aérea. O serviço de cada aeronave, neste caso de estudo, só pode ser efetuado por uma equipa com aptidões compatíveis com a configuração dessa aeronave (tripulação, pilotos, clientes, ...). Neste trabalho, os autores recorrem a classes categóricas e os funcionários são categorizados pelas suas qualificações, isto é, as qualificações de um funcionário definem as tarefas que este pode realizar. Assim, se um funcionário só tem as qualificações necessárias para saber, por exemplo, carregar as aeronaves usadas em determinada companhia aérea, então só pode trabalhar com aeronaves dessa companhia aérea.

Outra forma de classificar os funcionários é o tipo de contrato de trabalho. Segundo Van Den Bergh et al. (2013), grande parte das abordagens para este tipo de problemas direcionam o seu estudo a problemas de escalonamento com contratos a tempo integral, porém alguns destes também estudam problemas com contratos a tempo parcial. Por exemplo, Al-Yakoob & Sherah (2007) direcionam o seu estudo para um problema de escalonamento de pessoal que envolve múltiplos turnos e centros de trabalho, onde os funcionários têm todos contratos a tempo integral e pertencem a uma hierarquia de categorias, sendo possível a sua substituição por funcionários de uma categoria superior. Já Akbari, Zandich, & Dorri (2013) estudam um problema de escalonamento de pessoal cujo objetivo é maximizar a satisfação dos funcionários, com base nas suas preferências, e com as seguintes características: funcionários com aptidões mistas, produtividade variável e limites máximos e mínimos para a utilização de trabalhadores com aptidões únicas. Neste problema os autores consideram apenas trabalhadores com contrato a tempo parcial e definem ainda três classes para estes funcionários: funcionários a tempo parcial com a aptidão número 1, funcionários a tempo parcial com a aptidão número 2 e funcionários a tempo parcial com múltiplas aptidões e que, portanto, podem realizar qualquer tarefa.

Por último, uma outra classificação foca-se no tipo de entidade, isto é, nos grupos de funcionários, uma vez que para a resolução de determinados problemas é necessário fazer o escalonamento para equipas de funcionários em vez de considerar o funcionário como entidade individual. Um exemplo de escalonamento em equipas de funcionários é o de Thiel (2008), que aborda um problema de escalonamento numa tripulação aérea. Depois de apresentada a lista de

voos e respetivos horários de uma companhia aérea, o objetivo é determinar os tripulantes de cabine necessários de modo a satisfazer os requisitos da companhia aérea com um custo mínimo em termos de pessoal. Neste estudo, o autor tem em consideração um fator geralmente pouco utilizado, evitar a mudança frequente de equipa de forma a aumentar a satisfação da tripulação. Este apresenta técnicas para dois modelos de otimização alternativos que abordam o problema do escalonamento por equipas para a tripulação da companhia aérea em questão. Os modelos foram formulados como um problema de particionamento de conjuntos, que consiste em dividir um conjunto S qualquer de m elementos em n subconjuntos, S_j , de modo a minimizar alguma restrição, neste caso o custo com pessoal.

Relativamente às preferências dos funcionários, deve-se ter em consideração, por exemplo, os dias de folga e turnos desejados, isto é, um funcionário pode preferir não trabalhar num determinado dia ou num determinado período de tempo do dia ou pode preferir trabalhar ou não num turno e dia específicos e tal deve, quando possível, ser satisfeito. Além disso, um funcionário pode, por exemplo, preferir trabalhar num centro de trabalho específico por se sentir mais confortável e mais adaptado (Veen, 2013). Limitar o número de tarefas atribuídas por dia a cada funcionário e permitir-lhe escolher o dia de folga é, portanto, uma das maneiras de satisfazer as suas preferências (Van Den Bergh et al., 2013).

Portanto, o problema de escalonamento de pessoal exige várias tomadas de decisão como a atribuição de tarefas a funcionários, a constituição de grupos de trabalho, a sequência de turnos de cada funcionário e os instantes de tempo em que cada um destes está ocupado. A determinação de turnos, em particular, requer decisões como a sobreposição ou não de turnos, os tempos de início de cada turno (flexível ou não), bem como a sua duração. Todas estas decisões devem ser tomadas tendo em vista o bem-estar e a satisfação das preferências do funcionário, o melhor possível.

2.2. O PROBLEMA DO REAGENDAMENTO DE TURNOS E DA REATRIBUIÇÃO DE TAREFAS

Durante o processo de escalonamento integrado de pessoal e tarefas é, muitas vezes, necessário fazer suposições determinísticas da procura, da duração de cada tarefa, bem como da disponibilidade dos funcionários. Todavia, estas suposições nem sempre representam exatamente a situação da organização uma vez que estes fatores estão sujeitos a diversas incertezas. Van Den Bergh et al. (2013) distinguem três fontes de variabilidade: (a) incerteza da procura, uma vez que a procura prevista pode ser diferente da procura atual e, conseqüentemente, o número de

funcionários necessários pode aumentar ou diminuir; (b) incerteza de chegada, uma vez que esta influencia a duração e os tempos de início das tarefas que foram planeadas e, portanto, o período em que são necessários determinados funcionários é diferente; (c) incerteza de capacidade, uma vez que os funcionários podem não estar disponíveis para preencher determinado turno ou realizar uma tarefa já planeada. No entanto, é possível reduzir o impacto desta variabilidade através de mecanismos proativos, isto é, da construção de um horário pessoal capaz de lidar com situações inesperadas, e/ou mecanismos reativos, ou seja, mecanismos que determinam os ajustes necessários nos turnos e nas tarefas atribuídas de modo a prosseguir os trabalhos.

O problema de reagendamento de turnos e redistribuição de tarefas pode, portanto, surgir em consequência da variabilidade operacional que leva a problemas no escalonamento de pessoal anteriormente realizado e, conseqüentemente, à necessidade de melhoria da qualidade do escalonamento efetuado. Nesse sentido, Maenhout & Vanhoucke (2018) consideram duas fases distintas. Na primeira fase é composta uma lista de funcionários para um período de médio prazo e o objetivo é determinar o custo mínimo de pessoal, compondo um cronograma de trabalho para cada funcionário. A segunda fase está relacionada com o acesso a informação mais precisa, quando se aproxima o dia de operações, e conseqüente necessidade de adaptação do horário construído anteriormente, minimizando o número de desvios do escalonamento original.

Para solucionar o problema do reescalonamento integrado e redistribuição de tarefas, Maenhout & Vanhoucke (2018) recorrem a um procedimento meta-heurístico.

2.3. RESTRIÇÕES E FLEXIBILIDADE

Tipicamente, em problemas de escalonamento, consideram-se, pelo menos, três categorias de restrições: as restrições de cobertura, as restrições de equidade e equilíbrio e as restrições relacionadas com o tempo. Estas restrições devem, quando possível, ser formuladas como restrições rígidas ou restrições flexíveis, não esquecendo que o objetivo dos modelos matemáticos formulados para este tipo de problemas é minimizar os custos de planeamento sujeitos a um conjunto dessas restrições. As restrições rígidas são restrições não-negociáveis, enquanto que as restrições flexíveis são aquelas que podem ser negociadas, porém, se não forem satisfeitas, têm geralmente uma penalização associada. As restrições rígidas são, por exemplo, as restrições que determinam que um trabalhador não pode ser alocado a duas tarefas em simultâneo ou que não é permitido que um funcionário trabalhe 24 horas consecutivas. Este tipo de restrições pode também ser usado para assegurar que estão disponíveis funcionários

suficientes para cada período de tempo. Por sua vez, as aptidões dos funcionários podem ser vistas como uma restrição flexível ou até como uma medida de desempenho. Evitar turnos de trabalho noturnos e matinais consecutivos também pode ser vista como uma restrição flexível.

Determinar o número de funcionários necessários para satisfazer a carga de trabalho é uma das decisões mais importantes a ser tomadas. Grande parte dos autores recorrem, portanto, a restrições de cobertura flexíveis para decidir o número de funcionários com uma certa aptidão necessários durante um determinado período de tempo ou para dada tarefa e a restrições de cobertura rígidas para assegurar que estão disponíveis funcionários suficientes para determinado período de tempo.

As restrições de equidade e equilíbrio são utilizadas para proporcionar um ambiente justo e de equidade entre os diferentes funcionários de uma organização. Para tal é importante equilibrar as divergências/diferenças entre os funcionários. Grande parte dos autores modelam as restrições de equidade e equilíbrio como restrições flexíveis, como é o caso de Lucic & Teodorovic (2007). Estes autores recorrem a uma abordagem meta-heurística para resolver um problema de escalonamento numa tripulação aérea, cujo objetivo é minimizar o desvio médio, por membro da tripulação, da soma do tempo real de duração de voo em cada mês em relação ao tempo ideal de duração de voo mensal. Neste estudo, Lucic & Teodorovic (2007) modelam as restrições de equidade e equilíbrio como restrições flexíveis, sendo que pretendem que a carga de trabalho entre cada membro da tripulação seja relativamente igual. Isto é, pretendem que o número de dias de fim-de-semana passados “fora de casa” seja igual entre cada membro da tripulação, que o número de partidas antes das 07h00 seja aproximadamente o mesmo, que o número de dias no estrangeiro seja sensivelmente o mesmo, entre outras restrições.

No caso de restrições relacionadas com o tempo relativas a turnos consecutivos ou não de trabalho, estas são, maioritariamente, modeladas como restrições flexíveis. Nesse caso, deve-se ter em consideração as preferências dos funcionários. Segundo Van Den Bergh et al. (2013), as restrições temporais flexíveis mais comuns são aquelas que consideram turnos não trabalhados consecutivos e para tal é importante ter em conta as preferências dos funcionários, uma vez que o número mínimo de turnos consecutivos não trabalhados está relacionado com turnos únicos, que são muitas vezes considerados indesejáveis. Contrariamente, o número máximo de horas consecutivas de trabalho permitidas é sempre modelado como uma restrição rígida, visto que este número é definido pelas medidas legislativas. Além disso, cada organização pode decidir o número de horas que um funcionário pode trabalhar por dia, semana ou mês e modelá-lo como restrições

rígidas (Van Den Bergh et al., 2013).

Azaiez & Al Sharif (2005) desenvolvem um modelo para o escalonamento de enfermeiros, no qual impõem um número mínimo de turnos noturnos para cada enfermeiro, de modo a garantir que estes turnos são distribuídos uniformemente. Estes autores recorrem a um conjunto de restrições temporais rígidas para garantir que cada enfermeiro tem alocado um número mínimo de turnos noturnos, o que, conseqüentemente, limita o número de turnos diários e leva a um maior equilíbrio de turnos noturnos para os enfermeiros. Estes utilizam ainda restrições flexíveis para atribuir um total de 15 dias de trabalho a cada enfermeiro, o que, conseqüentemente, leva a um aumento do equilíbrio na carga de trabalho de cada um deles.

Como referido anteriormente, os funcionários podem ser classificados de acordo com as suas aptidões e estas podem ser modeladas como restrições rígidas e, portanto, que nunca podem ser violadas, ou como restrições flexíveis. Nesse sentido, no caso de ser indispensável a presença de um número específico de funcionários com determinada aptidão para a realização de certa tarefa ou durante um certo período de tempo, a inclusão de uma restrição rígida ao modelo permite assegurar a presença deste número de funcionários uma vez que quando as restrições de cobertura são modeladas como um conjunto de restrições rígidas, a falta de funcionários não é permitida (Van Den Bergh et al., 2013). Contudo, se for permitida a substituição, em caso de falta, por funcionários com outras aptidões, capazes de realizar a mesma tarefa, pode-se adicionar uma restrição flexível ao modelo e uma penalização à função objetivo.

Frequentemente, o planeamento de tarefas é conseguido através da incorporação de restrições rígidas e flexíveis que originam intervalos de tempo durante os quais é possível e expectável a execução de determinadas tarefas. Pode ainda ser adicionada ao modelo uma restrição para assegurar que todas as tarefas são terminadas nos prazos estipulados e deste modo impedir atrasos na realização das mesmas (Van Den Bergh et al., 2013). Tiwari, Patterson, & Mabert (2009) adicionam uma restrição rígida ao modelo para que determinada tarefa só possa ser finalizada quando é atingido o nível de qualidade pretendido. Coromias, Pastor & Plans (2008) adicionam uma restrição rígida no máximo de tempo que é necessário para a finalização de determinada tarefa, tendo em conta que a rapidez de execução de um funcionário depende do seu nível de aptidão para essa tarefa.

Quando as aptidões são modeladas como restrições rígidas, o espaço de procura é muito restrito uma vez que são adicionadas, conseqüentemente, várias restrições relativas a tarefas. Assim, muitos autores, como por exemplo Ho & Leung (2010), optam por modelar as aptidões

como restrições flexíveis de modo a aumentar e facilitar a exploração do espaço de procura em heurísticas de pesquisa local.

Brucker et al. (2005) abordam um problema de escalonamento de enfermeiros. Nos hospitais e outras unidades de saúde médica, a carga de trabalho deve ser atribuída aos enfermeiros periodicamente, considerando uma série de restrições e exigências. Neste caso em particular, o problema consiste em atribuir um determinado número de turnos de diferentes tipos a 16 enfermeiros de uma ala específica, dentro de um período de 4 semanas. Os autores consideram várias restrições rígidas para assegurar que todos os turnos são preenchidos e que todos os enfermeiros têm um tempo máximo de trabalho de 36 horas por semana e algumas restrições flexíveis como evitar uma sequência de turnos de determinada duração, tendo em conta que se tal não for cumprido, há uma penalidade associada na função objetivo.

Günther & Nissen (2010) descrevem um método de resolução de um problema de escalonamento de pessoal, num cenário com centros de trabalho individuais, fornecido por um provedor de serviços de logística alemão. Neste estudo, os autores mostram que as abordagens baseadas em meta-heurísticas podem contribuir significativamente para a melhoria do escalonamento realizado. Os autores consideram as restrições de cobertura como um conjunto de restrições rígidas. O escalonamento de pessoal só é válido se todos os funcionários forem atribuídos a um centro de trabalho de cada vez e se os funcionários não disponíveis não estiverem incluídos no planeamento.

Note-se, por último, que a flexibilidade que permite lidar com estas restrições é, portanto, objeto de importante estudo e discussão e recebe especial atenção na literatura. Segundo Topaglu & Ozkarahan (2004), as organizações recorrem a diferentes horários de mudança de turno, pausas diárias e padrões de trabalho, com o objetivo de proporcionar flexibilidade. No entanto, é importante notar que quando o número de alternativas para proporcionar flexibilidade aumenta, o processo de construção de horários de trabalho também se torna mais complexo. Uma das primeiras decisões relativas à flexibilidade está relacionada com a sobreposição ou não de turnos. Quando há sobreposição de turnos, o número de trabalhadores no local de trabalho em determinados momentos pode aumentar e tal permite lidar com as procuras mais elevadas sem a necessidade de horas extra. Por outro lado, quando a procura está distribuída de forma quase uniforme e o período operacional é muito longo e, por isso, difícil de cobrir apenas com um turno, um dos métodos mais eficazes é a criação de vários turnos que não se sobrepõem. As horas de início e término e o comprimento dos turnos são alguns dos aspetos que contribuem para um

ambiente de trabalho flexível.

A flexibilidade referente às restrições de cobertura pode estar relacionada com o excesso ou a falta de pessoal ser permitido, mesmo quando as restrições de cobertura são modeladas como restrições rígidas. Vários trabalhos abordam os casos em que o excesso e a falta de pessoal são permitidos, o excesso e a falta de pessoal são proibidos e em que o excesso de pessoal é permitido, mas a falta de pessoal é proibida. No entanto, poucos trabalhos estudam casos em que a falta de pessoal é permitida, embora o excesso de pessoal seja proibido (Van Den Bergh et al., 2013).

Também as aptidões podem ser consideradas flexíveis. Van Den Bergh et al. (2013) distinguem três grupos relativamente à medida que as competências são consideradas flexíveis: as aptidões definíveis pelo “utilizador”, as aptidões hierárquicas e as aptidões insubstituíveis. No primeiro caso, o gestor ou responsável pelos recursos humanos da organização pode definir as aptidões de cada funcionário. No segundo caso, trabalhadores com um nível de aptidão superior são capazes de exercer funções e realizar tarefas de funcionários com um nível de aptidão inferior, mas o contrário não acontece. No caso do grupo das aptidões insubstituíveis, tal como o próprio nome indica, tarefas que necessitam de aptidões específicas podem ser únicas e exclusivamente realizadas por funcionários com tais aptidões.

3. METODOLOGIAS PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DE PESSOAL

Por todas as razões já enunciadas anteriormente, é desafiante encontrar boas soluções para este tipo de problemas e esta tarefa torna-se ainda mais complicada quando o objetivo é encontrar soluções ótimas que minimizem custos, satisfaçam as preferências dos funcionários e distribuam turnos de forma equilibrada pelos mesmos. Assim, várias organizações necessitam de recorrer a ferramentas de suporte à decisão que ajudem a providenciar os funcionários certos, no momento certo e com os menores custos possíveis, atingindo, simultaneamente, um elevado nível de satisfação das necessidades da organização (Ernst, Jiang, Krishnamoorthy, & Sier, 2004).

Os problemas de escalonamento integrado de pessoal e tarefas podem ser solucionados através de vários tipos de metodologias. As metodologias mais aplicadas neste tipo de problemas podem ser agrupadas em cinco categorias: os métodos exatos, como é o caso da programação matemática (programação linear, programação inteira e programação inteira mista); os métodos heurísticos, que incluem as meta-heurísticas, entre as quais a pesquisa local, a pesquisa tabu e o arrefecimento simulado; os métodos híbridos, que são uma combinação dos outros dois métodos; e a simulação (Hast, 2017).

