# RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ATRIBUIÇÃO DE SALAS A EXAMES

Serafim Jorge Graça Ribeiro da Costa

Mestrado em Gestão de Processos e Operações

Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2012

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Dissertação/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Gestão de Processos e Operações

Candidato: Serafim Jorge Graça Ribeiro da Costa, Nº 1020215, serafim95@gmail.com

Orientação científica: Doutor Manuel Pereira Lopes, mpl@isep.ipp.pt

Mestrado em Gestão de Processos e Operações

Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

30 de Novembro de 2012

Aos meus pais

# *Agradecimentos*

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desta Dissertação, em especial:

Ao Professor Doutor Manuel Pereira Lopes com quem tive o privilégio de aprender muitos ensinamentos durante o período de mestrado.

Aos Professores João Bastos e João Pinho Ribeiro.

Aos meus colegas João Silva, Vítor Gomes e Alberto Gomes.

# *Resumo*

Este trabalho pretende resolver o problema das alocações de salas a exames no Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

A solução desenvolvida atribui salas a exames respeitando as restrições de capacidade de salas e a restrição de realização dum único exame por sala num determinado período, por forma a minimizar a atribuição de salas e, consequentemente, docentes a exames.

Foi criado um modelo matemático, que representa as variáveis relevantes do problema, e realiza a sua implementação numa plataforma informática amigável para o utilizador.

O modelo matemático foi validado comparando as suas soluções com as obtidas através do processo manual. Os resultados do novo método demonstram a sua supremacia relativamente ao modelo atual.

No futuro, poderá ser estudada a possibilidade de usar esta ferramenta na resolução do mesmo problema em realidades diferentes da do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

***Palavras-Chave***

Problema de horários, Problema de horários universitários, programação linear inteira, Atribuição de salas de aula a exames, calendário de exames.

# *Abstract*

This paper intends to solve the problem of allocation of classrooms to exams in the department of Mechanical Engineering of the Instituto Superior de Engenharia do Porto.

The model applied assigns classrooms to exams respecting the capacity constraints and restricted realization of a single exam per classroom for a time, to minimize the allocation of classrooms to exams.

The solution developed assigns classrooms to exams respecting the capacity constraints and restricted realization of a single exam per classroom for a certain period, in order to minimize the allocation of classrooms and consequently the teachers to exams.

We created a mathematical model that represents the relevant variables of the problem, and holds its implementation in a computer platform user-friendly. The mathematical model was validated by comparing its solutions with those obtained by manual process. The results of the new method demonstrate its supremacy for the current model.

In the future, it may be envisaged to use this tool in solving the same problem in different realities of the Mechanical Engineering Department of ISEP.



***Keywords***

Scheduling problems, University Class Scheduling, Integer Linear Programming, Classroom assignment for exam timetabling, Exam timetabling

*“O homem nunca sabe do que é capaz até que o tenta”*

Charles Dickens

# *Índice*

# *Índice de Figuras*

# *Índice de Tabelas*

# 1. INTRODUÇÃO

A programação de horários universitários está enquadrada no tipo de problema de criação de horários *(Timetabling Problem)*.

A resolução deste tipo de problemas é obtida recorrendo ao desenvolvimento de aplicações capazes de produzir soluções ótimas com tempos de processamento baixos, sendo que a principal dificuldade sentida é o elevado número de combinações existentes que pode representar um grande desafio para quem está a realizar o calendário.

A criação de horários é um processo complexo e demorado devido à dificuldade em conseguir conciliar o número de variáveis em jogo como o número elevado de alunos, professores, colaboradores e restrições.

A solução manual para criar horários universitários é uma tarefa árdua e demorada, onde a primeira solução válida encontrada pode não ser considerada ótima devido à complexidade do problema proposto.

A atribuição das salas aos exames está enquadrada no tipo de problema de criação de horários universitários automatizados (*University Class Scheduling*).

As salas de aulas são atribuídas de forma a minimizar o número de salas utilizadas, tendo em consideração a capacidade das mesmas, a sua localização e o número de alunos inscritos por exame.

Neste trabalho é apresentada uma formulação matemática para a solução do problema de atribuição de salas a exames e uma aplicação capaz de automatizar o modelo matemático que serve de interface com o utilizador do programa.

## 1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma aplicação para a resolução do problema de atribuição de salas a exames.

## 1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

O problema estudado neste trabalho é um processo demorado que ocupa um docente várias vezes por ano letivo, durante varias horas para efetuar a sua realização. Tendo em conta a morosidade do processo sentiu-se a necessidade de automatiza-lo recorrendo a métodos computacionais, tornando a sua realização simples e rápida permitindo ao docente a possibilidade de efetuar outras tarefas.

Depois de conhecer o processo e as dificuldades sentidas pelo docente que realiza esta tarefa, foi proposto um modelo matemático e desenvolveu-se uma aplicação informática para servir de interface entre o modelo e o utilizador.

## 1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este trabalho inclui 6 capítulos descritos como se seguem:

- No capítulo 1 é feita uma breve introdução ao problema em estudo;
- No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica relativa ao tema proposto;
- No capítulo 3 apresenta-se a descrição do problema proposto e a forma como este é resolvido atualmente,
- No capítulo 4 apresenta-se a formulação do problema;
- No capítulo 5 é apresentada a implementação computacional e a análise dos resultados do modelo;
- No capítulo 6 são apresentadas as conclusões, assim como, indicadas algumas considerações que possam ser tomadas como referência futura.

## 1.4. CONTRIBUIÇÃO PARA ESTE TRABALHO

A contribuição deste trabalho passa pela criação dum modelo matemático que simula um problema real através do desenvolvimento duma aplicação que, por sua vez, facilita a utilização do modelo por parte do utilizador.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre problemas de construção de horários.

Nas instituições de ensino encontram-se dois tipos de problemas: o horário das unidades curriculares e o horário para a realização de exames. O problema dos horários de exames é semelhante na maioria das instituições e consiste em agendar os exames para um conjunto de unidades curriculares, ao longo de um período de tempo limitado, alocando salas e respetiva afetação de professores para efetuar a vigilância tendo em atenção evitar a sobreposição de exames para cada aluno e por sala ao longo do período de exame (Marco P. Carrasco 2001).

Ao longo dos tempos, vários foram os que se debruçaram sobre a resolução deste problema utilizando varias técnicas no decorrer da evolução das tecnologias informáticas, desde Welsh e Powell (1967) que usam uma técnica de coloração para a resolução do problema, até aos dias de hoje.

Hoje em dia, o problema tratado neste trabalho que está enquadrado no tipo de problemas *University Class Scheduling*, é um problema usualmente estudado pelos investigadores.

O problema da atribuição de salas é um problema de programação de horários universitários.

Muitos investigadores realizaram pesquisas no sentido de resolverem este problema. Nessas resoluções várias abordagens foram seguidas das quais destacamos alguns métodos usados.

## 2.1. MÉTODOS EXATOS

Os métodos exatos procuram a melhor solução para o problema, satisfazendo todas as restrições impostas. A utilização destes métodos garante que a solução encontrada no fim do processo de otimização é a ótima.
A programação linear é representada por uma função linear das variáveis (função objetivo) e equações ou inequações lineares (restrições).

Dimopoulou e Miliotis (2001) estudaram o problema da criação de horários de exames por forma a atribuir exames a períodos do dia. O sistema desenvolvido pelos autores é baseado num modelo de programação inteira onde, inicialmente é criada uma solução válida, sobre a qual é aplicado um algoritmo heurístico para continuar a melhorá-la até encontrar uma solução ótima. Trata-se dum sistema flexível que mediante as especificações do responsável pela criação de horários permite uma construção fácil de horários de exames alternativos onde o sucesso apenas depende do conhecimento e experiência do utilizador.
Esta abordagem utiliza dois procedimentos para encontrar uma solução ótima. O procedimento *"EXAMS"* encontra uma solução viável. Este procedimento distribui os exames diariamente pelos quatro períodos de tempo propostos para efetuar exames. É acrescido um período adicional de três semanas caso exista algum caso onde o número de exames por dia é excessivo. O procedimento *"UFORM"* é aplicado sobre a solução dada pelo procedimento *"EXAMS"*. Este procedimento organiza os exames das unidades curriculares obrigatórias de forma a distribuí-los uniformemente pelo calendário de exame. Este modelo foi testado com um problema real na "*Athens University"* com um tamanho aproximado de 1000 variáveis e com 500 restrições. Foi utilizado um código baseado no método de *"Branch and Bound"* onde, na maioria dos testes, a solução ótima foi encontrada em menos de um minuto tempo. Os autores referem que em 80% dos casos todas as preferências foram satisfeitas. Nos poucos casos onde as preferências dos docentes não foram atendidas, as alterações ao modelo foram feitas manualmente. A redução do tamanho do problema com o agrupamento de unidades curriculares e a estrutura flexível da organização dos exames facilita a obtenção duma solução ótima para o problema.

Os gregos Daskalaki, Birbas e Housos (2004) resolvem a questão de criação de horários recorrendo a um problema de programação inteira, em que o modelo é composto por um elevado número de restrições e regras para a elaboração dos horários, onde o objetivo consiste em minimizar todo este processo de elaboração de horários visando satisfazer

todas as restrições apresentadas no modelo. O modelo desenvolvido neste trabalho tem características únicas em comparação com outros trabalhos. As variáveis como as disciplinas, alunos, professores, dias e períodos são definidas no modelo como variáveis distintas. Este modelo assenta numa realidade de atribuição entre dois conjuntos de variáveis, o conjunto disciplina, professor e turma e o conjunto dia e período. Este número de variáveis tem como consequência um grande número de escolhas que pode ser reduzido com a introdução de subconjuntos das variáveis adequadas às necessidades apresentadas. Assim é possível ter um modelo flexível capaz de reunir toda a informação e seguindo quase a totalidade de regras que o processo de criação de horários exige transformando em equações matemáticas.

Neste processo também foram usadas variáveis auxiliares que ajudaram a trabalhar o problema das restrições de consecutividade e repetibilidade para pedidos de períodos consecutivos em algumas disciplinas, estes pedidos transformam o problema de criação de horários num problema mais complexo.

Nesta abordagem são considerados seis elementos estruturais básicos:

- O dia da semana, em que se pode alocar uma disciplina, denotado pela letra *I*, por exemplo $I = \{1, 2, 3, 4, 5\}$;

- O período de tempo do dia, em que se pode alocar uma disciplina, no caso em estudo, das 8:00AM até às 09:00PM, sendo que a cada período são considerados 45m para exame e 15m para troca de docentes/alunos, denotado pela letra *J*, por exemplo $J = \{1, 2, \dots, 14\}$;

- O grupo de alunos, para qual os calendários são realizados, designado pela letra *K*, por exemplo $K = \{turma\#1,\ turma\#2, \dots,\ turma\#|K|\}$;

- O docente, que irá lecionar uma determinada disciplina, denotada pela letra *L*, por exemplo $L = \{docente\#1,\ docente\#2, \dots,\ docente\#|L|\}$;

- A disciplina, para um determinado grupo de alunos, denotada pela letra *M*, por exemplo $M = \{disciplina\#1,\ disciplina\#2, \dots,\ disciplina\#|M|\}$;

- A sala de aulas, disponíveis para serem alocadas a realização de disciplinas, denotada pela letra *N*, por exemplo $N = \{sala\#1,\ sala\#2, \dots,\ sala\#|N|\}$.

Sendo as variáveis definidas como $X_{i,j,k,l,m,n}$ onde $i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M, n \in N$ , toma o valor "1" quando o docente *l* que leciona a disciplina *m* para um grupo de alunos *k*, onde essa disciplina está prevista para o período do dia *j* no dia *i* na sala de aula *n* e $Y_{i,p_v,k,h_v,m,n}$ onde $i \in I, k \in K, m \in M, n \in N$ e $h_v$ *e* $p_v$ são número naturais. $Y_{i,p_v,k,h_v,m,n}$ toma o valor de "1" quando a disciplina *m*, requer uma sessão de $h_v$ períodos consecutivos, está prevista para o dia *i* para o grupo de alunos *k* na sala de aula *n*, sendo que $p_v$ toma o valor do número de repetições da disciplina.

As soluções obtidas através do modelo foram soluções que permitiam minimizar a função objetivo através de preferências introduzidas para determinados períodos de tempo, dias e salas de aulas para todas as disciplinas. Este modelo teve em atenção as características e necessidades de cada disciplina como por exemplo a composição da disciplina, isto é, uma disciplina pode necessitar de aulas teóricas, seminários e aulas laboratoriais. Cada um deste tipo de necessidade que a disciplina necessita subentende um tipo de sala de aula, um determinado período de tempo e docentes para lecionar a aula. Ao realizar os horários dependendo do ano letivo, há a necessidade de caraterizar as disciplinas mediante estas serem consideradas obrigatórias ou opcionais. As disciplinas opcionais não se podem sobrepor às disciplinas obrigatórias, tendo estas últimas prioridade sobre as primeiras. Na elaboração dos horários os responsáveis seguiram dois tipos de restrições, as restrições fortes (*hard constraints )* que têm sempre que ser verificadas e as restrições suaves (*soft constraints)* que serão verificadas geralmente quando todas as restrições fortes são cumpridas possibilitando soluções com melhor qualidade em certos aspetos. Neste artigo, os autores consideram que as restrições fortes são reguladas pelas seguintes regras:

- Não pode existir sobreposição de disciplinas em cada calendário de horários,
- O horário tem que estar completo com todas as disciplinas previstas para cada turma,
- Devem estar contemplados pedidos consecutivos de aula, isto é, o professor pode escolher entre lecionar a disciplina numa única vez ou então repartir por vários períodos da semana.

Da mesma forma, as restrições suaves (*soft constraints)* são reguladas por regras como:

- Se existir a possibilidade de escolha, pode existir a possibilidade de preferência do período para lecionar;
- Os horários devem ser o mais compacto possível, incluindo pausas para almoço;

- Devem minimizar as trocas de salas de aula especialmente para alunos dos primeiros anos.

Neste modelo cada aluno terá o seu próprio horário mediante as escolhas das disciplinas opcionais que escolheu.
Com a finalidade de validar e demonstrar as capacidades do modelo proposto, foram resolvidos três problemas de tamanhos diferentes no departamento de Engenharia Eletrotécnica de Computadores de *"Patras University"*, onde se variou o número de unidades curriculares. Os tempos computacionais variaram com o tamanho do problema e com a escolha dos valores dos coeficientes de custo que foram aplicados na função objetivo.

MirHassani (2006), tal como Daskalaki (2004) referido atrás, resolve o problema recorrendo a programação linear inteira minimizando uma função de não preferências dos docentes. Esta abordagem foi realizada sobre um problema real na Shahrood University of Technology (Irão) com o objetivo de encontrar uma solução ótima para um problema de criação de horários sem conflitos entre turmas, salas, disciplinas e professores. A solução ótima foi processada em menos de 10 segundos. Este tempo de processamento pode ser alterado mediante a modificação dos coeficientes utilizados na função objetivo.

Os gregos Daskalaki, Birbas (2005), realizaram uma abordagem alternativa ao artigo realizado pelos Daskalaki, Birbas e Housos em 2004 para resolverem o problema de criação de horários. Neste artigo o problema de criação de horários é tratado com um modelo de programação inteira realizado em duas fases. Na primeira fase é aplica uma relaxação das restrições relativas consecutividade de períodos de aulas para disciplinas que necessitem de sucessivos períodos de aulas. Na segunda fase é feita uma minimização onde são resolvidas estas restrições mais um conjunto de sub-problemas aplicados por dia da semana. A solução obtida para a resolução do problema por dia da semana é mais rápida comparativamente a qualquer solução obtida numa só etapa sem qualquer perda de qualidade. Este artigo foi feito uma comparação utilizando dois problemas de estudo que reforça a melhoria desta abordagem relativamente à abordagem feita no artigo realizado pelos Daskalaki, Birbas e Housos de (2004) com base em dois termos de comparação: (a) tempo de processamento e (b) nível de satisfação das preferências dos professores.

A abordagem apresentada consegue tempos de processamento muito baixos relativamente aos tempos de processamento da abordagem feita numa só etapa (Ver Figura 1)

Computation times for the two solution approaches

| | Problem size | | | | Computation time | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Student groups (#) | Teachers (#) | Courses/labs (#) | Teaching periods | Single-stage IP model (minutes) | Relaxation approach (seconds) |
| Problem #1 | 3 | 30 | 25/8 | 139 | 2.5 | 16 |
| Problem #3 | 11 | 73 | 92/27 | 319 | 96 | 85 |

Figura 1 - Comparação de Tempos de processamento (Daskalaki and Birbas 2005)

É de referir que esta abordagem tem uma perda pouco significativa de 2% relativamente ao nível de satisfação dos professores. (Ver Figura 2)

Satisfaction levels achieved with the two different solution approaches

| Teachers satisfaction | Problem #1 | | Problem #3 | |
|---|---|---|---|---|
| | Single-stage IP model | Relaxation approach | Single-stage IP model | Relaxation approach |
| Successes | 133 (95.68%) | 131 (94.24%) | 296 (92.79%) | 290 (90.91%) |
| Failures | 6 (4.32%) | 8 (5.76%) | 23 (7.21%) | 29 (9.09%) |
| Total # of periods | 139 | 139 | 319 | 319 |

Figura 2 - Nível de preferência de satisfação dos professores (Daskalaki and Birbas 2005)

Segundo Avella e Vasil'Ev (2005) foi utilizada uma programação linear inteira formulada através dum problema de "empacotamento" com restrições adicionais em que se especifica um número máximo de dias que o professor deve comparecer na instituição de ensino, possibilitando assim uma diminuição na dimensão do espaço de busca. Este modelo tem a desvantagem da especificação do número de dias em que cada professor deve comparecer na instituição. As escolhas devem ser feitas de forma prudente porque a compactação dos horários considerando cada professor isoladamente, pode resultar num problema sem solução viável.

Qualizza e Serafini (2005), apresentam uma abordagem em programação linear inteira baseada no algoritmo de geração de colunas para a resolução do problema. Cada coluna está associada a um calendário semanal duma unidade curricular. Neste sentido, é utilizada uma matriz com uma relação entre ocupação de salas e a não sobreposição de tempo de

cada unidade curricular que em conjunto com as preferências, fazem parte do procedimento do método de geração de colunas.

Al-Yakoob e Sherali (2006) estudam modelos de programação matemática para resolverem o problema de criação de horários na Universidade do Kuwait mais concretamente o problema de atribuição dos docentes a aulas. Neste artigo são utilizados dois modelos. O primeiro modelo usado é um modelo de programação inteira que visa minimizar a insatisfação total e os custos associados com os docentes na atribuição de aulas. De forma a melhorar a solução obtida é utilizado o segundo modelo. O modelo apresenta resultados de melhor qualidade relativamente aos resultados apresentados pela solução manual usada.

Já Schimmelpfeng e Helber (2007) usam uma abordagem de programação inteira para a resolução dum problema real de horários da "*School of Economics and Management at Hannover University"* na Alemanha. Neste estudo são apresentados dois softwares para a resolução do problema, uma versão *"open source"* e uma versão comercial do software CPLEX onde foram conseguidos resultados computacionais bastante atrativos.

Bakir e Aksop (2008) utilizam o procedimento de programação inteira para resolver o problema de horários no Departamento de Estatística da Universidade de Gazi, Turquia, baseando-se para tal no artigo do Daskalaki (2005). A diferença do artigo de Bakir está na função objetivo do modelo que é construído de modo a minimizar a insatisfação total de todos os envolvidos. Este problema demorou cinco minutos a ser resolvido. Esse tempo é considerado exagerado porque não foi utilizado neste problema a melhor plataforma computacional.

Mais recentemente, Birbas, Daskalali e Housos (2009) apresentaram uma abordagem em que são propostos dois modelos para a resolução do problema de horários. No primeiro modelo, o parâmetro disciplina desaparece, partindo da ideia que a cada disciplina está associado um professor. A função objetivo do mesmo só tem que minimizar o custo associado a cada professor $i$ alocado no dia da semana $l$ e no período de aula $b$. No segundo modelo, o parâmetro disciplina foi agregado ao parâmetro docente onde é atribuído um conjunto de penalidades que é adicionado à função objetivo. Os autores utilizaram o *ILOG CPLEX 10.1* para simular os dois modelos, obtendo bons resultados apesar de que se a instituição tiver muitas turmas este modelo pode demorar muito tempo a processar a solução.

Al-Yakoob e Sherali (2010) propõem uma abordagem para a resolução do problema dos horários relacionado com a universidade do *"Kuwait University"* no Kuwait recorrendo a modelos de programação inteira mista em duas fases. Para a primeira etapa, foi desenvolvido um modelo de programação inteira mista para resolver o problema da atribuição de exames a períodos de tempo e a salas de aula visando as restrições relacionados com conflitos entre exames. Na segunda etapa e tendo já a solução do problema da primeira etapa, é resolvido o problema da atribuição de vigilantes que trata da atribuição de vigilantes a exames onde é tido em conta as restrições de preferências dos vigilantes para períodos e dias específicos de exames. Neste artigo também foi desenvolvido um procedimento heurístico iterativo que tem como função minimizar a insatisfação dos vigilantes dos exames.

Santos, Uchoa e Maculan (2012) apresentam uma formulação de programação inteira para resolver o problema de criação de horários. Essa formulação passa pela atribuição de professores a turmas tendo em consideração uma distribuição apropriada de aulas ao longo da semana, bem como as preferências dos professores. Neste artigo foi usado um algoritmo de corte e geração de colunas para resolver o problema da relaxação linear.

