



LISBON
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

MESTRADO

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**ESCALONAMENTO DOS BOMBEIROS DO AEROPORTO
INTERNACIONAL AMÍLCAR CABRAL**

EMANUEL CUSTÓDIO ARAÚJO CARVALHO MORAIS

OUTUBRO - 2018



LISBON
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

MESTRADO EM **MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO** **ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

TRABALHO FINAL DE MESTRADO **RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

ESCALONAMENTO DOS BOMBEIROS DO AEROPORTO
INTERNACIONAL AMÍLCAR CABRAL

EMANUEL CUSTÓDIO ARAÚJO CARVALHO MORAIS

ORIENTAÇÃO:

PROF. DOUTORA MARGARIDA MARIA GONÇALVES VAZ PATO
SRA. MESTRE SAMIRA LOPES, COORDENADORA DO GABINETE DE
PLANEAMENTO CONTROLO E QUALIDADE DA ASA

OUTUBRO - 2018

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida, saúde e oportunidade de fazer este mestrado, pois sem a sua graça nada disto seria possível.

Agradeço aos meus pais pelo empenho e dedicação na minha educação desde tenra idade até aos dias de hoje, os vossos esforços foram imensuráveis. Não tenho palavras para vos agradecer, mas a certeza em Deus que os meus atos os deixaram honrados. Aos meus irmãos pela motivação e o espírito de entre ajuda. E ao meu filho Lucas por ele ser quem é, pois motiva-me cada dia mais e mais, o pai te ama.

À Rosângela, à Cláudia, à Aleida e a todos os meus amigos que durante estes anos estiveram comigo, obrigado pelo vosso amor, amizade e carinho demonstrado sempre.

Às professoras Margarida Pato e Cândida Mourão que estiveram comigo deste do início do mestrado como coordenadoras, um muito obrigado, especialmente a professora Margarida Pato, minha orientadora neste TFM. Obrigado por me encorajar nos momentos mais difíceis, por não ter-me deixado desistir, a sua ajuda foi muito preciosa.

Gostaria de agradecer também à ASA, na pessoa do Administrador Nuno Santos e da Diretora de Desenvolvimento de Recursos Humanos Sara Rocha Fortes, pela oportunidade de estágio e por sempre terem-se mostrado disponíveis em ajudar no que fosse possível para o sucesso do meu estágio. Bem como aos meus colegas do GPCQ, o Aeliziar, o Ademar e a coordenadora Samira, que desde a minha chegada no gabinete me receberam de braços abertos, e assim estiveram até ao final do meu estágio. Obrigado pelas ideias, ensinamentos, conselhos e pela amizade, que enriqueceram os meus conhecimentos, a minha experiência e me ajudaram enquanto pessoa. Um especial obrigado a coordenadora Samira por ter aceitado ser a minha orientadora na empresa.

Não esquecendo também dos colaboradores que durante o meu estágio juntaram-se ao gabinete, as chefias dos serviços, Carlos Figueiredo, Viviana Mendes, Edgard Pinto, chefes do SOSS, SOICA e SMA respetivamente e ao Adilson Vaz, coordenador do Núcleo de Controladores de Tráfego Aéreo e a todos os trabalhadores da ASA em geral que de uma forma ou de outra me ajudaram nesta caminhada, um bem-haja.

Glossário

AAC – Agência de Aviação Civil;

ACC – *Area Control Center*;

AIAC – Aeroporto Internacional Amílcar Cabral, Aeroporto do Sal;

ASA – Empresa Nacional de Aeroportos e Segurança Aérea, S.A.;

CV Handling – Cabo Verde Handling, S.A;

DFA – Direção Financeira e Administrativa;

FIR – Região de Informação de Voo;

GPCG – Gabinete de Planeamento e Controlo de Gestão;

GPCQ – Gabinete de Planeamento, Controlo e Qualidade;

IGP – Instrumento de Gestão Previsional;

PLI – Programação Linear Inteira;

SOICA – Serviço de Operações de Informação e Comunicação Aeronáutica;

SOTA – Serviço de Operações de Tráfego Aéreo;

SOSS – Serviço de Operações de Socorro e Salvamento, Bombeiros Aeronáuticos;

TWR – Torre de Controlo;

UN – Unidades de Negócio.

Resumo

Neste trabalho final de mestrado é relatado o estágio curricular na ASA, S.A. – Empresa Nacional de Aeroportos e Segurança Aérea, no âmbito da conclusão do mestrado, com o objetivo de aplicar e desenvolver conhecimentos adquiridos no mestrado.

Durante o estágio abordou-se o problema de escalonamento dos bombeiros aeronáuticos no Aeroporto Internacional Amílcar Cabral através do desenvolvimento de uma ferramenta automatizada para o escalonamento de pessoal. Para além desta tarefa, estudou-se o dimensionamento de pessoal nos turnos dos serviços ligados ao tráfego de acordo com os turnos de maior ou menor movimento de aeronaves no aeroporto e no espaço aéreo cabo-verdiano. Realizaram-se também variados trabalhos de análise estatística e financeira.

Propõe-se uma diferente distribuição de operacionais pelos turnos, de acordo com o movimento nestes respetivos turnos e para o problema de escalonamento desenvolveu-se uma ferramenta automatizada baseada no modelo de cobertura para o escalonamento dos bombeiros no Serviço de Operações de Socorro e Salvamento (SOSS).

Foram realizados vários testes computacionais deste modelo de escalonamento com dados reais recorrendo ao OpenSolver no Excel. Estes testes permitiram obter várias soluções viáveis para o escalonamento mensal do pessoal em muito pouco tempo computacional. A ferramenta já está a ser usada na automatização de escalonamento dos bombeiros aeronáuticos no SOSS do referido aeroporto da ilha do Sal.

Palavras – Chave: Bombeiros aeronáuticos, otimização, escalonamento, programação linear inteira.

Abstract

The current page contains a summary of internship program carried out at ASA, S.A. – Empresa Nacional de Aeroportos e Segurança Aérea, as part of the master degree program. The knowledge acquired in the master's program remained at the core of the whole internship program with the purpose of further enhancement and use.

During the internship, the issue of airport firefighters work schedules was addressed aiming at establishing an automated staff scheduling tool for Aeroporto Internacional Amílcar Cabral in Sal island. Moreover, staff sizing per shift was also addressed with an emphasis on adjusting staff number to different traffic amount in airport and Flight Information Region (FIR) Oceânica do Sal. Several statistics and financial analyses were also carried out.

In line with a staff allocation scheme based on a need basis to different traffic amount and as a means to settle the staff sizing and roster issue, an automated tool was developed for rescue and fire fighting services at airports (SOSS).

A number of computer-based tests were carried out with real data made available and entered to OpenSolver on Excel. In a very short computing time the output showed optimum working solutions for a monthly staff scheduling. The tool is currently being used in the management of SOSS.

Keywords: Aeronautic firefighters, optimization, scheduling, integer linear programming.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
GLOSSÁRIO	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
1. Introdução	1
2. A Empresa ASA	2
2.1. Descrição da Empresa	2
2.2. Trabalhos Realizados Durante o Estágio	4
2.3. Problema de Escalonamento no SOSS	9
3. Pesquisa Bibliográfica	11
4. Metodologia de Resolução	12
4.1. Modelo de Escalonamento	12
4.2. Modelo de Programação Linear	12
4.3. Aplicação em Excel e Resolução do Caso em Estudo	16
5. Experiência Computacional Preliminar	18
6. Conclusões	24
Referências Bibliográficas	25
Anexo 1 – Restrições do Modelo no Solver	27
Anexo 2 – Escalonamento dos Bombeiros	28
Anexo 2.1 – Escalonamento Real para o Mês de Setembro de 2018.	28
Anexo 2.2 – Escalonamento Obtido na Aplicação Automatizada para o Mês de Setembro de 2018.	29
Anexo 2.3 – Escalonamento Real Obtido na Aplicação Automatizada para o Mês de Outubro de 2018.	30
Anexo 2.4 – Escalonamento com 33 Operacionais na Aplicação Automatizada em Algum Mês da Época Alta.	31

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Distribuição de operacionais pelos turnos.....	5
Tabela 2 - Distribuição de operacionais pelos turnos por movimento de aeronaves	7
Tabela 3 - Distribuição de operacionais disponíveis pelos turnos.....	16
Tabela 4 - Restrições de operacionais	17
Tabela 5 - Solução para o problema	17
Tabela 6 - Distribuição dos operacionais pelas escalas	18

Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura orgânica da ASA [6]	3
Figura 2 - Escalas do padrão NTMmF	15
Figura 3 - Resultados de uma semana no padrão NTMmF, para turnos de pico de movimento (T e M) e de movimento moderado (N e m)	19
Figura 4 - Resultados em uma semana no padrão NTMmF para turnos de pico de movimento (N, T e M) e de menor movimento (m).....	19
Figura 5 - Novos padrões de escalonamento	21
Figura 6 - Resultados em uma semana com todos os padrões para turnos de pico de movimento (N, T e M) e de menor movimento (m).....	22
Figura 7 - Resultados em uma semana com todos os padrões para turnos de pico de movimento (M), de movimento moderado (N e T) e de menor movimento (m)	22
Figura 8 - Restrições no Solver	27
Figura 9 – Mapa de escalas reais para o mês de setembro	28
Figura 10 - Mapa de escalas para o mês de setembro com turnos de pico de movimento (T), movimento moderado (N e M) e menor movimento (m).....	29
Figura 11 - Mapa de escalas reais para o mês de outubro com turnos de movimento moderado (N, T e M) e de menor movimento (m)	30
Figura 12 - Mapa de escalas para 33 operacionais com turnos de pico de movimento (T e M) e de movimento moderado (N e m)	31

1. Introdução

O presente trabalho final de mestrado surge com o objectivo de resolver o problema da otimização dos turnos ligados ao tráfego de aeronaves e desenvolver uma ferramenta automatizada que facilite o escalonamento do pessoal no aeroporto do Sal utilizando o Solver do Excel.