A resolução de problemas de programação inteira permite a obtenção de soluções ótimas para instâncias de pequena e média dimensão. No entanto, geralmente, as abordagens baseadas em programação matemática são mais limitadas quando se pretende expressar de forma simples as restrições e objetivos do problema sendo que, além disso, a obtenção de soluções num modelo de programação inteira tende a consumir muito tempo (Ernst et al., 2004). A título de exemplo, Burke et al. (2004) e Naudin, Chan, Hiroux, Zemmouri & Weil (2012) desenvolvem três modelos de programação linear inteira mista para resolver problemas de escalonamento de pessoal no setor dos serviços, no qual as tarefas a serem atribuídas são fixas ao longo de um horizonte semanal e os funcionários são atribuídos a tarefas que não podem ser divididas, isto é, a tarefas que têm que ser realizadas inteiramente por determinado funcionário. O primeiro modelo é um modelo de programação inteira, no qual a informação presente nas variáveis de decisão é muito reduzida, evitando assim grande parte da informação desnecessária. Este modelo admite várias restrições de modo a evitar a falta de funcionários, garantir que um funcionário só pode ser alocado a uma tarefa e garantir o número mínimo de horas de descanso e o número máximo de horas de trabalho, por exemplo. Para a resolução deste problema, os autores recorrem ao método do

Branch-and-Bound, um algoritmo construído para encontrar soluções ótimas para vários tipos de problemas. Esta abordagem baseia-se no princípio de que o conjunto total de soluções viáveis pode ser particionado em subconjuntos menores de soluções. Esses subconjuntos podem ser avaliados sistematicamente até que a melhor solução seja encontrada. O segundo modelo resulta da decomposição de Dantzig-Wolfe no primeiro modelo, utilizando variáveis que representam cronogramas diários válidos. Os autores optam por resolver este problema através do método de geração de colunas, devido ao grande número de cronogramas diários possíveis. O terceiro modelo resulta, tal como o anterior, da decomposição de Dantzig-Wolfe no primeiro modelo. No entanto, neste modelo são utilizadas variáveis que representam cronogramas de trabalho semanais válidos e os autores recorrem a dois métodos de resolução: o método da geração de colunas e o método do *Branch-and-Bound*, ou seja, quando a solução ótima do problema inicial é encontrada, o método *Branch-and-Bound* continuará a procura através da geração de colunas. Kassa e Tizazu (2013) desenvolvem um modelo de programação inteira para uma organização da indústria hoteleira, de modo a determinar um cronograma de turnos semanais para um departamento específico, satisfazendo um conjunto de requisitos, como dias de folga e descanso entre turnos para cada funcionário. O objetivo do modelo é maximizar o número de funcionários a trabalhar por semana e o mesmo não tem em consideração as características específicas dos funcionários. Como o número de funcionários a atribuir é reduzido, os autores optaram por tratar o problema de forma holística através de um modelo de programação inteira binária. Assim, uma vez que os turnos são semelhantes e as características dos funcionários não são consideradas, existem soluções ótimas alternativas àquela encontrada pelos autores. No entanto, é possível, reformulando o modelo anterior, encontrar uma solução ótima única, através da inclusão de restrições como o número de funcionários necessários por turno e limites relativamente ao número máximo de funcionários autorizados por turno. Al-Yakoob & Sherali (2007) atribuem diferentes classes de funcionários a diferentes postos de gasolina. Este problema é modelado através de programação inteira mista e, visto que a formulação é muito complexa, os autores propõem uma abordagem com duas fases, na qual a primeira fase aloca funcionários a postos de gasolina e a segunda fase atribui os turnos e dias de folga a cada um destes.

As heurísticas e meta-heurísticas são muito utilizadas na resolução de problemas de escalonamento de pessoal, principalmente em problemas de maior complexidade e dimensão, devido à sua eficácia e aplicabilidade (Ernst et al. 2004). Ainda assim, o facto desta metodologia não garantir que a solução ótima do problema é encontrada pode impedir a sua utilização (Burke,

Li, & Qu, 2010; Gongga & Tayal, 2013). Lucic & Teodorovic (2007) resolvem um problema de escalonamento de uma tripulação aérea através de abordagens meta-heurísticas, entre as quais técnicas de arrefecimento simulado, algoritmos genéticos e pesquisa tabu. Este problema consiste na atribuição de membros da tripulação a rotas aéreas, num horizonte mensal. Primeiramente, os autores propõem uma formulação matemática do problema e, de seguida, resolvem-no através do uso das meta-heurísticas referidas anteriormente. Para gerar uma solução inicial é usada uma heurística gananciosa, denominada "*pilot-by-pilot*", que define a atribuição mensal de rotas aéreas ao primeiro membro da tripulação, de seguida, ao segundo membro da tripulação e assim sucessivamente. Depois de gerada esta solução, os autores utilizam técnicas de arrefecimento simulado de modo a melhorá-la. Por fim, os autores aplicam algoritmos genéticos e técnicas de pesquisa tabu, de forma a resolver o mesmo problema. Schaerf & Meisels (2000) apresentam uma descrição geral dos problemas de escalonamento de pessoal. Este problema trata da atribuição de recursos a tarefas e turnos, em que apenas uma tarefa pode ser atribuída num turno. Os autores consideram os turnos como intervalos de tempo pré-definidos que podem ser colocados em qualquer parte do eixo temporal. O modelo admite restrições de cobertura das necessidades rígidas, mas por outro lado, restrições temporais flexíveis (Burke et al. 2004). Outro exemplo de uma abordagem heurística é o de Bellanti, Carello, Della Croce & Tadei (2004), que procuram resolver um problema de escalonamento de enfermeiros, isto é, um problema de atribuição de um turno de trabalho ou de um dia de folga a cada enfermeiro em cada dia num horizonte mensal, de acordo com vários requisitos contratuais (como, por exemplo, o número de dias de trabalho consecutivos) e operacionais (como por exemplo, a determinação do número mínimo de enfermeiros necessários para um dado turno). Os autores optaram por recorrer a um método de pesquisa local uma vez que o elevado número de variáveis e restrições levou a uma dificuldade elevada na formulação do problema como um modelo de programação inteira e, posteriormente, na sua resolução. Primeiramente, a solução inicial é calculada com base num algoritmo ganancioso ("*greedy*"). Depois de escolhida a solução inicial, é aplicado um algoritmo de pesquisa local que testa um conjunto de permutações pré-determinadas para procurar uma solução. Nesta fase também é proposto um procedimento de pesquisa tabu e de pesquisa local iterativo. Este método foi testado com instâncias reais e aleatórias e estas duas últimas abordagens levaram a soluções não muito distintas das produzidas manualmente. Smet, Ernst & Vanden Berghe (2016) apresentam três heurísticas construtivas, baseadas no método de geração de colunas e noutros esquemas de decomposição, para a resolução de problemas de escalonamento integrado de

peçoal e tarefas. Primeiramente, desenvolvem uma heurística de ajuste de prioridade, isto é, uma heurística que constrói uma solução inteira viável baseando-se na quantificação da preferência em atribuir uma dada tarefa a um determinado funcionário. O algoritmo constrói uma solução gerando uma linha completa de trabalho para cada funcionário, de forma sequencial, usando os valores de preferência do momento para orientar as atribuições de tarefas. Depois de cada funcionário ter recebido uma linha de trabalho, as preferências das tarefas não atribuídas serão aumentadas para a próxima iteração desta heurística. De seguida, os autores desenvolvem uma heurística de decomposição horizontal e uma heurística de decomposição vertical. Depois de analisados os resultados, os autores concluem que através da heurística de ajuste de prioridade é possível obter soluções quase viáveis num tempo de cálculo limitado.

A simulação é geralmente procurada para auxiliar os investigadores a validar as abordagens de otimização determinística.

Atente-se ainda que as diferentes metodologias podem também ser combinadas de modo a aumentar a eficiência da abordagem (Lodi, Milano, & Toth, 2013). Bailey (1985), por exemplo, estuda dois níveis do escalonamento de pessoal: a determinação dos dias que um funcionário deve trabalhar e a determinação do horário em que cada um destes deve começar a trabalhar por dia. Este autor apresenta uma solução mais robusta para o problema do escalonamento de pessoal, através da construção de um modelo de programação linear. De seguida e de modo a reduzir o número de padrões de trabalho que atingem a diferença máxima estipulada entre turnos ao longo da semana, é também apresentada uma heurística.

4. OS PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DE PESSOAL EM SERVIÇOS DE *CALL CENTER*

Como referido anteriormente, os problemas de escalonamento de pessoal têm sido objeto de importantes estudos, tanto por parte da indústria como pelo setor dos serviços (Burke et al., 2004; Brucker et al., 2005)

O setor dos serviços, em particular, é amplamente conhecido pela sua intensa mão-de-obra e, por isso, utilizar a mão-de-obra de modo eficaz e, conseqüentemente, tentar manter os custos laborais baixos, revela-se essencial para a economia das organizações deste setor (Türker & Demiriz, 2018).

No setor dos serviços, os *call center* destacam-se uma vez que, por serem um dos principais responsáveis pela comunicação entre organizações e clientes, são elementos essenciais na aquisição e manutenção de clientes. Considerando ainda o facto da maioria dos custos de um *call center* estarem relacionados com os custos laborais, o processo de escalonamento de pessoal nestes serviços é ainda mais complexo, sendo decisivo no sucesso dos mesmos e, conseqüentemente, das respetivas organizações (Gans, Koole, & Mandelbaum, 2003).

Quando um cliente entra em contacto com um *call center*, se algum colaborador estiver disponível na central, a chamada é imediatamente atendida, enquanto que, se todos os membros da equipa estiverem ocupados, o cliente tem que esperar até que algum colaborador esteja disponível. Como nos *call center* a taxa de chegada das chamadas recebidas varia com o tempo e é, geralmente, prevista a partir de dados históricos, as previsões das taxas de chegada não são exatas. Neste sentido, a eficiência destes serviços é fulcral, uma vez que longos tempos de espera podem traduzir-se numa redução da satisfação dos clientes, sendo fundamental para os *call center* manterem os tempos de espera o mais baixos possível. Por outro lado, estes devem evitar a contratação de funcionários em excesso, de forma a manter os custos laborais baixos. Assim, o número de funcionários para cada turno deve ser planeado cuidadosamente para ser flexível o suficiente para evitar o excesso de pessoal e garantir a satisfação do cliente, evitando a falta de pessoal. O objetivo destas organizações passa, tipicamente, por fornecer um serviço com a qualidade requerida com o mínimo de custos laborais possíveis (Fukunaga et al., 2002). De acordo com Avramidis, Chan & Gendreau, (2009), a medida mais comum de qualidade de serviço num *call center* é o nível de serviço, que pode ser definido como sendo a proporção de chamadas cujo tempo na fila da linha de atendimento não ultrapassa um determinado limite. Para a maioria dos

call centers que oferecem serviços públicos, os níveis de serviço são impostos por autoridades externas e a não satisfação destes níveis pode levar a grandes penalidades (Avramidis et al., 2009).

Por todas as razões mencionadas, a afetação de turnos de trabalho e dias de folga num setor como os *call centers* – em que é necessário ter em consideração vários objetivos, muitas vezes conflituosos entre si – é uma tarefa complexa. Por isso, os serviços de *call center* recorrem, cada vez mais, a ferramentas que os auxiliam nesta tarefa (Türker & Demiriz, 2018).

Os diferentes trabalhos sobre escalonamento de pessoal em serviços de *call center*, envolvem os mais diversos métodos de investigação operacional, desde otimização, teoria de filas a simulação (Robbins & Harrison, 2010). Frequentemente, este tipo de problemas é resolvido do seguinte modo: primeiramente, um dia é dividido em diferentes períodos e é determinado o número mínimo de funcionários necessários em cada um desses períodos, de maneira a satisfazer determinados requisitos como, por exemplo, a procura e o nível mínimo de serviço; de seguida, são alocados funcionários a esses períodos, até que estejam alocados todos os funcionários necessários.

Atlason, Epelman & Henderson (2004) apresentam um método capaz de minimizar os custos de pessoal num serviço de *call center* de aptidão única – isto é, em que os funcionários têm todos a mesma aptidão, receberam o mesmo treino e oferecem, em teoria, a mesma qualidade de serviço – sujeito a incerteza e requisitos relacionados com a satisfação do nível de serviço. O algoritmo implementado combina a simulação e a programação linear inteira e, neste algoritmo, a função objetivo e as restrições são avaliadas através de simulação.

No caso de *call centers* com múltiplas aptidões – isto é, *call centers* em que chamadas de diferentes tipos são atendidas por funcionários com diferentes aptidões – as necessidades da organização podem ser satisfeitas através de várias combinações possíveis de conjuntos de aptidões e, por isso, o processo de escalonamento de pessoal torna-se mais desafiante (Avramidis et al., 2009). Por exemplo, Fukunaga et al. (2002) propõem um método híbrido para a resolução de um problema de escalonamento integrado de pessoal e tarefas em *call centers* e *contact centers*. Este método combina algoritmos heurísticos com a simulação, de forma a resolver simultaneamente o problema de escalonamento de pessoal e de atribuição de tarefas. Por sua vez, Pot, Bhulai & Koole (2007) desenvolvem um método simples de atribuição de turnos a funcionários num *call center* com múltiplas aptidões, tendo em consideração a aleatoriedade do processo de chegada das chamadas. Este método trata apenas de *call centers* com, no máximo, 5 aptidões, tendo, no entanto, tempos de execução curtos e uma alta precisão, conseguindo obter

soluções quase ideais. Cezik & L'Ecuyer (2008) estudam um problema de escalonamento integrado de pessoal e tarefas num *call center* com múltiplas habilidades, sujeito a várias restrições relacionadas com a qualidade do serviço, cujo objetivo é a minimização de custos de pessoal. Os autores procuram estender o método proposto por Atlason et al. (2004), referido anteriormente, para problemas em *call centers* com múltiplas aptidões. Para tal os autores combinam algoritmos iterativos de plano de corte com a programação inteira. Primeiramente, os autores apresentam uma formulação de programação inteira para o problema de escalonamento de pessoal com restrições de níveis de serviço ao longo de um intervalo de tempo dividido em períodos. De seguida, adaptam as ideias propostas por Atlason et al. (2004) ao cenário de *call centers* com múltiplas aptidões, começando por resolver uma versão mais simples do problema, em que os níveis de serviço são estimados através de simulação. Depois de resolverem uma versão mais simples do problema, os autores consideram que a solução ótima encontrada para esse problema, é também uma solução ótima para o problema original, basta que o tamanho da amostra da versão mais simples seja grande o suficiente. Dado que os autores se deparam com algumas dificuldades na resolução deste problema, propõem também alguns métodos heurísticos para lidar com tais dificuldades. Chevalier & Van den Schrieck (2008) abordam um problema de escalonamento de pessoal em *call centers* de múltiplas aptidões, em que atendem vários tipos de chamadas, porém a taxa de chegada de chamadas de cada tipo é baixa. Os autores propõem uma abordagem que utiliza elementos da otimização combinatória para encontrar soluções ótimas. Primeiramente, os autores desenvolvem um método de aproximação para avaliar os níveis de serviço e, de seguida, recorrem a um algoritmo *branch-and-bound* para procurar uma solução que minimize os custos de pessoal, sujeita a determinados níveis mínimos de serviço.

5. ANÁLISE COMPARATIVA DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O TRATAMENTO E RESOLUÇÃO DESTES PROBLEMAS

Os problemas de escalonamento integrado de pessoal e tarefas são, geralmente, muito complexos e, portanto, várias organizações optam pela utilização de ferramentas computacionais para o tratamento e resolução destes problemas.

O recurso a estas ferramentas auxilia as organizações de vários setores a operarem com mais eficiência e produtividade, a acederem a informação centralizada e a promover a transparência e a responsabilidade, permitindo, muitas vezes, aos funcionários escolher os seus próprios turnos e dias de folga. Além disso, como um dos grandes objetivos das organizações é a satisfação dos seus funcionários, a utilização de ferramentas capazes de satisfazer os funcionários e resolver vários problemas torna-se fundamental.

A título de exemplo são apresentados 5 *software* de escalonamento de pessoal, classificados pela base de dados *Software Advice*, à data de escrita deste capítulo, como sendo um dos melhores *software* de escalonamento de pessoal, em termos de preço de aquisição e utilização, maior número de clientes e que permitem a inserção de um maior número de funcionários.

5.1. *TSHEETS*

O *software TSheets* é uma ferramenta de escalonamento de pessoal, mas também uma ferramenta de escalonamento de tarefas. Este *software* permite fazer escalonamento por turnos, escalonamento por tarefa e gerir remotamente. A funcionalidade de escalonamento por turnos permite criar ou modificar escalonamentos, adicionar, editar ou remover turnos através do telemóvel, alertar os funcionários de novos escalonamentos ou até mesmo de mudanças de turnos. Além disso, permite acrescentar anotações a cada agendamento, rastrear a localização de cada funcionário ao longo do dia e compensar os funcionários quando um turno agendado for interrompido, alterado ou até mesmo cancelado. A funcionalidade de escalonamento de tarefas permite criar tarefas e só depois atribuí-las a um funcionário, alerta os funcionários de todas as mudanças relativas às tarefas que lhe são atribuídas e rastreia o tempo de trabalho de cada funcionário de forma a realizar estimativas.

O *TSheets* disponibiliza um painel de escalonamento com um código de cores que facilita o controlo dos horários dos funcionários, permite a troca de turnos e a visualização do

agendamento por dia, semana ou mês. Esta ferramenta oferece ainda funcionalidades como lembretes para cada funcionário e notificações em tempo real.