McMullan e McCollum (2012) concorreram com este modelos à *2nd International Timetabling Competition*", onde resolveram este problema como um problema de programação inteira baseando-se em duas variáveis de decisão (atribuição de exames a um período e atribuição de exames a salas de aula).

## 2.2. MÉTODOS HEURÍSTICOS

São métodos utilizados para resolver problemas que não podem ser tratados pelos métodos exatos. Desta forma o objetivo principal de uma heurística é encontrar soluções de boa qualidade e duma forma rápida, muitas vezes melhores que as conhecidas.

A pesquisa na atribuição de salas a exames tem sido bastante escassa. Dammak (2006) identificou a existência duma relação entre o problema dos horários dos exames e a atribuição de salas de aula, não existindo apenas uma solução viável para este problema, em que a capacidade das salas aulas e a sua disponibilidade desempenha um papel importante para encontrar uma solução relativa à calendarização dos horários de exames.

O autor resolveu este problema tendo em atenção dois casos de formulação. A primeira tenta encontrar uma solução para o problema da atribuição de um exame a uma determinada sala existindo apenas um exame por sala de aula utilizando um problema de programação linear inteira binária. Juntando à restrição anterior, a restrição da capacidade das salas, a obrigatoriedade de ser superior ao número total de alunos inscritos, não é garantido encontrar uma solução exequível mesmo que a capacidade total das salas seja superior ao número de alunos inscritos nos exames num dado período de tempo devido ao número de exames por período.

No segundo caso, se o modelo não encontrar uma solução com as restrições usadas na primeira formulação, irá encontrar outra que, no máximo, dois exames são atribuídos a uma sala de aula e para tal é utilizado um problema de transportes para a resolução do problema. Este problema de transportes é resolvido por um método com duas fases. Na primeira fase é encontrado uma solução válida e na outra fase é encontrado a solução ótima através do método *"Simplex"* ou pelo método *"stepping stone".*

Os autores recorrem a um procedimento heurístico para resolver o problema de atribuição de salas de aulas a exames quando não conseguem encontrar uma solução válida de forma a só poder ser realizado um exame por sala. Assim sendo e tendo em consideração o número de exames, o número total de alunos inscritos e a capacidade das salas, o modelo tenta encontrar uma solução válida para um máximo de dois exames por sala de aula.

Os autores criaram um procedimento heurístico *"Max-Size"* para resolver o problema de atribuição de exames a salas de aula, Este procedimento está dividido em várias etapas, onde primeiro são atribuídos exames às salas de aula de forma a realizar apenas um exame por sala de aula. Se não for encontrada uma solução válida, a heurística permite ter no máximo dois exames por sala de aula.

Nas primeiras etapas deste procedimento é necessário organizar os exames e as salas por ordem decrescente, sendo depois realizada a atribuição do exame com maior número de alunos inscritos à sala com maior capacidade. Este procedimento é repetido até que todos os exames sejam atribuídos ou até encontrar um exame com mais alunos inscritos do que a capacidade da sala de aula correspondente. Caso isto aconteça, serão aplicadas outras etapas do procedimento. Estas, baseiam-se na atribuição de exames, onde a capacidade de alunos inscritos é menor do que a capacidade da sala de aula alocada. O exame é atribuído

à primeira sala de aula que contém a menor capacidade do conjunto de todas as salas capazes de comportar o número de alunos inscritos naquele exame. Se a capacidade da sala não comportar a totalidade de alunos inscritos no exame, são atribuídos os restantes alunos às salas de aula com maior capacidade. Quando não é encontrada uma solução viável utilizando as etapas anteriores, são utilizadas etapas que se baseiam na atribuição de salas que comportam o segundo exame. Essa atribuição é realizada dando prioridade às salas atribuídas com o maior número de lugares livres. Esta abordagem tem como principal desvantagem a existência dum problema de organização de vigilâncias mediante a condição de poder ter um ou dois exames por sala de aula.

No seguimento do trabalho de Dammak (2006), também Ayob and Malik ( 2011) investigaram o problema de atribuição de salas. Os autores apenas concentraram a sua investigação na atribuição de salas a exames considerando que os exames já estão efetivamente atribuídos aos períodos de tempo destinados à realização dos exames. Estes consideraram um modelo com uma capacidade virtual por sala superior à real, de forma a poder atribuir mais alunos caso fosse necessário. O fator primordial na afetação de salas é atribuir os exames com maior capacidade de alunos inscritos a salas de maiores dimensões otimizando assim o número de vigilantes, sendo que cada exame deve ser atribuído a uma única sala podendo também existir a possibilidade de ser realizado mais do que um exame numa sala desde que se verifique a necessidade. O modelo criado pelos autores tem como objetivo minimizar as deslocações de alunos em exames consecutivos realizados no mesmo dia, adicionando também o facto de diminuir o número de exames que se realizam em várias salas. Para tal, os autores criaram uma heurística chamada de *"BestFitRoom"* que inicialmente ordenam as salas por ordem decrescente de capacidade e fazem a atribuição das salas que melhor se adequam a esse exame atualizando novamente a lista de salas disponíveis. O processo é repetido até que todos os exames sejam atribuídos a salas.

Em 2007, Malik e Ayob (2007), usam outra abordagem para o mesmo problema. Neste artigo, o objetivo consistiu na minimização do número de exames com diferentes durações na mesma sala.

### 2.2.1. HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS

Kahar e Kendall (2010) estudam um problema de criação de horários para exames usando a *"Universiti Malaysia Pahang"* (UMP) na Malásia como modelo de estudo. Este modelo adiciona novas restrições que não eram utilizadas nomeadamente: a distância entre salas de exame e a divisão dos exames por várias salas. As soluções resultantes deste modelo são de melhor qualidade relativamente às soluções obtidas pelo modelo usado atualmente respeitando todas as restrições fortes que os sistemas atuais não conseguem fazer. Os resultados apresentados por este modelo são melhores relativamente à solução usada atualmente. Os pontos principais desta metodologia são: a simplicidade da estrutura multiobjectivo, a ordenação das soluções, entre outro.

#### 2.2.1.1. HEURÍSTICA DE COLORAÇÃO DE GRAFOS

Burke e Newall (2004) utilizam uma heurística baseada em métodos de ordenação muito semelhantes aos utilizados para os problemas de coloração de grafos. Esta abordagem tem por base um método geral e adaptativo que se torna mais rápido e de fácil manuseamento produzindo resultados tão bons ou melhores quando comparados com outras heurísticas. A abordagem foi avaliada e testada através dum conjunto de experiencias em problemas de *benchmark*. Para demonstrar como o método é adaptativo e dá para qualquer situação real testada com uma qualquer heurística, testou um problema ordenação aleatória dos exames e foi demonstrando que a capacidade adaptativa do método que transformou uma ordenação desastrosa dos exames numa ordenação ótima. Este estudo é útil como um guia para formular a restrições e função objetivo a ser usada em um problema horários.

Burke, Mareček, Parkes e Rudová (2010) utilizam uma abordagem onde dividem o problema em sub-problemas produzindo soluções parciais com um espaço de busca mais completo. Os autores utilizaram uma programação inteira para implementar a heurística que resolve o problema estudado no artigo com o objetivo de encontrar uma solução viável para o problema de atribuição de eventos a salas e a períodos do dia. A atribuição de eventos a períodos do dia é realizada através da coloração de grafos associada a combinação linear que minimiza o número de violações de quatro restrições suaves.

Murray, Müller e Rudová.(2007), tomam como referência o trabalho de Carter (2001) para a resolução do problema dos horários acrescentando técnicas capazes de fazer uma

distribuição dos recursos equilibrada pelo facto de poder existir favorecimentos. Para tal, o valor das preferências de atribuição de tempo é ponderado de forma inversamente proporcional ao tempo alocado. A técnica utilizada foi a introdução de uma restrição de equilíbrio de forma a distribuir inicialmente os recursos de forma proporcional.

### 2.2.2. MÉTODOS META - HEURÍSTICOS

Os problemas desta natureza também têm sido tratados por técnicas heurísticas como por exemplo as meta-heurísticas, das quais se destacam "*simulated Annealing*", "*Algoritmos Genéticos*", "*Tabu Search*".

São métodos mais abrangentes que podem ser aplicados a vários problemas. Estes métodos podem incluir várias heurísticas capazes de encontrar a uma solução para o problema de forma rápida e eficiente. O método de melhoria inicia-se com uma solução viável e vai sendo melhorado duma forma repetitiva até que nenhuma melhoria possa ser encontrada ou o critério de paragem seja satisfeito.

#### 2.2.2.1. ALGORITMO PSO ("PARTICLE SWARM OPTIMIZATION")

Muitos investigadores estudaram este tema aplicando heurísticas e métodos por forma a resolver este problema recorrendo diferentes abordagens. A título de exemplo os artigos de Shu-Chuan e Yi-Tin (2006) aplicam o método "*particle swarm optimization*" (PSO) que otimiza duma forma iterativa o problema de modo a encontrar a melhor solução.

Tassopoulos e Beligiannis (2012) utilizam o algoritmo PSO para criar uma solução viável e eficiente para os horários comparando estes com outras variantes demonstrando a sua eficácia relativamente a outras técnicas.

#### 2.2.2.2. ALGORITMO GRASP (GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE)

Uma outra abordagem seguida consiste na utilização do método GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*). Este método baseia-se num algoritmo meta-heurístico aplicados a problemas de otimização combinatória. Consistindo na obtenção de

soluções ótimas aleatórias realizadas a partir de iterações sucessivas e subsequentes melhorias iterativas realizadas através de uma pesquisa local até encontrar a solução ótima global. Este método foi usado para resolver o problema de criação de horários por parte de Christos Gogos (2010) e foi apresentado na conferência "*Internacional Timetabling Competition"* de 2007 onde ganhou o segundo prémio.

#### 2.2.2.3. ALGORITMOS "TABU SEARCH"

Esta metodologia é um método iterativo para resolver problemas de otimização. Tendo uma solução inicial, o método analisa a vizinhança e seleciona o melhor movimento admissível produzindo uma nova solução. Assim para evitar movimentos para soluções já inspecionadas é criada um mecanismo chamado de memória de curto prazo. os movimentos são armazenados numa lista tabu para um determinado número de iterações. Estes movimentos são considerados como uma nova solução se cumprirem os critérios estabelecidos. Este procedimento assegura que todo o espaço de busca é pesquisado para procurar a melhor solução.

Glover (1989) desenvolveu a meta-heuristica "*Tabu Search*" como uma proposta de solução para problemas de programação inteira. É possível verificar um outro artigo com participação do mesmo autor em parceria com Manuel Laguna (1993) a demonstrar a eficácia desta heurística.

A eficácia deste algoritmo na aplicação de criação de horários pode ser observada nos artigos White (2004), no artigo de Santos (2004).

Em White (2004) é descrito um algoritmo baseado na metodologia de "*Tabu Search*" para criar horários de exames onde a função objetivo minimiza o nível de desconforto. Os resultados do algoritmo são comparados com resultados de outros algoritmos publicados que usam as mesmas penalidade na função objetivo tendo melhores resultados.

Santos, Ochi e Souza. (2004) resolvem o problema recorrendo à heurística "*Tabu Search*". A metodologia seguida pelos autores tem como ponto de partida uma resolução semanal para garantir que todas as restrições sejam satisfeitas. Tendo como estudo a realidade das escolas brasileiras, os autores propuseram um modelo heurístico baseado na meta-heuristica *"Tabu Search"*.

O algoritmo proposto para a meta-heurística utiliza o mesmo conceito proposto por Andrea Schaerf em "Local search techniques for large high school timetabling problems" que envolve um método de troca de horários de duas disciplinas da mesma turma de forma a melhorar a qualidade a solução encontrada tendo em atenção a disponibilidade de cada professor das disciplinas visadas. Esta abordagem visa minimizar o custo associado à infração de cada restrição suave. De forma a simplificar o modelo, apenas é necessário atribuir professores em dias da semana e períodos de aulas para cada uma das turmas, pressupondo que cada disciplina já tem associado um professor e que cada turma já está vinculada a uma sala. É de referir que os autores juntaram uma restrição que não permite que uma turma não tenha mais de dois períodos de tempo consecutivos com o mesmo professor. Caso exista uma infração das restrições suaves do tipo: (a) Cada professor deve lecionar as aulas no menor número possível de dias da semana e (b) Os pedidos de aulas em períodos de tempo consecutivos devem ser satisfeitos sempre que possível, a função objetivo é penalizada. Os autores concluem que esta abordagem é melhor que a abordagem do "Tabu search hibrido", tanto em qualidade de solução como também em desempenho computacional.

#### 2.2.2.4. ALGORITMOS GENÉTICOS

Ghaemi, Vakili e Aghagolzadeh (2007) usam um algoritmo genético para resolver o problema de criação de horários tendo como objetivo principal a minimização do número de conflitos no calendário. Neste artigo foram testados duas abordagens de algoritmos genéticos, o algoritmo genético modificado e o algoritmo genético cooperativo. O rendimento do algoritmo utilizando o método genético modificado é melhorado com a adição de operadores genéticos. Quando é utilizado o método cooperativo genético a melhoria verificada é ainda mais significativa.

No caso seguinte, Pillay e Banzhaf (2010) usam algoritmos genéticos para descobrir soluções de resolução para calendários de exames. A execução deste algoritmo resulta duma abordagem dividida em duas fases. Na primeira fase, o algoritmo genético é utilizado para produzir horários que não violam quaisquer restrições difíceis ("*hard constraints*"). Na segunda fase, o algoritmo genético é utilizado para otimizar os custos de restrição fáceis ("*soft constraints"*) dos horários que resultaram durante a primeira fase. Comparativamente às metodologias, esta abordagem apresenta os melhores resultados.

#### 2.2.2.5. ALGORITMOS SIMULATED ANNEALING

Pongcharoen, Promtet, Yenradee e Hicks (2008) apresentam uma abordagem onde estão incluídos algoritmos genéticos, algoritmos *"Simulated Annealing"* e algoritmos de pesquisa aleatória. As soluções impossíveis são retificadas através dum procedimento de reparação garantindo que as salas têm capacidade para acondicionar as disciplinas/exames. Os algoritmos foram testados com dois conjuntos de horários. O algoritmo Genéticos e *"Simulated Annealing"* produziram horários muito bons, mas os resultados obtidos a partir do algoritmo *"Simulated Annealing"* foram melhores do que aqueles que utilizam Algoritmos Genéticos. No entanto, o algoritmo Genético foi de 54% mais rápido do que o algoritmo *"Simulated Annealing"*.

#### 2.2.2.6. ALGORITMO "GREAT DELUGE"

Turabieh e Abdullah (2011) utilizam uma abordagem hibrida que incorpora eficazes operadores heurísticos dentro do algoritmo do "*Great Deluge*". Os procedimentos em que se baseiam esta abordagem derivam da abordagem de mecanismos eletromagnéticos.

A Figura 3 mostra a comparação de resultados do algoritmo proposto relativamente a outros algoritmos híbridos.

Comparison results on other combination approaches.

| Instance | Our approach | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| car91 | 4.80 | 5.1 | 4.65 | 5.2 | 5.2 | **4.50** | 5.16 | 5.11 | 4.6 | 6.6 |
| car92 | 4.10 | 4.3 | 4.10 | 4.2 | 4.4 | 3.93 | 4.16 | 4.32 | **3.9** | 6.0 |
| ear83 I | 34.92 | 35.1 | 37.05 | 34.2 | 34.9 | 33.7 | 35.86 | 35.56 | 32.8 | **29.3** |
| hec92 I | 10.73 | 10.6 | 11.54 | 10.2 | 10.3 | 10.83 | 11.94 | 11.62 | 10.0 | **9.2** |
| kfu93 | **13.00** | 13.5 | 13.90 | 14.2 | 13.5 | 13.82 | 14.79 | 15.18 | **13.0** | 13.8 |
| lse91 | 10.01 | 10.5 | 10.82 | 11.2 | 10.2 | 10.35 | 11.15 | 11.32 | 10.0 | **9.6** |
| pur93 I | 4.73 | – | – | – | – | – | – | – | – | **3.7** |
| rye92 | 9.65 | – | 8.7 | 8.8 | 8.7 | 8.53 | | | | **6.8** |
| sta83 I | 158.26 | 157.3 | 168.73 | 157.2 | 159.2 | 158.3 | 159 | 158.88 | **156.9** | 158.2 |
| tre92 | **7.88** | 8.4 | 8.35 | 8.2 | 8.4 | 7.92 | 8.6 | 8.52 | 7.9 | 9.4 |
| uta92 I | 3.20 | 3.5 | 3.20 | 3.2 | 3.6 | **3.14** | 3.59 | 3.21 | 3.2 | 3.5 |
| ute92 | 26.11 | 25.1 | 25.83 | 25.2 | 26.0 | 25.39 | 28.3 | 28 | 24.8 | **24.4** |
| yor83 I | 36.22 | 37.4 | 37.28 | 36.2 | 36.2 | 36.35 | 41.81 | 40.71 | **34.9** | 36.2 |

Figura 3 - Comparação de resultados para abordagens hibridas (Turabieh and Abdullah 2011)

Para que os resultados da comparação façam mais sentido e comparando abordagens onde são usados o mesmo tipo de algoritmo, algoritmo "*Great Deluge*".,os autores comparam os resultados do algoritmo proposto por eles com os resultados da abordagem M2 apresentada por Burke e Newall. O algoritmo proposto por Turabieh e Abdullah consegue, na

generalidade, melhores resultados comparativamente com os resultados apresentados na abordagem M2.

Relativamente a todas as abordagens hibridas apresentadas para comparação, o algoritmo proposto pelos autores consegue dois melhores resultados nas treze situações em estudo comparativamente com todos os algoritmos.

#### 2.2.2.7. META- HEURÍSTICA HIBRIDAS

Azimi (2005) apresenta e resolve um problema de criação de horários para exames aplicando quatro técnicas bem conhecidas: "*Simulated Annealing"* (SA), "*Tabu Search"* (TS), "*Genetic Algorithm"* (GA), e "*Ant Colony System"* (ACS) e três novas combinações híbridas. As novas combinações híbridas consistem num algoritmo sequencial TS-ACS, um algoritmo híbrido ACS / TS, e um algoritmo sequencial ACS-TS.

Aldy Gunawan, Kien Ng e Kim Poh (2012) resolvem o problema criação de horários dividindo-o problema em dois sub-problemas. No problema de atribuição de professores, eles são alocados a disciplinas sem considerar a programação dos horários das disciplinas e dos seus períodos de tempo. Relativamente ao segundo sub-problema, as disciplinas são atribuídas a períodos de tempo assumindo que a atribuição de professores a disciplinas já tinha sido realizada. Os autores recorreram a um método hibrido que contem dois algoritmos aplicados sequencialmente. O primeiro algoritmo aplica uma abordagem baseada em relaxação lagrangeana para a obtenção de uma solução inicial viável e também um limite inferior para o problema. O segundo algoritmo usado é um algoritmo de "*simulated Annealing*" que é aplicado para melhorar a solução inicial obtida a partir do primeiro algoritmo.

O artigo de Dammak (2006) "*Classroom assignment for exam timetabling*" e o artigo "*An integer programming formulation for a case study in university timetabling"*de Daskalaki, Birbas e Housos (2004) serviram de base a este trabalho porque apresentam abordagens semelhantes ao problema estudado.

# 3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo faz-se a descrição do problema sendo realizada a apresentação da solução usada atualmente para a resolução do mesmo.

## 3.1. INTRODUÇÃO

Este trabalho está inserido no Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e tem como objetivo realizar a atribuição de salas a exames. O Departamento de Engenharia Mecânica está dividido em 2 licenciaturas e 7 mestrados. Por cada ano letivo existem dois semestres divididos em duas épocas de exames (normal e recurso), existindo um calendário de exames individual por cada ano curricular de cada curso.

A tarefa de atribuição de salas para a criação do calendário de exames do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP é uma função desempenhada por um docente responsável por este processo. Esta tarefa é realizada manualmente e está sujeita a muitas alterações devido a reclamações por parte de docentes e departamentos.

## 3.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ATUAL

O calendário de exames (Figura 4) tem uma duração normalmente de quatro semanas, no final de cada semestre. Na elaboração do calendário são utilizados 5 dias por semana (segunda a sexta) e ainda sábado de manhã. De segunda a sexta-feira, cada dia de exame está dividido em quatro períodos de tempo (09:00, 11:00, 14:00, 18:00/19:00 horas), aos sábados existem dois períodos (08:30/09:00 e 11:00 horas).

É de salientar que o período 18:00 e o período 19:00 (de segunda a sexta-feira) e o período 08:30 e 09:00 (sábados) serão considerados os mesmos períodos, porque em cada sala só pode ser realizado um exame por período, todas as salas estão disponíveis no começo de cada período e a duração média de cada prova é de 2,5horas. Um calendário de exames é composto por duas épocas, a época normal e a época de recurso.

É de salientar que todas as unidades curriculares cuja avaliação passa pelo desenvolvimento dum projeto não têm época normal de exames.