A quando da realização do estágio curricular na Empresa Nacional de Aeroportos e Segurança Aérea, S. A. (ASA), deparou-se com o problema de eficiência na distribuição dos operacionais pelos turnos de alguns serviços e também com o facto do escalonamento mensal do pessoal ser feito manualmente pelas chefias destes serviços.

Assim, desenvolveu-se este trabalho com o intuito de melhorar a distribuição dos operacionais pelos turnos e automatizar o escalonamento do pessoal de um destes serviços. Foram criadas várias escalas e ciclos de turnos de serviço para que a ferramenta automatizada desenvolvida para o escalonamento de pessoal deste serviço fosse o mais rápido e automatizado possível.

O trabalho está apresentado em seis capítulos. No segundo capítulo, é feita a descrição da empresa e do seu modelo organizacional, passando depois para os trabalhos de análise estatística e financeira realizados durante o estágio e, por fim, a apresentação do problema de escalonamento escolhido para o estudo.

No terceiro capítulo, é apresentada uma breve revisão bibliográfica, onde se aborda estudos anteriores relacionados com o escalonamento de pessoal, bem como, os seus vários tipos de classificações por autores diferentes e alguns métodos de resolução destes problemas.

Seguidamente, no quarto capítulo, é apresentada a metodologia de resolução, explicando o modelo de programação linear inteira utilizado na resolução do problema, incluindo os seus parâmetros e, finalmente, a respetiva aplicação em Excel.

No quinto capítulo, é a vez de ser exposta a experiência computacional realizada para afinação do modelo e parâmetros.

Por último, o capítulo seis contém as conclusões deste trabalho.

2. A Empresa ASA

2.1. Descrição da Empresa

A seguinte descrição da empresa será feita baseada em documentos da organização. “A Empresa Nacional de Aeroportos e Segurança Aérea, abreviadamente designada ASA, é uma sociedade anónima com Sede na ilha do Sal, com um capital social de 5.500.000.000\$00 totalmente subscrito e realizado, representado por 550.000 ações com valor nominal de 10.000\$00 cada, detidas, na sua globalidade, pelo Estado de Cabo Verde. A ASA é detentora, desde 2014, de 100% do capital social da Cabo Verde Handling S.A (CV Handling), no valor de 188.000.000\$00” [11].

“A sua missão é a gestão eficiente dos aeroportos e aeródromos de Cabo Verde e da Região de Informação de Voo (FIR) Oceânica do Sal, e contribuir para a modernização do sistema de transportes aéreos e para o desenvolvimento económico, social e cultural do arquipélago, ligando Cabo Verde ao mundo” [8].

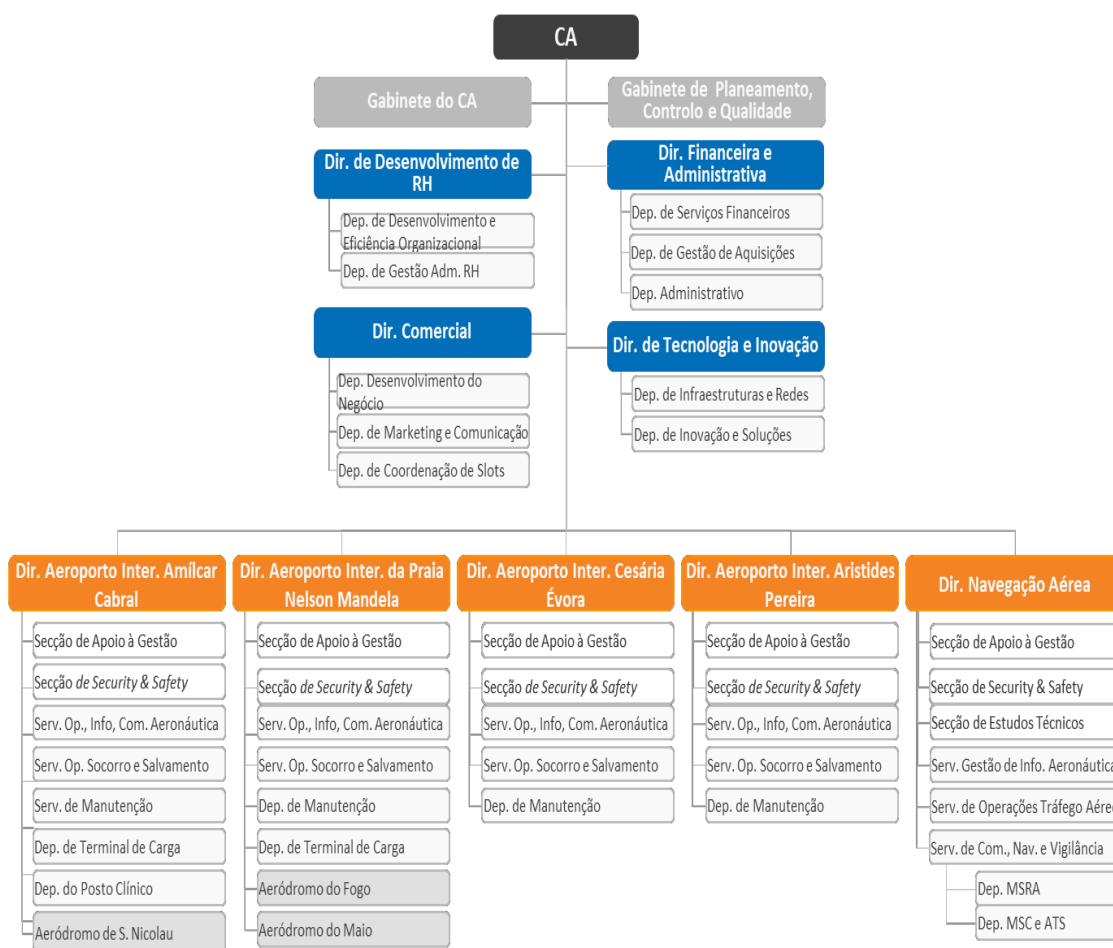
“Após três décadas e meia da sua criação e dos progressos conseguidos a vários níveis, a ASA encontra-se numa fase importante do seu ciclo de vida que se caracteriza por uma firme e continuada aposta no desenvolvimento tecnológico, na modernização das infraestruturas e na capacitação dos recursos humanos, por forma a dotar-se de instrumentos de gestão compatíveis com os desafios da atualidade, permitindo-lhe a competitividade e o dinamismo para acompanhar as mudanças no sistema dos transportes aéreos a nível mundial” [7].

“O modelo organizacional da ASA assenta numa lógica de Unidades de Negócio (UN) (gestão de quatro aeroportos, três aeródromos e da navegação aérea), Unidades de Suporte e Unidades de Assessoria” [9]. “Sendo que, as UN têm como foco a resposta às necessidades dos clientes, as Unidades de Assessoria são os órgãos de *staff* do Conselho de Administração, que apoiam e monitorizam de forma integrada a atividade da ASA e

Escalonamento dos Bombeiros do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral

as Unidades de Suporte da ASA suportam de forma transversal toda a atividade da empresa e, em concreto, a atividade das UN” [6].

Na Figura 1 é apresentado o organograma geral da empresa. O estágio decorreu na Direção Financeira e Administrativa (DFA) e no Gabinete de Planeamento e Controlo de Gestão (GPCG), desde Abril designado por Gabinete de Planeamento, Controlo e Qualidade (GPCQ). E foram desenvolvidos trabalhos no Serviço de Operações de Informação e Comunicação Aeronáutica (SOICA), no Serviço de Operações de Socorro e Salvamento, Bombeiros Aeronáuticos (SOSS) e no Serviço de Operações de Tráfego Aéreo (SOTA).