O *TSheets* dispõe de dois tipos de planos: o plano *Premium* e o plano *Elite*. Enquanto que o segundo plano disponibiliza todas as funcionalidades, o primeiro não permite acompanhar o progresso do projeto, a comparação entre as estimativas do projeto e o relatório atual, nem possui um sistema *Geofencing*. Relativamente aos custos de aquisição e utilização, o custo para planos mensais *Premium* é de US \$8 por mês e por utilizador, mais uma taxa base mensal de US \$20, e para planos mensais *Elite* é de US \$10 por mês e por utilizador, mais uma taxa base mensal de US \$40. O custo para planos anuais *Premium* é de US \$6.40 por mês e por utilizador, mais uma taxa base mensal de US \$16, e para planos anuais *Elite* é de US \$8 por mês e por utilizador, mais uma taxa base mensal de US \$32.

5.2. *WHEN I WORK*

O *software When I Work* possibilita a criação de cronogramas de trabalho, permitindo a troca de turnos entre funcionários, a gestão da disponibilidade dos funcionários e permite ainda adicionar locais e notas de trabalho à agenda de cada funcionário. Este *software* permite fazer o escalonamento a partir do zero ou utilizar um escalonamento pré-existente e fornece um painel com codificação de cores que facilita o controlo de funcionários por turno ou posição, que possibilita a troca de turnos e que permite solicitar aos funcionários o preenchimento de turnos abertos, isto é, turnos que têm uma data, uma hora e uma posição definidas, mas não têm qualquer funcionário associado.

Através das funcionalidades disponibilizadas pelo *software* torna-se mais fácil lidar com a disponibilidade dos vários membros de uma equipa uma vez que estas permitem um rápido acesso aos pedidos de folga ou de mudança de turno. O gestor ou responsável pelo escalonamento pode aprovar ou recusar estes pedidos facilmente, com base nos eventos futuros e/ou necessidades da organização, sendo os funcionários imediatamente notificados sobre esta decisão.

Esta ferramenta disponibiliza também uma aplicação para telemóvel, permitindo que os funcionários se registem através dos seus dispositivos móveis e recebam notificações em tempo real.

O *When I Work* fornece quatro tipos de planos - o plano *Scheduling Free*, o plano *Scheduling Basic*, o plano *Scheduling Pro* e o plano *Enterprise*. O primeiro plano é totalmente

gratuito, mas só admite a introdução de 1 a 75 funcionários, fornecendo um escalonamento simples e serviço de comunicação para apenas uma equipa ou localização. O *Scheduling Basic* tem um preço associado de US \$1.50 por funcionário e por mês e permite um número ilimitado de funcionários, fornecendo um serviço de escalonamento mais completo e poderoso e permitindo a comunicação entre equipas de trabalho com múltiplas localizações ou posições. O plano *Scheduling Pro* pode ser adquirido pelo preço de US \$2.25 por funcionário e por mês e permite um número ilimitado de funcionários e fornece um sistema de escalonamento avançado, que possibilita a comunicação entre equipas de trabalho e a troca de turnos. Por último, o plano *Enterprise* fornece todas as funcionalidades disponibilizadas pelo *software* e, em termos de preços, é necessário contactar a *When I Work* para definir um valor.

5.3. *DEPUTY*

O *software Deputy* permite gerir facilmente vários locais, departamentos e funções através de uma única conta, criar modelos de cronogramas e recorrer ao agendamento automático para gerar cronogramas e partilhá-los facilmente e em tempo real, notificando todos os membros da organização sobre alterações nos turnos ou tarefas, por exemplo e permite, ainda, a criação de turnos abertos para determinados funcionários ou departamentos. Recorrendo a esta ferramenta, é possível alocar os funcionários de acordo com as suas aptidões e qualificações, uma vez que esta faculto o acompanhamento das competências dos funcionários e programa os cronogramas de acordo com as mesmas.

O gestor, através desta ferramenta, pode personalizar regras de agendamento, de forma a atender a todos os requisitos da organização. Após a identificação de todos os requisitos, o serviço de escalonamento automático é capaz de criar cronogramas otimizados e em conformidade com esses requisitos. O gestor pode também agendar intervalos, pagos e não pagos, num único turno, indicando a hora de início e fim dos mesmos, que ficarão depois registados no sistema, podendo ser consultados quando necessário. Como esta ferramenta regista todos os turnos, intervalos e dias de folga, todas as sobreposições são evitadas, garantido cobertura total ao longo do dia. Além disso, o *software* permite evitar a fadiga dos funcionários, estabelecendo um limite de horas que determinado funcionário pode trabalhar por dia ou semana. Os funcionários com contratos a tempo parcial também podem ter horários limitados, de modo a evitar horas extra desnecessárias.

Este *software* faculta ainda a criação de tarefas e a atribuição das mesmas aos funcionários. As tarefas podem ser definidas como únicas, isto é, que só serão executas naquele dia ou como tarefas regulares, que se repetirão em determinados intervalos de tempo e podem ainda ter anexadas notas ou listas de verificação para garantir a execução das mesmas com a maior qualidade possível. Através do painel de controlo disponível neste sistema, é possível fazer o acompanhamento de cada tarefa em tempo real, tendo acesso à mais diversa informação, como as tarefas que foram concluídas, quando e por quem, bem como as tarefas incompletas.

Esta ferramenta faculta aos funcionários a hipótese de solicitarem uma folga, notificando o gestor, logo de seguida. Após a notificação, o gestor deve indicar a aceitação ou não da folga pedida.

Relativamente ao preço de aquisição e uso deste *software*, este depende do tipo de assinatura - mensal ou anual - e do tipo de serviço adquirido – serviço de agendamento de pessoal, serviço de tempo e comparência, serviço *Premium* ou serviço *Enterprise*. Os planos com serviço de agendamento de pessoal ou serviço de tempo e comparência só estão disponíveis para assinantes mensais e têm um valor de US \$2.50 por utilizador e por mês. O plano *Premium* tem o valor de US \$4.50 por utilizador e por mês, para assinantes mensais, e um valor de US \$4 mensais por utilizador, para assinantes anuais. O plano *Enterprise* está disponível tanto para assinantes mensais como anuais, mas para definir um valor é necessário contactar a organização. Note-se que as funcionalidades disponíveis variam conforme o plano escolhido.

5.4. *SHIFTBOARD*

Com este *software*, os funcionários podem indicar a sua disponibilidade e pedidos de dias de folga, tendo depois que esperar pela aprovação ou recusa desta solicitação por parte do responsável pelo escalonamento. O *Shiftboard* disponibiliza recursos para controlar as aptidões dos funcionários, como um sistema que permite inserir regras sobre quem pode fazer quais tarefas e as tarefas para as quais cada funcionário está mais habilitado.

Em termos de escalonamento, este é construído de modo semelhante a outros *software* já analisados, construindo escalonamentos a partir do zero e com codificação de cores ou recorrendo a modelos de escalonamento já existentes.

Além de um sistema de escalonamento, esta ferramenta oferece outros recursos importantes para o controlo e gestão da força de trabalho, como o acompanhamento e orientação

de novos funcionários, previsão das necessidades da organização e rastreamento de tempo e ainda a capacidade de integração com vários sistemas.

O *Shiftboard* tem também uma aplicação disponível para dispositivos móveis, permitindo, assim, que os funcionários acessem a todas as informações através do telemóvel.

Esta ferramenta tem 3 planos associados:

- o plano *Basic*, que apenas permite inserir 20 funcionários e uma localização no sistema;
- o plano *Professional*, que permite inserir um número ilimitado de funcionários, mas apenas uma localização no sistema;
- o plano *Enterprise*, que permite inserir um número ilimitado de funcionários e localizações no sistema.

Em termo de custos, é necessário contactar a organização para obter um valor, no entanto, os planos estão disponíveis a partir de US \$3 mensais por utilizador.

5.5. *HUMANITY*

A *Humanity* dispõe de um mecanismo de escalonamento automático e de um mecanismo de regras personalizáveis. Com estas funcionalidades, esta ferramenta permite o preenchimento automático de horários, combinando os funcionários corretos com os respetivos turnos e duração dos mesmos e garante que as agendas estão sempre em conformidade com os regulamentos e leis, assegurando, portanto, que as horas de trabalho, tempo entre turnos e dias de folga sejam cumpridas. Além disso, permite a otimização do escalonamento, atribuindo turnos com base em variáveis personalizáveis, como a experiência, as preferências e as aptidões.

Com este *software* os funcionários podem solicitar folgas, deixar certos turnos, ocupar turnos abertos, ajustar a sua disponibilidade e ter acesso ao agendamento mais recente. Os funcionários podem ainda trocar turnos entre si, com base em regras predefinidas.

A *Humanity* proporciona um escalonamento bastante flexível uma vez que permite aos funcionários o preenchimento de turnos abertos, a resposta instantânea e em tempo real a mudanças no escalonamento o que leva, conseqüentemente, a uma redução do impacto da falta de pessoal.

Tal como os *software* descritos anteriormente, permite o rastreio com precisão dos funcionários e a sua localização através do GPS.

Esta ferramenta dispõe de 3 planos:

- o plano *Starter*, ideal para o escalonamento básico para equipas e cujo custo é de US \$2 mensais por utilizador e com um custo mínimo de US \$80 ou com um custo mínimo de US \$60, caso se opte por um plano anual;
- o plano *Classic*, ideal para pequenas e médias empresas e cujo custo é de US \$4 mensais por utilizador e com um custo mínimo de US \$80 ou cujo custo é de US \$3 mensais por utilizador e com um custo mínimo de US \$60, caso se opte por um plano anual;
- o plano *Enterprise*, ideal para negócios de maior dimensão. Neste caso é necessário contactar a organização para definir um valor.

5.6. ANÁLISE CRÍTICA

Grande parte dos *software* mencionados apresentam várias funcionalidades em comum, entre as quais o escalonamento de turnos, o agendamento automático e o acompanhamento de cada funcionário e tarefa em tempo real. As ferramentas apresentadas permitem a alocação de funcionários em vários locais, atendendo às suas características, a troca de turnos entre colegas de trabalho e o preenchimento voluntário de turnos abertos por parte dos funcionários. O agendamento automático e o acompanhamento dos cronogramas em tempo real permitem que uma alocação seja aceite ou rejeitada, de acordo com a disponibilidade, bem como a gestão dos funcionários disponíveis e aptos para substituição de outro funcionário caso seja necessário.

O *software Tsheets*, além de dispor de grande parte das funcionalidades que os restantes *software* dispõem, é o único, dos mencionados anteriormente, que permite o escalonamento de pessoal, mas também de tarefas. Deste modo, esta ferramenta permite criar tarefas e só depois atribuí-las a cada funcionário, muitas vezes em simultâneo com a atribuição de turnos, sendo, portanto, uma ferramenta de escalonamento integrado de pessoal e tarefas.

A utilização destas ferramentas pode trazer vários benefícios a uma organização, facilitando o processo de escalonamento, organizando toda a informação de forma intuitiva e de fácil compreensão, promovendo a transparência e responsabilidade e assegurando que as informações relacionadas com o escalonamento chegam a todos os elementos da organização. Além disso, pode reduzir significativamente os custos laborais resultantes do processo de escalonamento de pessoal, bem como o tempo despendido com o mesmo.

6. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As organizações de todas as indústrias e empresas de serviços estão cada vez mais atentas aos problemas de escalonamento de pessoal, como referido no capítulo 2. O impacto financeiro de todas as decisões tomadas a este nível, a satisfação tanto de colaboradores como de clientes e conceitos mais subjetivos como “equilíbrio” e equidade” entre colaboradores são algumas das questões mais importantes a analisar. Neste sentido, um bom método de escalonamento de pessoal é fundamental, uma vez que um processo de escalonamento de pessoal inadequado pode levar ao caos nas operações, a fluxos de trabalho ineficientes, ao conflito entre funcionários e até a efeitos negativos nos tempos de espera do cliente e, conseqüentemente, gerar insatisfação e aumento de custos.

O caso de estudo em análise foca-se no problema de otimização inerente a um problema de escalonamento de pessoal numa empresa de serviços de *call center*. Esta tarefa depende da elaboração prévia de horários de trabalho como, por exemplo, a afetação de turnos e folgas. Neste sentido, pretende-se efetuar um escalonamento de funcionários para turnos de trabalho ao longo de um horizonte temporal de um mês, dividido em dois períodos de aproximadamente duas semanas cada um. Dado que nem todos os meses têm o mesmo número de dias, estes dois períodos não são sempre iguais. No caso de meses com um número de dias par, o primeiro e o segundo período têm exatamente o mesmo número de dias, dividindo, portanto, o mês em dois períodos iguais. Veja-se o exemplo de um mês com 30 dias, em que o primeiro período corresponde aos primeiros 15 dias do mês e o segundo período corresponde aos últimos 15 dias do mês. Por sua vez, no caso de meses com um número de dias ímpar, o segundo período tem mais um dia a considerar que o primeiro período. Por exemplo, num mês com 29 dias, o primeiro período abrange todos os dias entre os dias 1 e 14 inclusive, e o segundo período estende-se desde o dia 15 ao dia 29.

Um dos objetivos da empresa é criar alguma continuidade na alocação dos funcionários ao mesmo turno no horizonte temporal de 2 semanas, ou seja, maximizar o número de vezes que cada funcionário mantém o mesmo turno de trabalho até ao período máximo de 2 semanas no mesmo turno. A empresa opera 7 dias por semana, 24 horas por dia e dispõe de 48 turnos, iniciados a cada meia hora: o primeiro turno começa às 00h00 e o último turno tem início às 23h30. Um turno corresponde a 9 horas consecutivas de trabalho, com uma hora interposta de paragem, e pode ser definido pelo seu instante de início.

Os colaboradores estão distribuídos geograficamente entre os polos de duas cidades distintas e divididos por equipas, de acordo com as aptidões de cada colaborador. Existem 7 equipas de trabalho: 5 delas operam 24 horas por dia nos 7 dias da semana, uma equipa opera das 06h30 às 23h00 todos os dias e outra equipa labora das 06h30 às 18h30 durante a semana e das 08h00 às 17h00 ao fim-de-semana.

Cada colaborador tem direito a pelo menos 11 horas de descanso entre turnos. Além disso, em cada semana, um colaborador só pode trabalhar, no máximo, 5 dias consecutivos e tem de ter pelo menos 2 dias de descanso.

Procura-se ainda evitar o recurso a pedidos de horas extra, exceto por motivos de necessidade operacional.

Nesta organização, o escalonamento de pessoal é feito mensalmente através de uma folha de cálculo. Como a inserção de dados e o processo de escalonamento, por exemplo, são feitos manualmente, este processo requer muito tempo e recursos. Além disso, pode ser difícil gerir os horários dos funcionários de forma eficiente, dependendo da complexidade envolvida e do tamanho de cada equipa. Os fatores referidos podem levar a uma grande variedade de erros e complicações neste processo. Neste sentido, o objetivo da implementação de uma abordagem heurística para a resolução do problema descrito anteriormente é o escalonamento de pessoal automático e capaz de otimizar certos critérios como, por exemplo, alterar os turnos dos funcionários o mínimo possível no período de 2 semanas. Assim, o objetivo é que, pela qualidade e tempo requerido, tais horários de trabalho sejam preferíveis aos escalonamentos feitos manualmente.

Um exemplo de escalonamento de funcionários no período de 28 dias é apresentado na Figura 1 onde estão representados os instantes de início dos turnos a que cada funcionário foi alocado em cada dia do referido mês. As células coloridas a amarelo representam os dias em que foram atribuídas folgas a cada um dos funcionários, enquanto que as células a branco representam os dias em que os funcionários dessa equipa não foram alocados a nenhum turno, nem lhes foram atribuídas folgas e, por isso, correspondem a dias sem qualquer alocação para esses funcionários.

7. ABORDAGENS HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA EM ESTUDO

Para a resolução do problema do escalonamento de funcionários para turnos de trabalho, descrito na secção anterior, foi implementada uma heurística construtiva de forma a obter uma solução inicial válida. De seguida, foi proposto um método de pesquisa local para que sejam encontradas soluções de melhor qualidade para o problema.

A pesquisa local é um método de otimização que procura determinar soluções de melhor qualidade partindo de uma solução inicial (Michalewicz, & Fogel, 2000; Voß, 2001). Segundo estes autores, este método é um processo iterativo em que a pesquisa dessas soluções é feita explorando a vizinhança da solução corrente. O método termina quando não existem soluções vizinhas melhores, isto é, quando o valor da função objetivo não for melhorado (Michalewicz, & Fogel, 2000; Voß, 2001). A solução encontrada é melhor que as outras soluções da sua vizinhança, sendo um ótimo local. Note-se que, caso a procura por soluções vizinhas melhores se torne muito exaustiva, o tempo de execução pode ser definido como um dos critérios de paragem.

Assim, no início deste capítulo apresentam-se as principais componentes da pesquisa local, entre as quais o método para obtenção de soluções iniciais e os diferentes procedimentos para gerar soluções vizinhas.

Um elemento fundamental deste método é a função de vizinhança, que permite determinar o conjunto de soluções que podem ser exploradas numa iteração (Costa, 2014). O método de geração de soluções iniciais, a função de avaliação, que avalia as soluções da vizinhança e escolhe a solução seguinte, e o critério de paragem são outros elementos que caracterizam um método de pesquisa local (Costa, 2014; Voß, 2001).

Todas as soluções geradas são soluções válidas e, na construção da primeira solução, bem como de soluções vizinhas, é garantido o cumprimento de todas as restrições e, portanto, não são geradas soluções inválidas.