**Mapa de Exames**

Curso: Licenciatura em Engenharia Mecânica

Ciclo: 1.º

**Data de afixação:** 01-06-2012

**Ano Lectivo:** 2011/2012

**Semestre:** 2.º

| Ano | Segunda-feira 25-Jun | Hora | Terça-feira 26-Jun | Hora | Quarta-feira 27-Jun | Hora | Quinta-feira 28-Jun | Hora | Sexta-feira 29-Jun | Hora | Sábado 30-Jun | Hora |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | MATE1 | 14:00 | | | IENG2 | 09:00 | | | MTMET | 14:00 | | |
| 2 | | | ESTAT | 14:00 | | | | | | | ELTRO | 08:30 |
| 3 | AUTO2 | 18:00 | | | | | | | MTERM | 18:00 | | |
| | **02-Jul** | | **03-Jul** | | **04-Jul** | | **05-Jul** | | **06-Jul** | | **07-Jul** | |
| 1 | FISIC | 14:00 | | | DESET | 8.30 | | | MECA1 | 09:00 | | |
| 2 | | | MEMAT | 14:00 | | | MEFLU | 09:00 | | | PFAB1 | 08:30 |
| 3 | MFLUX | 18:00 | | | | | | | ORGI2 | 18:00 | | |
| | **09-Jul** | | **10-Jul** | | **11-Jul** | | **12-Jul** | | **13-Jul** | | **14-Jul** | |
| 1 | MATE1 | 14:00 | | | IENG2 | 14:00 | | | MTMET | 09:00 | | |
| 2 | | | ESTAT | 14:00 | | | ANPR2 | 14:00 | | | ELTRO | 08:30 |
| 3 | AUTO2 | 18:00 | | | | | | | MTERM | 18:00 | | |
| | **16-Jul** | | **17-Jul** | | **18-Jul** | | **19-Jul** | | **20-Jul** | | **21-Jul** | |
| 1 | FISIC | 14:00 | | | DESET | 14:00 | | | MECA1 | 09:00 | | |
| 2 | | | MEMAT | 14:00 | | | PFAB1 | 14:00 | | | MEFLU | 08:30 |
| 3 | MFLUX | 18:00 | | | PROJ2 | 18:00 | | | ORGI2 | 18:00 | | |

Figura 4 - Exemplo de calendário de exames

O trabalho proposto está enquadrado no tipo de problema de criação de horários universitários automatizados (*University Class Scheduling*). A atribuição das salas aos exames é um problema de afetação de recursos, onde as salas de aulas são atribuídas de forma a minimizar o número de salas usadas, tendo em consideração a sua capacidade, localização e o número de alunos inscritos por exame.

O problema de horários de exames é essencialmente constituído pela calendarização de uma série de exames para um número de períodos de tempo, a fim de satisfazer, tanto quanto possível, um conjunto de restrições. Estas restrições variam de instituição para instituição.

Este trabalho concentra-se no problema de atribuir salas de aula a exames, considerando os exames já atribuídos aos períodos de tempo.

A construção dos horários de exames que satisfaça as necessidades dos professores e alunos é uma tarefa difícil. Atualmente é realizada duma forma manual, tornando o processo difícil e demorado.

O tempo despendido pelo responsável que realiza os calendários para a etapa atribuição de salas são cerca de 3 horas.

### 3.2.1. RESTRIÇÕES DO PROBLEMA

Muitas vezes, é essencial que algumas restrições sejam completamente satisfeitas. Tais restrições são chamadas restrições fortes. Normalmente, estas restrições dizem respeito a limitações operacionais que não podem ser ignoradas. Um calendário que satisfaça todas as restrições rígidas é chamado um calendário viável.

O outro tipo de restrições que ocorrem em problemas dos horários são aquelas que são consideradas desejáveis, mas que muitas vezes são difíceis ou impossíveis de satisfazer totalmente. Estas restrições são geralmente chamadas de restrições suaves e determinam a qualidade de um calendário. Assim, um calendário de exames com qualidade pode ser definido como um calendário que atende aos interesses dos docentes e alunos permitindo aos alunos planear e organizar o seu estudo consoante os seus interesses.

O processo de atribuição de salas de aula a exames está sujeito a um conjunto de restrições que se baseiam nos seguintes pressupostos (restrições):

- Em cada sala só pode haver um exame por período;
- O somatório das capacidades das salas tem que ser superior ou igual ao número de alunos inscritos por exames naquele período;
- As salas estão todas disponíveis no período de exame;
- Os períodos de duração de exames são independentes entre si.

A restrição “duração do exame” foi ignorada na construção do calendário de exames devido ao facto dos exames terem uma duração igual à duração prevista e os períodos em que se iniciam são fixos.

É de salientar que na análise das restrições deste problema apenas foram detetadas restrições duras que serão aplicadas na resolução do mesmo.

Mesmo que a capacidade total das salas de aula ultrapasse o número de alunos inscritos em todos os exames realizados no mesmo período, não há garantia que seja possível encontrar uma solução válida tendo em conta a restrição de cada sala, em que apenas possa ser realizado um exame por período, não ser possível de cumprir. Com a solução atual, se tal facto acontecer, é necessário encontrar mais salas disponíveis e reiniciar o processo.

### 3.2.2. PROCEDIMENTO PARA A OBTENÇÃO DA SOLUÇÃO ATUAL

A obtenção da solução atual é realizada por um docente, a quem foi incumbida a responsabilidade da realização desta tarefa de forma a encontrar a melhor solução que satisfaça as necessidades dos professores e alunos relativamente à atribuição das salas de aula a exames.

O procedimento usado pelo responsável para a obtenção da solução pode ser visto no diagrama que se segue (Figura 5).

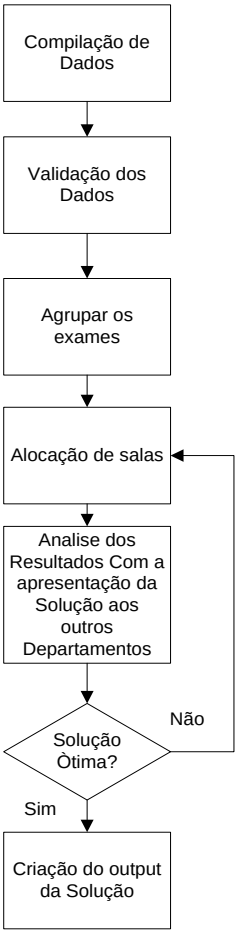



Figura 5 - Fluxograma

Recorrendo ao portal do Instituto Superior de Engenharia do Porto, o responsável pela elaboração dos horários efetua uma recolha dos dados relativos aos vários cursos do departamento, dados esses necessários para a criação do horário de exames. Os dados para realizar a tarefa de atribuição de salas são:

- Lista de unidades curriculares (Ver Figura 6);
- Lista de docentes e regentes das unidades curriculares (Ver Figura 7);
- Número de alunos inscritos nas unidades curriculares;
- Mapa de exames;
- Lista de salas (Ver Tabela 1).

Essa recolha é feita recorrendo à importação manual dos dados do portal.

1º Ano - 1º Semestre

| Disciplinas | Tipo | T | TP | PL | S | E | OT | TC | O | Total | Semanas | Horas Totais | Horas Presenciais | Horas Não Presenciais | Ects | Acções |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gestão Empresarial (GESEM) | R | - | 2\32 | 2\32 | - | - | - | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Gestão de Qualidade, Ambiente e Segurança (GQASE) | R | - | 2\32 | 2\32 | - | - | - | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Planeamento e Análise de Processo (PLANP) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Selecção de Materiais e Processos de Fabrico (SMPFA) | R | 1\16 | 2\32 | - | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| **Escolher uma - Mínimo de 1 disciplinas** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gestão dos Aprovisionamentos (GESAP) | R | 1\16 | 2\32 | - | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Sistemas de Informação Empresarial (SISIE) | R | 1\16 | 2\32 | - | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Técnicas Ambientais na Indústria (TECAI) | R | 1\16 | 2\32 | - | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Utilização Racional de Energia (UTIRE) | R | 1\16 | 2\32 | - | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| | | | | | | | | | | | | | | | **Horas Totais :** | 32 |

1º Ano - 2º Semestre

| Disciplinas | Tipo | T | TP | PL | S | E | OT | TC | O | Total | Semanas | Horas Totais | Horas Presenciais | Horas Não Presenciais | Ects | Acções |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Estatística Experimental e Análise de Dados (ESEAD) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Modelos de Apoio à Decisão (MODAD) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Planeamento e Programação da Produção (PLAPP) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Produção Assistida por Computador (PROAC) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| **Escolher uma - Mínimo de 1 disciplinas** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Automatismos e Controlo Industrial (AUTCI) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Empresas Virtuais (EMPVI) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Fiabilidade e Manutenção (FIAMA) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| Técnicas e Ferramentas da Qualidade (TECFQ) | R | 1\16 | - | 2\32 | - | - | 1\16 | - | - | 4\64 | 16 | 168 | 0 | 0 | 6 | (edições) |
| | | | | | | | | | | | | | | | **Horas Totais :** | 32 |

Figura 6 - Exemplo do plano de curso

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

Página Inicial
Área Pessoal
Actividade Lectiva
Área Informativa
Inscrições
Inscrição em Exames
Administração
Consulta / Listagens
Calendários

**Departamento:**
Engenharia Mecânica

**Ramo**
Mestrado, Diurno, Mestrado

**Edição de Disciplina:**
Gestão de Projectos (GESTP)

**Grupo de disciplinas:**
DEM

**Curso:**
Mestrado em Gestão de Processos e Operações

**Ano/Período/Ano Lectivo:**
2º Ano, 1º Semestre do ano lectivo 2011-2012

**Estado**
Aberta

**Cargos associados:**

| Cargo | Professor |
|---|---|
| Responsável de Disciplina | João Augusto de Sousa Bastos (JAB) |

**Carga horária**

| Tipo de Aula | Carga Horária | Professores | Presenças | Sumários |
|---|---|---|---|---|
| Teórica | 1 | JAB | Ver registo | Ver sumários |
| Teórico-Prática | 2 | JAB | Ver registo | Ver sumários |
| Orientação Tutorial | 2 | JAB | Ver registo | Ver sumários |

Figura 7 - Docentes da Unidade Curricular Gestão de Projetos (GESTP)

No fim da etapa da recolha dos dados necessários, tendo em conta os conflitos e impedimentos por parte dos docentes e identificando quais as melhores datas para a realização dos exames é criado um horário de exames com as unidades curriculares, data e

hora. De seguida, este mapa é submetido no portal tendo uma fase de discussão pública onde é possível efetuar alterações ao calendário.

O passo seguinte deste procedimento é a obtenção duma lista de salas disponíveis para a realização dos exames. Considerando todas as salas disponíveis para fazer a atribuição, importa salientar que existem salas próprias do Departamento de Engenharia Mecânica que não oferecem limitações em termos de disponibilidade e para além destas existe outro conjunto de salas que estão associadas a outros departamentos cuja utilização por parte do departamento de Engenharia Mecânica depende da disponibilidade das mesmas.

A capacidade das salas varia entre os 35 e 60 lugares. A Tabela 1 apresenta um resumo das capacidades das salas de aula disponíveis para possível atribuição a exames (Tabela 1).

Tabela 1 - Salas atribuídas ao calendário do 2º Semestre de 2011/12 em DEM do ISEP

| SALAS | F202 | F203 | F204 | F207 | F208 | F209 | F302 | F303 | F309 | F317 | F502 | F509 | F515 | C218 | C219 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CAPACIDADE | 35 | 35 | 60 | 60 | 50 | 50 | 35 | 35 | 50 | 60 | 35 | 50 | 60 | 30 | 30 |

Depois de concluída a recolha dos dados é elaborada uma folha de cálculo (Figura 8) onde o responsável realiza a atribuição das salas e dos vigilantes para cada exame. Esta folha é constituída por duas partes, o lado esquerdo é composto pela data, hora, unidade curricular, época, número de alunos inscritos no exame e responsável da unidade curricular. No lado direito da folha, para cada intervalo de tempo, o responsável irá atribuir manualmente salas de aula e vigilantes aos exames anteriormente atribuídos a período do tempo para que não seja possível existirem conflitos entre salas e entre vigilâncias, respeitando as restrições do problema.

Depois dum trabalho preliminar da compilação da informação necessária onde se realiza a recolha dos dados e coloca-se toda informação numa folha de cálculo, existe uma etapa de validação dos dados, onde se verifica a integridade dos dados. Na folha de cálculo, os exames são ordenados por menor data.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 35 | | 35 | | 60 | | 60 | | 50 | | 50 | | 3 |
| | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 |
| Data | Hora | U.C. | Curso | Época | Inscritos | Responsável | | F202 | F202 | F203 | F203 | F204 | F204 | F207 | F207 | F208 | F208 | F209 | F209 | F3 |
| 25-Jun | 09:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 76 | JMS | | | | | | JMS | ALG | ASA | ANT | | | | | |
| 25-Jun | 14:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 200 | JDM | | JDM | ATM | MGM | PRF | ADS | AGR | ANT | FGS | ISP | JPR | JSD | LLM | |
| 25-Jun | 18:00 | AUTO2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 160 | AFS | | | | | | AFS | ADS | AHA | RFS | RHR | OCF | | | |
| 26-Jun | 09:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 29 | MHF | | MHF | ALG | | | | | | | | | | | |
| 26-Jun | 14:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 320 | AGC | | AGC | RHR | IPF | LNH | ANT | MMS | LMO | LLM | NFO | PAA | OCF | ORC | |
| 26-Jun | 19:00 | DEGPS | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | N | 28 | SMS | | SMS | AAL | | | | | | | | | | | |
| 26-Jun | 19:00 | DIMES | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | N | 33 | JFJ | | | | JFJ | LMD | | | | | | | | | |
| 26-Jun | 19:00 | DIMES | Mestrado Construções Mecânicas | N | 8 | JFJ | | | | | | | | | | | | | | |
| 26-Jun | 19:00 | ENRE2 | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 34 | ATA | | | | | | ATA | JOM | | | | | | | |
| 26-Jun | 19:00 | EQTEH | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | N | 16 | LSR | | | | | | | | LSR | ISP | | | | | |
| 26-Jun | 19:00 | ESEAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | N | 32 | LNH | | | | | | | | | | LNH | SFR | | | |
| 26-Jun | 19:00 | ESEAD | Mestrado Gestão Processos e Operações | N | 3 | LNH | | | | | | | | | | | | | | |
| 27-Jun | 09:00 | IENG2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 260 | PAA | | | | PAA | NAL | CAS | AFG | PAC | MIC | ADS | AFS | AGC | AGR | |
| 27-Jun | 14:00 | ELTRI | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 66 | GCA | | | | | | | | | | GCA | ANT | ASA | CAS | |
| 27-Jun | 18:00 | SIPRA | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 15 | LSR | | LSR | JJV | | | | | | | | | | | |
| 28-Jun | 14:00 | PRFAB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 22 | MDC | | MDC | MDJ | | | | | | | | | | | |
| 28-Jun | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | N | 9 | AFS | | | | AFS | OCF | | | | | | | | | |
| 28-Jun | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | N | 16 | AFS | | | | | | | | | | | | | | |
| 28-Jun | 19:00 | MECFI | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | N | 8 | PAA | | PAA | FAC | | | | | | | | | | | |
| 28-Jun | 19:00 | MECFI | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 8 | PAA | | | | | | | | | | | | | | |
| 29-Jun | 09:00 | GEOPS | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 17 | AGR | | AGR | JPR | | | | | | | | | | | |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 300 | AGM | | AGM | AGP | ADS | AFS | AGC | LMF | AGS | ANT | ASA | ATM | FAC | CFA | |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 70 | OMP | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 8 - Pormenor da Folha usada para atribuir salas

Os exames são organizados por ordem de chegada no calendário (exame com menor data), o primeiro exame a surgir no calendário é o primeiro a ter sala (s) atribuída (s).

No processo de atribuição de salas a exames, as salas do departamento de Engenharia Mecânica, localizadas no segundo piso do Bloco F do ISEP, são as primeiras a serem atribuídas. As salas são atribuídas aos exames, por período.

O critério de atribuição de salas por parte do responsável é baseado num critério empírico fruto da sua experiência na resolução deste tipo de problemas.

O responsável, mediante a sua experiência e perante o número de alunos inscritos em cada exame, começa a fazer a atribuição de salas de aula pelas salas iniciais do Departamento de Engenharia Mecânica se o número de alunos inscritos no exame for muito grande. Se o exame tiver um número de alunos inscritos baixo e mediante a disponibilidade das salas, a atribuição de salas não começa pelas salas iniciais do departamento. Este aspeto pode ser observado na figura 9.

| Data | Hora | U.C. | Curso | Época | Inscritos | Responsável | F202 | F203 | F204 | F207 | F208 | F209 | F302 | F303 | F309 | F317 | F402 | F403 | F409 | F502 | F509 | F515 | C218 | C219 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30-Jan | 09:00 | CMATE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 68 | MDJ | | | MDJ | LMT | | | | | | | | | | | | | | |
| 03-Fev | 14:00 | EMELE | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 199 | ATA | | | ATA | AQF | IPS | LMD | | | | | | | | | | | | |
| 04-Fev | 09:00 | MECV1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 26 | FJF | | | | FJF | | | | | | | | | | | | | | |
| 04-Fev | 09:00 | ESTES | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas | N | 18 | JFS | | | | | JFS | | | | | | | | | | | | | |
| 04-Fev | 09:00 | ESTES | Mestrado Construções Mecânicas | N | 5 | JFS | | | | | JFS | | | | | | | | | | | | | |
| 04-Fev | 09:30 | LOGIS | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial | N | 26 | MPL | | | MPL | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04-Fev | 09:30 | LOGIS | Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 11 | MPL | | | MPL | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 9 - Pormenor do Calendário de Exame do 1º Semestre 2011/12

Para cada exame, serão atribuídas salas de aula até que a soma das suas capacidades sejam superior ao número de alunos inscritos nesse exame.

Respeitando a restrição "*em cada sala só pode ser realizado um exame por período*", não pode existir a repetição de salas em exames diferentes realizados no mesmo período.

Após a obtenção duma solução para o problema e de forma a conhecer a disponibilidade das salas atribuídas que não pertencem ao departamento de engenharia mecânica, o responsável faz a apresentação da solução do problema aos demais departamentos.

Dependendo da disponibilidade das salas o responsável poderá ter que atribuir novamente salas para alguns exames.

Como se verifica, este processo de atribuição das salas é muito difícil, sendo quase impossível encontrar uma solução ótima à primeira. Há que ter em atenção que este processo é feito duma forma manual. Tal facto evidencia que sendo necessário repetir o processo de atribuição de salas devido à indisponibilidade de algumas salas, o responsável tem uma tarefa bastante difícil e demorada.

Concluído o processo de atribuição de salas são criados ficheiros individuais por curso e por época (normal e recurso) que serão lançados no portal.

O resultado final do mapa de exame, depois de submetido no portal, tem o aspeto representado na Figura 10.

**Mapa de Exames**

Curso: Mestrado Gestão de Processos e Operações

Ciclo: 2.º

Data de afixação: 15-07-2012

Ano Lectivo: 2011/2012

Semestre: Época Especial

| Ano | Segunda-feira 03-Set | Hora | Terça-feira 04-Set | Hora | Quarta-feira 05-Set | Hora | Quinta-feira 06-Set | Hora | Sexta-feira 07-Set | Hora | Sábado 08-Set | Hora |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PROAC F204 | 14:00 | TECAI F204 | 19:00 | GESEM F204 | 19:00 | GQASE F204 | 19:00 | FIAMA F204 | 19:00 | GESAP F204 | 09:00 |
| | | | | | AUTCI F204 | 14:00 | | | | | | |
| 2 | LOGIS F204 | 19:00 | | | | | TEMOP F204 | 14:00 | | | | |
| | 10-Set | | 11-Set | | 12-Set | | 13-Set | | 14-Set | | | |
| 1 | TECFQ F204 | 14:00 | ESEAD F204 | 19:00 | PLANP F204 | 19:00 | PLAPP F204 | 19:00 | SMPFA F204 | 19:00 | | |
| | MODAD F409 | 19:00 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | GESTP F204 | 14:00 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | |

Figura 10 - Exemplo da versão final do calendário de exames.

Para resolver este problema foi criado um modelo matemático que representa o problema atrás referido tendo sido desenvolvida uma aplicação capaz de automatizar o processo. Esta aplicação faz o interface com o utilizador para que seja mais fácil e rápida a obtenção de soluções ótimas para este problema, bem como a capacidade de resolver rapidamente as alterações necessárias resultantes das eventuais reclamações, deixando o docente responsável pela elaboração dos calendários de exames livre para a realização de outras tarefas.

# 4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

No presente capítulo vamos apresentar a formulação do problema de atribuição de salas a exames. A modelação matemática é composta em várias etapas, todas com o mesmo grau de importância: definição das variáveis de decisão, restrições que o problema está sujeito e a função objetivo.

## 4.1. FORMULAÇÃO PROBLEMA

Os dados para a resolução deste problema são fornecidos pelo responsável que realiza o calendário de exames. É fornecido um conjunto de dados que são apresentados a seguir:

- Mapas de exames com indicação do dia e da hora do exame (Ver Figura 4)
- Lista de salas e da capacidade das mesmas disponíveis para serem atribuídas aos exames (Ver Tabela 1);
- Lista de Disciplinas/exames;
- Lista de alunos inscritos por Disciplinas/exames.

A função objetivo é penalizada por coeficientes de localização, $C_i$ de forma a penalizar a utilização das salas de pisos mais elevados, e bem como as salas de outros blocos. A determinação dos coeficientes que vão afetar a função objetivo tem em consideração a lista de salas possíveis de serem atribuídas e sua localização (piso e bloco).

Estes coeficientes serão obtidos em função da localização das salas nos respetivos pisos. Estes minimizam a distância de conjunto de salas pertencentes ao mesmo piso e bloco, isto é, a localização é diferenciada por pisos.
Assim, ao minimizar o número de salas de aulas atribuídas a exames, está-se indiretamente a minimizar a utilização de mão-de-obra, como vigilantes necessários para vigiarem esses exames.