Legenda:

- Unidades de Assessoria
- Unidades de Suporte
- Unidades de Negócio

Figura 1 - Estrutura orgânica da ASA [6]

2.2. Trabalhos Realizados Durante o Estágio

Nas primeiras quatro semanas na empresa o estágio decorreu na DFA, onde se começou a conhecer mais a fundo a empresa, a ter contato com as contas da empresa, a perceber melhor o seu funcionamento, e a ter o primeiro contato com os colaboradores. Era a fase de procura de trabalho na empresa que correspondesse à formação do mestrado. Foram realizadas reconciliações de todas as vendas do SOICA durante o ano de 2017, estas vendas decorrem dos serviços que o aeroporto presta aos seus clientes, neste caso às companhias aéreas.

A partir do mês de março o estágio continuou no GPCQ, gabinete onde se faz as análises financeiras e estatísticas (sendo os dados contabilísticos calculados na DFA e os estatísticos no próprio gabinete), o Instrumento de Gestão Previsional (IGP) no âmbito do planeamento e orçamentação em conjunto com a DFA, o controlo orçamental, no âmbito do controlo de gestão, estudos de viabilidade e de custeio, e também colabora na elaboração do relatório e contas, para além de várias outras tarefas.

Neste gabinete, o trabalho desenvolveu-se essencialmente na vertente da análise estatística, mais propriamente no tratamento e análise de dados estatísticos, relativos ao tráfego de:

- aeronaves (partidas e chegadas);
- passageiros (embarcados, desembarcados e em trânsito);
- cargas (embarcadas e desembarcadas);
- correios (embarcados e desembarcados);

que circulam em todos os aeroportos e aeródromos de Cabo Verde e os sobrevoos (aeronaves que não aterram em Cabo Verde mas utilizam o espaço aéreo cabo-verdiano e, como tal, é prestado assistência a estas aeronaves) no espaço aéreo cabo-verdiano (FIR Oceânica do Sal). Estes tipos de dados são publicados nos boletins de tráfego [13] e são também trabalhados para dar informações mais específicas que são solicitadas frequentemente, quer internamente quer por várias entidades externas.

Paralelamente a estes trabalhos realizados no GPCQ, decorreram reuniões com as chefias de alguns dos vários serviços ligados ao tráfego de aeronaves e passageiros no Aeroporto Internacional Amílcar Cabral (AIAC) e na FIR Oceânica do Sal,

nomeadamente o SOICA, o SOSS e o SOTA, para tomar conhecimento dos problemas relativos aos turnos dos serviços ligados ao tráfego, analisar e fazer a otimização destes turnos e também para assim se definir o serviço para o qual desenvolver uma ferramenta automatizada para facilitar escalonamento do respetivo pessoal.

A otimização dos turnos dos serviços ligados ao tráfego no AIAC surgiu por se verificar que independentemente de se ter um período de maior ou menor tráfego, o número de operacionais por turno era sempre o mesmo nestes serviços. Este facto colocava um grande problema de eficiência na gestão do número de operacionais por turno, pois nos períodos de maior tráfego eram necessários mais operacionais nos turnos e nos períodos de menor tráfego eram necessários menos operacionais, ou seja, devia ser realizada uma distribuição eficiente destes operacionais pelos turnos, tendo em conta o volume de tráfego nestes respetivos turnos.

Para resolver este problema, teve-se como base a observação da prestação dos serviços *in loco*, o depoimento das chefias de cada um dos serviços e de alguns colaboradores desses respetivos serviços, bem como as estatísticas do tráfego e a programação dos voos.

Com o estudo de dimensionamento das equipas para os turnos destes serviços realizados aquando deste estágio, sugere-se a dimensão destes turnos nos períodos de pico, movimento moderado ou de menor movimento de aeronaves no AIAC representada na Tabela 1.

Serviços	Nº operacionais de	Nº operacionais de por turno atualmente	Sugestões		
			Nº operacionais de nos turnos de menor movimento	Nº operacionais de nos de movimento moderado	Nº operacionais de nos turnos de Pico
SOICA	22	4 e 3	3	4	5 ou 6
SOSS	33	7 e 6	5	6	7 ou 8
SOTA (ACC)	19	4 e 3	3	4	5
SOTA (TWR)	12	1	1	1	2

Tabela 1 - Distribuição de operacionais pelos turnos

Para o SOICA, quando o movimento de aeronaves é menor do que quatro, são necessários apenas três operacionais, pois um estará no controlo da plataforma, um no controlo de processos administrativos na sala de despacho e um no controlo do circuito fechado e dos terminais (chegadas e partidas). Com o movimento de aeronaves entre quatro a oito, é necessário quatro operacionais sendo que agora o controlo do circuito fechado e o controlo dos terminais terão um operacional destacado somente para cada uma destas funções. Com o aumento do movimento de aeronaves para mais de oito, serão necessários cinco operacionais, sendo que este operacional a mais reforçará ou o controlo da plataforma ou o controlo dos terminais e, no caso de se conseguir alocar seis operacionais, ficarão dois no controlo da plataforma, dois no controlo dos terminais, um no controlo de processos administrativos na sala de despacho e um no controlo do circuito fechado.

Para o SOSS, quando o movimento de aeronaves for menor do que sete, são necessários cinco operacionais: dois com o veículo de combate a incêndio preparado na plataforma para a assistência a aeronaves caso seja necessário, dois de prontidão para o caso ser necessário o veículo da ambulância de transporte/socorro ou mais um veículo de combate a incêndio e um na sala de comunicações. Com o movimento de aeronaves entre sete a 15 são necessários seis operacionais, sendo que este operacional extra reforçará o veículo de combate a incêndio preparado na plataforma para a assistência a aeronaves. Quando o movimento de aeronaves é superior a 15 são necessários sete operacionais: dois com o veículo de combate a incêndio preparado na plataforma para a assistência a aeronaves caso seja necessário, dois de prontidão caso seja necessário mais um veículo de combate a incêndio para a assistência às aeronaves, dois de prontidão para, caso seja necessário, o veículo da ambulância de transporte/socorro ou mais um veículo de combate a incêndio e um na sala de comunicações. Se for possível alocar oito operacionais, o operacional a mais reforçará a equipa de veículo de combate a incêndio preparado na plataforma para a assistência a aeronaves.

Para o SOTA, no que diz respeito ao *Area Control Center* (ACC), quando o movimento de aeronaves/sobrevoos for menor do que 20, são necessários pelo menos três operacionais para o controle das aeronaves e dos sobrevoos, dois estão a controlar as aeronaves e um a descansar para o revezamento. Com o movimento de

aeronaves/sobrevoos entre 20 a 30 são necessários quatro operacionais: dois a controlar as aeronaves/sobrevoos e dois a descansar para o posterior revezamento. Quando o movimento de aeronaves/sobrevoos é superior a 30 são necessários cinco operacionais: três estão a controlar as aeronaves/sobrevoos e dois a descansar para o posterior revezamento.

Para o SOTA, na Torre de Controlo (TWR), quando o movimento de aeronaves for menor do que 30, é necessário um operacional para o controle das aeronaves (aterragem e descolagem) e acompanhamento dos acontecimentos na plataforma. Com o movimento de aeronaves superior a 30 são necessários dois operacionais: um operacional para o controle das aeronaves (aterragem e descolagem) e outro no acompanhamento dos acontecimentos na plataforma, e estes revezam as posições.

De acordo com o movimento de aeronaves, sugere-se então que os turnos fiquem dimensionados, no que diz respeito ao número de operacionais, conforme está representado na Tabela 2.

Serviços	Menor movimento de Aeronaves	Nº de operacionais por turno	Movimento moderado de Aeronaves	Nº de operacionais por turno	Maior movimento (Pico) de Aeronaves	Nº de operacionais por turno
SOICA	< 4	3	4 a 8	4	> 8	5 ou 6
SOSS	< 7	5	7 a 15	6	> 15	7 ou 8
SOTA (ACC)	< 20	3	20 a 30	4	> 30	5
SOTA (TWR)	< 21	1	21 a 30	1	> 30	2

Tabela 2 - Distribuição de operacionais pelos turnos por movimento de aeronaves

É de ter-se em conta que no caso do SOICA e do SOSS os dados da tabela se referem ao movimento total de aeronaves em seis horas, ou seja, no turno inteiro, pois em 24 horas trabalham quatro turnos de seis horas. Enquanto no SOTA (ACC) e no SOTA (TWR) a informação refere-se ao movimento total de aeronaves em cada 25 minutos e em cada duas horas, respetivamente.

Quer isto dizer que se no SOTA (ACC) num turno de seis horas existir pelo menos um período de 25 minutos onde o número de movimentos de aeronaves seja superior a 19 e menor que 31, este turno passa a ser um turno de movimento moderado. O mesmo acontece com o SOTA (TWR) mas se houver pelo menos um período de duas horas onde o número de movimentos de aeronaves seja superior a 20 e menor que 31.