7.1. REPRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

No contexto do caso de estudo descrito, uma solução válida (S, P) pode ser representada por um conjunto de funcionários $S = (S_1, S_2, \dots, S_{|S|})$. Todos os funcionários têm associados os turnos – representados pelo seu instante de início – a que estão alocados no horizonte temporal de um determinado mês ou uma indicação da ausência de alocação. Desta forma, $P = (P_1, P_2, \dots, P_{|S|})$, com $P_i = (p_1^i, p_2^i, \dots, p_d^i)$ em que $i = 1, 2, \dots, |S|$, p_j^i corresponde ao

instante de início do turno efetuado pelo funcionário i no dia j (com $j = 1, 2, \dots, d$) e d corresponde ao número de dias do mês a considerar.

Veja-se o seguinte exemplo de uma forma de representação de uma solução válida para o escalonamento de 4 funcionários no horizonte temporal de 1 semana:

S	Funcionário A	Funcionário B
P	(08:00, 08:00, 08:30, 08:00, 08:30, X, X)	(10:00, 11:00, 11:00, 10:00, -, 10:00, 10:00)
S	Funcionário C	Funcionário D
P	(14:00, 10:00, 10:00, 14:30, X, 14:30, X)	(15:30, 15:30, -, 15:30, -, 15:00, 15:00)

Figura 2 - Exemplo da representação de uma solução

Na figura 2, a solução representada é constituída por 4 funcionários e os respetivos turnos de trabalho atribuídos para o horizonte temporal de 1 semana. Neste exemplo, o funcionário A está alocado ao turno com início às 08h00 no primeiro dia dessa semana, ao turno das 08h00 no segundo dia dessa semana e assim sucessivamente, e tem dois dias de folga consecutivos - representados pela letra X -, enquanto que o Funcionário C tem dois dias de folga não consecutivos. Por sua vez, o funcionário B tem, no seu horário, um dia sem qualquer alocação e o funcionário D tem dois dias sem qualquer alocação. Os dias sem qualquer alocação de cada colaborador são representados por um hífen. Diz-se que um funcionário ficou com um dia sem qualquer alocação quando, num determinado dia, esse funcionário não está alocado a nenhum turno, nem lhe foi atribuída folga. Por sua vez, diz-se que um funcionário tem um dia de não trabalho quando, num determinado dia, esse funcionário não está alocado a qualquer turno, seja por estar num dia de folga ou por a empresa não ter necessidade operacional.

Para este caso de estudo, foram definidas duas funções objetivo, as funções objetivo $z_1(S, P)$ e $z_2(S, P)$.

A função objetivo $z_1(S, P)$ é definida pela percentagem de vezes que os trabalhadores mantêm o mesmo turno a cada duas semanas, isto é, em cada um dos dois períodos do mês. Deste modo, $z_1(S, P)$ é definida pela média das razões entre os instantes de início de turnos iguais a que cada funcionário é alocado em cada um dos dois períodos do mês sobre o número total de turnos desse funcionário nesses mesmos períodos, respetivamente.

A função objetivo $z_2(S, P)$ é definida pelo desvio médio do número de vezes que cada funcionário está associado a um dia de não trabalho num determinado mês. O desvio médio de

um conjunto de dados é a média das diferenças, em valor absoluto, entre cada dado e a média, e consiste numa forma de descrever a variabilidade dos dados. Assim, neste caso, o desvio médio pode ser definido como a média das diferenças, em módulo, entre o número de dias de não trabalho de cada funcionário e a média de dias de não trabalho dessa equipa nesse mês.

7.2. CONSTRUÇÃO DA SOLUÇÃO INICIAL

As soluções iniciais têm um papel fulcral ao longo de todo o processo de pesquisa local (Aarts & Lenstra, 2003). Para a construção de uma solução inicial viável implementou-se uma heurística construtiva.

Neste sentido, inicialmente, é elaborada uma lista constituída pelos funcionários disponíveis (L_{DISP}) para cada equipa, numa ordem aleatória. A ordem desta lista deve manter-se durante o processo de escalonamento de 2 semanas, correspondente ao primeiro período do mês. São ainda criadas três listas: uma lista com os funcionários que estarão ocupados para cada turno (L_O), uma lista de funcionários que estarão em descanso durante determinado turno (L_{DESC}) e uma lista de funcionários que se encontrarão de folga (L_{FOLGA}). Além disso, é criada uma lista com as necessidades da organização para cada instante de início de um turno em cada dia do horizonte temporal ($N_{h,d}$).

A lista de funcionários disponíveis para cada turno é constituída por:

- funcionários a quem não tenha sido atribuída folga para esse dia;
- funcionários que não tenham sobreposição horária de trabalho com esse turno;
- funcionários que tenham, pelo menos, 11 horas de descanso entre o turno anterior a que estão alocados e o instante de início desse turno.

A lista de funcionários ocupados para um turno é constituída por funcionários com sobreposição horária de trabalho em relação à duração desse turno.

A lista de funcionários em descanso para cada turno contém todos os funcionários que durante, pelo menos, meia hora desse turno estão a desfrutar das 11 horas de descanso a que têm direito após um dia de trabalho.

A lista de funcionários de folga contém todos os funcionários para os quais está prevista a atribuição de um dia de folga nessa altura e, portanto, não podem ser alocados a nenhum turno com sobreposição horária de trabalho com as horas de folga definidas para esses funcionários.

Para o escalonamento no primeiro dia, a lista de funcionários disponíveis contém todos os funcionários.

Para o primeiro turno, são alocados os funcionários que perfazem o número mínimo de funcionários necessários para o instante de início desse turno, de acordo com a ordem da lista de funcionários disponíveis. Este processo é repetido para todos os instantes de início de cada um dos 48 turnos e, portanto, para cada turno, e sempre que é necessário alocar funcionários, recorrendo à mesma lista. Esta lista de funcionários disponíveis é atualizada a cada instante de início de um turno: os funcionários alocados a um determinado turno são, simultaneamente, removidos da lista de funcionários disponíveis para o turno correspondente a esse instante de início e transferidos para a lista de funcionários ocupados. Por último, os funcionários são removidos da lista de funcionários ocupados após as 9 horas de trabalho associadas ao turno a que estão alocados e inseridos na lista de funcionários em descanso.

Para o segundo dia, a lista de funcionários disponíveis é novamente percorrida e os funcionários desta lista são alocados, sempre que possível, ao mesmo instante de início de um turno a que estão alocados no dia anterior e de acordo com as necessidades da organização. A lista de funcionários disponíveis pode não conter exatamente os mesmos funcionários uma vez que, como referido anteriormente, todas as listas são atualizadas de forma recorrente. No entanto, a sequência pela qual os funcionários se encontram na lista mantém-se.

Após a tentativa de alocar funcionários aos instantes de início de turnos a que já foram alocados em dias anteriores, e caso se verifique que não há funcionários disponíveis em número suficiente e nas condições devidas para que as necessidades da organização sejam supridas, é criada uma lista de turnos, *TurnosPorAlocar*. Esta lista contém todos os instantes de início de turnos que ainda não foram totalmente preenchidos. No sentido de preencher estes turnos a lista de funcionários disponíveis para cada turno é atualizada e os funcionários dessa lista são alocados, pela ordem em que se encontram, aos instantes de início dos turnos da lista *TurnosPorAlocar*.

Depois de completar o horário para um determinado dia de trabalho, as listas são percorridas para contabilizar os funcionários que não laboraram nesse dia. Essa informação é associada ao seu histórico de trabalho para que seja possível determinar o número de dias sem alocação.

Quando um funcionário é removido da lista de ocupados, isto é, quando o funcionário já não tem sobreposição horária de trabalho com os turnos para os quais se procura alocar funcionários, tem direito a 11 horas de descanso e é, portanto, adicionado à lista de descanso. Após as 11 horas de descanso, os funcionários voltam a ser adicionados à lista de disponíveis, ou

alternativamente são adicionados à lista de folga no caso de já terem trabalhado 5 dias consecutivos.

Ao fim de 5 dias consecutivos de trabalho, são atribuídos 2 dias de folga consecutivos aos funcionários cujo número único de identificação é ímpar. No caso de funcionários com número único de identificação par, é atribuído 1 dia de folga e, só depois de mais um dia de trabalho, é que lhe é atribuído outro dia de folga.

O procedimento descrito para o segundo dia é repetido para os restantes dias do primeiro período desse mês.

Depois dessas 2 semanas, os procedimentos anteriores são repetidos de modo a cumprir o objetivo de dotar o escalonamento de estabilidade durante o mês, i.e., o turno de hoje deve ser igual ao de amanhã, até ao período máximo de 2 semanas no mesmo turno. Assim, todas as listas são reordenadas aleatoriamente para cada equipa. Note-se ainda que a regra de atribuição de folgas é invertida, ou seja, são atribuídos 2 dias de folga consecutivos aos funcionários com número de identificação par e 2 dias de folga não consecutivos aos restantes funcionários. A regra de atribuição de dias de folga é invertida de forma a que todos os funcionários possam ter dias de folga consecutivos e não consecutivos e, conseqüentemente, esta atribuição seja mais equitativa para todos eles.

Para melhor descrever esta heurística construtiva, os algoritmos são resumidos de forma sucinta em três pseudocódigos designados por *Day1Week1*, *Day1Week3* e *OtherDaysAllWeeks* para ilustrar o tratamento de períodos temporais distintos: o primeiro dia do mês, o primeiro dia do segundo período do mês (correspondente, aproximadamente, ao primeiro dia da terceira semana do mês) e as primeiras duas e as últimas duas semanas do mês. Uma vez que, nas duas primeiras e nas duas últimas semanas do mês, a heurística tem um comportamento semelhante apenas diferindo no modo de atribuição dos dias de folga, é apenas apresentado um pseudocódigo para descrever o que acontece neste período temporal. Assim, os algoritmos *Day1Week1*, *Day1Week3* e *OtherDaysAllWeeks* demonstram a ação da heurística em cada um destes períodos temporais, respetivamente.

Em todos os algoritmos são utilizados como parâmetros a lista de funcionários disponíveis por equipa, ordenada de modo aleatório (L_{DISP}) e o número mínimo de funcionários necessários para cada instante de início de um turno h do dia d , isto é, as necessidades por dia ($N_{h,d}$).

São também utilizadas uma lista de funcionários ocupados (L_O), uma lista de funcionários em descanso (L_{DESC}), uma lista composta pelos funcionários que se encontrarão no seu dia de

folga (L_{FOLGA}), uma lista de turnos por alocar, ou seja, turnos que não foram totalmente preenchidos (*TurnosPorAlocar*) o número de funcionários que estarão a trabalhar durante o instante de início de um determinado turno (*QuantosATrabalhar*) e o número de funcionários que é necessário alocar a dado turno, de modo a satisfazer as necessidades da organização para cada instante de início de um turno (*QuantosPrecisa*).

Além disso, são também implementadas as seguintes funções:

Tabela 1 - Funções e respetivas funcionalidades

Funções	Funcionalidade	
<i>Tamanho(x)</i>	Retorna o tamanho da lista x , isto é, o número de elementos da lista	
<i>SelecionaF(x)</i>	Seleciona o primeiro elemento da lista x	
<i>AtribuirTurno(j, h)</i>	Aloca o funcionário j ao turno h	
<i>RetornaHoraFinal(j)</i>	Retorna o instante de fim de turno do funcionário j	
<i>RetornaHoraFinalDescanso(j)</i>	Retorna o instante a que o funcionário j termina as 11 horas de descanso	
<i>RetornaHoraFinalFolga(j)</i>	Retorna o instante e o dia a que o funcionário j termina o(s) seu(s) dia(s) de folga	
<i>RetornaTurnoAnterior(j)</i>	Retorna o instante de início do último turno realizado pelo funcionário j	
<i>Historico(j)</i>	Retorna o registo de todos os turnos realizados pelo funcionário j	
<i>RetornaId(j)</i>	Retorna o número único de identificação do funcionário j	
<i>AtribuirFolgas(j, h, d, x)</i>	Quando $d \in \left[1, \frac{nrDeDias}{2} - 1\right]$, isto é, quando se trata das primeiras duas semanas do mês	Se $x = 1$, atribui 2 dias de folga consecutivos ao funcionário j a partir da hora de início de turno h Se $x = 2$, atribui 2 dias de folga não consecutivos ao funcionário j a partir da hora de início de turno h
	Quando $d \in \left[\frac{nrDeDias}{2}, nrDeDias - 1\right]$, isto é, quando se trata das duas últimas semanas do mês	Se $x = 1$, atribui 2 dias de folga não consecutivos ao funcionário j a partir da hora de início de turno h Se $x = 2$, atribui 2 dias de folga consecutivos ao funcionário j a partir da hora de início de turno h

7.2.1. *Day1Week1*

Em *Day1Week1* os parâmetros de entrada são a lista de necessidades para cada meia hora – correspondente à hora de início de um turno – do dia d ($N_{h,d}$), a lista de funcionários disponíveis (L_{DISP}) que, neste caso, contém todos os funcionários de determinada equipa e está ordenada aleatoriamente, e duas listas vazias (L_O e L_{DESC}).

Assim, para cada instante de início de um turno h , a lista de necessidades por dia é percorrida e, caso o número de funcionários que estarão a trabalhar (*QuantosATrabalhar*) seja menor que o número mínimo de funcionários necessários ($N_{h,d}$), são alocados funcionários ao turno definido pela hora de início h de modo a colmatar a falta de funcionários. Os funcionários são escolhidos pela ordem que se encontram na lista. Quando tal acontece, os funcionários alocados são transferidos da lista de disponíveis (L_{DISP}) para a lista de ocupados (L_O).

Além disso, para cada instante de início de um turno, as listas de funcionários ocupados e de funcionários em descanso são percorridas, para que depois de cada turno de 9 horas ou depois das 11 horas de descanso a que cada funcionário tem direito, este seja movido para a lista de descanso ou para a lista de disponíveis, respetivamente.

Algoritmo 1 *Day1Week1*

1: Input:

L_{DISP} : Lista aleatória de funcionários disponíveis por equipa;

L_O : Lista de funcionários ocupados;

L_{DESC} : Lista de funcionários em descanso;

$N_{h,d}$: Número mínimo de funcionários necessários para cada hora de início de um turno h do dia d ;

$nrDeDias$: Indicação do número de dias que contém o mês em questão;

2: Para todo $h \in [0, 48]$ e $d = 0$ fazer

3: $QuantosATrabalhar := Tamanho(L_O)$;

4: **Se** $QuantosATrabalhar < N_{h,d}$ **então**

5: $QuantosPrecisa := N_{h,d} - QuantosATrabalhar$;

7: $j := SeleccionaF(L_{DISP})$;

7: **Para** $w \in [0, QuantosPrecisa]$ **fazer**

8: $(S_F, P_F) := AtribuirTurno(j, h)$;

9: $L_O \cup \{j\}$;

10: $L_{DISP} \setminus \{j\}$;

11: **Fim_Para**

12: **Fim_Se**

13: **Para** $l \in L_O$ **fazer**

14: **Se** $h == RetornaHoraFinal(l)$ **então**

15: $L_{DESC} \cup \{l\}$;


```

16:       $L_0 \setminus \{l\}$ ;
17:  Fim_Se
18:  Para  $g \in L_{DESC}$  fazer
19:      Se  $h == \text{RetornaHoraFinalDescanso}(g)$  então
20:           $L_{DISP} \cup \{g\}$ ;
21:           $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
22:  Fim_Se
23:  Fim_Para
24: Fim_Para
25: Output:  $(S, P) = U(S_F, P_F)$ 

```

7.2.2. *OtherDaysAllWeeks*

Como já foi referido, *OtherDaysAllWeeks* demonstra o funcionamento da heurística desenvolvida nos restantes dias dos dois períodos do mês, isto é, das duas primeiras e das duas últimas semanas, excluindo o primeiro dia de cada um destes períodos. Os parâmetros de entrada são as necessidades por dia, a lista de funcionários disponíveis, a lista de funcionários ocupados, a lista de funcionários em descanso, bem como duas listas vazias, a lista de folga e a lista dos turnos por alocar.

Tal como *em Day1Week1* a lista de necessidades por dia é percorrida de modo a verificar se e quantos funcionários é necessário alocar a um determinado turno. A lista de funcionários disponíveis é percorrida de modo a verificar qual o turno a que cada funcionário está alocado no dia de trabalho anterior (*RetornaTurnoAnterior*). Se esses instantes de início de turnos coincidirem, o funcionário é alocado. Este procedimento é realizado para todos os turnos em que sejam necessários funcionários, e até que as necessidades sejam satisfeitas. Na eventualidade de alguma das necessidades não ser totalmente satisfeita, isto é, o número de funcionários necessários para determinado instante de início de um turno não ser totalmente cumprida com este procedimento, essa hora é registada na lista *TurnosPorAlocar* para que, de seguida, os funcionários que ainda estão na lista de disponíveis sejam alocados, pela ordem em que se encontram, a cada um dos turnos correspondentes às horas de início presentes nessa mesma lista. Assim, é incrementado um k para cada turno e, sempre que um funcionário é alocado a esse turno, k toma o valor de $k + 1$. Enquanto k for menor que *QuantosPrecisa*, isto é, que o número de funcionários necessários para esse turno, procura-se alocar funcionários cujo turno realizado anteriormente seja igual a esse turno. Quando já não existirem funcionários disponíveis nessas condições e ainda houver necessidade de alocar funcionários para esse turno, o mesmo é

registado na lista *TurnosPorAlocar* o número de vezes correspondente ao número de funcionários que ainda são necessários.

Do mesmo modo que em *Day1Week1*, as listas de funcionários ocupados e de funcionários em descanso são percorridas para averiguar que funcionários já teriam terminado o seu turno, os que já estarão disponíveis ou os que terão direito a dias de folga.