Para fazer a distinção entre os vários pisos foi criada a Tabela 2 que traduz a importância dos pisos, sendo atribuído um peso consoante a sua localização. Os coeficientes têm uma ordem de importância crescente, isto é, os primeiros pisos têm uma importância maior relativamente aos últimos. É de referir que as salas pertencentes ao Departamento de Engenharia Mecânica (segundo piso) são as primeiras a serem atribuídas.

Resumidamente, os coeficientes (Ver Tabela 2) fornecem a informação da proximidade das salas por piso, indicando se as salas são próximas umas das outras ou não (salas com o mesmo índice mostram que eles estão localizados nas proximidades, isto é, no mesmo piso)

Tabela 2 - Penalização da Localização

| Salas | Valor da Penalização |
|---|---|
| Salas do Segundo Piso | 1 |
| Salas do terceiro Piso | 2 |
| Salas do Quarto Piso | 3 |
| Salas do Quinto Piso | 4 |
| Outros Blocos | 5 |
| Y | 1000 |

A localização das salas de aula atribuídas a exames devem ser o mais próximo de possível umas das outras.

## 4.2. O MODELO MATEMÁTICO

Seja $E$ = (1,2, …, $m$) o conjunto de exames, $S$ = (1,2, …,$n$) o conjunto de salas, $NI_j$ o número de inscritos por exame $e_j$ onde $e_j$ é o $j^{enésimo}$ exame do conjunto $E$ com $1 \leq j \leq m$ e $Cs_i$ a capacidade da sala $s_i$ onde $s_i$ é a $i^{enésima}$ sala do conjunto $S$ com $1 \leq i \leq n$.

$C_i$ é o custo associado aos pisos (localização das salas nos pisos)

$Y_i$ é uma sala fictícia.

A sala ($Y_i$) tem uma capacidade superior à capacidade de todas as salas disponíveis que podem ser atribuídas para exames naquele período. Esta é penalizada na função objetivo com um coeficiente *"M"* muito grande para garantir que só é utilizada em último recurso. A utilização da sala $Y_i$ surge quando o modelo não tem solução pelo facto da capacidade das salas não serem suficientes para os alunos inscritos nos exames e tendo em conta a restrição de só poder realizar um exame por sala e dependendo do número de exames por período, pode existir a necessidade da utilização desta sala. A utilização desta sala funciona como um alarme para a deteção de situações atrás referidas. Após a deteção da utilização da sala fictícia, há a necessidade de conseguir mais salas para serem atribuídas à realização dos exames naquele período de tempo.

O problema está sujeito a um conjunto de restrições. As restrições para atribuição de salas a exames são:

(1) Salas: Em cada sala só pode haver um tipo de exame por período;

(2) Capacidade das salas por exame: O somatório das capacidades das salas tem que ser superior ou igual ao nº de alunos inscritos por exame.

Nota: A capacidade das salas de aulas não pode ser ultrapassada durante o exame.

Considere-se que inicialmente todas as salas estão disponíveis em cada período de exames.

As variáveis de decisão são definidas de seguida, onde a variável $X_{ij}$ corresponde à atribuição da sala $i$ ao exame $j$:

$$X_{ij} = \begin{Bmatrix} 1 - Alocar\ sala\ i\ ao\ exame\ j \\ 0 - caso\ contrario \end{Bmatrix}$$

$$Y_i = \begin{Bmatrix} 1 - Alocar\ sala\ Y\ caso\ Cs\ seja\ menor\ que\ NI \\ 0 - caso\ contrario \end{Bmatrix}$$

Onde:

$$i = \{1, \dots, n\}, \forall\, i \in S$$

$$j = \{1, \dots, m\}, \forall j \in E$$

O problema de atribuição de salas pode ser definido pelo seguinte modelo de programação matemática (P):

(P):$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left( C_i \times X_{ij} + Y_i \right)$ (1)

S.a:

$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} \leq 1\,,\ \forall\, 1 \leq i \leq n$ (2)

$\sum_{i=1}^{n} Cs_i \times X_{ij} \geq NI_j\,,\ \forall\, 1 \leq j \leq m$ (3)

$X_{ij,} Y_i \in \{0,1\}\ \ \forall\, i \in S,\ j \in E$ (4)

A função objetivo (1) minimiza o número de salas atribuídas a exames por período inserido num determinado dia.

O conjunto de restrições (2) garante que em cada sala apenas ocorre, no máximo, um exame por período e o conjunto de restrições (3) garante que a capacidade das salas atribuídas por exames é superior ao número de alunos inscritos no exame. As restrições (4) são restrições de integralidade binária, onde as variáveis tomaram apenas valores “0” ou “1”.

# 5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS

No capítulo que se segue serão expostos os procedimentos para a implementação do modelo e são analisados os resultados obtidos da simulação dos problemas teste no programa desenvolvido para implementar o modelo proposto.

## 5.1. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Na realização deste trabalho foram fundamentais os conhecimentos fornecidos pelo docente responsável pela criação dos calendários de exames. A compreensão do problema bem como a forma atual da realização desta tarefa foram essenciais para poder implementar o modelo desenvolvido para a resolução do problema de atribuição de salas a exames.

A implementação do modelo proposto passa por uma criação dum programa para automatizar o problema. Este problema foi programado em Visual Basic e funciona como uma interface para que o utilizador possa usar um modelo de programação linear inteira para obter uma solução ótima.

Dado o elevado número de variáveis envolvidas neste problema foi necessário adotar a utilização do software OPENSOLVER dado que o comando Solver do Excel não tinha capacidade computacional para calcular a solução ótima do problema.

O fluxograma que se segue faz uma representação do funcionamento da implementação do modelo desenvolvido neste trabalho (Ver Figura 11).

Para tal, foi criado um conjunto de folhas de cálculo em Excel que permitem organizar o problema (Folha *"UC", "Mapa", "Salas", "Dados", "Solver"* e *"Solução"*).

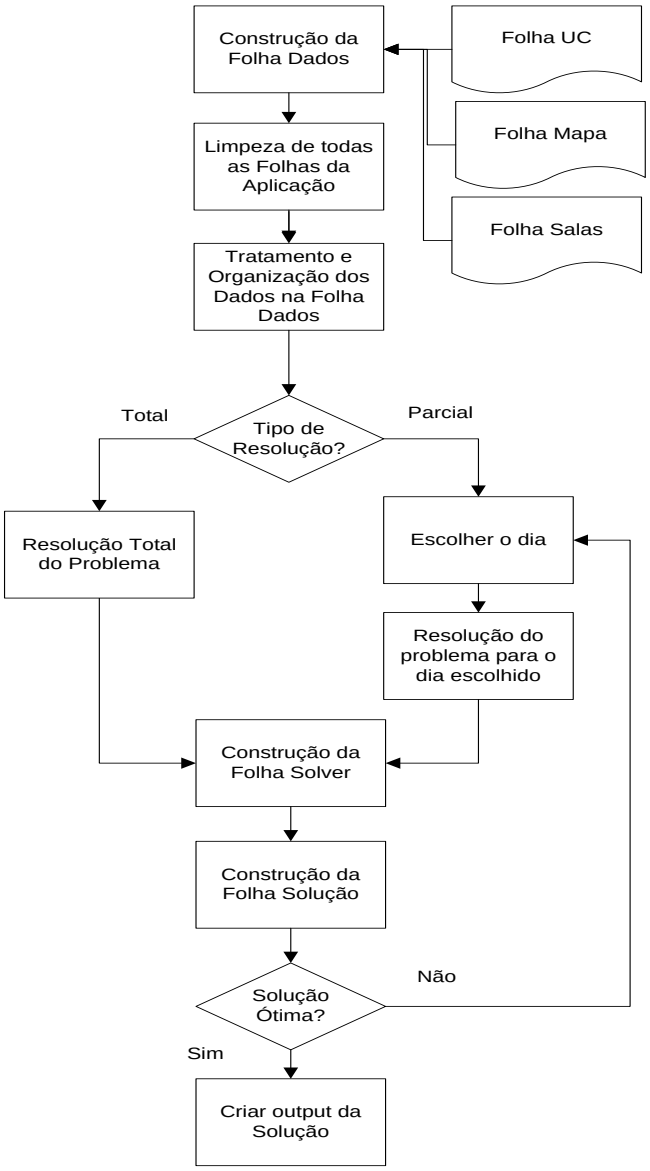



Figura 11 - Fluxograma da implementação do modelo

O tratamento e recolha dos dados necessários à resolução do problema são fornecidos pelo responsável da criação de horários.

Depois de analisar todos os conflitos e impedimentos por parte dos docentes e identificar quais as melhores datas para a realização dos exames, o responsável cria um horário de exames com as unidades curriculares, data e hora. De seguida, este mapa é submetido no portal tendo uma fase de discussão pública onde é possível efetuar alterações ao calendário. O calendário de exames, fornecido pelo responsável e depois de aprovado, é composto por exame, o dia, a hora e época de exame (Ver Figura 12)

| Data | Hora | U.C. | Curso | Época |
|---|---|---|---|---|
| 25-Jun | 09:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 25-Jun | 14:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 25-Jun | 18:00 | AUTO2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 26-Jun | 09:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 26-Jun | 14:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 26-Jun | 19:00 | DEGPS | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | N |
| 26-Jun | 19:00 | DIMES | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | N |
| 26-Jun | 19:00 | DIMES | Mestrado Construções Mecânicas | N |
| 26-Jun | 19:00 | ENRE2 | Mestrado Energias Sustentáveis | N |
| 26-Jun | 19:00 | EQTEH | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | N |
| 26-Jun | 19:00 | ESEAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | N |
| 26-Jun | 19:00 | ESEAD | Mestrado Gestão Processos e Operações | N |
| 27-Jun | 09:00 | IENG2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 27-Jun | 14:00 | ELTRI | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 27-Jun | 18:00 | SIPRA | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 28-Jun | 14:00 | PRFAB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 28-Jun | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | N |
| 28-Jun | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | N |
| 28-Jun | 19:00 | MECFI | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | N |
| 28-Jun | 19:00 | MECFI | Mestrado Energias Sustentáveis | N |
| 29-Jun | 09:00 | GEOPS | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 29-Jun | 18:00 | MTERM | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 30-Jun | 08:30 | ELTRO | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 30-Jun | 08:30 | MECV2 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 30-Jun | 11:00 | OSENE | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | N |
| 30-Jun | 11:00 | PROLI | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | N |
| 30-Jun | 11:00 | PROLI | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | N |
| 30-Jun | 11:00 | PROLI | Mestrado Construções Mecânicas | N |
| 30-Jun | 11:00 | SCENE | Mestrado Energias Sustentáveis | N |
| 02-Jul | 14:00 | FISIC | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 02-Jul | 18:00 | MFLUX | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 03-Jul | 14:00 | MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 03-Jul | 14:00 | MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |
| 03-Jul | 19:00 | FIAMA | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | N |
| 03-Jul | 19:00 | MODAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | N |
| 03-Jul | 19:00 | MODAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | N |
| 03-Jul | 19:00 | MODAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | N |
| 03-Jul | 19:00 | MODAD | Mestrado Gestão Processos e Operações | N |
| 03-Jul | 19:00 | PRODE | Mestrado Energias Sustentáveis | N |
| 04-Jul | 08:30 | DESET | Licenciatura Engenharia Mecânica | N |
| 04-Jul | 08:30 | DESET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N |

Figura 12 - Pormenor do mapa de exames do 2º Semestre 20011/12 do DEM

É de mencionar que as folhas *"UC", "Mapa"* e *"Salas*" são fornecidas pelo responsável pela criação dos horários de exames e têm o aspeto das imagens seguintes. Estas folhas resultam da compilação e tratamento de todos os dados necessários para a resolução deste problema.

| Unidade Curricular | Curso | Regente | Inscritos Normal | Inscritos Recurso | Grupo | Docente | Docente | Docente | Docente | Docente | Docente | Docente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DESET | Licenciatura Engenharia Mecânica | AGS | 330 | 160 | CM | AGS | ALT | LMT | JPP | FCB | JFS | ALS |
| FISIC | Licenciatura Engenharia Mecânica | APA | 470 | 250 | DEFI | APA | FLC | SEC | LMO | JLL | AFL | |
| IENG2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | PAA | 260 | 130 | FC+CM | PAA | NAL | CAS | AFG | PAC | MIC | |
| MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | JDM | 376 | 180 | DEMA | JDM | ATM | MGM | PRF | | | |
| MECA1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | JSD | 450 | 220 | CM | JSD | HDA | FAC | RFS | EAM | | |
| MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica | AGM | 350 | 170 | MT | AGM | AGP | OMP | | | | |
| ANPR2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | JFS | | 5 | CM | JFS | MDC | | | | | |
| ELTRO | Licenciatura Engenharia Mecânica | ASA | 220 | 100 | DEE | ASA | NFO | RAR | | | | |
| ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | AGC | 320 | 150 | DEMA | AGC | RHR | IPF | LNH | | | |
| MEFLU | Licenciatura Engenharia Mecânica | FAC | 450 | 220 | FC | FAC | ASR | MIC | ORC | PAA | RMP | CMI |
| MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | AJC | 420 | 200 | CM | AJC | MMA | RDS | JSB | LAM | | |
| PFAB1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | FGS | 280 | 140 | MT | FGS | MDJ | MJP | | | | |
| AUTO2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | AFS | 160 | 80 | CM | AFS | ADS | AHA | | | | |
| MFLUX | Licenciatura Engenharia Mecânica | LOC | 200 | 100 | FC | LOC | CFA | | | | | |
| MTERM | Licenciatura Engenharia Mecânica | LSR | 180 | 90 | FC | LSR | VMM | | | | | |
| ORGI2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | MIL | 180 | 90 | GI | MIL | ANT | | | | | |
| PROJ2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | ISP | | 5 | FC+CM | ISP | LLM | | | | | |
| DESET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | AGS | 70 | 35 | CM | AGS | RFR | OCF | | | | |
| ELTRI | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | GCA | 66 | 30 | DEE | GCA | | | | | | |
| LABAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | DAB | 0 | 5 | CM | DAB | APM | | | | | |
| MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | JMS | 76 | 35 | DEMA | JMS | ALG | | | | | |
| MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | OMP | 70 | 35 | MT | OMP | | | | | | |
| MECA1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | JSD | 87 | 40 | CM | JSD | JFJ | MDC | RFS | EAM | | |
| ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | MHF | 29 | 15 | DEMA | MHF | | | | | | |
| MECV2 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | FJF | 32 | 16 | CM | FJF | | | | | | |
| MEFLU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | FAC | 24 | 12 | FC | FAC | ORC | | | | | |
| MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | AJC | 30 | 15 | CM | AJC | LAM | | | | | |
| MECAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | JJV | 0 | 5 | CM | JJV | HMC | | | | | |
| PRFAB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | MDC | 22 | 11 | MT | MDC | | | | | | |
| GEOPS | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | AGR | 17 | 8 | GI | AGR | JPR | | | | | |
| NLSAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | DAB | 15 | 7 | CM | DAB | | | | | | |
| PROJE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | FJF | | 5 | CM | FJF | | | | | | |

Figura 13 - Folha "UC" do 2º semestre de 2011/2012

A folha *"UC"* (Ver Figura 13) reporta todas as unidades curriculares do semestre para o departamento de engenharia mecânica, número de alunos inscritos por exames, regentes e docentes das mesmas unidades curriculares. Estas unidades curriculares estão agrupadas por cursos. Esta folha faz a distinção entre a época normal e a época de recurso pertencentes a um calendário de exames. Existem unidades curriculares, onde a avaliação é realizada através de projetos, isto é, estas unidades curriculares só têm exames na época de recurso.

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | salas | Capacidade | bloco | Coeficientes |
| 2 | MMM | 1000 | F2 | 1 |
| 3 | F202 | 35 | F3 | 2 |
| 4 | F203 | 35 | F4 | 3 |
| 5 | F204 | 60 | F5 | 4 |
| 6 | F207 | 60 | C | 5 |
| 7 | F208 | 50 | B | 5 |
| 8 | F209 | 50 | M | 1000 |
| 9 | F302 | 35 | | |
| 10 | F303 | 35 | | |
| 11 | F309 | 50 | | |
| 12 | F317 | 60 | | |
| 13 | F502 | 35 | | |
| 14 | F509 | 50 | | |
| 15 | F515 | 60 | | |
| 16 | C218 | 30 | | |
| 17 | C219 | 30 | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |
| 21 | | | | |

UC | Mapa | Salas | Dados | Solver | Solução

Pronto

Figura 14 - Lista de salas, capacidades e coeficientes por piso

Na folha *"Salas"* (Ver Figura 14) é apresentado o conjunto de informação referente às salas propostas ao processo de atribuição, as suas capacidades e a sua localização por bloco. Na mesma folha, também são apresentados os coeficientes de penalização aplicados às salas de cada bloco.

Para realizar a validação da informação, são analisados os dados de forma a verificar a existência de uma correspondência entre os dados da folha *"Mapa"* (Ver Figura 15) com os dados descritos na folha *"UC"* (Ver Figura 13) que contem a informação relativa a todas as unidades curriculares propostas a exame.

A organização dos exames na folha de cálculo é realizada para que estes estejam ordenados por menor data, isto é, o primeiro exame a surgir no calendário é o primeiro a ter sala (s) atribuída (s).

Ao analisar o calendário de exames reparou-se no facto de existirem disciplinas pertencentes ao tronco comum das diversas licenciaturas e mestrados do departamento. Perante tal facto e depois de analisar os exames realizou-se um agrupamento de alguns exames que são considerados os mesmos apesar destes serem de cursos diferentes.

Para efetuar este agrupamento são realizadas 3 comparações a partir da folha *"Mapa"* (Ver Figura 15) que reúne toda a informação referente aos exames contendo a data, hora, época, número de alunos inscritos e o regente de cada exame.

As comparações foram feitas pela seguinte ordem:

- Mesmo exame;
- Mesmo período;
- Mesmo regente.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Data | Hora | U.C. | Curso | Época | Inscritos | Regente |
| 2 | 25-06-2012 | 09:00 | MATE1 | LEMA | N | 76 | JMS |
| 3 | 25-06-2012 | 14:00 | MATE1 | LEM | N | 200 | JDM |
| 4 | 25-06-2012 | 18:00 | AUTO2 | LEM | N | 160 | AFS |
| 5 | 26-06-2012 | 09:00 | ESTAT | LEMA | N | 29 | MHF |
| 6 | 26-06-2012 | 14:00 | ESTAT | LEM | N | 320 | AGC |
| 7 | 26-06-2012 | 19:00 | DEGPS | MEM-MT | N | 28 | SMS |
| 8 | 26-06-2012 | 19:00 | DIMES | MEM-CM | N | 33 | JFJ |
| 9 | 26-06-2012 | 19:00 | DIMES | MCM | N | 8 | JFJ |
| 10 | 26-06-2012 | 19:00 | ENRE2 | MES | N | 34 | ATA |
| 11 | 26-06-2012 | 19:00 | EQTEH | MEM-EN | N | 16 | LSR |
| 12 | 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD | MEM-GI | N | 32 | LNH |
| 13 | 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD | MGPO | N | 3 | LNH |
| 14 | 27-06-2012 | 09:00 | IENG2 | LEM | N | 260 | PAA |
| 15 | 27-06-2012 | 14:00 | ELTRI | LEMA | N | 66 | GCA |
| 16 | 27-06-2012 | 18:00 | SIPRA | LEMA | N | 15 | LSR |
| 17 | 28-06-2012 | 14:00 | PRFAB | LEMA | N | 22 | MDC |
| 18 | 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI | MEM-GI | N | 9 | AFS |
| 19 | 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI | MEM-MT | N | 16 | AFS |
| 20 | 28-06-2012 | 19:00 | MECFI | MEM-EN | N | 8 | PAA |
| 21 | 28-06-2012 | 19:00 | MECFI | MES | N | 8 | PAA |
| 22 | 29-06-2012 | 09:00 | GEOPS | LEMA | N | 17 | AGR |
| 23 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET | LEM | N | 300 | AGM |
| 24 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET | LEMA | N | 70 | OMP |
| 25 | 29-06-2012 | 18:00 | MTERM | LEM | N | 180 | LSR |
| 26 | 30-06-2012 | 08:30 | ELTRO | LEM | N | 220 | ASA |
| 27 | 30-06-2012 | 08:30 | MECV2 | LEMA | N | 32 | FJF |
| 28 | 30-06-2012 | 11:00 | OSENE | MEM-EN | N | 14 | ORC |

UC | Mapa | Salas | Dados | Solver | Solução

Pronto

Figura 15 - Pormenor da Folha *"Mapa"*

Nestas circunstâncias, os exames são considerados os mesmos e são agrupados num só, contabilizando a soma do número de alunos inscritos dos exames agrupados. O procedimento do agrupamento de exames é exemplificado na Figura 16.