Depois do dimensionamento dos turnos, decidiu-se que a ferramenta automatizada para o escalonamento de pessoal seria desenvolvida para o SOSS, por ser este o serviço a apresentar maior necessidade e um maior desafio.

Atualmente, este quartel é constituído por 33 operacionais em regime de turno e um Chefe de Serviço em regime burocrático. Estes 33 operacionais estão divididos em cinco grupos, sendo três de sete colaboradores e dois de seis colaboradores. Em 24 horas trabalham quatro grupos, trabalhando 6 horas por turno, e fica um grupo no turno de folga. A distribuição do trabalho numa escala segue o padrão **NTMmF** com 12 horas de descanso entre dois turnos consecutivos, onde:

m – 01:30-07:30, turno da madrugada;

M – 07:30-13:30, turno da manhã;

T – 13:30-19:30, turno da tarde;

N – 19:30-01:30, turno da noite;

F – turno de folga.

Por exemplo, um grupo que comece a sua escala de serviço na segunda à noite, na terça entra à tarde, na quarta entra de manhã, na quinta entra de madrugada e na sexta faz folga. No sábado entra outra vez à noite e assim por diante.

O escalonamento segue sempre o mesmo padrão e é feito pelo Chefe de Serviço numa plataforma que se chama Self-Service, mas a sua produção é manual, o que consome muito tempo, tempo este que o chefe de serviço poderia utilizar em tarefas mais operacionais, caso tivesse uma ferramenta automatizada para a produção do escalonamento, que para além de tornar mais rápido e eficiente este processo, acrescentaria mais soluções viáveis e alternativas.

2.3. Problema de Escalonamento no SOSS

O escalonamento no SOSS está relacionado com a categoria do aeroporto, sendo este o que determina os tipos de aeronaves que o aeroporto pode receber, tendo em conta as dimensões das aeronaves [10]. O AIAC é de categoria 9 e é um aeroporto alternante (aeroporto de emergência para os aviões que sobrevoem o espaço aéreo cabo-verdiano), o que supõe que todos os turnos são, idealmente, considerados turnos de pico de tráfego.

Até ao mês de março de 2018, para a categoria 9 eram necessários no mínimo seis e no máximo nove colaboradores por turno, mas a nova lei, imposta pela Agência de Aviação Civil (AAC), reguladora da aviação civil em Cabo Verde, através do regulamento CV-CAR 14.1.C [10] determinou que para a categoria 9 o número de colaboradores por turno deverá ser no mínimo nove e no máximo 12. Esta mudança verifica-se porque anteriormente eram necessários dois tripulantes para os carros de combate a incêndio, mas nos novos carros exigem-se três tripulantes, por isso, em vez de serem necessárias no mínimo seis pessoas, são necessárias no mínimo nove pessoas, pois por cada turno tem que haver no mínimo três carros de combate ao incêndio disponíveis. Sendo assim, a ASA terá que contratar mais colaboradores e ainda dar-lhes formação. As ações de formação para estes profissionais demoram normalmente um ano.

Visto também que o SOSS é um quartel pequeno, constituído por 33 colaboradores (bombeiros) em regime de turnos, é preciso ter em conta que, em praticamente todos os meses, o Chefe de Serviço não tem todos estes colaboradores disponíveis, chegando até a casos extremos em que apenas estão disponíveis 24 colaboradores. Isto acontece por motivo de férias, de baixa médica, formações e ainda dispensa política ou escolar (os trabalhadores podem ser dispensados do trabalho, por exemplo, para realizar exames). De facto, uma das políticas da empresa consiste em apoiar com dispensa de dias de trabalho e com participação nas propinas escolares dos colaboradores que queiram estudar. O desafio que foi colocado para este trabalho foi propor uma solução transitória até que a situação se normalize com as novas contratações.

Sabendo que na grande maioria dos meses estão disponíveis em média 29 ou 30 operacionais, a proposta é que os turnos da manhã, tarde e noite, considerados turnos de

movimento moderado, tenham pelo menos seis colaboradores e o turno da madrugada, turno de menor movimento, tenha pelo menos cinco colaboradores. Um período do dia em que o tráfego atinge o seu pico deve ter sete operacionais.

Os turnos serão constituídos por pelo menos um supervisor e outros operacionais, sendo o número destes últimos dependente do turno (pico de movimento, movimento moderado ou de menor movimento).

Este problema será resolvido levando em conta as seguintes condições:

- (H1) - cada turno deve ter pelo menos um supervisor de turno (há sete supervisores);
- (H2) - há operacionais que pela sua idade (seniores) não devem ser colocados em número superior a um no mesmo turno (há cinco operacionais neste grupo);
- (H3) - não pode haver mais do que uma mulher (bombeira) por turno (há quatro mulheres);
- (H4) - cada colaborador tem que ter uma folga depois de completar quatro turnos de trabalho;
- (H5) - entre o término de um turno e o início de outro turno o trabalhador tem que estar sem funções durante pelo menos 12 horas.

Deve-se tentar respeitar o padrão **NTMmF**, mas admite-se também os padrões **NNTMF**, **NTTMF**, **NTMMF**, **TTMMF**, **TTTMF**, **TMMMMF**. Os novos padrões foram criados especialmente para a construção da ferramenta automatizada. Estes, tal como o padrão **NTMmF**, respeitam o descanso de 12 horas entre os turnos, restrição (H5), bem como a restrição (H4) e, tiveram uma boa aceitação por parte do Chefe de Serviço e dos operacionais do SOSS.

Nota-se que se exigem algumas qualificações para os operacionais do SOSS:

- devem ter qualificação de Tripulante de Ambulância de Transporte/Socorro ou Técnicas de Socorrismo;
- devem ter qualificação em Salvamento e Desencarceramento ou Técnicas de Desencarceramento;
- devem ter qualificação em condução e operação das viaturas em utilização no SOSS;
- devem ter qualificação em operação dos equipamentos em utilização no SOSS;
- devem ter qualificação em condução em aeródromos [10];

mas não são tidos em conta no âmbito da resolução deste problema, pois, todos os 33 operacionais do SOSS possuem estas qualificações.

O problema de escalonamento de bombeiros do SOSS exige a determinação de escalas para os operacionais de serviço durante um mês de planeamento que envolvam o menor número de operacionais, satisfazendo as condições impostas pela lei e pelas regras de serviço.

3. Pesquisa Bibliográfica

Há já muito tempo que as empresas perceberam que o problema de escalonamento de pessoal deve ser resolvido, pois, escalas não adequadas podem originar ineficiência e prejudicar a qualidade da prestação dos seus serviços, bem como, os seus lucros.

Este é um problema antigo que na literatura se encontra em vários artigos e publicações, com ampla exploração por muitos autores, na tentativa de melhor o compreender para os mais variados sectores de serviço e de encontrar soluções viáveis para aplicação na realidade.

Como podemos ver em [4], pelo menos desde 1954 começou-se a tentar resolver problemas de escalonamento de pessoal através de modelos de programação linear inteira, o modelo de cobertura, neste caso para a resolução do problema de escalonamento para trabalhadores de portagens.

Em [2] encontra-se uma das primeiras classificações do problema de escalonamento de pessoal, onde se consideram três tipos de problema de escalonamento, sendo estes: escalonamento do tempo de pausa/trabalho ao longo de um dia (*shift scheduling*), escalonamento das folgas numa semana ou múltiplos de uma semana (*day-off scheduling*) e escalonamento por turnos (*tour scheduling*). Este último é uma combinação dos dois primeiros.

Já no século XXI, surgem novas classificações do problema de escalonamento de pessoal, onde por exemplo em [5] a classificação é feita em 6 tipos diferentes, sendo

alguns destes integrados em simultâneo ou em separado, dependendo do caso em questão.

Em [3] apresenta-se um modelo para a resolução dos problemas de dimensionamento e de escalonamento do pessoal em conjunto.

Como se vê em [5] e [1], entre as muitas formas de resolver estes diferentes tipos de problema de escalonamento estão as metaheurísticas, que são métodos não-exatos, e a programação linear, métodos estudados no contexto académico do mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial e da licenciatura em Economia.

Até aos dias de hoje, este tema suscita bastante interesse. São vários os estudos e artigos sobre o problema, pois a sua resolução, ótima ou não, traz qualidade e eficiência às empresas e muitas vezes traz também ganhos financeiros.

4. Metodologia de Resolução

4.1. Modelo de Escalonamento

A metodologia desenvolvida para a resolução deste problema é baseada num modelo matemático de programação linear inteira (PLI) de tipo cobertura, com restrições adicionais. Este modelo foi formalizado com o objectivo de garantir os operacionais exigidos para cada turno e para o resolver será utilizado um *software* estudado no âmbito académico e disponível como ferramenta de Excel.