Para determinar as folgas, o histórico de cada funcionário, que contém a agenda deste até ao momento, é percorrido. Desta forma, é possível identificar os funcionários que, no dia para o qual se pretende fazer uma alocação, já estão alocados a turnos em 5 dias consecutivos. É então analisado o número único de identificação dos funcionários identificados anteriormente (*RetornaId*). No caso das duas primeiras semanas do mês tem-se que $d \in \left[1, \frac{nrDeDias}{2} - 1\right]$ e, portanto, se o número de identificação for par, são atribuídos dois dias de folga consecutivos ao funcionário em questão, através do método *AtribuirFolgas* em que $x = 1$ e d corresponde ao dia que se está a analisar. Caso contrário, é atribuído um dia de folga ao funcionário e, depois de um dia de trabalho, é atribuído outro dia de folga, através do mesmo método, mas com $x = 2$. No entanto, no caso das duas últimas semanas do mês tem-se que $d \in \left[\frac{nrDeDias}{2}, nrDeDias\right]$ e, deste modo, a atribuição dos dias de folga é feita de modo inverso. Como se trata das duas últimas semanas do mês, se o número de identificação for ímpar, são atribuídos dois dias de folga consecutivos ao funcionário em questão, através do mesmo método descrito anteriormente, com o respetivo valor para a variável d e com $x = 2$. Por sua vez, se o número de identificação do funcionário for par, é atribuído um dia de folga ao funcionário e, depois de um dia de trabalho, é atribuído outro dia de folga, pelo mesmo método e com o mesmo valor para a variável d , mas com $x = 1$.

Note-se ainda que, neste caso, a lista de funcionários de folga é percorrida para que os funcionários que já terão cumprido os dias de folga voltem a ser colocados na lista de funcionários disponíveis.

Algoritmo 2 *OtherDaysAllWeeks*

1: Input:

L_{DISP} : Lista de funcionários disponíveis por equipa;

L_O : Lista de funcionários ocupados;

L_{DESC} : Lista de funcionários em descanso;

L_{FOLGA} : Lista de funcionários em dia de folga ordenada de modo aleatório;

TurnosPorAlocar: Lista de turnos sem alocação;

$N_{h,d}$: número mínimo de funcionários necessários para hora de início de um turno h do dia d ;

$nrDeDias$: Indicação do número de dias que contém o mês em questão;

```
2: Para todo  $d \in [1, nrDeDias - 1] \setminus \left\{ \frac{nrDeDias}{2} \right\}$  fazer
3:   Para todo  $h \in [0, 48]$  fazer
4:      $QuantosATrabalhar := Tamanho(L_O)$ ;
5:     Se  $QuantosATrabalhar < N_{h,d}$  então
6:        $QuantosPrecisa := N_{h,d} - QuantosATrabalhar$ ;
7:        $k := 0$ ;
8:       Para  $w \in [0, QuantosPrecisa[$  fazer
9:         Para  $v \in L_{DISP}$  fazer
10:          Se  $h == RetornaTurnoAnterior(v)$  então
11:             $(S_F, P_F) := AtribuirTurno(v, h)$ ;
12:             $k := k + 1$ ;
13:          Fim_Se
14:        Fim_Para
15:        Enquanto  $k < QuantosPrecisa$  fazer
16:           $TurnosPorAlocar \cup \{h\}$ ;
17:           $k := k + 1$ ;
18:        Fim_Enquanto
19:      Fim_Para
20:      Para  $q \in TurnosPorAlocar$  fazer
21:        Para  $v \in L_{DISP}$  fazer
22:           $(S_F, P_F) := AtribuirTurno(v, q)$ ;
23:           $L_O \cup \{v\}$ ;
24:           $L_{DISP} \setminus \{v\}$ ;
25:        Fim_Para
26:      Fim_Para
27:    Fim_Se
28:    Para  $l \in L_O$  fazer
29:      Se  $h == RetornaHoraFinal(l)$  então
30:         $L_{DESC} \cup \{l\}$ ;
31:         $L_O \setminus \{l\}$ ;
32:      Fim_Se
33:    Fim_Para
34:    Para  $g \in L_{DESC}$  fazer
35:      Se  $h == RetornaHoraFinalDescanso(g)$  então
36:        Se  $Tamanho(Historico(g)) == 5$  então
37:          Se  $RetornaId(g) \% 2 == 0$  então
38:             $(S_F, P_F) := AtribuirFolga(g, h, d, 1)$ ;
39:             $L_{Folga} \cup \{g\}$ ;
40:             $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
41:          Senão
42:             $(S_F, P_F) := AtribuirFolga(g, h, d, 2)$ ;
43:             $L_{Folga} \cup \{g\}$ ;
44:             $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
45:          Fim_Se
```

```

46:           Senão
47:              $L_{DISP} \cup \{g\}$ ;
48:              $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
49:           Fim_Se
50:         Fim_Se
51:       Fim_Para
52:     Para  $fl \in L_{FOLGA}$  fazer
53:       Se  $(h, d) == RetornaHoraFinalFolga(fl)$  então
54:          $L_{DISP} \cup \{fl\}$ ;
55:          $L_{FOLGA} \setminus \{fl\}$ ;
56:       Fim_Se
57:     Fim_Para
58: Fim_Para
59: Fim_Para
60: Output:  $(S, P) = U(S_F, P_F)$ 

```

7.2.3. *Day1Week3*

O algoritmo *Day1Week3* correspondente à ação da heurística no primeiro dia da terceira semana do mês. Este algoritmo funciona de modo semelhante a *Day1Week1* uma vez que se pretende dotar o escalonamento de estabilidade durante o mês, ou seja, pretende-se que não haja grande variação nos turnos atribuídos a cada funcionário, durante o período máximo de duas semanas. No entanto, neste caso, como a lista de funcionários disponíveis já não contém todos os funcionários de uma equipa, apenas ordenar de forma aleatória esta lista não teria um grande efeito na aleatoriedade dos turnos e, portanto, todas as listas são reordenadas de forma aleatória antes de inicializar o código de *Day1Week3*. Além disso, neste algoritmo, são tidos em consideração os dias de folga. O mecanismo de atribuição de dias de folga é o mesmo que está ilustrado em *OtherDaysAllWeeks* para as duas últimas semanas do mês, ou seja, funcionários com um número único de identificação par têm direito a 2 dias de folga consecutivos e funcionários com um número único de identificação ímpar têm direito a 2 dias de folga não consecutivos.

Algoritmo 3 *Day1Week3*

1: Input:

- L_{DISP} : Lista aleatória de funcionários disponíveis por equipa;
- L_O : Lista de funcionários ocupados ordenada de modo aleatório;
- L_{DESC} : Lista de funcionários em descanso ordenada de modo aleatório;
- L_{FOLGA} : Lista de funcionários em dia de folga ordenada de modo aleatório;
- $N_{h,d}$: Número mínimo de funcionários necessários para cada turno h do dia d ;
- $nrDeDias$: Indicação do número de dias que contém o mês em questão;

```

2: Para todo  $h \in [0, 48]$  e  $d = \frac{nrDeDias}{2}$  fazer
3:    $QuantosATrabalhar := Tamanho(L_O)$ ;
4:   Se  $QuantosATrabalhar < N_{h,d}$  então
5:      $QuantosPrecisa := N_{h,d} - QuantosATrabalhar$ ;
6:      $j := SeleccionaF(L_{DISP})$ ;
7:     Para  $w \in [0, QuantosPrecisa[$  fazer
8:        $(S_F, P_F) := AtribuirTurno(j, h)$ ;
9:        $L_O \cup \{j\}$ ;
10:       $L_{DISP} \setminus \{j\}$ ;
11:     Fim_Para
12:   Fim_Se
13: Para  $l \in L_O$  fazer
14:   Se  $h == RetornaHoraFinal(l)$  então
15:      $L_{DESC} \cup \{l\}$ ;
16:      $L_O \setminus \{l\}$ ;
17:   Fim_Se
18: Para  $g \in L_{DESC}$  fazer
19:   Se  $h == RetornaHoraFinalDescanso(g)$  então
20:     Se  $Tamanho(Historico(g)) == 5$  então
21:       Se  $RetornaId(g) \% 2 == 0$  então
22:          $(S_F, P_F) := AtribuirFolga2((g, h, 1))$ ;
23:          $L_{Folga} \cup \{g\}$ ;
24:          $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
25:       Senão
26:          $(S_F, P_F) := AtribuirFolga2((g, h, 2))$ ;
27:          $L_{FOLGA} \cup \{g\}$ ;
28:          $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
29:       Fim_Se
30:     Senão
31:        $L_{DISP} \cup \{g\}$ ;
32:        $L_{DESC} \setminus \{g\}$ ;
33:     Fim_Se
34:   Fim_Se
35: Fim_Para
36: Para  $fl \in L_{FOLGA}$  fazer
37:   Se  $(h, d) == RetornaHoraFinalFolga(fl)$  então
38:      $L_{DISP} \cup \{fl\}$ ;
39:      $L_{FOLGA} \setminus \{fl\}$ ;
40:   Fim_Se
41: Fim_Para
42: Fim_Para
43: Output:  $(S, P) = U(S_F, P_F)$ 

```

7.2.4. EXEMPLO

Para melhor compreender a construção de uma solução inicial, no anexo I é feita uma descrição passo a passo para o exemplo simples apresentado nas tabelas 2 e 3.

Neste exemplo, procura-se alocar uma equipa de 14 funcionários a diferentes turnos, no horizonte temporal de 10 dias, de acordo com as necessidades da organização.

Tabela 2 - Lista dos funcionários que constituem a equipa A

Funcionário	Número único de identificação	Equipa	Aptidão
Funcionário A	40109	A	X
Funcionário B	40110	A	X
Funcionário C	40123	A	X
Funcionário D	40865	A	X
Funcionário E	40976	A	X
Funcionário F	40954	A	X
Funcionário G	40961	A	X
Funcionário H	40762	A	X
Funcionário I	40938	A	X
Funcionário J	40117	A	X
Funcionário K	40108	A	X
Funcionário L	40105	A	X
Funcionário M	40122	A	X
Funcionário N	40129	A	X

Tabela 3 - Número mínimo de funcionários necessários a cada dia e para cada meia hora

Mês: Fevereiro

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
05:00	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5
05:30	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5
06:00	1	0	5	6	6	6	7	1	0	6
06:30	1	0	5	6	6	6	6	1	0	6
07:00	1	0	5	5	6	5	5	1	0	5
07:30	1	0	5	5	6	5	5	1	0	5

08:00	1	0	4	5	6	6	5	2	0	5
08:30	2	0	4	5	6	6	5	2	0	5
09:00	2	1	3	5	6	5	5	2	5	9
09:30	2	1	3	5	6	5	3	2	5	3
10:00	2	1	3	7	7	7	9	2	5	3
10:30	2	1	3	5	4	4	8	2	4	3
11:00	1	1	1	4	4	4	5	2	6	3
11:30	1	1	1	5	4	4	5	4	5	4
12:00	3	1	1	5	4	5	6	4	6	4
12:30	3	0	1	5	4	3	6	4	6	4
13:00	3	0	1	5	4	3	6	4	5	4
13:30	3	0	0	5	4	3	6	4	5	4
14:00	3	0	0	5	6	6	8	4	1	4
14:30	3	0	0	5	5	5	8	4	0	4
15:00	3	0	0	4	3	3	6	4	0	5
15:30	3	0	0	4	6	3	7	4	0	4
16:00	3	0	0	4	6	3	5	4	0	5
16:30	3	0	0	4	6	3	3	3	0	5
17:00	4	0	0	4	6	3	3	3	0	4
17:30	3	0	0	4	6	4	4	3	0	0
18:00	0	0	0	6	4	4	7	3	0	0
18:30	0	0	0	6	4	4	7	3	0	0
19:00	0	0	0	4	0	4	4	3	0	0

7.3. IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS DE PESQUISA LOCAL

Depois de obtida uma solução inicial, foi desenvolvido um método de pesquisa por soluções de melhor qualidade, partindo da solução inicial. A pesquisa dessas soluções é feita de forma iterativa, explorando a vizinhança da solução corrente. Assim, é necessário definir uma função de vizinhança, uma função de avaliação, um método de seleção da próxima solução e um critério de paragem.

7.3.1. FUNÇÕES DE AVALIAÇÃO

A função de avaliação ou função objetivo determina a avaliação de cada solução vizinha, permitindo que se escolha a melhor solução, tendo, por isso, um papel decisivo num método de

pesquisa local. Podem ser definidas funções de avaliação muito diferentes e que medem aspectos diferentes de um escalonamento, dependendo das características do problema em estudo e dos objetivos de cada organização. Neste caso de estudo em particular, dado que um dos objetivos é que os funcionários mantenham os mesmos turnos por um período máximo de duas semanas, definiu-se a função de avaliação $z_1(S, P)$. Esta função correspondente à média, em percentagem, de vezes que cada funcionário é alocado a instantes de início de um turno iguais em cada um dos dois períodos do mês.

Portanto, o valor da função de avaliação é calculado da seguinte forma:

1) Cálculo do número de instantes de início de um turno iguais a que cada funcionário foi alocado no primeiro período desse mês (correspondente, aproximadamente, às duas primeiras semanas do mês);

2) Seleção do maior valor obtido em 1) para cada funcionário e divisão pelo número de instantes de início de turnos a que cada funcionário foi alocado nesse período, obtendo-se, assim, a frequência relativa (de 0 a 1) de turnos iguais a que cada funcionário foi alocado nas primeiras duas semanas do mês;

3) Soma dos valores obtidos em 2) para todos os funcionários e divisão pelo número total de funcionários, obtendo assim uma média do número de turnos iguais a que cada funcionário foi alocado nas primeiras duas semanas do mês;

4) Repetição dos passos 1), 2) e 3) para o segundo período do mês, ou seja, para as duas últimas semanas do mês;

5) Soma das duas médias obtidas em 3) e divisão por dois, obtendo-se então o valor da função de avaliação $z_1(S, P)$ para essa solução.

Assim,

$$z_1(S, P) = \frac{1}{2} \times \frac{\sum_{i=1}^{|S|} \frac{t_{i,1}}{Total_{i,1}} + \frac{t_{i,2}}{Total_{i,2}}}{|S|} \times 100 = \frac{\sum_{i=1}^{|S|} \frac{t_{i,1}}{Total_{i,1}} + \frac{t_{i,2}}{Total_{i,2}}}{|S|} \times 50,$$

em que $t_{i,1}$ e $t_{i,2}$ correspondem ao número de instantes de início de turnos iguais a que o funcionário i foi alocado no período 1 e no período 2 do mês em questão, respetivamente, e $Total_{i,1}$ e $Total_{i,2}$ correspondem ao número de turnos efetuados pelo funcionário i no período 1 e no período 2 desse mês, respetivamente.

Neste sentido, uma solução é melhor do que outra quando a média da percentagem de dias em que cada funcionário é alocado a um mesmo turno nas duas primeiras e nas duas últimas semanas do mês é maior do que esse valor para a solução corrente.

Depois de obtidas as soluções iniciais para algumas instâncias, a análise das mesmas permitiu perceber que a quantidade de trabalho de alguns funcionários era muito diferente em determinados meses. Ou seja, enquanto alguns funcionários foram alocados a turnos em todos os dias do mês, exceto quando tinham direito a dias de folga, outros funcionários só eram alocados a turnos poucas vezes nesse mês. Estes funcionários ficavam sem trabalhar nos restantes dias uma vez que a organização não tinha necessidade operacional. De forma a promover um ambiente de justiça e equidade na organização e em que a quantidade de trabalho entre cada colaborador seja relativamente igual, isto é, em que o número de dias de trabalho entre cada funcionário seja aproximadamente o mesmo, foi também definida outra função de avaliação, $z_2(S, P)$. Esta função corresponde ao desvio médio, isto é, à média dos módulos da diferença entre o número de dias de não trabalho atribuídos a cada funcionário e a média de dias de não trabalho atribuídos aos funcionários dessa equipa no horizonte temporal em questão.

Portanto, o valor da função de avaliação $z_2(S, P)$ é calculado da seguinte forma:

- 1) Cálculo do número de dias de não trabalho de cada funcionário no mês em questão;
- 2) Cálculo da média de dias de não trabalho dos funcionários dessa equipa nesse mês, isto é, soma dos valores obtidos em 1) e divisão pelo número de funcionários da equipa;
- 3) Cálculo do módulo da diferença entre cada um dos valores obtidos em 1) e o valor obtido em 2);
- 4) Soma de todos os valores obtidos em 3) obtendo-se o valor da função de avaliação $z_2(S, P)$ e divisão pelo número de funcionários da equipa.

Assim,

$$z_2(S, P) = \frac{\sum_{i=1}^{|S|} |x_i - \bar{x}|}{|S|},$$

em que x_i representa o número de dias de não trabalho do funcionário i e \bar{x} representa a média de dias de não trabalho da equipa.

Desta forma, uma solução (S_A, P_A) é melhor do que outra solução (S_B, P_B) quando $z_2(S_A, P_A)$ é menor do que $z_2(S_B, P_B)$.

7.3.2. ESTRUTURAS DE VIZINHANÇA

Para se encontrar soluções vizinhas de melhor qualidade, isto é, com resultados melhores, é necessário provocar trocas na solução inicial. Por isso, a definição de estruturas de vizinhança

é um ponto fulcral em qualquer algoritmo de pesquisa local. São estas estruturas que definem as soluções que se podem obter a partir de uma solução inicial e também de outras soluções.

Deste modo, nesta secção são definidas duas estruturas de vizinhança, ou seja, são descritos dois processos de obtenção de soluções vizinhas (S', P') a partir de uma solução (S, P) , para dois métodos de pesquisa local distintos.

Considerem-se as duas estruturas de vizinhança seguintes:

NS_1 : Troca de um turno entre dois funcionários

As soluções vizinhas de uma solução (S, P) na vizinhança $NS_1(S, P)$ consistem em todas as soluções viáveis obtidas pela troca de um turno entre dois funcionários em determinado(s) dia(s) de um mês.