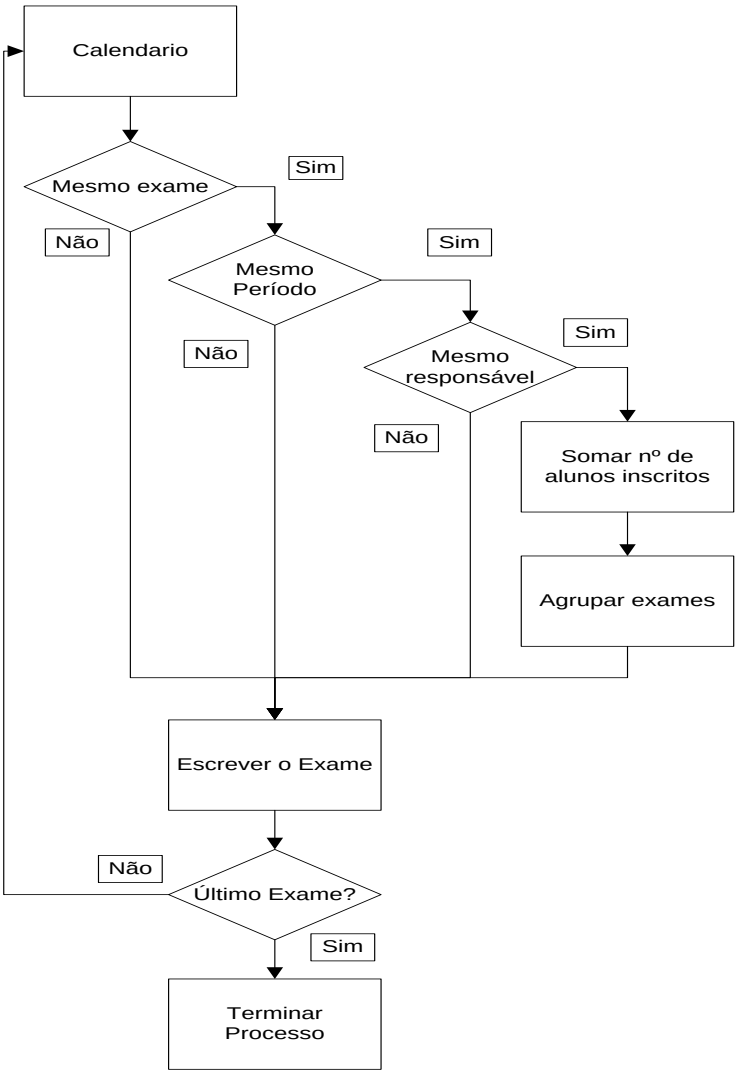
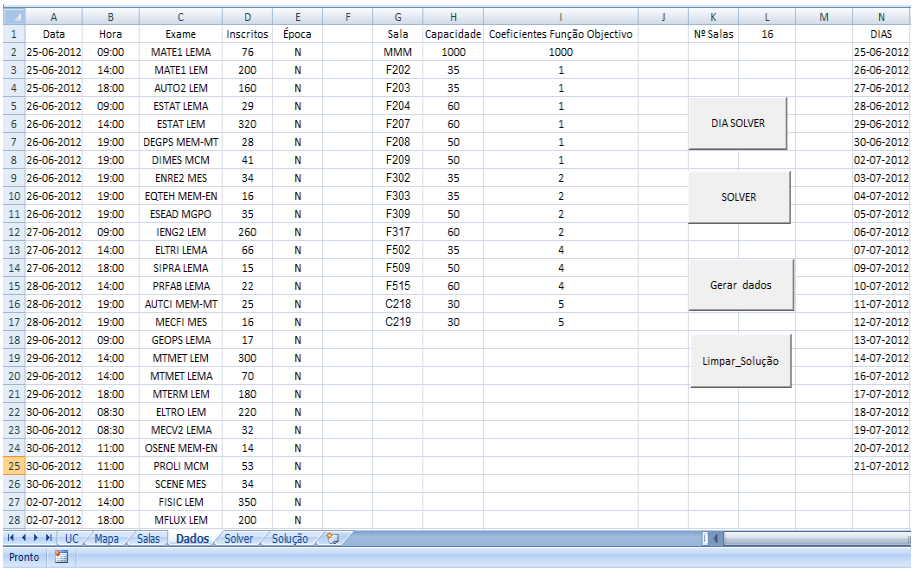



Figura 16 - Fluxograma do processo de comparação

Esse tratamento (agrupamento de exames) pode ser verificado na folha *"Dados"* (colunas A, B, C, D e E). Este é efetuado quando se aplica a rotina *"Gerar dados"* (tratamento e organização dos dados) que pode ser observado na Figura 17. Na mesma rotina, também é realizado a atribuição dos coeficientes de penalização às salas de aula (coluna I) que serão usados na função objetivo quando for aplicada a rotina *"Solver"* ou a rotina *"Dia_Solver"* para a resolução do problema.



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Data | Hora | Exame | Inscritos | Época | | Sala | Capacidade | Coeficientes Função Objectivo | | Nº Salas | 16 | | DIAS |
| 2 | 25-06-2012 | 09:00 | MATE1 LEMA | 76 | N | | MMM | 1000 | 1000 | | | | | 25-06-2012 |
| 3 | 25-06-2012 | 14:00 | MATE1 LEM | 200 | N | | F202 | 35 | 1 | | | | | 26-06-2012 |
| 4 | 25-06-2012 | 18:00 | AUTO2 LEM | 160 | N | | F203 | 35 | 1 | | | | | 27-06-2012 |
| 5 | 26-06-2012 | 09:00 | ESTAT LEMA | 29 | N | | F204 | 60 | 1 | | | | | 28-06-2012 |
| 6 | 26-06-2012 | 14:00 | ESTAT LEM | 320 | N | | F207 | 60 | 1 | | DIA SOLVER | | | 29-06-2012 |
| 7 | 26-06-2012 | 19:00 | DEGPS MEM-MT | 28 | N | | F208 | 50 | 1 | | | | | 30-06-2012 |
| 8 | 26-06-2012 | 19:00 | DIMES MCM | 41 | N | | F209 | 50 | 1 | | | | | 02-07-2012 |
| 9 | 26-06-2012 | 19:00 | ENRE2 MES | 34 | N | | F302 | 35 | 2 | | | | | 03-07-2012 |
| 10 | 26-06-2012 | 19:00 | EQTEH MEM-EN | 16 | N | | F303 | 35 | 2 | | SOLVER | | | 04-07-2012 |
| 11 | 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD MGPO | 35 | N | | F309 | 50 | 2 | | | | | 05-07-2012 |
| 12 | 27-06-2012 | 09:00 | IENG2 LEM | 260 | N | | F317 | 60 | 2 | | | | | 06-07-2012 |
| 13 | 27-06-2012 | 14:00 | ELTRI LEMA | 66 | N | | F502 | 35 | 4 | | | | | 07-07-2012 |
| 14 | 27-06-2012 | 18:00 | SIPRA LEMA | 15 | N | | F509 | 50 | 4 | | | | | 09-07-2012 |
| 15 | 28-06-2012 | 14:00 | PRFAB LEMA | 22 | N | | F515 | 60 | 4 | | Gerar dados | | | 10-07-2012 |
| 16 | 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI MEM-MT | 25 | N | | C218 | 30 | 5 | | | | | 11-07-2012 |
| 17 | 28-06-2012 | 19:00 | MECFI MES | 16 | N | | C219 | 30 | 5 | | | | | 12-07-2012 |
| 18 | 29-06-2012 | 09:00 | GEOPS LEMA | 17 | N | | | | | | | | | 13-07-2012 |
| 19 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEM | 300 | N | | | | | | Limpar_Solução | | | 14-07-2012 |
| 20 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEMA | 70 | N | | | | | | | | | 16-07-2012 |
| 21 | 29-06-2012 | 18:00 | MTERM LEM | 180 | N | | | | | | | | | 17-07-2012 |
| 22 | 30-06-2012 | 08:30 | ELTRO LEM | 220 | N | | | | | | | | | 18-07-2012 |
| 23 | 30-06-2012 | 08:30 | MECV2 LEMA | 32 | N | | | | | | | | | 19-07-2012 |
| 24 | 30-06-2012 | 11:00 | OSENE MEM-EN | 14 | N | | | | | | | | | 20-07-2012 |
| 25 | 30-06-2012 | 11:00 | PROLI MCM | 53 | N | | | | | | | | | 21-07-2012 |
| 26 | 30-06-2012 | 11:00 | SCENE MES | 34 | N | | | | | | | | | |
| 27 | 02-07-2012 | 14:00 | FISIC LEM | 350 | N | | | | | | | | | |
| 28 | 02-07-2012 | 18:00 | MFLUX LEM | 200 | N | | | | | | | | | |

UC / Mapa / Salas / Dados / Solver / Solução

Pronto

Figura 17 - Folha *"Dados"*

Nesta folha, localiza-se todos os comandos do interface do programa com o utilizador:

- Rotina *"limpar Solução";*
- Rotina *"Gerar dados";*
- Rotina *"Solver";*
- Rotina *"Dia Solver"*.

A rotina "*limpar_Solução"* faz a limpeza das folhas *"Dados"*, *"Solver"* e *"Solução"*.

Depois de aplicar a rotina "*Limpa_Solução*", é necessário aplicar a rotina "*Gerar_Dados*". Esta rotina apresenta, na folha "*Dados*", todo o tratamento de junção de exames, as salas e as capacidades (Ver Figura 17). Faz parte das tarefas atribuídas a esta rotina, realizar a correspondência entre as salas e as suas localizações por piso, atribuindo os respetivos coeficientes. Esta rotina utiliza os dados disponíveis na folha *"Salas"* para efetuar a tarefa de atribuição dos coeficientes às salas que serão utilizados na função objetivo. Estes coeficientes representam a preferência por ordem crescente da localização das salas nos pisos, isto é, as salas com um menor coeficiente terão primazia sobre salas com coeficientes maiores. Esta rotina também cria os cabeçalhos nas Folhas de cálculo.

As rotinas *"Solver"* e *"Dia_solver"* resolvem o modelo matemático. A rotina *"Solver"* resolve o problema de atribuição das salas para a totalidade do mapa de exames. Esta rotina chama a função *"OpenSolver"* para resolver o problema de atribuição de salas a

exames por período do dia (Ver Figura 18) durante todos os períodos que constituem o mapa de exames.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,10 | 1,11 | 1,12 | 1,13 | 1,14 | 1,15 | 1,16 | | | |
| 2 | Sala | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 3 | Sala | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 4 | Sala | 3 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 5 | Sala | 4 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | <= | 1 |
| 6 | Sala | 5 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 7 | Sala | 6 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | <= | 1 |
| 8 | Sala | 7 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | <= | 1 |
| 9 | Sala | 8 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 10 | Sala | 9 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 11 | Sala | 10 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 12 | Sala | 11 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 0 | <= | 1 |
| 13 | Sala | 12 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 0 | <= | 1 |
| 14 | Sala | 13 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0 | <= | 1 |
| 15 | Sala | 14 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 0 | <= | 1 |
| 16 | Sala | 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 0 | <= | 1 |
| 17 | Sala | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0 | <= | 1 |
| 18 | Capexame | 1 | 1000 | 35 | 35 | 60 | 60 | 50 | 50 | 35 | 35 | 50 | 60 | 35 | 50 | 60 | 30 | 30 | 160 | >= | 160 |
| 19 | Função Objectivo | | 1000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | | |
| 20 | Solução | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

UC | Mapa | Salas | Dados | Solver | Solução

Pronto

Figura 18 - Folha *"Solver"* para o exame *"AUTO2"* no período das 18 horas

A rotina *"Dia_Solver"* aparece da necessidade de resolver o problema de atribuição de salas por dia (juntando todos os exames dos diferentes períodos existentes nesse dia). Este facto deve à possibilidade das salas atribuídas para exames naquele dia estarem ocupadas. O conjunto de salas, localizadas no segundo piso do Bloco F do ISEP, pertencentes ao Departamento de Engenharia Mecânica estão sempre disponíveis para a realização dos exames enquanto o outro conjunto de salas apenas estão disponíveis mediante negociações com os outros departamentos. Depois de gerar uma solução, esta deve ser apresentada aos outros departamentos para conhecer a disponibilidade das suas salas para realizar os exames marcadas para aquelas datas. Se existir uma indisponibilidade de uma ou mais salas pertencentes aos outros departamentos é necessário refazer a solução para esse/(s) dia(s), empregando a rotina *"Dia_Solver"*.

O modo de utilização desta rotina funciona da seguinte forma:

1. Colocar um coeficiente muito grande nas salas que estão indisponíveis na folha *"Dados";*
2. Escolher o dia na coluna *"N"* na folha *"Dados"* (Ver Figura 19) onde irá aparecer uma mensagem com o dia escolhido. Esta mensagem funciona como um controlo para o utilizado verificar a escolha o dia;

3. Clicar no botão *"Dia_Solver";*

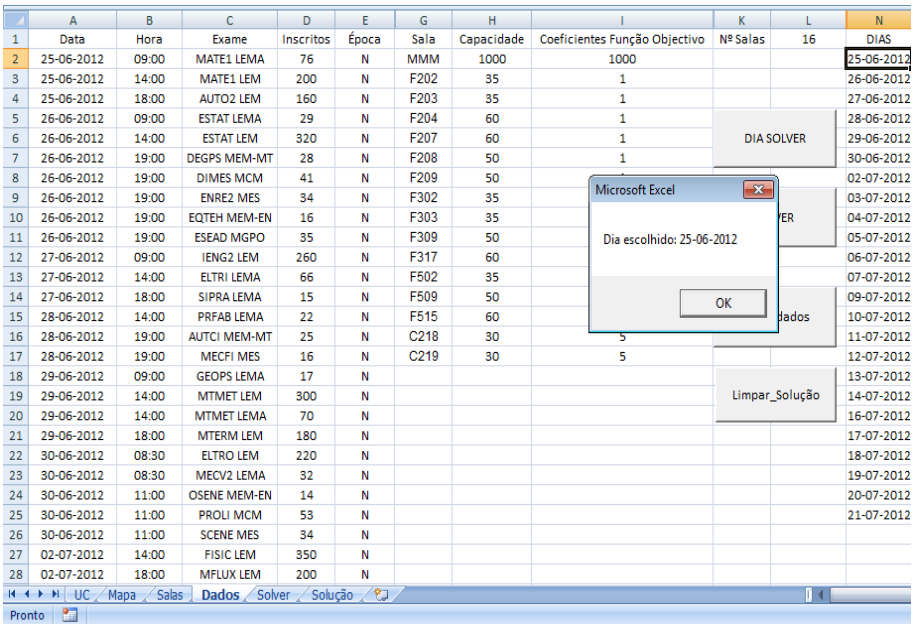



Figura 19 - Msgbox do dia escolhido (25-06-2012)

4. O programa resolve o problema para os vários exames nos vários períodos do dia escolhido;

A Solução por dia é uma rotina que foi criada para solucionar o problema de atribuir salas por dia porque existe a hipótese das salas pertencentes aos departamentos estarem ocupadas nesse dia. Para tal é possível fazer modificações na folha *"Dados"*, alterando os coeficientes de localização. Recorrendo à rotina *"Dia_Solver"* (Figura 17) resolve-se o problema da atribuição com os novos coeficientes de localização para um determinado dia.

Esta rotina agrupa os vários períodos de exames existentes num determinado dia de forma a resolver o problema da atribuição de salas no dia escolhido pelo utilizador (Figura 18).

5. Ver solução do dia pretendido na folha "Solução" (Figura 20 e Figura 21)
6. A solução é transportada da folha "Solver" (Figura 18) para a folha "Solução" (Figura 21)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Data | Hora | Exame | Salas | Nº Salas | | | | |
| 2 | 25-06-2012 | 09:00 | MATE1 LEMA | F204,F207 | 2 | | | Output Nº de salas | |
| 3 | 25-06-2012 | 14:00 | MATE1 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 | | | | |
| 4 | 25-06-2012 | 18:00 | AUTO2 LEM | F204,F208,F209 | 3 | | | | |
| 5 | 26-06-2012 | 09:00 | ESTAT LEMA | | | | | Output Salas | |
| 6 | 26-06-2012 | 14:00 | ESTAT LEM | | | | | | |
| 7 | 26-06-2012 | 19:00 | DEGPS MEM-MT | | | | | | |
| 8 | 26-06-2012 | 19:00 | DIMES MCM | | | | | | |
| 9 | 26-06-2012 | 19:00 | ENRE2 MES | | | | | | |
| 10 | 26-06-2012 | 19:00 | EQTEH MEM-EN | | | | | | |
| 11 | 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD MGPO | | | | | | |
| 12 | 27-06-2012 | 09:00 | IENG2 LEM | | | | | | |
| 13 | 27-06-2012 | 14:00 | ELTRI LEMA | | | | | | |
| 14 | 27-06-2012 | 18:00 | SIPRA LEMA | | | | | | |
| 15 | 28-06-2012 | 14:00 | PRFAB LEMA | | | | | | |
| 16 | 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI MEM-MT | | | | | | |
| 17 | 28-06-2012 | 19:00 | MECFI MES | | | | | | |
| 18 | 29-06-2012 | 09:00 | GEOPS LEMA | | | | | | |
| 19 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEM | | | | | | |
| 20 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEMA | | | | | | |
| 21 | 29-06-2012 | 18:00 | MTERM LEM | | | | | | |
| 22 | 30-06-2012 | 08:30 | ELTRO LEM | | | | | | |
| 23 | 30-06-2012 | 08:30 | MECV2 LEMA | | | | | | |
| 24 | 30-06-2012 | 11:00 | OSENE MEM-EN | | | | | | |
| 25 | 30-06-2012 | 11:00 | PROLI MCM | | | | | | |

UC / Mapa / Salas / Dados / Solver / Solução

Pronto

Figura 20 - Folha *"Solução"* para o dia 25 de Junho

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Data | Hora | Exame | Salas | Nº Salas | | | | |
| 2 | 25-06-2012 | 09:00 | MATE1 LEMA | F204,F207 | 2 | | | Output Nº de salas | |
| 3 | 25-06-2012 | 14:00 | MATE1 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 | | | | |
| 4 | 25-06-2012 | 18:00 | AUTO2 LEM | F204,F208,F209 | 3 | | | | |
| 5 | 26-06-2012 | 09:00 | ESTAT LEMA | | | | | Output Salas | |
| 6 | 26-06-2012 | 14:00 | ESTAT LEM | | | | | | |
| 7 | 26-06-2012 | 19:00 | DEGPS MEM-MT | | | | | | |
| 8 | 26-06-2012 | 19:00 | DIMES MCM | | | | | | |
| 9 | 26-06-2012 | 19:00 | ENRE2 MES | | | | | | |
| 10 | 26-06-2012 | 19:00 | EQTEH MEM-EN | | | | | | |
| 11 | 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD MGPO | | | | | | |
| 12 | 27-06-2012 | 09:00 | IENG2 LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | | | | |
| 13 | 27-06-2012 | 14:00 | ELTRI LEMA | F204,F207 | 2 | | | | |
| 14 | 27-06-2012 | 18:00 | SIPRA LEMA | F202 | 1 | | | | |
| 15 | 28-06-2012 | 14:00 | PRFAB LEMA | | | | | | |
| 16 | 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI MEM-MT | | | | | | |
| 17 | 28-06-2012 | 19:00 | MECFI MES | | | | | | |
| 18 | 29-06-2012 | 09:00 | GEOPS LEMA | | | | | | |
| 19 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEM | | | | | | |
| 20 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEMA | | | | | | |
| 21 | 29-06-2012 | 18:00 | MTERM LEM | | | | | | |
| 22 | 30-06-2012 | 08:30 | ELTRO LEM | | | | | | |
| 23 | 30-06-2012 | 08:30 | MECV2 LEMA | | | | | | |
| 24 | 30-06-2012 | 11:00 | OSENE MEM-EN | | | | | | |
| 25 | 30-06-2012 | 11:00 | PROLI MCM | | | | | | |

UC / Mapa / Salas / Dados / Solver / Solução

Pronto

Figura 21 - Folha "Solução" para o dia 25 e 27 de Junho

Na Figura 21 é observada a solução do problema para dois dias específicos (25 e 27 de Junho), simulados separadamente. Estas duas simulações foram realizadas para exemplificar o funcionamento da rotina *"Dia_Solver"*. Nestas duas simulações não foram alterados os coeficientes de localização, onde a solução obtida (folha *"Solução"*) recorrendo à rotina *"Dia_Solver"* é igual ao resultado obtido através da rotina *"Solver"*.

Quando a resolução do problema passa por uma resolução total, a solução é apresentada na folha *"Solução"* contendo a designação das salas e o número de salas por exame como pode ser observado na Figura 22.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Data | Hora | Exame | Salas | Nº Salas | | | | |
| 2 | 25-06-2012 | 09:00 | MATE1 LEMA | F204,F207 | 2 | | | Output Nº de salas | |
| 3 | 25-06-2012 | 14:00 | MATE1 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 | | | | |
| 4 | 25-06-2012 | 18:00 | AUTO2 LEM | F204,F208,F209 | 3 | | | | |
| 5 | 26-06-2012 | 09:00 | ESTAT LEMA | F202 | 1 | | | Output Salas | |
| 6 | 26-06-2012 | 14:00 | ESTAT LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 | | | | |
| 7 | 26-06-2012 | 19:00 | DEGPS MEM-MT | F202 | 1 | | | | |
| 8 | 26-06-2012 | 19:00 | DIMES MCM | F208 | 1 | | | | |
| 9 | 26-06-2012 | 19:00 | ENRE2 MES | F207 | 1 | | | | |
| 10 | 26-06-2012 | 19:00 | EQTEH MEM-EN | F204 | 1 | | | | |
| 11 | 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD MGPO | F209 | 1 | | | | |
| 12 | 27-06-2012 | 09:00 | IENG2 LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | | | | |
| 13 | 27-06-2012 | 14:00 | ELTRI LEMA | F204,F207 | 2 | | | | |
| 14 | 27-06-2012 | 18:00 | SIPRA LEMA | F202 | 1 | | | | |
| 15 | 28-06-2012 | 14:00 | PRFAB LEMA | F202 | 1 | | | | |
| 16 | 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI MEM-MT | F202 | 1 | | | | |
| 17 | 28-06-2012 | 19:00 | MECFI MES | F207 | 1 | | | | |
| 18 | 29-06-2012 | 09:00 | GEOPS LEMA | F202 | 1 | | | | |
| 19 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEM | F202,F203,F204,F207,F209,F317 | 6 | | | | |
| 20 | 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEMA | F208,F309 | 2 | | | | |
| 21 | 29-06-2012 | 18:00 | MTERM LEM | F202,F204,F207,F208 | 4 | | | | |
| 22 | 30-06-2012 | 08:30 | ELTRO LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 | | | | |
| 23 | 30-06-2012 | 08:30 | MECV2 LEMA | F203 | 1 | | | | |
| 24 | 30-06-2012 | 11:00 | OSENE MEM-EN | F202 | 1 | | | | |
| 25 | 30-06-2012 | 11:00 | PROLI MCM | F207 | 1 | | | | |

UC | Mapa | Salas | Dados | Solver | Solução

Figura 22 - Folha *"Solução"*

O passo seguinte deste procedimento passa pela necessidade de apresentar a solução obtida aos outros departamentos porque é necessário conhecer a disponibilidade das salas atribuídas pertencentes a estes departamentos.