4.2. Modelo de Programação Linear

Apresentam-se inicialmente os dados e notações para este modelo:

Supervisores – bombeiros supervisores;

Seniores – bombeiros com idade superior a 56 anos;

Bombeiros – homens bombeiros não supervisores, nem seniores;

Bombeiras – mulheres bombeiras;

Matriz de cobertura – $a_{ij} = \begin{cases} 1, & i = 1, \dots, 124 \\ 0, & j = 1, \dots, 140 \end{cases}$;

sendo 124 o número total de turnos ao longo dos 31 dias de um período de planeamento mensal (quatro turnos por dia), e 140 o máximo valor do índice relativo aos quatro tipos de operacionais em 35 escalas (cinco escalas por cada um dos sete padrões).

b_i – procura de serviço (número de colaboradores) no turno relativo à i -ésima restrição de cobertura;

nc – número de colaboradores disponíveis;

nsu – número de supervisores disponíveis;

nse – número de seniores disponíveis;

nba – número de bombeiras disponíveis.

Na matriz de cobertura $[a_{ij}]$ $i = 1, \dots, 124$; $j = 1, \dots, 140$, cada coluna representa o trabalho de um tipo de operacional numa escala que segue um determinado padrão de entre os vários padrões utilizados neste modelo (ver secção 2.3) e cada linha está associada a um turno e um dia.

Seguem-se as variáveis de decisão do modelo:

x_j – número de operacionais a escalonar de certo tipo na escala relativa ao índice j , considerando-se:

Bombeiros – representados pelo índice $j = (\text{múltiplo de } 4) - 3$;

Bombeiras – representadas pelo índice $j = (\text{múltiplo de } 4) - 2$;

Seniores – representados pelo índice $j = (\text{múltiplo de } 4) - 1$;

Supervisores – representados pelo índice $j = (\text{múltiplo de } 4)$.

Assim, x_1 representa o número de bombeiros na escala 1, x_2 representa o número de bombeiras na escala 1, x_3 representa o número de seniores na escala 1, x_4 número de supervisores na escala 1, x_5 número de bombeiros na escala 2 e assim sucessivamente.

Por fim, apresentam-se as restrições e a função objetivo do PLI:
satisfação da procura de operacionais por turno e dia

$$(1) \quad \sum_{j=1}^{140} a_{ij}x_j \geq b_i, \forall i = 1, \dots, 124$$

pelo menos um supervisor em cada turno

$$(2) \quad \sum_{j=(\text{múltiplo de } 4)} a_{ij}x_j \geq 1, \forall i = 1, \dots, 124$$

no máximo um sénior por turno

$$(3) \quad \sum_{j=(\text{múltiplo de } 4)-1} a_{ij}x_j \leq 1, \forall i = 1, \dots, 124$$

no máximo uma bombeira por turno

$$(4) \quad \sum_{j=(\text{múltiplo de } 4)-2} a_{ij}x_j \leq 1, \forall i = 1, \dots, 124$$

número de colaboradores disponíveis

$$(5) \quad \sum_{j=1}^{140} x_j \leq nc$$

número de supervisores disponíveis

$$(6) \quad \sum_{j=(\text{múltiplo de } 4)} x_j \leq nsu$$

número de seniores disponíveis

$$(7) \quad \sum_{j=(\text{múltiplo de } 4)-1} x_j = nse$$

número de bombeiras disponíveis

$$(8) \quad \sum_{j=(\text{múltiplo de } 4)-2} x_j = nba$$

Função Objetivo

$$\min Z = \sum_{j=1}^{140} x_j$$

Este objetivo e função objetivo permitem alocar o menor número de operacionais, salvaguardando, através das restrições, as condições sobre o número de operacionais necessários em cada turno e as regras legais, (H1)-(H5).

As restrições (5) e (6) são restrições de menor ou igual para que não se escalone um número de operacionais superior aos disponíveis e porque o número de supervisores é superior ao necessário. Quanto às restrições (7) e (8) estas são de igualdade para que se possa escalonar todos os seniores e todas as bombeiras disponíveis, pelo facto de o número de operacionais destes tipos ser igual e menor, respetivamente, ao número dos grupos de turnos em que se encontram divididos estes operacionais.

Tal como referido na formulação, as 140 variáveis justificam-se na medida em que são sete padrões diferentes usando cada um dos padrões em cinco escalas (o que totaliza 35 escalas), e estando cada escala associada a quatro variáveis diferentes, uma para cada tipo de operacional (bombeiros, bombeiras, seniores e supervisores). Os 124 turnos justificam-se na medida em que o período de escalonamento tem 31 dias e que em cada dia são necessários quatro turnos, como se observa no exemplo da Figura 2.

Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	escala 1				escala 2				escala 3				escala 4				escala 5			
				x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20
1	segunda-feira	N	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	terça-feira	N	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
		T	6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		m	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2 - Escalas do padrão NTMmF

4.3. Aplicação em Excel e Resolução do Caso em Estudo

Foi desenvolvida uma aplicação automatizada no Excel para a resolução do problema utilizando OpenSolver [12], um *add-in* do Excel que estende a versão standard (de menor capacidade) do Solver.

Para fazer o escalonamento, em primeiro lugar é necessário saber quantos operacionais o serviço terá disponível durante o mês em causa, valor do parâmetro nc , para que se saiba como cobrir as necessidades em cada turno, restrição (1), como se vê na Tabela 3, para a situação actual da SOSS.

Turnos	Nº de Operacionais													
	Noite (N)	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7
Tarde (T)	5	5	5	6	6	6	6	7	6	7	6	7	7	7
Manhã (M)	5	5	6	5	6	6	7	6	6	7	7	6	7	7
madrugada (m)	4	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6
Total de operacionais disponíveis (nc)	24	25 ou 26	27	28	29	30 ou 31		32		33				

Tabela 3 - Distribuição de operacionais disponíveis pelos turnos

Por exemplo, com 27 operacionais disponíveis durante o mês, podem construir-se escalas onde há no turno da noite 5, à tarde 5, de manhã 6 e de madrugada 5 operacionais, bem como escalas onde há no turno da noite 5, à tarde 6, de manhã 5 e de madrugada 5 operacionais.

É de notar que estas necessidades por turno foram determinadas depois de vários testes com a aplicação computacional desenvolvida.

Sabendo quantos operacionais estão disponíveis e quais os períodos de pico, movimento moderado ou menor movimento, para o mês que se quer escalonar, o Chefe de Serviço toma a decisão de quais os turnos em que coloca mais/menos operacionais. Este também preenche a coluna da direita da tabela de restrições adicionais com o número total de operacionais, supervisores, bombeiras e seniores disponíveis, como se pode ver na Tabela 4, para o caso de o total de operacionais disponíveis ser igual a 33.

Restrições Adicionais			
Total de operacionais (<i>nc</i>)	0	≤	33
Total de supervisors (<i>nsu</i>)	0	≤	7
Total de bombeiras (<i>nba</i>)	0	=	4
Total de seniors (<i>nse</i>)	0	=	5

Tabela 4 - Restrições de operacionais

Por exemplo, o número total de operacionais deve ser igual ou inferior 33, restrição (5), o número de supervisores igual ou inferior a 7, restrição (6), o número de bombeiras igual a 4, restrição (8), e o número de seniores igual a 5, restrição (7).

Após estarem preenchidas estas restrições, o Chefe de Serviço resolve através do OpenSolver o problema (ver anexo 1), encontrando, assim, a distribuição por turnos exposta na Tabela 5.

FO	33
NTMmF	30
NNTMF	0
NTTMF	0
NTMMF	0
TTMMF	2
TTTMF	1
TMMMF	0

Tabela 5 - Solução para o problema

Neste exemplo, com 33 operacionais disponíveis durante o mês, e para um escalonamento onde haverá no turno da noite seis, à tarde sete, de manhã sete e de madrugada seis operacionais, são necessários 30 operacionais na escala **NTMmF**, dois na escala **TTMMF** e um na escala **TTTMF**.

Depois de encontrar a solução, o Chefe de Serviço poderá verificar a distribuição parcial das escalas pelos operacionais, como se ilustra na Tabela 6.

escala 1				escala 2				escala 3				escala 4			
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16
4	0	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3
escala 5				escala 22				escala 24				escala 26			
x17	x18	x19	x20	x85	x86	x87	x88	x93	x94	x95	x96	x101	x102	x103	x104
3	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

Tabela 6 - Distribuição dos operacionais pelas escalas

Por exemplo, na escala 2, temos 3 bombeiros [$j = (\text{múltiplo de } 4) - 3$], uma bombeira [$j = (\text{múltiplo de } 4) - 2$], um sênior [$j = (\text{múltiplo de } 4) - 1$] e um supervisor [$j = (\text{múltiplo de } 4)$].