A figura 3 apresenta um exemplo de um movimento em NS_1 , dado pela troca entre o turno do funcionário A e o turno do funcionário B no dia 1.

(S, P)	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

$(S, P) \in NS_1(S', P')$	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Figura 3 - Exemplo de um movimento na estrutura de vizinhança NS_1 .

NS_2 : Troca de um dia sem qualquer alocação e um turno entre dois funcionários

As soluções vizinhas de uma solução (S, P) na vizinhança $NS_2(S, P)$ consistem em todas as soluções viáveis obtidas pela troca de um turno e um dia sem qualquer alocação entre dois funcionários em determinado(s) dia(s) de um mês. É importante destacar que um dia é considerado sem qualquer alocação para determinado funcionário se esse funcionário não está alocado a nenhum turno, nem tem um dia de folga atribuído nesse dia.

A figura 4 apresenta um exemplo de um movimento em NS_2 , no qual se dá a troca entre o turno do Funcionário A e o dia sem alocação do Funcionário C.

(S, P)		1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A		08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B		09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C		-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D		10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

		8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A		09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B		09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C		10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D		09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

$(S', P') \in NS_2(S, P)$		1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A		-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B		09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C		08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D		10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

		8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A		09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B		09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C		10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D		09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Figura 4 - Exemplo de um movimento na estrutura de vizinhança NS_2 .

Assim, as principais diferenças entre as duas estruturas de vizinhança assentam nas especificidades necessárias no horário de cada funcionário num determinado dia para que se possa efetuar trocas e, conseqüentemente, alterações nesse dia, e na escolha da melhor solução, que é efetuada através da respetiva função de avaliação (z_1 para a primeira estrutura de vizinhança e z_2 para a segunda estrutura de vizinhança).

7.3.3. ALGORITMOS DE PESQUISA LOCAL

A pesquisa local é um método heurístico, que em cada iteração procura substituir a solução atual por uma solução de melhor qualidade, solução essa obtida pela pesquisa efetuada usando uma estrutura de vizinhança definida. Uma estrutura de vizinhança é introduzida para gerar movimentos de uma solução para outra e, por definição, um ótimo local é uma solução que não pode ser melhorada usando essa estrutura de vizinhança.

Os algoritmos de pesquisa local movem-se de solução em solução no espaço de procura, aplicando mudanças locais na solução atual, até que o critério de paragem definido seja alcançado. O critério de paragem pode ser, por exemplo, o tempo de execução, o número de iterações ou o término da execução quando já não é possível encontrar uma solução melhor na vizinhança. Em cada iteração do algoritmo, são procuradas e avaliadas várias soluções na vizinhança da solução corrente, dando-se a substituição dessa solução por uma das soluções encontradas na vizinhança caso uma dessas soluções seja melhor do que a solução corrente. Podem ser definidas várias regras de seleção da próxima solução, como, por exemplo, escolher a solução vizinha cujo valor da função de avaliação é melhor ou escolher a primeira solução vizinha que melhora o valor da solução corrente.

De forma a procurar melhorar a solução inicial obtida para o problema descrito no capítulo 6, foram implementados dois algoritmos de pesquisa local, um para cada função objetivo e para cada estrutura de vizinhança. O primeiro algoritmo de pesquisa local (PL1) foi implementado no sentido de otimizar a função objetivo z_1 e, portanto, opera sobre a primeira estrutura de vizinhança, NS_1 . O segundo algoritmo de pesquisa local (PL2) procura melhorar o valor da função objetivo z_2 e, por isso, opera sobre a segunda estrutura de vizinhança, NS_2 . Em ambos os casos, a execução termina quando já não existem soluções de melhor qualidade na vizinhança, ou seja, quando não são encontradas soluções, na vizinhança da solução corrente, que melhorem o valor da função de avaliação. Nestas abordagens, o critério de seleção da próxima solução é a função de avaliação, isto é, é escolhida a solução cujo valor da função de avaliação é melhor.

Método de pesquisa local 1 (PL1):

A partir da solução inicial (S, P) , o algoritmo PL1 conduz a pesquisa por soluções vizinhas, utilizando a estrutura de vizinhança NS_1 . Assim, inicialmente é realizada a troca entre o turno de

trabalho do funcionário x_1 no primeiro dia e o turno do funcionário x_2 nesse dia e é calculado o valor da função de avaliação z_1 para essa solução. Este processo é repetido para os restantes funcionários, ou seja, é realizada a troca entre o turno do funcionário x_1 no dia 1 e os turnos dos restantes funcionários que estão alocados a algum turno no dia 1 e é calculado o valor da função de avaliação z_1 para cada uma das soluções encontradas. De seguida, é escolhida a melhor solução e esta passa a tomar o papel da solução inicial, isto é, passa a ser a solução corrente.

Depois de escolhida a nova solução, o procedimento descrito acima é repetido para o turno do funcionário x_2 no primeiro dia do mês e assim sucessivamente, para todos os funcionários que estão alocados a algum turno nesse dia. Após ser encontrada a melhor solução para esse dia, esta solução não é mais alterada, ou seja, os turnos de cada funcionário para o dia 1 não são mais alterados até ao final da pesquisa local. O processo descrito é repetido para todos os funcionários alocados a algum turno e para todos os dias do mês em que tal seja possível, ou seja, até que o critério de paragem seja satisfeito, sendo a solução obtida um ótimo local.

Método de pesquisa local 2 (PL2):

A partir da solução inicial (S, P) , o algoritmo PL2 conduz a pesquisa por soluções melhores através da segunda estrutura de vizinhança, NS_2 . Neste sentido, inicialmente, é realizada uma troca no horário do funcionário x_1 no dia 1, com o horário dos funcionários $x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ para esse mesmo dia e é calculado, neste caso, o valor da função de avaliação z_2 para cada uma das soluções vizinhas. Depois é escolhida a melhor solução e esta passa a ser a solução corrente. Este procedimento é repetido para o horário do funcionário x_2 no dia 1 e para todos os restantes funcionários, bem como para todos os outros dias do mês em análise. No entanto, uma vez que se pretende diminuir a diferença na carga de trabalho de cada funcionário, isto é, o desvio entre o número de dias de não trabalho de cada funcionário nesse mês e a média de dias de não trabalho dos funcionários dessa equipa, não é relevante fazer trocas no horário de dois funcionários que, no dia para o qual se pretende fazer as trocas, tenham ambos sido alocados a algum turno, em que ambos tenham previsto dias de não trabalho para esse dia ou em que um deles tenha um dia de folga atribuído. Consequentemente, só se efetua a troca entre turnos associados a dois funcionários se um deles estiver alocado a um turno específico no dia para o qual se está a efetuar trocas e se o outro funcionário estiver associado a um dia sem qualquer alocação. Como referido anteriormente, este procedimento é repetido para todos os dias do mês

em que tais trocas sejam possíveis, até que o critério de paragem seja satisfeito, sendo a solução encontrada um ótimo local.

7.3.4. EXEMPLO

Para melhor compreender as estruturas de vizinhança definidas, nos anexos II e III são descritos alguns procedimentos inerentes à aplicação do método de pesquisa local 1 (PL1) e do método de pesquisa local 2 (PL2), apresentados na secção 7.3.3.

Para tal, considere-se o exemplo de uma solução inicial apresentado nas tabelas 4 e 5. Neste exemplo, estão representados os horários de trabalho de uma equipa, constituída por 4 funcionários, no horizonte temporal de duas semanas.

Tabela 4 - Exemplo de uma solução no horizonte temporal de uma quinzena (I)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	10:30	09:30	09h30	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

Tabela 5 - Exemplo de uma solução no horizonte temporal de uma quinzena (II)

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

8. EXPERIÊNCIAS COMPUTACIONAIS

Após a implementação dos vários algoritmos que compõem a abordagem descrita no capítulo 7, foram realizadas experiências computacionais. Todas as estruturas e algoritmos foram implementadas no *software Visual Studio*, na linguagem de programação C# e executadas num computador com um processador *Intel Core i7-8550U* de 1.80 GHz e 16 GB de RAM no sistema operativo *Windows 10*. A versão do *software* utilizada para implementar os algoritmos foi a versão 16.8.2.

Para melhor avaliar o desempenho da abordagem proposta, foram utilizadas 39 instâncias diferentes para os testes computacionais.

8.1. DESCRIÇÃO DAS INSTÂNCIAS

A abordagem descrita no capítulo 7 foi testada utilizando 39 instâncias de teste, 10 delas compostas por dados baseados num caso real da indústria associada ao caso de estudo, sendo que alguns dados foram alterados por questões de confidencialidade, e 29 delas geradas aleatoriamente, tendo como base as instâncias de teste usadas no trabalho de Martins (2020). Estas instâncias consideram diferentes equipas de funcionários e as necessidades da organização para cada dia de diferentes meses do ano. Neste sentido, cada instância é composta por uma folha de cálculo com a indicação do número mínimo de funcionários necessários para cada meia hora – correspondente ao instante de início de cada um dos 48 turnos - em cada dia do mês em questão. Além disso, esse ficheiro contém também várias informações sobre a equipa que se pretende alocar aos vários turnos nesse mesmo mês, como, por exemplo, o nome dos funcionários que a constituem, o número único de identificação de cada um e a aptidão de cada um.

Considere-se um cenário onde o horizonte temporal é 28 dias e a equipa é constituída por 4 funcionários. As tabelas 6 e 7 mostram os dados referentes à equipa (funcionário, número único de identificação, equipa e aptidão) e às necessidades da organização para cada instante de início de um turno de cada dia do mês de fevereiro.

Tabela 6 - Exemplo de uma instância: lista de funcionários da equipa A

Funcionários	Número único de identificação	Equipa	Aptidão
Funcionário A	40109	A	X
Funcionário B	40110	A	X
Funcionário C	40123	A	X

Funcionário D	40865	A	X
---------------	-------	---	---

Tabela 7 - Exemplo de uma instância: necessidades da organização

Mês: fevereiro						
	1	2	3	4	...	28
00:00	0	1	1	2	...	4
00:30	5	3	1	2	...	4
01:00	3	2	2	3	...	5
01:30	4	5	2	0	...	3
...	
23:30	4	5	0	0	...	0

Na tabela 7, note-se que no primeiro dia é necessário alocar 5 funcionários ao turno com início às 00:30 e, como é possível inferir pela tabela 6, a equipa só contém 4 funcionários. Assim, de forma a satisfazer a necessidade operacional seria necessário alocar um funcionário de outra equipa a esse turno nesse dia. Esse funcionário deve ter, no conjunto das suas aptidões, a mesma aptidão que a equipa apresentada na tabela 6 para suprir as necessidades da organização.

8.2. RESULTADOS COMPUTACIONAIS E ANÁLISE CRÍTICA

A abordagem proposta neste trabalho foi testada para 39 instâncias diferentes, ou seja, cada um dos algoritmos correspondentes à construção da solução inicial (CSI), à pesquisa local de forma a maximizar o número de dias que cada um dos funcionários mantém o mesmo turno a cada duas semanas (PL1) e à pesquisa local de modo a minimizar o desvio de cada funcionário relativamente à média de dias de não trabalho num mês (PL2) foram executados 39 vezes.

Os valores das duas funções objetivo são calculados para cada um dos métodos de pesquisa local implementados, de forma a perceber qual o impacto das estruturas de vizinhança construídas nestes valores em comparação com os valores obtidos para a solução inicial.

Além do valor das duas funções objetivo para os algoritmos PL1 e PL2, apresenta-se também o valor da função objetivo para a solução inicial e o tempo total de execução de cada um dos algoritmos para cada uma das instâncias.

Todas as instâncias são avaliadas segundo os mesmos critérios: o número de funcionários em cada instância (n), o número de dias do horizonte temporal em cada instância (d), o tempo de execução em segundos (t_{exc}), o valor das funções objetivo (z_1 e z_2), a percentagem de melhoria obtida para z_1 com o algoritmo PL1 (imp_{PL1}) e a percentagem de melhoria obtida para z_2 com o algoritmo PL2 (imp_{PL2}).

Na tabela 8 são apresentados os resultados computacionais da heurística construtiva e das heurísticas de pesquisa local aplicadas para os vários critérios definidos anteriormente. Nessa tabela, a coluna identificada com "i" refere o número da instância de teste.

Tabela 8 - Resultados computacionais

<i>i</i>	<i>n</i>	<i>d</i>	CSI			PL1				PL2			
			z_1	z_2	t_{exc}	z_1	z_2	t_{exc}	imp_{PL1}	z_1	z_2	t_{exc}	imp_{PL2}
1	46	28	74	0,7	0,71	80	0,7	4,9	8,1	73,9	0,35	1,9	50
2	46	28	76	0,87	0,66	83,3	0,87	4,4	9,6	75,7	0,57	1,43	34,5
3	25	28	70,8	1	0,5	76,2	1	3,79	7,6	70,3	0,68	0,27	32
4	9	28	69,5	2,22	1,45	72,9	2,22	0,4	4,9	69,2	0,89	0,27	59,9
5	17	28	74,9	0,76	0,35	80,3	0,76	1,3	7,2	75,5	0,53	0,32	30,3
6	8	28	72,6	1,38	0,27	79,8	1,38	0,36	9,9	73,3	0,63	0,29	54,3
7	10	28	75,6	1,6	0,27	78,9	1,6	0,37	4,4	75	1	0,3	37,5
8	11	28	61,4	1,09	0,37	67,2	1,09	0,61	9,4	61,2	0,91	0,29	16,5
9	24	31	70,6	1,21	0,3	76,6	1,21	2,78	8,5	70,4	0,88	0,53	27,3
10	46	31	75,8	1,24	0,3	79,7	1,24	19,52	5,0	74,9	0,76	1,42	38,7
11	19	31	58,8	1,74	0,2	67,3	1,74	2,45	14,5	58,7	1,53	0,47	12,1
12	46	31	94,6	3,72	0,39	94,6	3,72	1,01	0	78,7	0,63	3,03	83,1
13	46	31	89,1	3,61	0,33	89,1	3,61	1,2	0	77,2	0,57	3,88	84,2
14	46	31	92,4	3,33	0,29	92,4	3,33	1,32	0	79,9	0,59	3,2	82,3
15	46	31	98,9	2,7	0,32	98,9	2,7	1,5	0	90,5	0,65	3,91	75,9
16	46	31	92,4	3,52	0,33	92,4	3,52	1,28	0	78,7	0,61	4,23	82,7
17	25	31	87	2,2	0,39	90	2,2	1,25	3,4	86,3	1,88	3,35	14,5
18	25	31	82,4	1,92	0,44	85,4	1,92	1,39	3,6	82,0	1,68	3,45	12,5
19	25	31	78,5	1,64	0,45	81,6	1,64	1,18	3,9	77,0	1	3,46	39
20	25	31	74	1,44	0,32	79,1	1,44	1,18	6,9	73,7	1,04	2,94	27,8
21	25	31	76,1	1,52	0,32	80,4	1,52	1,09	5,7	76,1	1,44	3,57	5,3
22	24	31	82,1	2,13	0,3	85,3	2,13	1,11	3,9	82,1	2,04	1,14	4,2

23	24	31	79,8	1,92	0,37	82,7	1,92	1,1	3,6	77,6	1,33	0,74	30,7
24	24	31	71,5	1,71	0,28	77,8	1,71	1,21	8,8	69	0,71	0,67	58,5
25	24	31	71,6	1,42	0,44	75,6	1,42	1,52	5,6	70,7	0,83	0,96	41,5
26	24	31	74,1	1,75	0,82	79,2	1,75	1,6	6,9	71,5	0,75	1,2	57,1
27	17	31	49,5	1,47	0,37	57,8	1,47	1,34	16,8	49,5	1,35	0,87	8,2
28	17	31	42,8	0,71	0,37	53,8	0,71	1,15	25,7	42,7	0,59	0,8	16,9
29	17	31	37,7	1,12	0,22	50,6	1,12	0,77	34,2	37,8	0,76	0,51	32,1
30	17	31	43,6	1,29	0,2	54	1,29	0,72	23,8	43,5	0,94	0,47	27,1
31	17	31	48,8	1,18	0,22	60,9	1,18	0,74	24,8	48,8	1,06	0,46	10,2
32	46	31	95,7	2,78	0,45	95,7	2,78	0,65	0	88,8	1,26	0,49	54,7
33	25	28	94,6	1,44	0,24	95,8	1,44	1,65	1,3	91,9	0,16	0,53	88,9
34	25	31	72,9	0,92	0,33	76,1	0,92	0,74	4,4	72,7	0,76	0,46	17,4
35	19	31	57,5	1,63	0,71	66,6	1,63	1,3	15,8	55,8	0,68	1,1	58,3
36	19	31	50,2	1,47	0,42	59,3	1,47	1,43	18,1	50,0	1,16	0,91	21,1
37	19	31	48,9	1,32	0,39	59,9	1,32	1,17	22,5	48,3	0,68	0,92	48,5
38	19	31	52,1	0,95	0,31	54,5	0,95	0,82	4,6	51,4	0,63	0,81	33,7
39	19	31	54,8	1,53	0,29	60,7	1,53	0,74	10,8	54,8	1,42	0,49	7,2
Média			71,1	1,7	0,40	76,2	1,7	1,9	8,8	68,4	0,9	1,4	38,9

Pela análise dos resultados obtidos é possível concluir que, para as soluções iniciais, a média dos valores de z_1 é, aproximadamente, 71,1%, o que significa que nas várias instâncias os funcionários mantêm, em média, em 71,1% dos casos o mesmo turno a cada período, isto é, a cada duas semanas. Para estas mesmas instâncias, no caso das soluções geradas pela heurística construtiva CSI, a média dos valores de z_2 é de, aproximadamente, 8,8, que corresponde à soma dos desvios relativamente ao número de dias de não trabalho de cada funcionário num mês.