Qualquer alteração ao plano de exames é de fácil resolução. Caso as salas atribuídas num determinado dia estejam ocupadas, recorrendo ao programa, basta simular a atribuição das salas para um determinado dia, bastando penalizar as salas ocupadas com um coeficiente muito grande na folha de *"Dados"* (Figura 17).

A dificuldade de utilização e o tempo de processamento do programa são baixos, caso exista a necessidade de fazer novas atribuições de salas devido à ocupação das salas pertencentes aos outros departamentos nos dias desses exames, a simulação do problema pode ser efetuada durante a apresentação da solução aos outros departamentos.

A interface do programa com o utilizador é muito simples o que facilita o seu manuseamento.

Caso seja necessário realizar alterações, estas alterações podem ser efetuadas de forma a modificar os dados nas folhas *"UC"* e *"Salas"*. Só é possível alterar ou acrescentar

parâmetros como os coeficientes de localização, salas, capacidades das salas, o número de alunos inscritos em cada unidade curricular.

Este trabalho encontra uma solução ótima para o problema da atribuição de salas de aula a exames, onde apenas se pretende ter apenas um exame por sala de aula. Ao analisar a folha *"Solução"* (Figura 22), pode existir a possibilidade de encontrar atribuída a sala fictícia a um exame. O modelo realiza a atribuição da sala fictícia ao exame com maior número de alunos inscritos. Esta sala, ao ser atribuída, representa um sinal para o responsável de criação de horários de exames, que é necessário encontrar mais salas de aula para serem atribuídas aos exames naquele período de tempo.

Da tarefa difícil e demorada usada atualmente, passamos a ter uma tarefa simples e rápida que fornece uma solução ótima para a resolução do problema de atribuição de salas.
A solução é apresentada duma forma formatada e clara numa folha de cálculo de fácil leitura.

Os *output´s* deste programa, *"Salas"* e *"Nº de Salas"* são ficheiros texto que funcionarão como *input's* para outro programa. Estes *"Output's"* funcionarão como variáveis de entrada que darão a indicação do número de salas necessárias para cada exame. Indiretamente, estas variáveis darão também a indicação do número vigilâncias por exame e consequentemente o total vigilâncias necessárias para o calendário de exames. O total de vigilâncias por exame é obtido multiplicando o número de salas por duas vigilâncias obrigatórias por sala. Estes dois ficheiros são dados necessários para a criação dos ficheiros para lançamento no Portal que contêm a indicação do exame, da data, da hora, das salas atribuídas e dos vigilantes atribuídos (Ver Figura 23).

| Sigla Disciplina | Data (aaaa-mm-dd) | Hora (hh:mm) | Siglas das Salas (separadas por vírgula) | Siglas dos Docentes (separadas por vírgula) |
|---|---|---|---|---|
| ESEAD | 2012-06-26 | 19:00 | F208 | LNH, SFR |
| AUTCI | 2012-06-28 | 19:00 | F203 | AFS, OCF |
| MODAD | 2012-07-03 | 19:00 | F204 | MPL, AGR |
| TECFQ | 2012-07-05 | 19:00 | F204 | MMS, VML |
| PLAPP | 2012-07-07 | 11:00 | F204 | JAB, ANT |

Figura 23 - Ficheiro para carregamento no Portal do MEM_GI (época Normal)

## 5.2. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Neste subcapítulo apresenta-se uma solução para o problema da atribuição das salas a exames. Onde na sua resolução, analisa-se a solução obtida e faz-se a sua comparação com a solução do método usado atualmente.

A aplicação desenvolvida corresponde à implementação informática para automatizar o modelo proposto.

Esta correu num computador portátil com um processador AMD Fusion E-450 APU 1.65GHz com 4GB de RAM DDR3 e o sistema operativo Windows 7 Ultimate (Service Pack 1) de 64bits.

Para a resolução do modelo matemático, foi utilizado OpenSolver19 no software MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007.

Através da aplicação desenvolvida do modelo proposto procedeu-se à obtenção dos resultados computacionais para verificar a viabilidade do modelo.

Foram usados dois calendários de exames (1º e 2º Semestre de 2012) do Departamento de Engenharia Mecânica para simular o problema desenvolvido (Tabela 3).

Tabela 3 - Características dos Problemas Teste

| **Problemas Teste** | | |
|---|---|---|
| | 1ºSemestre 2012 no DEM[1] | 2ºSemestre 2012 no DEM |
| Nº de Exames (Total) | 182 Exames | 132 Exames |
| Nº de Exames (Agrupados) | 132 Exames | 94 Exames |
| Nº de Salas | 19 Salas | 16 Salas |

[1] DEM: Departamento de Engenharia Mecânica

### 5.2.1. ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES

Os resultados dos testes computacionais resultam das soluções do modelo matemático proposto para este trabalho e foi testado tendo por base os horários dos exames do primeiro e do segundo semestre de 2011/2012 do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Podem ser observadas as soluções dadas pelo modelo nos anexos A e B.

Será feita uma comparação entre a solução do modelo e a solução atual para os dois semestres tendo por base o número de salas utilizadas e o tempo de processamento da atribuição das salas de aula (anexo D e anexo E).

A solução usada atualmente pelos responsáveis para a criação dos horários é uma resolução manual, demorando, na atribuição das salas, cerca de 3horas.

É de referir que no 1ºsemetre de 2011/2012, para Departamento de Engenharia Mecânica, o horário de exames continha 182 exames para todos os cursos pertencentes a este departamento. Depois de efetuar o tratamento dos exames, onde estes foram ordenados e agrupados (exames iguais para cursos diferentes, com o mesmo responsável pela unidade curricular, realizados no mesmo dia e no mesmo período), o horário ficou com 132 exames sobre os quais foi aplicado o modelo criado. Efetuando o mesmo procedimento para o 2º semestre, o resultado foi de 94 exames.

Na Tabela 4 verificam-se os dados obtidos nas duas soluções

Tabela 4 - Tabela Comparativa de resultados

| | Solução Atual | | Solução Modelo | | Melhorias (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1º Semestre | 2º Semestre | 1º Semestre | 2º Semestre | 1º Semestre | 2º Semestre |
| Salas Atribuídas (unid) | 266 | 213 | 242 | 209 | 9 | 2 |
| Tempo de Processamento (min) | 180 | 180 | 2,1 | 1.8 | 98 | 99 |

Em termos do número de salas atribuídas, a solução do modelo, no 1º Semestre consegue-se uma diminuição de 24 salas o que leva a uma diminuição de 48 vigilâncias de exames (9% de melhoria). Para o 2º semestre, é conseguido uma diminuição de 4 salas o que leva a uma diminuição de 8 vigilantes. (2% de melhoria).

Como pode-se verificar na tabela 3, o tempo de atribuição das salas (obtenção duma solução ótima) no 1º Semestre foi 2,1 minutos e no 2º Semestre, foi de 1,8 minutos, cerca

de 99% de melhoria relativamente à solução manual onde esta etapa tem duração de cerca de 3 horas.

A solução atual faz a atribuição das salas para cada exame por ordem de aparecimento das salas em cada piso com base na experiencia empírica do responsável da criação de horários, enquanto a solução dada pelo modelo faz uma combinação entre a capacidade e a localização das salas por piso. Este pormenor pode ser verificado na Figura 24. Esta Figura representa o resultado das duas soluções da atribuição de salas de aula para exame de *"MATE1"* realizado no dia 25 de Junho pelas 14horas. Observando atentamente as duas soluções, conclui-se que a solução atual aloca as salas de aula duma forma sequencial e por ordem crescente, começando sempre pelas salas pertencentes ao departamento de Engenharia Mecânica. As salas são adicionadas até que o somatório das capacidades das salas de aula seja maior ou igual ao número de alunos inscritos no exame. Na solução fornecida pelo modelo, é realizada a melhor combinação das salas tendo em atenção a sua localização (piso) e a sua capacidade dando preferência às salas que pertencem sempre ao departamento de engenharia mecânica penalizando-as na função objetivo com o coeficiente mais pequeno.

| Dados do 2º semestre 2011/2012 | | | | | | | | Solução Actual | | Solução do Modelo | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Data | Hora | U.C. | Inscritos | Época | Curso | Inscritos | Resp. | Salas | Nº salas | Salas | Nº Salas |
| 25-Jun | 14:00 | MATE1 | 200 | N | Licenciatura Engenharia Mecânica | 200 | JDM | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F204,F207,F208,F209 | 4 |

Figura 24 - Pormenor da atribuição das salas em ambas as soluções

Outro aspeto observado na solução utilizada atualmente é a existência de alguns casos onde a capacidade do conjunto das salas atribuídas para um determinado exame não é suficiente para acolher o número de alunos inscritos, este facto é justificado através do relaxamento das restrições da capacidade fruto da experiência de quem realiza o calendário. Este relaxamento das restrições da capacidade usado pelo responsável pela criação de horários de exames pode ser observado nos dois casos que serviram de estudo a este trabalho (Figura 24 e Figura 25) onde a capacidade das salas atribuídas para os exames em questão não satisfaz o número de alunos inscritos em cada um desses exames.

| Dados do 1º semestre de 2011/2012 | | | | | Solução Manual | | Solução Modelo | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U.C. | Curso | Época | Inscritos | Resp. | Salas | Nºde salas | Salas | Nºde salas |
| DEGER | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | **N** | 59 | LMT | F209 | 1 | F203,F209 | 2 |
| ORGI1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | **N** | 259 | MMS | F204, F207, F208, F209 | 4 | F203,F204,F207,F209,F317 | 5 |
| MATE2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | **R** | 150 | ASB | F204, F207 | 2 | F204,F207,F209 | 3 |
| EMELE | Licenciatura Engenharia Mecânica | **R** | 100 | ATA | F204, F207 | 2 | F204,F207,F209 | 3 |

Figura 25 - Exames do 1ºSemestre onde se verifica relaxação das restrições da capacidade

Na figura 25, pode ser observada a unidade curricular "*DEGER*". Esta tem 59 alunos inscritos no exame em época normal. O responsável pela criação dos horários apenas alocou uma sala (F209) com uma capacidade de 50 alunos, a solução dada pelo modelo, aloca duas salas com uma capacidade total de 85 alunos, respeitando assim as restrições de capacidade impostas na realização do modelo. Na figura 24, para a unidade curricular de "*MODAD*", o responsável alocou uma com capacidade de 60 alunos quando o número de alunos inscritos neste exame era de 62. A solução do modelo, para o exame de "*MODAD*", alocou 2 salas com uma capacidade superior ao número de alunos inscritos. Esta solução cumpre sempre as restrições da capacidade.

| ados do 2º Semestre de 2011/2012 | | | | | Solução Manual | | Solução Modelo | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U.C. | Curso | Época | Inscritos | Resp. | Salas | Nº salas | Salas | Nº Salas |
| ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | **N** | 320 | AGC | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 |
| IENG2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | **N** | 260 | PAA | F203,F204,F207,F208,F209 | 5 | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | **N** | 380 | AJC | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | | | | | | |
| MODAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | **N** | 62 | MPL | F204 | 1 | F204,F207 | 2 |
| | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | | | | | | | |
| | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | | | | | | | |
| | Mestrado Gestão Processos e Operações | | | | | | | |

Figura 26 - Exames do 2ºSemestre onde se verifica relaxação das restrições da capacidade

O mesmo raciocínio é feito para as restantes unidades curriculares apresentadas nas figuras 25 e 26.

A Solução usada atualmente, baseada na experiencia do responsável, não é a solução ótima encontrada tal como a solução encontrada pelo modelo. Apesar de existirem situações em que o responsável consegue atribuir menos salas que o modelo, através da relaxação das restrições, o modelo consegue uma menor atribuição de número total de salas para o calendário de exames.

Caso de o número de alunos inscritos seja maior que a capacidade total das salas, existe um mecanismo no modelo que funciona como um alarme para deteção deste problema. Este mecanismo é uma sala fictícia ($Y_i$) com uma capacidade superior à capacidade de todas as salas disponíveis que podem ser atribuídas para exames naquele período. Esta é penalizada na função objetivo com um coeficiente "M" muito grande para garantir que só é utilizada em último recurso. A utilização da sala $Y_i$ surge quando o modelo não tem solução pelo facto da capacidade das salas não serem suficientes para os alunos inscritos nos exames e tendo em conta a restrição de só poder realizar um exame por sala. Após a deteção da utilização da sala fictícia, há a necessidade de conseguir mais salas para serem atribuídas à realização dos exames naquele período de tempo.

# 6. CONCLUSÕES

Este trabalho consistiu no estudo e resolução do problema da atribuição das salas a exames, bem como no desenvolvimento e automação dum modelo matemático capaz de resolver o problema.

Foi desenvolvida uma aplicação informática para implementar este trabalho. Com esta aplicação, o utilizador tem a tarefa facilitada, conseguindo obter soluções ótimas duma forma mais rápida.

As vantagens do sistema desenvolvido residem na rapidez de processamento da solução e a diminuição da atribuição do número de salas, o que permite uma diminuição do número de vigilantes, ficando estes livres para realizarem outras tarefas.

O resultado do modelo apresentado funciona como uma ótima alternativa ao método executado atualmente pelo Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Como sugestão para trabalhos futuros, este sistema será apresentado ao ISEP ficando a possibilidade de estende-lo aos outros departamentos da escola.

# *Referências Documentais*


Al-Yakoob, Salem M. and Sherali, Hanif D. 2006. Mathematical programming models and algorithms for a class–faculty assignment problem. *European Journal of Operational Research* 173 (2):488-507.

Al-Yakoob, Salem; Sherali, Hanif and Al-Jazzaf, Mona. 2010. A mixed-integer mathematical modeling approach to exam timetabling. *Computational Management Science* 7 (1):19-46.

Avella, Pasquale and Vasil'Ev, Igor. 2005. A Computational Study of a Cutting Plane Algorithm for University Course Timetabling. *Journal of Scheduling* 8 (6):497-514.

Ayob, Masri and Malik, Ariff. 2011. A New Model for an Examination-Room Assignment Problem. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security* VOL.11 No.10,:187 - 190.

Azimi, Z. N. 2005. Hybrid heuristics for examination timetabling problem. *Applied Mathematics and Computation* 163:705–733.

Bakır, M Akif and Aksop, Cihan. 2008. A 0-1 Integer Programming Approach To a University Timetabling Problem. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics* Volume 37 (1):41 - 55.

Birbas, T.; Daskalaki, S. and Housos, E. 2009. School timetabling for quality student and teacher schedules. *J. of Scheduling* 12 (2):177-197.

Burke, E. K. and Newall, J. P. 2004. Solving Examination Timetabling Problems through Adaption of Heuristic Orderings. *Annals of Operations Research* 129 (1):107-134.

Burke, Edmund K.; Mareček, Jakub; Parkes, Andrew J. and Rudová, Hana. 2010. Decomposition, reformulation, and diving in university course timetabling. *Computers & Operations Research* 37 (3):582-597.

Carter, M.W. 2001. A comprehensive course timetabling and student scheduling system at the University of Waterloo. *Burke, E., Erben, W. (eds.) PATAT 2000* vol. 2079:64–82.

Dammak, Abdelaziz; Elloumi, Abdelkarim and Kamoun, Hichem. 2006. Classroom assignment for exam timetabling. *Advances in Engineering Software* 37 (10):659-666.

Daskalaki, S. and Birbas, T. 2005. Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming. *European Journal of Operational Research* 160 (1):106-120.

Daskalaki, S.; Birbas, T. and Housos, E. 2004. An integer programming formulation for a case study in university timetabling. *European Journal of Operational Research* 153 (1):117-135.

Dimopoulou, M. and Miliotis, P. 2001. Implementation of a university course and examination timetabling system. *European Journal of Operational Research* 130 (1):202-213.

Ghaemi, S.; Vakili, M. T. and Aghagolzadeh, A. 2007. Using a genetic algorithm optimizer tool to solve University timetable scheduling problem. Paper read at Signal Processing and Its Applications, 2007. ISSPA 2007. 9th International Symposium on.

Glover, F. 1989. Tabu Search — Part I. *ORSA Journal on Computing* Vol. 1:190-206.

Glover, F. and Laguna, M. 1993. Tabu search. Modern Heuristics Techniques for Combinatorial Problems. *Blackwell Scientific Publications, Oxford*:70-150.

Gogos, Christos; Alefragis, Panayiotis and Housos, Efthymios. 2010. An improved multi-staged algorithmic process for the solution of the examination timetabling problem. © *Springer Science+Business Media* 194 203–221.

Gunawan, Aldy; Ng, Kien Ming and Poh, Kim Leng. 2012. A hybridized Lagrangian relaxation and simulated annealing method for the course timetabling problem. *Computers & Operations Research* 39 (12):3074-3088.

Kahar, M. N. M. and Kendall, G. 2010. The examination timetabling problem at Universiti Malaysia Pahang: Comparison of a constructive heuristic with an existing software solution. *European Journal of Operational Research* 207 (2):557-565.

Malik, Ariff Md Ab; Ayob, Masri and Hamdan, Abdul Razak. 2007. A Heuristic for Scheduling Examination to Room Based on Exam Duration Length. *Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics Institut Teknologi Bandung*:586 - 588.

Carrasco, Marco P. and Rato, Margarida V. 2001. A multiobjective genetic algorithm for the class/teacher timetabling problem. *E. Burke and W. Erben (Eds.):* 2079:pp. 3−17.

McCollum, Barry; McMullan, Paul; Parkes, Andrew; Edmund Burke, and Qu, Rong. 2012. A new model for automated examination timetabling. *Annals of Operations Research* 194 (1):291-315.

MirHassani, S. A. 2006. A computational approach to enhancing course timetabling with integer programming. *Applied Mathematics and Computation* 175 (1):814-822.

Murray, Keith; Müller, Tomáš and Rudová, Hana. 2007. Modeling and Solution of a Complex University Course Timetabling Problem Practice and Theory of Automated Timetabling VI. In *Practice and Theory of Automated Timetabling VI*, edited by E. Burke and H. Rudová: Springer Berlin / Heidelberg.

Pillay, N. and Banzhaf,W. 2010. An informed genetic algorithm for the examination timetabling problem. *Applied Soft Computing* 10 (2):457-467.

Pongcharoen, P.; Promtet, W.; Yenradee, P. and Hicks, C. 2008. Stochastic Optimisation Timetabling Tool for university course scheduling. *International Journal of Production Economics* 112 (2):903-918.

Qualizza, Andrea and Serafini, Paolo. 2005. A Column Generation Scheme for Faculty Timetabling. *Practice and Theory of Automated Timetabling V* 3616:161-173.

Santos, Haroldo G.; Ochi, Luiz S. and Souza, Marcone J.F. 2004. An Efficient Tabu Search Heuristic for the School Timetabling Problem. *In Poroceedings of WEA*:468 - 481.

Santos, Haroldo; Uchoa, Eduardo; Ochi, Luiz and Maculan, Nelson. 2012. Strong bounds with cut and column generation for class-teacher timetabling. *Annals of Operations Research* 194 (1):399-412.

Schimmelpfeng, Katja and Helber, Stefan. 2007. Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming. *OR Spectrum* 29 (4):783-803.

Shu-Chuan, Chu; Yi-Tin, Chen and Jiun-Huei, Ho. 2006. Timetable Scheduling Using Particle Swarm Optimization. Paper read at Innovative Computing, Information and Control, 2006. ICICIC '06. First International Conference on, Aug. 30 2006-Sept. 1 2006.

Tassopoulos, Ioannis and Beligiannis, Grigorios. 2012. Using particle swarm optimization to solve effectively the school timetabling problem. *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications* 16 (7):1229-1252.

Turabieh, Hamza and Abdullah, Salwani. 2011. An integrated hybrid approach to the examination timetabling problem. *Omega* 39 (6):598-607.

Welsh, D. J. A. and Powell, M.B.. 1967. An upper bound to the chromatic number of a graph and its application to timetabling problem. *the computer jounal 10*:85 - 86.

White, George M.; Xie, Bill S. and Zonjic, Stevan. 2004. Using tabu search with longer-term memory and relaxation to create examination timetables. *European Journal of Operational Research* 153 (1):80-91.