5. Experiência Computacional Preliminar

Foram realizados vários testes preliminares no OpenSolver/Excel com dados reais do SOSS que são expostos neste capítulo.

Inicialmente, na construção da ferramenta, o padrão de escalas utilizado era apenas o **NTMmF**, por ser o padrão em utilização neste serviço, como se vê na Figura 2 onde se apresenta parte da matriz de cobertura evidenciando este padrão.

Mas cedo se constatou que este padrão não seria suficiente para cobrir as necessidades de acordo com os turnos de pico de movimento, movimento moderado e de menor movimento, como podemos observar nas Figuras 3 e 4, onde se apresentam soluções não admissíveis para duas instâncias do problema.

Dias	Dias da semana	Turnos	$i \setminus j$	$\sum x_j$	\geq	b_i
1	segunda-feira	N	1	7	\geq	6
		T	2	7	\geq	7
		M	3	7	\geq	7
		m	4	6	\geq	6
2	terça-feira	N	5	6	\geq	6
		T	6	7	\geq	7
		M	7	7	\geq	7
		m	8	7	\geq	6
3	quarta-feira	N	9	6	\geq	6
		T	10	6	\geq	7
		M	11	7	\geq	7
		m	12	7	\geq	6
4	quinta-feira	N	13	7	\geq	6
		T	14	6	\geq	7
		M	15	6	\geq	7
		m	16	7	\geq	6
5	sexta-feira	N	17	7	\geq	6
		T	18	7	\geq	7
		M	19	6	\geq	7
		m	20	6	\geq	6
6	sábado	N	21	7	\geq	6
		T	22	7	\geq	7
		M	23	7	\geq	7
		m	24	6	\geq	6
7	domingo	N	25	6	\geq	6
		T	26	7	\geq	7
		M	27	7	\geq	7
		m	28	7	\geq	6

FO	33
NTMmF	33

Figura 3 - Resultados de uma semana no padrão NTMmF, para turnos de pico de movimento (T e M) e de movimento moderado (N e m)

Dias	Dias da semana	Turnos	$i \setminus j$	$\sum x_j$	\geq	b_i
1	segunda-feira	N	1	7	\geq	7
		T	2	7	\geq	7
		M	3	7	\geq	7
		m	4	7	\geq	5
2	terça-feira	N	5	5	\geq	7
		T	6	7	\geq	7
		M	7	7	\geq	7
		m	8	7	\geq	5
3	quarta-feira	N	9	7	\geq	7
		T	10	5	\geq	7
		M	11	7	\geq	7
		m	12	7	\geq	5
4	quinta-feira	N	13	7	\geq	7
		T	14	7	\geq	7
		M	15	5	\geq	7
		m	16	7	\geq	5
5	sexta-feira	N	17	7	\geq	7
		T	18	7	\geq	7
		M	19	7	\geq	7
		m	20	5	\geq	5
6	sábado	N	21	7	\geq	7
		T	22	7	\geq	7
		M	23	7	\geq	7
		m	24	7	\geq	5
7	domingo	N	25	5	\geq	7
		T	26	7	\geq	7
		M	27	7	\geq	7
		m	28	7	\geq	5

FO	33
NTMmF	33

Figura 4 - Resultados em uma semana no padrão NTMmF para turnos de pico de movimento (N, T e M) e de menor movimento (m)

Com 33 operacionais e somente com o padrão **NTMmF** não é possível cobrir todas as necessidades mínimas de alguns dos turnos de pico de movimento. O OpenSolver devolve a mensagem “O Solver não conseguiu encontrar uma viável”, mensagem esta que corresponde a uma instância do problema sem soluções admissíveis, ou seja, impossível. Na Figura 3 observa-se uma solução não admissível que o OpenSolver deu como *output* para uma instância do problema (padrão **NTMmF** com turnos **T** e **M** de pico de movimento, e turnos **N** e **m** de movimento moderado) na qual alguns turnos com necessidades mínimas de sete operacionais têm apenas seis operacionais e, na Figura 4, apresenta-se também a uma solução não admissível para outra instância de problema com o mesmo padrão **NTMmF**. Neste caso alguns turnos com necessidades mínimas de sete operacionais têm apenas com cinco operacionais.

Realizados estes testes, verificou-se que seria de boa utilidade a criação de outros padrões de escalas que respeitassem as leis laborais, os regulamentos, as normas da empresa e, ao mesmo tempo, tornassem possível a cobertura das necessidades mín

Surgem os novos padrões **NNTMF**, **NTTMF**, **NTMMF**, **TTMMF**, **TTTTF** e **TMMMMF** com o objetivo de reforçar/complementar o padrão **NTMmF** e, assim, se contruírem novas instâncias do problema com soluções admissíveis, ou seja, para as quais as necessidades mínimas de cada turno já podem ser cobertas, como se ilustra na Figura 5. Esta figura mostra as primeiras quatro linhas da matriz de cobertura (primeira segunda-feira, dia 1 do período de planeamento) e as colunas relativas aos seis novos padrões.

Escalonamento dos Bombeiros do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral

			NNTMF																				
			escala 6				escala 7				escala 8				escala 9				escala 10				
Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	x40
1	segunda-feira	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			NTTMF																				
			escala 11				escala 12				escala 13				escala 14				escala 15				
Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	x50	x51	x52	x53	x54	x55	x56	x57	x58	x59	x60
1	segunda-feira	N	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			NTMMF																				
			escala 16				escala 17				escala 18				escala 19				escala 20				
Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	x61	x62	x63	x64	x65	x66	x67	x68	x69	x70	x71	x72	x73	x74	x75	x76	x77	x78	x79	x80
1	segunda-feira	N	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			TTMMF																				
			escala 21				escala 22				escala 23				escala 24				escala 25				
Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	x81	x82	x83	x84	x85	x86	x87	x88	x89	x90	x91	x92	x93	x94	x95	x96	x97	x98	x99	x100
1	segunda-feira	N	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			TTTMF																				
			escala 26				escala 27				escala 28				escala 29				escala 30				
Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	x101	x102	x103	x104	x105	x106	x107	x108	x109	x110	x111	x112	x113	x114	x115	x116	x117	x118	x119	x120
1	segunda-feira	N	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			TMMMF																				
			escala 31				escala 32				escala 33				escala 34				escala 35				
Dias	Dias da semana	Turnos	i \ j	x121	x122	x123	x124	x125	x126	x127	x128	x129	x130	x131	x132	x133	x134	x135	x136	x137	x138	x139	x140
1	segunda-feira	N	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		T	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
		m	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5 - Novos padrões de escalonamento

Com os novos padrões já foi possível cobrir as necessidades mínimas de cada turno e encontrar várias soluções, graças à versatilidade das novas escalas. Ficaram disponíveis ao todo sete padrões diferentes e, por sua vez, cada padrão define cinco escalas diferentes, o que resulta num total de 35 escalas diferentes umas das outras. Duas soluções de duas instâncias correspondentes a diferentes valores de procura de operacionais (as mesmas das Figuras 3 e 4) podem ser parcialmente apreciadas nas Figuras 6 e 7.

Escalonamento dos Bombeiros do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral

Dias	Dias da semana	Turnos	$i \setminus j$	$\sum x_j$	\geq	b_i		
1	segunda-feira	N	1	7	\geq	7		
		T	2	8	\geq	7		
		M	3	7	\geq	7		
		m	4	5	\geq	5		
2	terça-feira	N	5	7	\geq	7		
		T	6	7	\geq	7		
		M	7	7	\geq	7		
		m	8	5	\geq	5		
3	quarta-feira	N	9	7	\geq	7		
		T	10	7	\geq	7		
		M	11	7	\geq	7		
		m	12	5	\geq	5		
4	quinta-feira	N	13	7	\geq	7		
		T	14	7	\geq	7		
		M	15	7	\geq	7		
		m	16	5	\geq	5		
5	sexta-feira	N	17	7	\geq	7		
		T	18	8	\geq	7		
		M	19	7	\geq	7		
		m	20	5	\geq	5		
6	sábado	N	21	7	\geq	7		
		T	22	8	\geq	7		
		M	23	7	\geq	7		
		m	24	5	\geq	5		
7	domingo	N	25	7	\geq	7		
		T	26	7	\geq	7		
		M	27	7	\geq	7		
		m	28	5	\geq	5		
							FO	33
							NTMmF	25
							NNTMF	5
							NTTMF	0
							NTMMF	0
							TTMMF	0
							TTTMF	2
							TMMMMF	1

Figura 6 - Resultados em uma semana com todos os padrões para turnos de pico de movimento (N, T e M) e de menor movimento (m)