Analisando ainda as soluções iniciais, a instância para a qual o valor de z_1 é mais elevado (98,9%) é composta por 46 funcionários e o mês em análise tem 31 dias. Nessa instância o valor de z_2 é de 2,7, um valor bastante mais baixo do que a média.

Por sua vez, a instância para a qual o valor de z_2 é o mais baixo (0,7) é composta por 46 funcionários e o mês de análise tem 31 dias. Para essa mesma instância, o valor de z_1 é 74% e, por isso, é um valor relativamente próximo da média.

Os resultados obtidos através do método de pesquisa local 1 (PL1) mostram que o valor de z_1 para a solução inicial é melhorado em 33 das 39 instâncias de teste e mantém-se nas restantes, enquanto que o valor de z_2 se mantém em todas as instâncias. As 6 instâncias em que

o valor de z_1 se mantém igual são as instâncias em que há excesso de pessoal, ou seja, o número de funcionários é demasiado elevado para as necessidades da organização. Como o número de funcionários é muito maior que as necessidades da organização, através da heurística CSI é possível fazer um escalonamento de pessoal em que os funcionários mantêm os mesmos turnos um número elevado de vezes a cada duas semanas e, por isso, a solução obtida tende a ser de boa qualidade. Em contrapartida, o algoritmo PL1, já não consegue melhorar mais a solução, uma vez que os turnos já se encontram relativamente bem distribuídos na solução inicial. O facto do valor da função objetivo z_2 , para PL1, se manter igual ao valor de z_2 para a solução inicial em todas as instâncias pode ser justificado pelo modo como as estruturas de vizinhança foram construídas. O algoritmo PL1 opera sobre a primeira estrutura de vizinhança e tem como objetivo maximizar o número de turnos iguais atribuídos a cada funcionário a cada duas semanas e, por isso, neste algoritmo apenas se efetuam trocas de turnos entre dois funcionários se ambos tiverem sido alocados a algum turno no dia para o qual se pretende fazer a troca. Por outro lado, a função objetivo z_2 calcula a soma dos desvios do número de dias de não trabalho de cada funcionário. Ao só se efetuar trocas entre funcionários alocados a algum turno, o valor de z_2 não sofrerá alterações, uma vez que com as trocas efetuadas em PL1 nenhum funcionário deixará de estar alocado e passará a ficar sem alocação ou associado a um dia de folga. Os funcionários apenas sofrem a troca de um determinado turno por outro dado turno. Neste sentido, PL1 não poderá ter qualquer influência no valor de z_2 , o que pode ser confirmado pelos resultados apresentados.

Considerando a aplicação do algoritmo PL2, o valor de z_1 para a solução inicial é melhorado em apenas 3 das 39 instâncias de teste e mantém-se em 5 das 39 instâncias, sendo que nas restantes instâncias o valor de z_1 diminui. Por sua vez, o valor de z_2 é melhorado em todas as instâncias de teste. Tais resultados podem ser também justificados pelo modo como PL2 atua. O algoritmo PL2 opera sobre a segunda estrutura de vizinhança, que foi construída no sentido de minimizar o desvio médio relativamente ao número de dias de não trabalho de cada funcionário, seja por não estar alocado a algum turno ou associado a um dia de folga. Neste algoritmo, apenas são efetuadas trocas entre dois funcionários quando um deles está alocado a um turno para o dia em análise e o outro não está alocado a um turno, nem está associado a uma folga nesse mesmo dia. Assim, o valor de z_1 dificilmente poderá ser melhorado com o algoritmo PL2, uma vez que se podem estar a trocar turnos que contribuem para o aumento do valor de z_1 e, por isso, o valor da função objetivo z_1 poderá até ser piorado.

Os resultados obtidos para todas as instâncias relativamente a z_1 mostram uma melhoria média de 8,8% através do algoritmo PL1, num tempo médio de, aproximadamente, 0,4 segundos. A menor melhoria média é observada para uma instância com uma equipa de 25 funcionários e cujo mês em análise tem 28 dias (1,3%) e num tempo computacional de 1,65 segundos. A melhor melhoria média é observada para uma instância correspondente ao escalonamento de 17 funcionários num mês de 31 dias (34,2%) e é obtida num tempo computacional de 0,77 segundos aproximadamente.

Os resultados computacionais obtidos com o algoritmo PL2 relativamente a z_2 revelam uma melhoria de 38,9% num tempo computacional de aproximadamente 1,4 segundos. Neste algoritmo, a menor melhoria média é observada para uma instância composta por 24 funcionários e considerando um mês com 31 dias (4,2%) num tempo computacional de 1,14 segundos. Por sua vez, a melhor melhoria média é observada para uma instância composta por 25 funcionários e tendo em consideração um mês com 28 dias (88,9%) e obtida num tempo computacional de 0,53 segundos. Analisando as instâncias em que as melhorias relativamente ao valor de z_2 são maiores, percebe-se que são as mesmas em que o valor de z_1 se mantêm com o algoritmo PL1. Como já foi referido anteriormente, nestas instâncias o número de funcionários parece ser demasiado elevado comparativamente com as necessidades da organização e, assim sendo, vários funcionários ficam sem qualquer alocação, por não serem “necessários” para a procura da organização. Assim, o valor de z_2 é relativamente elevado para a solução inicial. No entanto, aplicando o algoritmo PL2, o valor de z_2 é substancialmente reduzido, uma vez que opera sobre a segunda estrutura de vizinhança.

É ainda de notar que a menor melhoria média de z_1 e a melhor melhoria média de z_2 recorrendo aos algoritmos PL1 e PL2, respetivamente, são observadas para as mesmas instâncias, isto é, a menor melhoria média de z_1 através do algoritmo PL1 é atingida na instância nº 33, que corresponde à instância com a qual é atingida a melhor melhoria média de z_2 através do algoritmo PL2.

9. CONCLUSÃO

Nesta dissertação abordou-se um problema de escalonamento de pessoal num serviço de *call center* que opera 24 horas por dia, 7 dias por semana. No *call center* em questão, o processo de escalonamento é atualmente feito de forma manual, por isso, o principal objetivo desta dissertação passou pelo desenvolvimento e implementação de um método heurístico que construísse soluções de qualidade e, ao mesmo tempo, reduzisse o tempo despendido neste processo. Assim, foram sugeridas abordagens heurísticas para a atribuição de turnos a funcionários. Primeiramente, foi implementada uma heurística construtiva para a obtenção de soluções iniciais. Foram igualmente implementados dois métodos de pesquisa local procurando melhorar as soluções iniciais. A heurística construtiva e os dois métodos de pesquisa local foram testados através de instâncias de testes reais, modificadas por motivos de confidencialidade, bem como em instâncias geradas aleatoriamente. A heurística construtiva obteve soluções com relativamente boa qualidade, isto é, valores das duas funções objetivos satisfatórios no contexto do problema. Os dois métodos de pesquisa local revelaram melhorias significativas, na grande maioria dos casos.

Como trabalho futuro, seria interessante adotar uma estratégia multiobjectivo, isto é, juntar as duas funções objetivo numa só, atribuindo pesos a cada um dos critérios. Além disso, também seria importante ter em consideração as preferências dos funcionários na atribuição de turnos e dias de folga e, neste sentido, analisar outras medidas de desempenho como, por exemplo, o grau de satisfação dos funcionários.

Referências Bibliográficas

- Aarts, E., & Lenstra, J. (2003). *Local Search in Combinatorial Optimization*. Princeton University Press.
- Akbari, M., Zandich, M., & Dorri, B. (2013). Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction. *Springer, 64*, 1017-1027.
- Al-Yakoob, S., & Sherali, H. (2007). Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Annals of Operations Research, 155*(2), 119-142.
- Atlason, J., Epelman, M. A., & Henderson, S. G. (2004). Call Center Staffing with Simulation and Cutting Plane Methods. *Annals of Operations Research, 127*, 333–358.
- Avramidis, A. N., Chan, W., Gendreau, M., L'Ecuyer, P., & Pisacane, O. (2009). Optimizing daily agent scheduling in a multiskill call center. *European Journal of Operational Research, 822*-832.
- Azaiez, M., & Al Sharif, S. (2005). A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers and Operations Research, 32*(3), 491-507.
- Bailey, J. (1985). Integrated Days Off and Shift Personnel Scheduling. *Computers & Industrial Engineering, 9*(4), 395-404.
- Bailey, J., & Field, J. (1985). Personnel Scheduling with Flexshift Models. *Journal of Operations Management, 5*(3).
- Baker, K. (2006). Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problemas: A Survey. *Operational Research Quarterly, 1970*-1977.
- Bellanti, F., Carello, G., Della Croce, F., & Tadei, R. (2004). A greedy-based neighborhood search approach to a nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research, 153*(1), 28-40.
- Brucker, P., Qu, R., Burke, E., & Post, G. (2005). A Decomposition, Construction and Post-Processing Approach for Nurse Rostering. *Proceeding of the 2nd Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA'05), 1*, pp. 397-406. New York, USA.

- Burke, E., De Causmaecker, P., Berghe, G. V., & Van Landeghem, H. (2004). The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*.
- Burke, E., Li, J., & Qu, R. (2010). A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constrained nurse rostering problems. *European Journal of Operational Research*.
- Cezik, M. T., & L'Ecuyer, P. (2008). Staffing Multiskill Call Centers via Linear Programming and Simulation. *Management Science*, 54, 310-323.
- Chevalier, P., & Van den Schrieck, J. (2008). Optimizing the Staffing and Routing of Small-Size Hierarchical Call Centers. *Production and Operations Management*, 17, 306-319.
- Coromias, A., Pastor, R., & Plans, J. (2008). Balancing assembly line with skilled and unskilled workers. *Omega*.
- Costa, N. M. L. (2014). *Comparação de Escalonamento num Ambiente de Linha de Produção Híbrida com um Ambiente de Linhas de Produção Paralelas Um Caso Industrial*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Guimarães.
- De Bruecker, P., Van Den Bergh, J., Beliën, J., & Demeulemeester, E. (2015). Workforce planning incorporating skills: State of the art. *European Journal of Operational Research*.
- Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff Scheduling and Rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153(1), 3-27.
- Fukunaga, A., Hamilton, E., Fama, J., Andre, D., Matan, O., & Nourbakhsh, I. (2002). Staff Scheduling for Inbound Call Centers and Customer Call Centers. *AI Magazine*, 23, 822-829.
- Günther, M., & Nissen, V. (2010). Sub-daily Staff Scheduling for a Logistics Service Provider. *KI - Künstliche Intelligenz*.
- Gans, N., Koole, G., & Mandelbaum, A. (2003). Telephone call centers: tutorial, review, and research prospects. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(2), 79-141.
- Gonga, A., & Tayal, A. (2013). Metaheuristics: Review and Application. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 25, 503-526.

- Hanne, T., Dornberger, R., & Frey, L. (2009). Multiobjective and preference-based decision support for rail crew rostering. *IEEE congress on evolutionary computation* (pp. 990-996). CEC'09.
- Hast, J. (2017). *Optimal work shift scheduling: a heuristic approach*. Aalto University, School of Science.
- Ho, S., & Leung, J. (2010). Solving a manpower scheduling problem for airline catering using metaheuristics. *European Journal of Operational Research*.
- Kassa, B., & Tizazu, A. (2013). Personnel Scheduling using an integer-programming model - an application at Avanti Blue-Nile Hotels. *SpringerPlus*, 2(1).
- Lodi, A., Milano, M., & Toth, P. (2013). *Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems*. In C. Gomes, & S. Meinolig. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science: Vol. 5015. CPAIOR: International Conference on Integration of Artificial Intelligence (AI) and Operations Research (OR) Techniques in Constraint Programming* (pp. 1-391). Berlin, Alemanha: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lucic, P., & Teodorovic, D. (2007). Metaheuristics approach to the aircrew rostering problem. *Annals of Operations Research*.
- Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2018). A perturbation matheuristic of the integrated personnel shift and task re-scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 269.
- Martins, A. R. (2020). *An Exact Optimization Approach for Personnel Scheduling Problems in the Call Center Industry*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Braga.
- Nareyek, A. (2001). *Local Search for Planning and Scheduling*. Berlin, Deutch: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Naudin, É., Chan, P., Hiroux, M., Zemmouri, T., & Weil, G. (2012). Analysis of three mathematical models of the staff rostering problem. *Journal of Scheduling*, 15(1), 23-38.
- Pawar, U., & Hanchate, D. (2014). Personnel Scheduling With Heuristic Search Approach. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*.
- Pot, A., Bhulai, S., & Koole, G. (2008). A Simple Staffing Method for Multiskill Call Centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10, 421-428.

- Ribeiro, M. (2008). *Consequências do trabalho por turnos e nocturno em profissionais de enfermagem*. (Dissertação de Mestrado). Porto: Universidade Fernando Pessoa.
- Robbins, T. R., & Harrison, T. P. (2010). A stochastic programming model for scheduling call centers with global Service Level Agreements. *European Journal of Operational Research*, 1608-1619.
- Rocha, H. (2020). *Perceções e Experiências do Trabalho por Turnos: Estudo de Caso*. (Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto). Porto.
- Schaerf, A., & Meisels, A. (2000). Solving employee timetabling problems by generalized local search. In E. Lamma, & P. Mello (Eds.), *AI*IA 99: Advances in Artificial Intelligence* (pp. 380-389). Berlin, Deutschland: Springer.
- Smet, P., Ernest, A., & Vanden Berghe, G. (2016). Heuristic decomposition approaches for an integrated task scheduling and personnel rostering problem. *Computers and Operations Research*, 76, 60-72.
- Türker, T., & Demiriz, A. (2018). An Integrated Approach for Shift Scheduling and Rostering Problems with Break Times for Inbound Call Centers. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Thiel, M. P. (2008). Team-Oriented Airline Crew Rostering for Cockpit Personnel. In M. P. Thiel (Ed.), *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (pp. 91-114).
- Tiwari, V., Patterson, J., & Mabert, V. (2009). Scheduling projects with heterogeneous resources to meet time and quality objectives. *European Journal of Operational Research*.
- Topaglu, S., & Ozkarahan, I. (2004). An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences. *Annals of Operations Research*.
- Van Den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel Scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226(3), 367-385.
- Van der Veen, E. (2013). *Personnel Preferences in Personnel Planning and Scheduling*. (Tese de Doutoramento, Universidade de Twente). Países Baixos.

Voß, S. (2001). Meta-heuristics: The state of art. In A. Nareyek (Ed.), *Lecture Notes Artificial Intelligence* (pp. 1-23). Berlin: Springer.

Weaver, P. (2006). A Brief History of Scheduling - Back to the Future. *myPrimavera Conference*.
Camberra: Mosaic Project.

ANEXOS

ANEXO I

CONSTRUÇÃO DA SOLUÇÃO INICIAL CSI (EXEMPLO)

Neste anexo é apresentada uma descrição do modo de construção de uma solução inicial a partir de um exemplo com os seguintes dados:

- Lista de funcionários:

Funcionário	Número único de identificação	Equipa	Aptidão
Funcionário A	40109	A	X
Funcionário B	40110	A	X
Funcionário C	40123	A	X
Funcionário D	40865	A	X
Funcionário E	40976	A	X
Funcionário F	40954	A	X
Funcionário G	40961	A	X
Funcionário H	40762	A	X
Funcionário I	40938	A	X
Funcionário J	40117	A	X
Funcionário K	40108	A	X
Funcionário L	40105	A	X
Funcionário M	40122	A	X
Funcionário N	40129	A	X

- Necessidades da organização para cada instante de início de um turno e para cada dia:

Mês: fevereiro

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
05:00	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5
05:30	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5
06:00	1	0	5	6	6	6	7	1	0	6
06:30	1	0	5	6	6	6	6	1	0	6
07:00	1	0	5	5	6	5	5	1	0	5
07:30	1	0	5	5	6	5	5	1	0	5
08:00	1	0	4	5	6	6	5	2	0	5
08:30	2	0	4	5	6	6	5	2	0	5
09:00	2	1	3	5	6	5	5	2	5	9
09:30	2	1	3	5	6	5	3	2	5	3
10:00	2	1	3	7	7	7	9	2	5	3
10:30	2	1	3	5	4	4	8	2	4	3
11:00	1	1	1	4	4	4	5	2	6	3
11:30	1	1	1	5	4	4	5	4	5	4
12:00	3	1	1	5	4	5	6	4	6	4
12:30	3	0	1	5	4	3	6	4	6	4
13:00	3	0	1	5	4	3	6	4	5	4
13:30	3	0	0	5	4	3	6	4	5	4
14:00	3	0	0	5	6	6	8	4	1	4
14:30	3	0	0	5	5	5	8	4	0	4
15:00	3	0	0	4	3	3	6	4	0	5
15:30	3	0	0	4	6	3	7	4	0	4
16:00	3	0	0	4	6	3	5	4	0	5
16:30	3	0	0	4	6	3	3	3	0	5
17:00	4	0	0	4	6	3	3	3	0	4
17:30	3	0	0	4	6	4	4	3	0	0
18:00	0	0	0	6	4	4	7	3	0	0
18:30	0	0	0	6	4	4	7	3	0	0
19:00	0	0	0	4	0	4	4	3	0	0

1º passo: Lista de funcionários disponíveis ordenada aleatoriamente

Funcionário	Número único de identificação
Funcionário A	40109
Funcionário B	40110
Funcionário C	40123
Funcionário D	40865
Funcionário E	40976
Funcionário F	40954
Funcionário G	40961
Funcionário H	40762
Funcionário I	40938
Funcionário J	40117
Funcionário K	40108
Funcionário L	40105
Funcionário M	40122
Funcionário N	40129