# *Anexo A - Resultados do modelo matemático para o calendário do 1º Semestre de 2011/12*

| Data | Hora | Exame | Salas | Nº Salas |
|---|---|---|---|---|
| 23-01-2012 | 09:00 | ALGAN LEM | F202,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 7 |
| 23-01-2012 | 14:00 | ALGEB LEMA | F204,F207 | 2 |
| 23-01-2012 | 18:00 | PFAB2 LEM | F204,F207,F317 | 3 |
| 23-01-2012 | 18:00 | MCINT LEMA | F202 | 1 |
| 23-01-2012 | 19:00 | TEOES MCM | F209 | 1 |
| 23-01-2012 | 19:00 | TECAI MGPO | F208 | 1 |
| 23-01-2012 | 19:00 | PROAF MEM-MT | F303 | 1 |
| 23-01-2012 | 19:00 | CLIMA MEs | F203 | 1 |
| 24-01-2012 | 09:00 | TERMO LEM | F202,F203,F204,F207,F209,F302,F303,F309,F317,F515 | 10 |
| 24-01-2012 | 09:00 | TERMO LEMA | F208 | 1 |
| 24-01-2012 | 19:00 | CONSM MCM | F202 | 1 |
| 24-01-2012 | 19:00 | FENTR MEM-EN | F207 | 1 |
| 24-01-2012 | 19:00 | FENTR MEs | F204 | 1 |
| 25-01-2012 | 09:00 | DEGER LEM | F202,F204,F207,F208,F317 | 5 |
| 25-01-2012 | 09:00 | DEGER LEMA | F203,F209 | 2 |
| 25-01-2012 | 14:00 | GQASE LEMA | F202 | 1 |
| 25-01-2012 | 18:00 | ORGI1 LEM | F203,F204,F207,F209,F317 | 5 |
| 25-01-2012 | 19:00 | GQASE MGPO | F208 | 1 |
| 25-01-2012 | 19:00 | GESTP MEs | F202 | 1 |
| 26-01-2012 | 09:00 | MATE2 LEM | F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 6 |
| 26-01-2012 | 09:00 | MATE2 LEMA | F202 | 1 |
| 26-01-2012 | 19:00 | TEMOP MGPO | F202 | 1 |
| 26-01-2012 | 19:00 | CAMAT MEM-MT | F203 | 1 |
| 26-01-2012 | 19:00 | COMBU MEs | F209 | 1 |
| 26-01-2012 | 19:00 | SEENG MEs | F204 | 1 |
| 26-01-2012 | 19:00 | TECON MEs | F207 | 1 |
| 27-01-2012 | 14:00 | FIEXP LEM | F202,F204,F207,F208,F209,F302,F309,F317,F409,F515 | 10 |
| 27-01-2012 | 14:00 | FIEXP LEMA | F203,F303,F402 | 3 |
| 27-01-2012 | 18:00 | ORMAQ LEMA | F202,F204,F207,F208,F209,F317 | 6 |
| 27-01-2012 | 19:00 | MECFC MEs | F203 | 1 |
| 28-01-2012 | 09:00 | MTNMT LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 28-01-2012 | 11:00 | AEXPT MCM | F202 | 1 |
| 28-01-2012 | 11:00 | GESEM MEM-EN | F207 | 1 |
| 28-01-2012 | 11:00 | PREPT MEM-MT | F204 | 1 |
| 28-01-2012 | 11:00 | ASRNA MEs | F209 | 1 |
| 30-01-2012 | 09:00 | CMATE LEMA | F204,F207 | 2 |
| 30-01-2012 | 14:00 | AUTOM LEMA | F203 | 1 |
| 30-01-2012 | 14:00 | CMATE LEM | F204,F207,F208,F209,F309 | 5 |
| 30-01-2012 | 18:00 | AUTO1 LEM | F204,F207,F317 | 3 |
| 30-01-2012 | 19:00 | MCOMP MEM-MT | F208 | 1 |
| 30-01-2012 | 19:00 | GESAP MGPO | F202 | 1 |
| 30-01-2012 | 19:00 | UTIRE MEs | F203 | 1 |
| 31-01-2012 | 09:00 | MECA2 LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F309,F317,F515 | 10 |
| 31-01-2012 | 19:00 | METEF MCM | F204 | 1 |
| 31-01-2012 | 19:00 | REFRI MEM-EN | F203 | 1 |
| 31-01-2012 | 19:00 | SCDIN MEs | F207 | 1 |
| 01-02-2012 | 09:00 | IEAUT LEMA | F204,F207 | 2 |
| 01-02-2012 | 14:00 | IENG1 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 01-02-2012 | 14:00 | MECV3 LEMA | F203 | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 01-02-2012 | 19:00 | PLANP MGPO | F204 | 1 |
| 01-02-2012 | 19:00 | APIEA MEs | F207 | 1 |
| 02-02-2012 | 14:00 | ELTRO LEMA | F202 | 1 |
| 02-02-2012 | 18:00 | TRFCA LEM | F204,F207,F208,F209,F317 | 5 |
| 02-02-2012 | 19:00 | ENRE1 MEs | F202 | 1 |
| 03-02-2012 | 09:00 | APROG LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| 03-02-2012 | 14:00 | EMELE LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 03-02-2012 | 19:00 | SMPFA MEM-EN | F204,F207 | 2 |
| 03-02-2012 | 19:00 | TRIBO MEM-MT | F203 | 1 |
| 03-02-2012 | 19:00 | MEREN MEs | F209 | 1 |
| 04-02-2012 | 09:00 | MECV1 LEMA | F204 | 1 |
| 04-02-2012 | 09:00 | ESTES MCM | F203 | 1 |
| 04-02-2012 | 09:30 | LOGIS MGPO | F207 | 1 |
| 06-02-2012 | 14:00 | ALGAN LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 06-02-2012 | 09:00 | ALGEB LEMA | F202 | 1 |
| 06-02-2012 | 18:00 | PFAB2 LEM | F204,F207 | 2 |
| 06-02-2012 | 18:00 | MCINT LEMA | F208 | 1 |
| 06-02-2012 | 19:00 | TEOES MCM | F202 | 1 |
| 06-02-2012 | 19:00 | TECAI MGPO | F209 | 1 |
| 06-02-2012 | 19:00 | PROAF MEM-MT | F303 | 1 |
| 06-02-2012 | 19:00 | CLIMA MEs | F203 | 1 |
| 07-02-2012 | 14:00 | TERMO LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 07-02-2012 | 14:00 | TERMO LEMA | F203 | 1 |
| 07-02-2012 | 19:00 | CONSM MCM | F202 | 1 |
| 07-02-2012 | 19:00 | FENTR MEM-EN | F203 | 1 |
| 07-02-2012 | 19:00 | FENTR MEs | F207 | 1 |
| 08-02-2012 | 09:00 | DEGER LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 08-02-2012 | 09:00 | DEGER LEMA | F203 | 1 |
| 08-02-2012 | 14:00 | GQASE LEMA | F202 | 1 |
| 08-02-2012 | 18:00 | ORGI1 LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 08-02-2012 | 19:00 | GQASE MGPO | F203 | 1 |
| 08-02-2012 | 19:00 | GESTP MEs | F202 | 1 |
| 09-02-2012 | 09:00 | MTNMT LEMA | F204,F207,F209 | 3 |
| 09-02-2012 | 19:00 | TEMOP MGPO | F202 | 1 |
| 09-02-2012 | 19:00 | CAMAT MEM-MT | F203 | 1 |
| 09-02-2012 | 19:00 | COMBU MEs | F209 | 1 |
| 09-02-2012 | 19:00 | SEENG MEs | F204 | 1 |
| 09-02-2012 | 19:00 | TECON MEs | F207 | 1 |
| 10-02-2012 | 09:00 | FIEXP LEM | F202,F204,F207,F208,F317 | 5 |
| 10-02-2012 | 09:00 | FIEXP LEMA | F209 | 1 |
| 10-02-2012 | 18:00 | ORMAQ LEMA | F204,F207,F209 | 3 |
| 10-02-2012 | 19:00 | MECFC MEs | F203 | 1 |
| 11-02-2012 | 09:00 | MATE2 LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 11-02-2012 | 09:00 | MATE2 LEMA | F203 | 1 |
| 11-02-2012 | 11:00 | AEXPT MCM | F202 | 1 |
| 11-02-2012 | 11:00 | GESEM MEM-EN | F203 | 1 |
| 11-02-2012 | 11:00 | PREPT MEM-MT | F207 | 1 |
| 11-02-2012 | 11:00 | ASRNA MEs | F204 | 1 |
| 13-02-2012 | 09:00 | CMATE LEM | F202 | 1 |
| 13-02-2012 | 09:00 | AUTOM LEMA | F207 | 1 |
| 13-02-2012 | 14:00 | CMATE LEMA | F202,F204,F207 | 3 |
| 13-02-2012 | 18:00 | AUTO1 LEM | F204,F207 | 2 |
| 13-02-2012 | 19:00 | MCOMP MEM-MT | F203 | 1 |
| 13-02-2012 | 19:00 | GESAP MGPO | F202 | 1 |
| 13-02-2012 | 19:00 | UTIRE MEs | F209 | 1 |
| 14-02-2012 | 09:00 | MECA2 LEMA | F202,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 14-02-2012 | 19:00 | METEF MCM | F202 | 1 |
| 14-02-2012 | 19:00 | REFRI MEM-EN | F203 | 1 |
| 14-02-2012 | 19:00 | SCDIN MEs | F207 | 1 |
| 15-02-2012 | 09:00 | IENG1 LEM | F202 | 1 |
| 15-02-2012 | 09:00 | MECV3 LEMA | F207 | 1 |
| 15-02-2012 | 14:00 | IEAUT LEMA | F204,F207 | 2 |
| 15-02-2012 | 19:00 | PLANP MGPO | F202 | 1 |
| 15-02-2012 | 19:00 | APIEA MEs | F207 | 1 |
| 16-02-2012 | 09:00 | ELTRO LEMA | F202 | 1 |
| 16-02-2012 | 18:00 | TRFCA LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 16-02-2012 | 19:00 | ENRE1 MEs | F203 | 1 |
| 16-02-2012 | 19:00 | LOGIS MGPO | F202 | 1 |
| 17-02-2012 | 09:00 | APROG LEMA | F202,F204,F207,F209 | 4 |
| 17-02-2012 | 14:00 | EMELE LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 17-02-2012 | 14:00 | ANPRO LEM | F203 | 1 |
| 17-02-2012 | 18:00 | PROJE LEM | F202 | 1 |
| 17-02-2012 | 19:00 | SMPFA MEM-EN | F207 | 1 |
| 17-02-2012 | 19:00 | TRIBO MEM-MT | F209 | 1 |
| 17-02-2012 | 19:00 | MEREN MEs | F204 | 1 |
| 18-02-2012 | 09:00 | MECV1 LEMA | F202 | 1 |
| 18-02-2012 | 09:00 | ANPR1 LEM | F203 | 1 |
| 18-02-2012 | 09:00 | ESTES MCM | F207 | 1 |
| 18-02-2012 | 09:00 | GESTP MEM-GI | F204 | 1 |

# *Anexo B - Resultados do modelo matemático para o calendário do 2º Semestre de 2011/12*

| Data | Hora | Exame | Salas | Nº Salas |
|---|---|---|---|---|
| 25-06-2012 | 09:00 | MATE1 LEMA | F207,F208 | 2 |
| 25-06-2012 | 14:00 | MATE1 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 25-06-2012 | 18:00 | AUTO2 LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 26-06-2012 | 09:00 | ESTAT LEMA | F209 | 1 |
| 26-06-2012 | 14:00 | ESTAT LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 |
| 26-06-2012 | 19:00 | DEGPS MEM-MT | F203 | 1 |
| 26-06-2012 | 19:00 | DIMES MCM | F204 | 1 |
| 26-06-2012 | 19:00 | ENRE2 MES | F209 | 1 |
| 26-06-2012 | 19:00 | EQTEH MEM-EN | F207 | 1 |
| 26-06-2012 | 19:00 | ESEAD MGPO | F208 | 1 |
| 27-06-2012 | 09:00 | IENG2 LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 27-06-2012 | 14:00 | ELTRI LEMA | F204,F209 | 2 |
| 27-06-2012 | 18:00 | SIPRA LEMA | F203 | 1 |
| 28-06-2012 | 14:00 | PRFAB LEMA | F208 | 1 |
| 28-06-2012 | 19:00 | AUTCI MEM-MT | F204 | 1 |
| 28-06-2012 | 19:00 | MECFI MES | F208 | 1 |
| 29-06-2012 | 09:00 | GEOPS LEMA | F202 | 1 |
| 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEM | F202,F203,F204,F207,F209,F317 | 6 |
| 29-06-2012 | 14:00 | MTMET LEMA | F208,F309 | 2 |
| 29-06-2012 | 18:00 | MTERM LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 30-06-2012 | 08:30 | ELTRO LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 30-06-2012 | 08:30 | MECV2 LEMA | F203 | 1 |
| 30-06-2012 | 11:00 | OSENE MEM-EN | F207 | 1 |
| 30-06-2012 | 11:00 | PROLI MCM | F204 | 1 |
| 30-06-2012 | 11:00 | SCENE MES | F202 | 1 |
| 02-07-2012 | 14:00 | FISIC LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 |
| 02-07-2012 | 18:00 | MFLUX LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 03-07-2012 | 14:00 | MEMAT LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| 03-07-2012 | 19:00 | FIAMA MEM-MT | F208 | 1 |
| 03-07-2012 | 19:00 | MODAD MGPO | F204,F207 | 2 |
| 03-07-2012 | 19:00 | PRODE MES | F202 | 1 |
| 04-07-2012 | 08:30 | DESET LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| 05-07-2012 | 09:00 | MEFLU LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F303,F309,F317,F515 | 10 |
| 05-07-2012 | 19:00 | GAIAM MES | F204 | 1 |
| 05-07-2012 | 19:00 | TECFQ MGPO | F207 | 1 |
| 06-07-2012 | 09:00 | MECA1 LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 |
| 06-07-2012 | 18:00 | ORGI2 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 06-07-2012 | 18:00 | NLSAU LEMA | F203 | 1 |
| 06-07-2012 | 19:00 | SCDIN MEM-EN | F202 | 1 |
| 07-07-2012 | 08:30 | PFAB1 LEM | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 07-07-2012 | 11:00 | EESED MES | F208 | 1 |
| 07-07-2012 | 11:00 | MECON MCM | F207 | 1 |
| 07-07-2012 | 11:00 | PLAPP MGPO | F204 | 1 |
| 09-07-2012 | 09:00 | MATE1 LEMA | F207 | 1 |
| 09-07-2012 | 14:00 | MATE1 LEM | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 09-07-2012 | 18:00 | AUTO2 LEM | F204,F209 | 2 |
| 10-07-2012 | 09:00 | ESTAT LEMA | F203 | 1 |
| 10-07-2012 | 14:00 | ESTAT LEM | F204,F207,F208 | 3 |
| 10-07-2012 | 19:00 | DEGPS MEM-MT | F207 | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 10-07-2012 | 19:00 | DIMES MCM | F204 | 1 |
| 10-07-2012 | 19:00 | ENRE2 MES | F203 | 1 |
| 10-07-2012 | 19:00 | EQTEH MEM-EN | F209 | 1 |
| 10-07-2012 | 19:00 | ESEAD MGPO | F202 | 1 |
| 11-07-2012 | 09:00 | ELTRI LEMA | F202 | 1 |
| 11-07-2012 | 14:00 | IENG2 LEM | F203,F204,F207 | 3 |
| 11-07-2012 | 18:00 | TDIAG LEMA | F203 | 1 |
| 12-07-2012 | 09:00 | PRFAB LEMA | F204 | 1 |
| 12-07-2012 | 14:00 | ANPR2 LEM | F203 | 1 |
| 12-07-2012 | 19:00 | AUTCI MCM | F207 | 1 |
| 12-07-2012 | 19:00 | AUTCI MEM-MT | F202 | 1 |
| 12-07-2012 | 19:00 | MECFI MES | F204 | 1 |
| 13-07-2012 | 09:00 | MTMET LEM | F204,F207,F209 | 3 |
| 13-07-2012 | 09:00 | MTMET LEMA | F208 | 1 |
| 13-07-2012 | 14:00 | GEOPS LEMA | F203 | 1 |
| 13-07-2012 | 18:00 | MTERM LEM | F204,F207 | 2 |
| 14-07-2012 | 08:30 | ELTRO LEM | F204,F207 | 2 |
| 14-07-2012 | 08:30 | MECV2 LEMA | F208 | 1 |
| 14-07-2012 | 11:00 | OSENE MEM-EN | F207 | 1 |
| 14-07-2012 | 11:00 | PROLI MCM | F204 | 1 |
| 14-07-2012 | 11:00 | SCENE MES | F202 | 1 |
| 16-07-2012 | 09:00 | LABAU LEMA | F202 | 1 |
| 16-07-2012 | 14:00 | FISIC LEM | F203,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 16-07-2012 | 18:00 | MFLUX LEM | F204,F207 | 2 |
| 16-07-2012 | 18:00 | SIPRA LEMA | F203 | 1 |
| 17-07-2012 | 14:00 | MEMAT LEMA | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 17-07-2012 | 19:00 | FIAMA MEM-MT | F208 | 1 |
| 17-07-2012 | 19:00 | MODAD MGPO | F204 | 1 |
| 17-07-2012 | 19:00 | PRODE MES | F202 | 1 |
| 18-07-2012 | 14:00 | DESET LEMA | F202,F204,F208,F209 | 4 |
| 18-07-2012 | 18:00 | PROJ2 LEM | F208 | 1 |
| 18-07-2012 | 18:00 | PROJE LEMA | F204 | 1 |
| 19-07-2012 | 14:00 | PFAB1 LEM | F202,F204,F207 | 3 |
| 19-07-2012 | 18:00 | MECAU LEMA | F208 | 1 |
| 19-07-2012 | 19:00 | GAIAM MES | F204 | 1 |
| 19-07-2012 | 19:00 | TECFQ MGPO | F202 | 1 |
| 20-07-2012 | 09:00 | MECA1 LEMA | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 20-07-2012 | 18:00 | NLSAU LEMA | F203 | 1 |
| 20-07-2012 | 18:00 | ORGI2 LEM | F204,F207 | 2 |
| 20-07-2012 | 19:00 | PROAC MGPO | F209 | 1 |
| 20-07-2012 | 19:00 | SCDIN MEM-EN | F208 | 1 |
| 21-07-2012 | 08:30 | MEFLU LEMA | F202,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 21-07-2012 | 11:00 | EESED MES | F208 | 1 |
| 21-07-2012 | 11:00 | MECON MCM | F204 | 1 |
| 21-07-2012 | 11:00 | PLAPP MGPO | F202 | 1 |
| | | | | 209 |