Dias	Dias da semana	Turnos	$i \setminus j$	$\sum x_j$	\geq	b_i		
1	segunda-feira	N	1	6	\geq	6		
		T	2	6	\geq	6		
		M	3	7	\geq	7		
		m	4	5	\geq	5		
2	terça-feira	N	5	6	\geq	6		
		T	6	6	\geq	6		
		M	7	7	\geq	7		
		m	8	5	\geq	5		
3	quarta-feira	N	9	6	\geq	6		
		T	10	6	\geq	6		
		M	11	7	\geq	7		
		m	12	5	\geq	5		
4	quinta-feira	N	13	6	\geq	6		
		T	14	6	\geq	6		
		M	15	7	\geq	7		
		m	16	5	\geq	5		
5	sexta-feira	N	17	6	\geq	6		
		T	18	6	\geq	6		
		M	19	7	\geq	7		
		m	20	5	\geq	5		
6	sábado	N	21	6	\geq	6		
		T	22	6	\geq	6		
		M	23	7	\geq	7		
		m	24	5	\geq	5		
7	domingo	N	25	6	\geq	6		
		T	26	6	\geq	6		
		M	27	7	\geq	7		
		m	28	5	\geq	5		
							FO	30
							NTMmF	25
							NNTMF	2
							NTTMF	0
							NTMMF	1
							TTMMF	0
							TTTMF	0
							TMMMMF	2

Figura 7 - Resultados em uma semana com todos os padrões para turnos de pico de movimento (M), de movimento moderado (N e T) e de menor movimento (m)

Na Figura 6, com 33 operacionais e com os novos padrões já é possível encontrar uma solução (admissível) ótima para um mês em que os dias têm turnos de pico de movimento de manhã até à noite (N, T e M) e turnos de menor movimento de madrugada (m), sendo esta solução abreviadamente caracterizada por: 25 operacionais no padrão NTMmF, cinco operacionais no NNTMF, dois operacionais no TTTMF e um operacional no TMMMMF.

Por sua vez na Figura 7, com 30 operacionais e com os novos padrões é possível encontrar uma solução (admissível) ótima para meses de pico de movimento nos turnos da manhã (M), movimento moderado nos turnos da tarde (T) e noite (N) e de menor movimento nos turnos de madrugada (m), abreviadamente caracterizada por: 25 operacionais no padrão NTMmF, dois operacionais no NNTMF, um operacional no NTMMF e dois operacionais no TMMMMF.

Nos testes realizados usando a ferramenta OpenSolver com todos os padrões obtiveram-se soluções ótimas para várias instâncias representativas de níveis diferentes de movimento de aeronaves, não só no caso de estarem os 33 operacionais disponíveis, mas também para quando estiverem abaixo deste número (ver anexos 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4). Nos anexos os termos A, B, C, D e E representam os cinco grupos de turnos em que se encontram divididos os colaboradores e os “reforços” são operacionais escalonados nos novos padrões.

No anexo 2.1 e no anexo 2.2 apresentam-se mapas de escalas para o mês de setembro de 2018 a escala real e a escala correspondente à solução obtida na aplicação automatizada para o escalonamento de pessoal, respetivamente.

No anexo 2.3 figura o escalonamento real para o mês de outubro de 2018, escalonamento este em que o mapa das escalas foi obtido a partir da aplicação automatizada desenvolvida no âmbito deste estágio.

O anexo 2.4 contém um escalonamento feito com a aplicação com todos os 33 operacionais disponíveis para um mês com pico de movimento à tarde e de manhã (T e M) e movimento moderado à noite e de madrugada (N e m), que é o que acontece na época alta (novembro a março).

É de salientar que o Chefe de Serviço do SOSS começou a utilizar a aplicação para fazer o escalonamento dos bombeiros a partir do mês de outubro de 2018.

6. Conclusões

O dimensionamento melhorado para as necessidades de operacionais dos serviços ligados ao tráfego no aeroporto e a ferramenta automatizada para o escalonamento de pessoal são passos importantes para adaptação a uma política de eficiência e eficácia cada vez mais necessária para a melhoria contínua da prestação de serviços aeronáuticos de qualidade.

A ferramenta automatizada é claramente uma mais valia para empresa no sentido em que permite às chefias gastar menos tempo a fazer o escalonamento e, ainda, possibilita a construção de vários tipos de escalas dando assim cobertura às necessidades de cada turno. A mesma poderá ainda ser melhorada e implementada nos outros serviços da empresa, com os devidos ajustes a cada serviço.

O estágio permitiu desenvolver, aplicar e consolidar conhecimentos adquiridos no mestrado e na licenciatura. Para além disto, é de destacar a variada e enriquecedora experiência vivida na empresa durante todo o período do estágio, com o desenvolvimento de várias outras competências e técnicas muito úteis à actividade profissional de um gestor com competências em métodos quantitativos.

Sendo esta a primeira experiência no mundo laboral, é de notar que foi muito proveitosa, pois constatou-se que os conhecimentos adquiridos no âmbito académico foram de grande utilidade para o exercício das funções durante o estágio, o que foi muito satisfatório.

Referências Bibliográficas

- [1] Alfares, H. K., 2004. Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature. *Annals of Operational Research* 127, pp. 145-175.
- [2] Baker, K. R., 1976. Workforce allocation in cyclical scheduling problems: A survey. *Operational Research Quarterly* 27, pp. 155-167.
- [3] Bodur, M. & Luedtke, J., 2017. Mixed-Integer Rounding Enhanced Benders Decomposition for Multiclass Service-System Staffing and Scheduling with Arrival Rate Uncertainty. *Management Science* 63, pp. 2073-2091.
- [4] Dantzig, G., 1954. A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths". *Journal of the Operations Research Society of America* 2, pp. 339-341.
- [5] 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, pp. 3-27.
- [6] Manual da Organização, Modelo Organizacional da ASA, Março de 2018.
- [7] ASA a empresa. Disponível em: <https://www.asa.cv/asa/quem-somos/a-empresa/>
[Acesso em: 21/09/2018]
- [8] Missão da ASA. Disponível em: <https://www.asa.cv/asa/quem-somos/missao/>
[Acesso em: 21/09/2018]
- [9] Estrutura organizacional da ASA. Disponível em: <https://www.asa.cv/asa/quem-somos/estrutura-organizacional/> [Acesso em: 21/09/2018]
- [10] Regulamento CV-CAR 14.1.C. Disponível em: <https://www.aac.cv/documento/opendoc/1520943658.pdf> [Acesso em: 21/09/2018]
- [11] Relatório e Contas 2016. Disponível em: https://www.asa.cv/wp-content/uploads/2017/06/ASA_RC2016-VF.pdf [Acesso em: 22/10/2018]
- [12] OpenSolver. Disponível em: <https://opensolver.org/> [Acesso em 26/10/2018]

[13] Boletim de Tráfego Trimetral. Disponível em: <https://www.asa.cv/wp-content/uploads/2018/10/Boletim-de-Tr%C3%A1fego-ASA-3%C2%BA-Trimestre-2018.pdf> [Acesso em 26/10/2018]

Anexo 2 – Escalonamento dos Bombeiros

Anexo 2.1 – Escalonamento Real para o Mês de Setembro de 2018.

Mês: Setembro		Turnos						
Dias de semana		m	M	T	N	F		
1	Sábado	A	E	B	D	C		
2	Domingo	E	B	D	C	A		
3	Segunda-feira	B	D	C	A	E		
4	Terça-feira	D	C	A	E	B		
5	Quarta-feira	C	A	E	B	D		
6	Quinta-feira	A	E	B	D	C		
7	Sexta-feira	E	B	D	C	A		
8	Sábado	B	D	C	A	E		
9	Domingo	D	C	A	E	B		
10	Segunda-feira	C	A	E	B	D		
11	Terça-feira	A	E	B	D	C		
12	Quarta-feira	E	B	D	C	A		
13	Quinta-feira	B	D	C	A	E		
14	Sexta-feira	D	C	A	E	B		
15	Sábado	C	A	E	B	D		
16	Domingo	A	E	B	D	C		
17	Segunda-feira	E	B	D	C	A		
18	Terça-feira	B	D	C	A	E		
19	Quarta-feira	D	C	A	E	B		
20	Quinta-feira	C	A	E	B	D		
21	Sexta-feira	A	E	B	D	C		
22	Sábado	E	B	D	C	A	TOTAL	
23	Domingo	B	D	C	A	E	30 operacionais	
24	Segunda-feira	D	C	A	E	B		
25	Terça-feira	C	A	E	B	D	NTMmF = 30	
26	Quarta-feira	A	E	B	D	C	<u>TURNO A = 6</u>	
27	Quinta-feira	E	B	D	C	A	<u>TURNO B = 6</u>	
28	Sexta-feira	B	D	C	A	E	<u>TURNO C = 6</u>	
29	Sábado	D	C	A	E	B	<u>TURNO D = 6</u>	
30	Domingo	C	A	E	B	D	<u>TURNO E = 6</u>	

Figura 9 – Mapa de escalas reais para o mês de setembro

Anexo 2.2 – Escalonamento Obtido na Aplicação Automatizada para o Mês de Setembro de 2018.