Funcionário	Número único de identificação
Funcionário N	40129
Funcionário A	40109
Funcionário G	40961
Funcionário M	40122
Funcionário E	40976
Funcionário K	40108
Funcionário I	40938
Funcionário L	40105
Funcionário B	40110
Funcionário C	40123
Funcionário H	40762
Funcionário J	40117
Funcionário D	40865
Funcionário F	40954



Lista de funcionários disponíveis ordenada aleatoriamente:

N-A-G-M-E-K-I-L-B-C-H-J-D-F

2º passo: Informação sobre as necessidades da organização para cada dia e para cada meia hora, correspondente à hora de início de um turno

	SEX	SÁB	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
05:00	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5
05:30	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5
06:00	1	0	5	6	6	6	7	1	0	6
06:30	1	0	5	6	6	6	6	1	0	6
07:00	1	0	5	5	6	5	5	1	0	5
07:30	1	0	5	5	6	5	5	1	0	5
08:00	1	0	4	5	6	6	5	2	0	5
08:30	2	0	4	5	6	6	5	2	0	5
09:00	2	1	3	5	6	5	5	2	5	9
09:30	2	1	3	5	6	5	3	2	5	3
10:00	2	1	3	7	7	7	9	2	5	3
10:30	2	1	3	5	4	4	8	2	4	3
11:00	1	1	1	4	4	4	5	2	6	3
11:30	1	1	1	5	4	4	5	4	5	4
12:00	3	1	1	5	4	5	6	4	6	4
12:30	3	0	1	5	4	3	6	4	6	4
13:00	3	0	1	5	4	3	6	4	5	4
13:30	3	0	0	5	4	3	6	4	5	4
14:00	3	0	0	5	6	6	8	4	1	4
14:30	3	0	0	5	5	5	8	4	0	4
15:00	3	0	0	4	3	3	6	4	0	5
15:30	3	0	0	4	6	3	7	4	0	4
16:00	3	0	0	4	6	3	5	4	0	5
16:30	3	0	0	4	6	3	3	3	0	5
17:00	4	0	0	4	6	3	3	3	0	4
17:30	3	0	0	4	6	4	4	3	0	0
18:00	0	0	0	6	4	4	7	3	0	0

18:30	0	0	0	6	4	4	7	3	0	0
19:00	0	0	0	4	0	4	4	3	0	0

Análise das necessidades da organização para o primeiro dia do mês por ordem de turnos

3º passo: Escalonamento para o dia 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30									
F_B	-									
F_C	-									
F_D	-									
F_E	17h00									
F_F	-									
F_G	12h00									
F_H	-									
F_I	-									
F_J	-									
F_K	-									
F_L	-									
F_M	15h00									
F_N	06h00									

Alocação dos funcionários a turnos no dia 1, de acordo com a ordem da lista de funcionários disponíveis apresentada em 1)

4º passo: Escalonamento para o dia 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30									
F_B	-									
F_C	-									
F_D	-									
F_E	17h00									

F_F	-									
F_G	12h00									
F_H	-									
F_I	-									
F_J	-									
F_K	-									
F_L	-									
F_M	15h00									
F_N	06h00									

Alocação de funcionários a turnos, alocando, sempre que possível e necessário, os funcionários a turnos iguais aos realizados no dia de trabalho anterior

Observação:

Como nenhum funcionário realizou o turno com hora de início às 10h no dia anterior, e a organização necessita de alocar um funcionário ao turno das 10h no dia 2, o funcionário alocado é o primeiro funcionário na lista de disponíveis.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30									
F_B	-									
F_C	-									
F_D	-									
F_E	17h00									
F_F	-									
F_G	12h00									
F_H	-									
F_I	-									
F_J	-									
F_K	-	10h00								
F_L	-									
F_M	15h00									
F_N	06h00									

Alocação dos funcionários aos turnos em falta para o dia 2, isto é, aos turnos aos quais não foi possível alocar funcionários que já tivessem realizado esse turno no dia de trabalho anterior

5º passo: Escalonamento para o dia 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-							
F_B	-	-	05h00							
F_C	-	-	05h00							
F_D	-	-	-							
F_E	17h00	-	-							
F_F	-	-	-							
F_G	12h00	-	-							
F_H	-	-	05h00							
F_I	-	-	05h00							
F_J	-	-	-							
F_K	-	10h00	-							
F_L	-	-	05h00							
F_M	15h00	-	-							
F_N	06h00	-	-							

Alocação dos funcionários da lista de funcionários disponíveis aos turnos necessários no dia 3, de acordo com a ordem dessa lista, uma vez que não existem funcionários disponíveis que já tenham realizado esses turnos no dia anterior

6º passo: Escalonamento para o dia 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-							
F_B	-	-	05h00	05h00						
F_C	-	-	05h00	05h00						
F_D	-	-	-							
F_E	17h00	-	-							
F_F	-	-	-							

F_G	12h00	-	-							
F_H	-	-	05h00	05h00						
F_I	-	-	05h00	05h00						
F_J	-	-	-							
F_K	-	10h00	-							
F_L	-	-	05h00	05h00						
F_M	15h00	-	-							
F_N	06h00	-	-							

Alocação dos funcionários aos mesmos turnos que realizaram no dia anterior, tendo, mesmo assim, em consideração a ordem da lista

Observação:
 Caso existam 5 funcionários disponíveis e cujo turno realizado no dia anterior tenha sido o turno das 05h00, e a organização necessite de apenas 4 funcionários com estas características, são escolhidos os primeiros 4 funcionários da lista de disponíveis nestas condições.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00						
F_B	-	-	05h00	05h00						
F_C	-	-	05h00	05h00						
F_D	-	-	-	14h00						
F_E	17h00	-	-	-						
F_F	-	-	-	14h00						
F_G	12h00	-	-	18h00						
F_H	-	-	05h00	05h00						
F_I	-	-	05h00	05h00						
F_J	-	-	-	14h00						
F_K	-	10h00	-	10h00						
F_L	-	-	05h00	05h00						
F_M	15h00	-	-	-						
F_N	06h00	-	-	06h00						

Alocação dos funcionários necessários para os turnos em falta para o dia 4, seguindo a ordem da lista de funcionários disponíveis

Observação:

Os turnos das 06h00, 14h00 e 18h00 não tinham ainda sido preenchidos por falta de funcionários com as características desejadas, isto é, funcionários na lista de disponíveis e cujo turno realizado anteriormente coincida com um desses turnos. Deste modo, a alocação de funcionários para estes turnos foi feita através da ordem da lista de funcionários disponíveis.

7º passo: Escalonamento para o dia 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-					
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_D	-	-	-	14h00	14h00					
F_E	17h00	-	-	-	-					
F_F	-	-	-	14h00	14h00					
F_G	12h00	-	-	18h00	-					
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_J	-	-	-	14h00	14h00					
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00					
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_M	15h00	-	-	-	-					
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00					

Alocação dos funcionários aos mesmos turnos que realizaram no dia anterior, seguindo a ordem da lista de funcionários disponíveis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-					
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_D	-	-	-	14h00	14h00					
F_E	17h00	-	-	-	15h30					
F_F	-	-	-	14h00	14h00					

F_G	12h00	-	-	18h00	-					
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_J	-	-	-	14h00	14h00					
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00					
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00					
F_M	15h00	-	-	-	14h00					
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00					

Alocação dos funcionários necessários para os turnos em falta para o dia 5, seguindo a ordem da lista de funcionários disponíveis

Observação:

Os turnos das 14h00 e das 15h30 não tinham ainda sido totalmente preenchidos por falta de funcionários com as características desejadas, isto é, funcionários na lista de disponíveis e cujo turno realizado anteriormente coincida com um desses turnos. Assim, de forma a preencher estes turnos, foram alocados funcionários pela ordem em que se encontravam na lista de disponíveis.

8º passo: Escalonamento para o dia 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-	-				
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00				
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00				
F_D	-	-	-	14h00	14h00	14h00				
F_E	17h00	-	-	-	15h30	-				
F_F	-	-	-	14h00	14h00	14h00				
F_G	12h00	-	-	18h00	-	-				
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00				
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00				
F_J	-	-	-	14h00	14h00	14h00				
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00	10h00				
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00				

F_M	15h00	-	-	-	14h00	14h00				
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00	06h00				

Alocação dos funcionários aos turnos necessários no dia 6, respeitando as regras anteriormente explicitadas

9º passo: Escalonamento para o dia 7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-	-	06h00			
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00			
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00			
F_D	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00			
F_E	17h00	-	-	-	15h30	-	15h30			
F_F	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00			
F_G	12h00	-	-	18h00	-	-	10h00			
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00			
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00			
F_J	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00			
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00	10h00	10h00			
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00			
F_M	15h00	-	-	-	14h00	14h00	14h00			
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00	06h00	06h00			

Alocação dos funcionários a turnos, de acordo com os turnos que realizaram anteriormente, bem como de acordo com a ordem da lista de funcionários disponíveis

10º passo: Escalonamento para o dia 8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-	-	06h00	8h00		
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X		
F_D	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-		
F_E	17h00	-	-	-	15h30	-	15h30	-		
F_F	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-		
F_G	12h00	-	-	18h00	-	-	10h00	11h30		
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	
F_J	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-		
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00	10h00	10h00	11h30		
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X		
F_M	15h00	-	-	-	14h00	14h00	14h00	-		
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00	06h00	06h00	06h00		

Alocação dos funcionários aos respectivos turnos e anotação das folgas de alguns destes funcionários

Observação:

Os funcionários cujos números de identificação são pares e já estão alocados a 5 turnos em dias consecutivos têm direito a 2 dias de folga consecutivos e, por isso, esses dois dias de folga podem ser já anotados. Caso estes funcionários tenham números de identificação ímpares, têm direito a um dia de folga e, depois de mais um dia de trabalho, têm direito ao outro dia de folga.

11º passo: Escalonamento para o dia 9

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-	-	06h00	8h00	-	
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	-	
F_D	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-	9h00	
F_E	17h00	-	-	-	15h30	-	15h30	-	9h00	
F_F	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-	9h00	

F_G	12h00	-	-	18h00	-	-	10h00	11h30	-	
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	
F_J	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-	9h00	
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00	10h00	10h00	11h30	X	X
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	11h00	
F_M	15h00	-	-	-	14h00	14h00	14h00	-	9h00	
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00	06h00	06h00	06h00	X	

Alocação dos funcionários disponíveis aos turnos, de forma a cumprir com as necessidades da organização e anotação dos dias de folga a que cada funcionário tem direito

12º passo: Escalonamento para o dia 10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_A	08:30	-	-	18h00	-	-	06h00	8h00	-	05h00
F_B	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	05h00
F_C	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	-	05h00
F_D	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-	9h00	9h00
F_E	17h00	-	-	-	15h30	-	15h30	-	9h00	-
F_F	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-	9h00	9h00
F_G	12h00	-	-	18h00	-	-	10h00	11h30	-	15h00
F_H	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	05h00
F_I	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	X	05h00
F_J	-	-	-	14h00	14h00	14h00	14h00	-	9h00	9h00
F_K	-	10h00	-	10h00	10h00	10h00	10h00	11h30	X	X
F_L	-	-	05h00	05h00	05h00	05h00	05h00	X	11h00	X
F_M	15h00	-	-	-	14h00	14h00	14h00	-	9h00	15h00
F_N	06h00	-	-	06h00	06h00	06h00	06h00	06h00	X	-

Escalonamento de funcionários para os turnos do dia 10, anotação dos dias de folga e saída de alguns funcionários dos seus dias de folga

Observação:

O funcionário L tem um número de identificação ímpar e, por isso, tem direito a dias de folga não consecutivos. Neste caso, estará de folga no dia 8, retomará ao trabalho no dia 9, realizando o turno das 11h00 e voltará a estar de folga no dia 9. Tal acontece porque o funcionário deve ser alocado a algum turno no dia seguinte ao seu primeiro dia de folga para lhe ser atribuído o outro dia de folga. Caso o funcionário não tivesse sido alocado a qualquer turno no dia 9, então assumir-se-ia que já estaria a utilizar o seu outro dia de folga e, por isso, não lhe seria atribuído o segundo dia de folga.

ANEXO II

MÉTODO DE PESQUISA LOCAL 1 (PL1)

Neste anexo é apresentada uma breve descrição da aplicação do método de pesquisa local PL1 sobre uma solução no horizonte temporal de uma quinzena.

Veja-se o seguinte exemplo de uma solução no horizonte temporal de uma quinzena:

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Neste exemplo, estão representados os horários de trabalho de uma equipa de 4 funcionários durante duas semanas.

Para o exemplo apresentado, tem-se que os valores das funções objetivo z_1 e z_2 são, aproximadamente, 68,9% e 1, respetivamente.

Veja-se, de seguida, a aplicação do algoritmo PL1 de forma a encontrar soluções vizinhas que maximizem o valor de z_1 para a solução inicial:

1º passo: Troca de turnos entre cada dois funcionários no dia 1, começando esta troca pelos turnos dos funcionários A e B no dia 1.

a)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_1 \approx 71,4\%$.

b) Troca de turnos entre os funcionários A e D.

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	10:30	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	08:00	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_1 \approx 68,9\%$.

c) Troca de turnos entre os funcionários B e D.

	1	2	3	4	5	6	7
--	---	---	---	---	---	---	---

Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	10:30	09:30	09h30	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	10:30	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	10:30	09:30	09h30	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	09:00	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_1 \approx 68,9\%$.

Assim, para o primeiro dia, uma das soluções vizinhas encontradas melhora o valor da solução corrente: a solução resultante da troca entre turnos dos funcionários A e B. Portanto, a solução corrente passa a ser a seguinte:

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X

Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

2º passo: A solução encontrada no passo anterior é fixa e os procedimentos anteriores são repetidos para esta nova solução e para o dia 4. Note-se que não se pode efetuar trocas entre o funcionário B e qualquer outro funcionário nos dias 2 e 3, nem entre o funcionário C e qualquer outro funcionário ou o funcionário D e qualquer outro funcionário nesses mesmos dias, uma vez que esses funcionários não foram alocados a nenhum turno para esses dias.

A seguinte solução corresponde à solução corrente:

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Para a solução corrente, tem-se que o valor de z_1 é de, aproximadamente, 71,4%.

a) Troca entre os turnos dos funcionários A e B para o dia 4.

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	(09:00)	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	(09:30)	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	09:30	09:00	X	X

Funcionário B	08:00	-	-	09:00	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_1 \approx 63,6\%$.

b) Troca entre os turnos dos funcionários A e D para o dia 4.

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	10:30	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	09:00	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_1 \approx 71,4\%$.

Os valores de z_1 para as soluções vizinhas encontradas não são melhores do que o valor de z_1 para a solução corrente. Portanto, esta solução não é alterada no dia 4.

3º passo: Todos os procedimentos efetuados são repetidos para os restantes dias do horizonte temporal. A solução corrente após os 14 dias é um ótimo local.

ANEXO III

MÉTODO DE PESQUISA LOCAL 2 (PL2)

Neste anexo é apresentada uma breve descrição, a título de exemplo, da aplicação do método de pesquisa local PL1 sobre uma solução no horizonte temporal de uma quinzena.

Tome-se o exemplo de uma solução no horizonte temporal de uma quinzena. Neste exemplo, estão representados os horários de trabalho de uma equipa de 4 funcionários durante duas semanas.

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Para o exemplo apresentado, tem-se que os valores das funções objetivo z_1 e z_2 são, aproximadamente, 68,9% e 1, respetivamente.

Veja-se, de seguida, a aplicação do algoritmo PL2 de forma a encontrar soluções vizinhas que maximizem o valor de z_2 para a solução inicial:

1º passo: Troca entre o turno a que o funcionário A no dia está alocado e o dia sem alocação do funcionário C.

a)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	09:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	08:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	09:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_2 = 0,5$.

b)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	-	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	09:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_2 = 1$.

c)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	-	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	08:00	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	10:30	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	-	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_2 = 0,5$.

Assim, para o primeiro dia, existem duas soluções que melhoram o valor da solução corrente: as soluções resultantes da troca entre os horários dos funcionários A e C e da troca entre turnos dos funcionários C e D. Como as duas soluções têm o mesmo valor para z_2 , escolhe-se qualquer uma destas soluções.

Escolhendo a solução obtida através da troca entre os horários dos funcionários A e C no dia 1, obtém-se:

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

2º passo: A solução encontrada no passo anterior é fixa e os procedimentos anteriores são repetidos para esta nova solução e para o dia 2.

A seguinte solução corresponde à solução corrente:

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

a)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	-	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	08:00	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00

Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30
	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_2 = 1$.

b)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	-	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	08:00	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_2 = 0,5$.

c)

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	08:00	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	-	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	1	2	3	4	5	6	7
Funcionário A	-	-	09:00	09:00	09:00	X	X
Funcionário B	09:00	-	-	09:30	09:30	09:30	09:30
Funcionário C	08:00	-	-	-	10:00	10:00	10:00
Funcionário D	10:30	08:00	-	10:30	10:30	10:30	10:30

	8	9	10	11	12	13	14
Funcionário A	09:00	09:00	09:00	08:00	08:00	X	X
Funcionário B	09:30	X	-	08:30	08:30	08:30	X
Funcionário C	10:00	10:00	X	X	10:00	10:00	-
Funcionário D	09:00	X	09:00	X	09:00	09:00	09:00

Logo, $z_2 = 1$.

Assim, para o segundo dia, uma das soluções vizinhas melhora o valor da solução corrente: a solução resultante da troca entre os horários dos funcionários A e C.

3º passo: Todos os procedimentos efetuados são repetidos para os restantes dias do horizonte temporal. A solução corrente após os 14 dias é um ótimo local.