Mês: Setembro		Turnos						
Dias de semana		m	M	T	N	F		
1	Sábado	A	E + R5	B + R3 + R4	D + R2	C + R1		
2	Domingo	E	B + R3	D + R4 + R2	C + R1	A + R5		
3	Segunda-feira	B	D + R4	C + R2 + R5	A + R1	E + R3		
4	Terça-feira	D	C + R2	A + R5 + R1	E + R3	B + R4		
5	Quarta-feira	C	A + R1	E + R5 + R3	B + R4	D + R2		
6	Quinta-feira	A	E + R5	B + R3 + R4	D + R2	C + R1		
7	Sexta-feira	E	B + R3	D + R4 + R2	C + R1	A + R5		
8	Sábado	B	D + R4	C + R2 + R5	A + R1	E + R3		
9	Domingo	D	C + R2	A + R5 + R1	E + R3	B + R4		
10	Segunda-feira	C	A + R1	E + R5 + R3	B + R4	D + R2		
11	Terça-feira	A	E + R5	B + R3 + R4	D + R2	C + R1		
12	Quarta-feira	E	B + R3	D + R4 + R2	C + R1	A + R5		
13	Quinta-feira	B	D + R4	C + R2 + R5	A + R1	E + R3		
14	Sexta-feira	D	C + R2	A + R5 + R1	E + R3	B + R4		
15	Sábado	C	A + R1	E + R5 + R3	B + R4	D + R2		
16	Domingo	A	E + R5	B + R3 + R4	D + R2	C + R1		
17	Segunda-feira	E	B + R3	D + R4 + R2	C + R1	A + R5	TOTAL	
18	Terça-feira	B	D + R4	C + R2 + R5	A + R1	E + R3	30 operacionais	
19	Quarta-feira	D	C + R2	A + R5 + R1	E + R3	B + R4		
20	Quinta-feira	C	A + R1	E + R5 + R3	B + R4	D + R2	NTMmF = 25	
21	Sexta-feira	A	E + R5	B + R3 + R4	D + R2	C + R1	TURNO A = 5	
22	Sábado	E	B + R3	D + R4 + R2	C + R1	A + R5	TURNO B = 5	
23	Domingo	B	D + R4	C + R2 + R5	A + R1	E + R3	TURNO C = 5	
24	Segunda-feira	D	C + R2	A + R5 + R1	E + R3	B + R4	TURNO D = 5	
25	Terça-feira	C	A + R1	E + R5 + R3	B + R4	D + R2	TURNO E = 5	
26	Quarta-feira	A	E + R5	B + R3 + R4	D + R2	C + R1		
27	Quinta-feira	E	B + R3	D + R4 + R2	C + R1	A + R5	"5 REFORÇOS"	
28	Sexta-feira	B	D + R4	C + R2 + R5	A + R1	E + R3	NNTMF = R1	
29	Sábado	D	C + R2	A + R5 + R1	E + R3	B + R4	NTTMF = R2, R3 e R4	
30	Domingo	C	A + R1	E + R5 + R3	B + R4	D + R2	TTTMF = R5	

Figura 10 - Mapa de escalas para o mês de setembro com turnos de pico de movimento (T), movimento moderado (N e M) e menor movimento (m)

Anexo 2.3 – Escalonamento Real Obtido na Aplicação Automatizada para o Mês de Outubro de 2018.

Mês: Outubro		Turnos				
Dias de semana		m	M	T	N	F
1	Segunda-feira	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
2	Terça-feira	E	B + R1	D + R3	C + R2	A + R4
3	Quarta-feira	B	D + R3 + R1	C + R2	A + R4	E
4	Quinta-feira	D	C + R3	A + R2	E + R4	B + R1
5	Sexta-feira	C	A + R2	E + R4	B + R1	D + R3
6	Sábado	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
7	Domingo	E	B + R1	D + R3	C + R2	A + R4
8	Segunda-feira	B	D + R3 + R1	C + R2	A + R4	E
9	Terça-feira	D	C + R3	A + R2	E + R4	B + R1
10	Quarta-feira	C	A + R2	E + R4	B + R1	D + R3
11	Quinta-feira	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
12	Sexta-feira	E	B + R1	D + R3	C + R2	A + R4
13	Sábado	B	D + R3 + R1	C + R2	A + R4	E
14	Domingo	D	C + R3	A + R2	E + R4	B + R1
15	Segunda-feira	C	A + R2	E + R4	B + R1	D + R3
16	Terça-feira	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
17	Quarta-feira	E	B + R1	D + R3	C + R2	A + R4
18	Quinta-feira	B	D + R3 + R1	C + R2	A + R4	E
19	Sexta-feira	D	C + R3	A + R2	E + R4	B + R1
20	Sábado	C	A + R2	E + R4	B + R1	D + R3
21	Domingo	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
22	Segunda-feira	E	B + R1	D + R3	C + R2	A + R4
23	Terça-feira	B	D + R3 + R1	C + R2	A + R4	E
24	Quarta-feira	D	C + R3	A + R2	E + R4	B + R1
25	Quinta-feira	C	A + R2	E + R4	B + R1	D + R3
26	Sexta-feira	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
27	Sábado	E	B + R1	D + R3	C + R2	A + R4
28	Domingo	B	D + R3 + R1	C + R2	A + R4	E
29	Segunda-feira	D	C + R3	A + R2	E + R4	B + R1
30	Terça-feira	C	A + R2	E + R4	B + R1	D + R3
31	Quarta-feira	A	E + R4	B + R1	D + R3	C + R2
						TOTAL
						29 operacionais
						NTMmF = 25
						<u>TURNO A = 5</u>
						<u>TURNO B = 5</u>
						<u>TURNO C = 5</u>
						<u>TURNO D = 5</u>
						<u>TURNO E = 5</u>
						"4 REFORÇOS"
						NTMMF = R1 e R3
						NNTMF = R2
						NNTMF = R4

Figura 11 - Mapa de escalas reais para o mês de outubro com turnos de movimento moderado (N, T e M) e de menor movimento (m)

Anexo 2.4 – Escalonamento com 33 Operacionais na Aplicação Automatizada em Algum Mês da Época Alta.

Dias de semana		Turnos				
		m	M	T	N	F
1	Sábado	A	B + R2	C + R1	D	E
2	Domingo	B	C + R2	D + R1	E	A
3	Segunda-feira	C	D + R1	E	A	B + R2
4	Terça-feira	D	E	A + R2	B	C + R1
5	Quarta-feira	E	A + R2	B + R1	C	D
6	Quinta-feira	A	B + R2	C + R1	D	E
7	Sexta-feira	B	C + R2	D + R1	E	A
8	Sábado	C	D + R1	E	A	B + R2
9	Domingo	D	E	A + R2	B	C + R1
10	Segunda-feira	E	A + R2	B + R1	C	D
11	Terça-feira	A	B + R2	C + R1	D	E
12	Quarta-feira	B	C + R2	D + R1	E	A
13	Quinta-feira	C	D + R1	E	A	B + R2
14	Sexta-feira	D	E	A + R2	B	C + R1
15	Sábado	E	A + R2	B + R1	C	D
16	Domingo	A	B + R2	C + R1	D	E
17	Segunda-feira	B	C + R2	D + R1	E	A
18	Terça-feira	C	D + R1	E	A	B + R2
19	Quarta-feira	D	E	A + R2	B	C + R1
20	Quinta-feira	E	A + R2	B + R1	C	D
21	Sexta-feira	A	B + R2	C + R1	D	E
22	Sábado	B	C + R2	D + R1	E	A
23	Domingo	C	D + R1	E	A	B + R2
24	Segunda-feira	D	E	A + R2	B	C + R1
25	Terça-feira	E	A + R2	B + R1	C	D
26	Quarta-feira	A	B + R2	C + R1	D	E
27	Quinta-feira	B	C + R2	D + R1	E	A
28	Sexta-feira	C	D + R1	E	A	B + R2
29	Sábado	D	E	A + R2	B	C + R1
30	Domingo	E	A + R2	B + R1	C	D
31	Segunda-feira	A	B + R2	C + R1	D	E
						TOTAL
						33 operacionais
						NTMmF = 31
						<u>TURNO A = 6</u>
						<u>TURNO B = 6</u>
						<u>TURNO C = 6</u>
						<u>TURNO D = 6</u>
						<u>TURNO E = 7</u>
						"2 REFORÇOS"
						TTTMF = R1
						TMMMF = R2

Figura 12 - Mapa de escalas para 33 operacionais com turnos de pico de movimento (T e M) e de movimento moderado (N e m)