# *Anexo C - Resultados da solução atual do 2º semestre de 2011/2012*

| Data | Hora | U.C. | Curso | Salas | Nº salas |
|---|---|---|---|---|---|
| 25-Jun | 09:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F204,F207 | 2 |
| 25-Jun | 14:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 25-Jun | 18:00 | AUTO2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208 | 3 |
| 26-Jun | 09:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 26-Jun | 14:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 26-Jun | 19:00 | DEGPS | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | DIMES | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F203 | 1 |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 26-Jun | 19:00 | ENRE2 | Mestrado Energias Sustentáveis | F204 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | EQTEH | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F207 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | ESEAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | F208 | 1 |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 27-Jun | 09:00 | IENG2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F203,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 27-Jun | 14:00 | ELTRI | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F208,F209 | 2 |
| 27-Jun | 18:00 | SIPRA | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 28-Jun | 14:00 | PRFAB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 28-Jun | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | F203 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | | |
| 28-Jun | 19:00 | MECFI | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F202 | 1 |
| | | | Mestrado Energias Sustentáveis | | |
| 29-Jun | 09:00 | GEOPS | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F317 | 1 |
| 29-Jun | 18:00 | MTERM | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 30-Jun | 08:30 | ELTRO | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 30-Jun | 08:30 | MECV2 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 30-Jun | 11:00 | OSENE | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F209 | 1 |
| 30-Jun | 11:00 | PROLI | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | | |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 30-Jun | 11:00 | SCENE | Mestrado Energias Sustentáveis | F208 | 1 |
| 02-Jul | 14:00 | FISIC | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 |
| 02-Jul | 18:00 | MFLUX | Licenciatura Engenharia Mecânica | F203,F204,F207,F208 | 4 |
| 03-Jul | 14:00 | MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 03-Jul | 19:00 | FIAMA | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 |
| 03-Jul | 19:00 | MODAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | | |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 03-Jul | 19:00 | PRODE | Mestrado Energias Sustentáveis | F203 | 1 |
| 04-Jul | 08:30 | DESET | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309 | 7 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 05-Jul | 09:00 | MEFLU | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 05-Jul | 19:00 | GAIAM | Mestrado Energias Sustentáveis | F202 | 1 |
| 05-Jul | 19:00 | TECFQ | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | | |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 06-Jul | 09:00 | MECA1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 06-Jul | 18:00 | ORGI2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 06-Jul | 18:00 | NLSAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F203 | 1 |
| 06-Jul | 19:00 | SCDIN | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F202 | 1 |
| 07-Jul | 08:30 | PFAB1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 07-Jul | 11:00 | EESED | Mestrado Energias Sustentáveis | F209 | 1 |
| 07-Jul | 11:00 | MECON | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F208 | 1 |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 07-Jul | 11:00 | PLAPP | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 09-Jul | 09:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 09-Jul | 14:00 | MATE1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207, F208, F209 | 4 |
| 09-Jul | 18:00 | AUTO2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207 | 2 |
| 10-Jul | 09:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 10-Jul | 14:00 | ESTAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208 | 3 |
| 10-Jul | 19:00 | DEGPS | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | DIMES | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F203 | 1 |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 10-Jul | 19:00 | ENRE2 | Mestrado Energias Sustentáveis | F204 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | EQTEH | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F207 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | ESEAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | F208 | 1 |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 11-Jul | 09:00 | ELTRI | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 11-Jul | 14:00 | IENG2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208 | 3 |
| 11-Jul | 18:00 | TDIAG | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 12-Jul | 09:00 | PRFAB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 12-Jul | 14:00 | ANPR2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202 | 1 |
| 12-Jul | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F202 | 1 |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 12-Jul | 19:00 | AUTCI | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | F203 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | | |
| 12-Jul | 19:00 | MECFI | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Energias Sustentáveis | | |
| 13-Jul | 09:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207, F208, F209 | 4 |
| 13-Jul | 09:00 | MTMET | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 13-Jul | 14:00 | GEOPS | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 13-Jul | 18:00 | MTERM | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207 | 2 |
| 14-Jul | 08:30 | ELTRO | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207 | 2 |
| 14-Jul | 08:30 | MECV2 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 14-Jul | 11:00 | OSENE | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F203 | 1 |
| 14-Jul | 11:00 | PROLI | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F208 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | | |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 14-Jul | 11:00 | SCENE | Mestrado Energias Sustentáveis | F209 | 1 |
| 16-Jul | 09:00 | LABAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 16-Jul | 14:00 | FISIC | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 16-Jul | 18:00 | MFLUX | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207 | 2 |
| 16-Jul | 18:00 | SIPRA | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 17-Jul | 14:00 | MEMAT | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202, F204, F207, F208, F209 | 5 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 17-Jul | 19:00 | FIAMA | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 |
| 17-Jul | 19:00 | MODAD | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | | |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 17-Jul | 19:00 | PRODE | Mestrado Energias Sustentáveis | F203 | 1 |
| 18-Jul | 14:00 | DESET | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202, F204, F207, F208, F209 | 5 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 18-Jul | 18:00 | PROJ2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202 | 1 |
| 18-Jul | 18:00 | PROJE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 19-Jul | 14:00 | PFAB1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207, F208, F209 | 4 |
| 19-Jul | 18:00 | MECAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 19-Jul | 19:00 | GAIAM | Mestrado Energias Sustentáveis | F203 | 1 |
| 19-Jul | 19:00 | TECFQ | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F204 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | | |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 20-Jul | 09:00 | MECA1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202, F203, F204, F207, F208, F209 | 6 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 20-Jul | 18:00 | NLSAU | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 |
| 20-Jul | 18:00 | ORGI2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207 | 2 |
| 20-Jul | 19:00 | PROAC | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | F203 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |
| 20-Jul | 19:00 | SCDIN | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F209 | 1 |
| 21-Jul | 08:30 | MEFLU | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202, F204, F207, F208, F209 | 5 |
| | | | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | | |
| 21-Jul | 11:00 | EESED | Mestrado Energias Sustentáveis | F209 | 1 |
| 21-Jul | 11:00 | MECON | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas | F202 | 1 |
| | | | Mestrado Construções Mecânicas | | |
| 21-Jul | 11:00 | PLAPP | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F203 | 1 |
| | | | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial | | |
| | | | Mestrado Gestão Processos e Operações | | |

# *Anexo D – Tabela comparativa do calendário do 2º Semestre 2011/12*

| Dados | | | | | Solução Actual | 213 | Solução do Modelo | 209 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Data | Hora | U.C. | Inscritos | Curso | Salas | Nº salas | Salas | Nº Salas |
| 25-Jun | 09:00 | MATE1 | 76 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F204,F207 | 2 | F207,F208 | 2 |
| 25-Jun | 14:00 | MATE1 | 200 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 25-Jun | 18:00 | AUTO2 | 160 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208 | 3 | F204,F207,F209 | 3 |
| 26-Jun | 09:00 | ESTAT | 29 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F209 | 1 |
| 26-Jun | 14:00 | ESTAT | 320 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 |
| 26-Jun | 19:00 | DEGPS | 28 | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | DIMES | 41 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | F203 | 1 | F204 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | ENRE2 | 34 | Mestrado Energias Sustentáveis | F204 | 1 | F209 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | EQTEH | 16 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F207 | 1 | F207 | 1 |
| 26-Jun | 19:00 | ESEAD | 35 | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F208 | 1 | F208 | 1 |
| 27-Jun | 09:00 | IENG2 | 260 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F203,F204,F207,F208,F209 | 5 | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 27-Jun | 14:00 | ELTRI | 66 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F208,F209 | 2 | F204,F209 | 2 |
| 27-Jun | 18:00 | SIPRA | 15 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 28-Jun | 14:00 | PRFAB | 22 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 28-Jun | 19:00 | AUTCI | 25 | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F203 | 1 | F204 | 1 |
| 28-Jun | 19:00 | MECFI | 16 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia<br>Mestrado Energias Sustentáveis | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 29-Jun | 09:00 | GEOPS | 17 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | 300 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F202,F203,F204,F207,F209,F317 | 6 |
| 29-Jun | 14:00 | MTMET | 70 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F317 | 1 | F208,F309 | 2 |
| 29-Jun | 18:00 | MTERM | 180 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208,F209 | 4 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 30-Jun | 08:30 | ELTRO | 220 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208,F209 | 4 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 30-Jun | 08:30 | MECV2 | 32 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 30-Jun | 11:00 | OSENE | 14 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F209 | 1 | F207 | 1 |
| 30-Jun | 11:00 | PROLI | 53 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico<br>Mestrado Construções Mecânicas | F204 | 1 | F204 | 1 |
| 30-Jun | 11:00 | SCENE | 34 | Mestrado Energias Sustentáveis | F208 | 1 | F202 | 1 |
| 02-Jul | 14:00 | FISIC | 350 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 |
| 02-Jul | 18:00 | MFLUX | 200 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F203,F204,F207,F208 | 4 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 03-Jul | 14:00 | MEMAT | 380 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F317 | 7 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| 03-Jul | 19:00 | FIAMA | 29 | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 03-Jul | 19:00 | MODAD | 62 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Energia<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F204 | 1 | F204,F207 | 2 |
| 03-Jul | 19:00 | PRODE | 23 | Mestrado Energias Sustentáveis | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 04-Jul | 08:30 | DESET | 400 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309 | 7 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| 05-Jul | 09:00 | MEFLU | 474 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F303,F309,F317,F515 | 10 |
| 05-Jul | 19:00 | GAIAM | 35 | Mestrado Energias Sustentáveis | F202 | 1 | F204 | 1 |
| 05-Jul | 19:00 | TECFQ | 36 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 06-Jul | 09:00 | MECA1 | 437 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F303,F309,F317 | 10 |
| 06-Jul | 18:00 | ORGI2 | 180 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208,F209 | 4 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 06-Jul | 18:00 | NLSAU | 15 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 06-Jul | 19:00 | SCDIN | 14 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 07-Jul | 08:30 | PFAB1 | 280 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 07-Jul | 11:00 | EESED | 25 | Mestrado Energias Sustentáveis | F209 | 1 | F208 | 1 |
| 07-Jul | 11:00 | MECON | 34 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | F208 | 1 | F207 | 1 |
| 07-Jul | 11:00 | PLAPP | 59 | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F204 | 1 | F204 | 1 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09-Jul | 09:00 | MATE1 | 35 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F207 | 1 |
| 09-Jul | 14:00 | MATE1 | 180 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207, F208, F209 | 4 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 09-Jul | 18:00 | AUTO2 | 80 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207 | 2 | F204,F209 | 2 |
| 10-Jul | 09:00 | ESTAT | 15 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 10-Jul | 14:00 | ESTAT | 150 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208 | 3 | F204,F207,F208 | 3 |
| 10-Jul | 19:00 | DEGPS | 14 | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 | F207 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | DIMES | 19 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | F203 | 1 | F204 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | ENRE2 | 15 | Mestrado Energias Sustentáveis | F204 | 1 | F203 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | EQTEH | 8 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F207 | 1 | F209 | 1 |
| 10-Jul | 19:00 | ESEAD | 17 | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F208 | 1 | F202 | 1 |
| 11-Jul | 09:00 | ELTRI | 30 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 11-Jul | 14:00 | IENG2 | 130 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207,F208 | 3 | F203,F204,F207 | 3 |
| 11-Jul | 18:00 | TDIAG | 10 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 12-Jul | 09:00 | PRFAB | 11 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F204 | 1 |
| 12-Jul | 14:00 | ANPR2 | 5 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 12-Jul | 19:00 | AUTCI | 6 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | F202 | 1 | F207 | 1 |
| 12-Jul | 19:00 | AUTCI | 13 | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 12-Jul | 19:00 | MECFI | 8 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia<br>Mestrado Energias Sustentáveis | F204 | 1 | F204 | 1 |
| 13-Jul | 09:00 | MTMET | 170 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207, F208, F209 | 4 | F204,F207,F209 | 3 |
| 13-Jul | 09:00 | MTMET | 35 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 13-Jul | 14:00 | GEOPS | 8 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 13-Jul | 18:00 | MTERM | 90 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 14-Jul | 08:30 | ELTRO | 100 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 14-Jul | 08:30 | MECV2 | 16 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 14-Jul | 11:00 | OSENE | 7 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F203 | 1 | F207 | 1 |
| 14-Jul | 11:00 | PROLI | 24 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico<br>Mestrado Construções Mecânicas | F208 | 1 | F204 | 1 |
| 14-Jul | 11:00 | SCENE | 15 | Mestrado Energias Sustentáveis | F209 | 1 | F202 | 1 |
| 16-Jul | 09:00 | LABAU | 5 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 16-Jul | 14:00 | FISIC | 250 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 | F203,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 16-Jul | 18:00 | MFLUX | 100 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 16-Jul | 18:00 | SIPRA | 7 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 17-Jul | 14:00 | MEMAT | 215 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202, F204, F207, F208, F209 | 5 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 17-Jul | 19:00 | FIAMA | 15 | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 17-Jul | 19:00 | MODAD | 30 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Energia<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F204 | 1 | F204 | 1 |
| 17-Jul | 19:00 | PRODE | 12 | Mestrado Energias Sustentáveis | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 18-Jul | 14:00 | DESET | 195 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202, F204, F207, F208, F209 | 5 | F202,F204,F208,F209 | 4 |
| 18-Jul | 18:00 | PROJ2 | 5 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 18-Jul | 18:00 | PROJE | 5 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F204 | 1 |
| 19-Jul | 14:00 | PFAB1 | 140 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204, F207, F208, F209 | 4 | F202,F204,F207 | 3 |
| 19-Jul | 18:00 | MECAU | 5 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 19-Jul | 19:00 | GAIAM | 15 | Mestrado Energias Sustentáveis | F203 | 1 | F204 | 1 |
| 19-Jul | 19:00 | TECFQ | 18 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F204 | 1 | F202 | 1 |
| 20-Jul | 09:00 | MECA1 | 260 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202, F203, F204, F207, F208, F209 | 6 | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 20-Jul | 18:00 | NLSAU | 7 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 20-Jul | 18:00 | ORGI2 | 90 | Licenciatura Engenharia Mecânica | F204,F207 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 20-Jul | 19:00 | PROAC | 13 | Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F203 | 1 | F209 | 1 |
| 20-Jul | 19:00 | SCDIN | 7 | Mestrado Engenharia Mecânica - Energia | F209 | 1 | F208 | 1 |
| 21-Jul | 08:30 | MEFLU | 232 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | F202, F204, F207, F208, F209 | 5 | F202,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 21-Jul | 11:00 | EESED | 12 | Mestrado Energias Sustentáveis | F209 | 1 | F208 | 1 |
| 21-Jul | 11:00 | MECON | 17 | Mestrado Engenharia Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | F202 | 1 | F204 | 1 |
| 21-Jul | 11:00 | PLAPP | 30 | Mestrado Engenharia Mecânica - Mat. Tec. Fabrico<br>Mestrado Engenharia Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão Processos e Operações | F203 | 1 | F202 | 1 |

# *Anexo E – Tabela comparativa do calendário do 1º Semestre 2011/12*

| Dados 1ºSemestre2011/12 | | | | | | | Solução Manual 1ºSemestre2011/12 | | Solução Modelo 1ºSemestre2011/12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Data | Hora | U.C. | Curso | Época | Inscritos | Responsável | Salas | Nºde salas | Salas | Nºde salas |
| 23-Jan | 09:00 | ALGAN | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 354 | MGM | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302, F303, F309 | 9 | F202,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 7 |
| 23-Jan | 14:00 | ALGEB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 63 | ATM | F202, F203 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 23-Jan | 18:00 | PFAB2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 160 | LLM | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F317 | 3 |
| 23-Jan | 18:00 | MCINT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 16 | LSR | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 23-Jan | 19:00 | TEOES | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | N | 31 | JSD | F203 | 1 | F209 | 1 |
| 23-Jan | 19:00 | TECAI | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 15 | MIL | C218 | 1 | F208 | 1 |
| 23-Jan | 19:00 | PROAF | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | N | 30 | FGS | C219 | 1 | F303 | 1 |
| 23-Jan | 19:00 | CLIMA | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 19 | ISP | F209 | 1 | F203 | 1 |
| 24-Jan | 09:00 | TERMO | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 473 | MIC | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302, F303, F309, F317 | 10 | F202,F203,F204,F207,F209,F302,F303,F309,F317,F515 | 10 |
| 24-Jan | 09:00 | TERMO | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 41 | PAA | F409, F509 | 2 | F208 | 1 |
| 24-Jan | 19:00 | CONSM | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | N | 24 | FJF | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 24-Jan | 19:00 | FENTR | Mestrado Eng. Mecânica - Energia | N | 14 | ASR | F203 | 1 | F207 | 1 |
| 24-Jan | 19:00 | FENTR | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 51 | ORC | F204 | 1 | F204 | 1 |
| 25-Jan | 09:00 | DEGER | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 260 | AGS | F202, F203,F204, F207, F208 | 5 | F202,F204,F207,F208,F317 | 5 |
| 25-Jan | 09:00 | DEGER | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 59 | LMT | F209 | 1 | F203,F209 | 2 |
| 25-Jan | 14:00 | GQASE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 16 | AGR | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 25-Jan | 18:00 | ORGI1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 259 | MMS | F204, F207, F208, F209 | 4 | F203,F204,F207,F209,F317 | 5 |
| 25-Jan | 19:00 | GQASE | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 47 | AGR | F202, F203 | 2 | F208 | 1 |
| 25-Jan | 19:00 | GESTP | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 10 | LTM | c218 | 1 | F202 | 1 |
| 26-Jan | 09:00 | MATE2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 321 | ASB | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302 | 7 | F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 6 |
| 26-Jan | 09:00 | MATE2 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 29 | ATM | F303 | 1 | F202 | 1 |
| 26-Jan | 19:00 | TEMOP | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 28 | PSA | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 26-Jan | 19:00 | CAMAT | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | N | 27 | LMD | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 26-Jan | 19:00 | COMBU | Mestrado Eng. Mecânica - Energia<br>Mestrado Energias Sustentáveis | N | 13 | LSR | F204 | 1 | F209 | 1 |
| 26-Jan | 19:00 | SEENG | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 16 | JBC | F207 | 1 | F204 | 1 |
| 26-Jan | 19:00 | TECON | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 12 | JMC | F208 | 1 | F207 | 1 |
| 27-Jan | 14:00 | FIEXP | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 509 | JNP | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302, F303, F309, F317, F502 | 11 | F202,F204,F207,F208,F209,F302,F309,F317,F409,F515 | 10 |
| 27-Jan | 14:00 | FIEXP | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 91 | MPA | F509, F515 | 2 | F203,F303,F402 | 3 |
| 27-Jan | 18:00 | ORMAQ | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 287 | AJC | F202, F203,F204, F207, F208, F209 | 6 | F202,F204,F207,F208,F209,F317 | 6 |
| 27-Jan | 19:00 | MECFC | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 9 | FAC | F502 | 1 | F203 | 1 |
| 28-Jan | 09:00 | MTNMT | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 270 | MDC | F202, F203,F204, F207, F208, F209 | 6 | F202,F203,F204,F207,F208,F209 | 6 |
| 28-Jan | 11:00 | AEXPT | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | N | 27 | FJF | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 28-Jan | 11:00 | GESEM | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Eng. Mecânica - Energia | N | 41 | JMO | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 28-Jan | 11:00 | PREPT | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | N | 27 | FGS | F203 | 1 | F204 | 1 |
| 28-Jan | 11:00 | ASRNA | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 32 | JOM | F207, F208 | 2 | F209 | 1 |
| 30-Jan | 09:00 | CMATE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 68 | MDJ | F204, F207 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 30-Jan | 14:00 | AUTOM | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 15 | AFS | F302 | 1 | F203 | 1 |
| 30-Jan | 14:00 | CMATE | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 262 | OMP | F202, F203,F204, F207, F208, F209 | 6 | F204,F207,F208,F209,F309 | 5 |
| 30-Jan | 18:00 | AUTO1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 180 | AFS | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F317 | 3 |
| 30-Jan | 19:00 | MCOMP | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | N | 49 | JFS | F209 | 1 | F208 | 1 |
| 30-Jan | 19:00 | GESAP | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 21 | MMS | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 30-Jan | 19:00 | UTIRE | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 7 | LCC | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 31-Jan | 09:00 | MECA2 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 486 | JFJ | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302, F303, F309, F317, F409 | 11 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F302,F309,F317,F515 | 10 |
| 31-Jan | 19:00 | METEF | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | N | 26 | RDS | F202 | 1 | F204 | 1 |
| 31-Jan | 19:00 | REFRI | Mestrado Eng. Mecânica - Energia | N | 14 | LSR | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 31-Jan | 19:00 | SCDIN | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 30 | JTM | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 01-Fev | 09:00 | IEAUT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 70 | DAB | F202, F203 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 01-Fev | 14:00 | IENG1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 212 | LMD | F203,F204, F207, F208, F209 | 5 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 01-Fev | 14:00 | MECV3 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 16 | AGS | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 01-Fev | 19:00 | PLANP | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 11 | PSA | F204, F207 | 2 | F204 | 1 |
| 01-Fev | 19:00 | APIEA | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 26 | RBR | F203 | 1 | F207 | 1 |
| 02-Fev | 14:00 | ELTRO | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 30 | RMB | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 02-Fev | 18:00 | TRFCA | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 268 | LOC | F203,F204, F207, F208, F209 | 5 | F204,F207,F208,F209,F317 | 5 |
| 02-Fev | 19:00 | ENRE1 | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 33 | LOC | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 03-Fev | 09:00 | APROG | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 382 | JSM | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302, F303, F309 | 9 | F202,F203,F204,F207,F208,F209,F309,F317 | 8 |
| 03-Fev | 14:00 | EMELE | Licenciatura Engenharia Mecânica | N | 199 | ATA | F204, F207, F208, F209 | 4 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 03-Fev | 19:00 | SMPFA | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações<br>Mestrado Eng. Mecânica - Energia | N | 76 | AGM | F204, F207 | 2 | F204,F207 | 2 |
| 03-Fev | 19:00 | TRIBO | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | N | 26 | LLM | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 03-Fev | 19:00 | MEREN | Mestrado Energias Sustentáveis | N | 9 | ZAV | F203 | 1 | F209 | 1 |
| 04-Fev | 09:00 | MECV1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | N | 26 | FJF | F207 | 1 | F204 | 1 |
| 04-Fev | 09:00 | ESTES | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | N | 23 | JFS | F208 | 1 | F203 | 1 |
| 04-Fev | 09:30 | LOGIS | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | N | 37 | MPL | F204 | 1 | F207 | 1 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 06-Fev | 14:00 | ALGAN | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 150 | MGM | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F209 | 3 |
| 06-Fev | 09:00 | ALGEB | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 30 | ATM | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 06-Fev | 18:00 | PFAB2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 80 | LLM | F207 | 1 | F204,F207 | 2 |
| 06-Fev | 18:00 | MCINT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 7 | LSR | F202 | 1 | F208 | 1 |
| 06-Fev | 19:00 | TEOES | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | R | 17 | JSD | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 06-Fev | 19:00 | TECAI | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | 8 | MIL | F204 | 1 | F209 | 1 |
| 06-Fev | 19:00 | PROAF | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | R | 15 | FGS | F208 | 1 | F303 | 1 |
| 06-Fev | 19:00 | CLIMA | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 10 | ISP | F209 | 1 | F203 | 1 |
| 07-Fev | 14:00 | TERMO | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 200 | MIC | F203,F204, F207, F208, F209 | 5 | F204,F207,F208,F209 | 4 |
| 07-Fev | 14:00 | TERMO | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 20 | PAA | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 07-Fev | 19:00 | CONSM | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | R | 12 | FJF | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 07-Fev | 19:00 | FENTR | Mestrado Eng. Mecânica - Energia | R | 7 | ASR | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 07-Fev | 19:00 | FENTR | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 25 | ORC | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 08-Fev | 09:00 | DEGER | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 130 | AGS | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F209 | 3 |
| 08-Fev | 09:00 | DEGER | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 30 | LMT | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 08-Fev | 14:00 | GQASE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 15 | AGR | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 08-Fev | 18:00 | ORGI1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 130 | MMS | F204, F207, F208,F209 | 4 | F204,F207,F209 | 3 |
| 08-Fev | 19:00 | GQASE | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | 23 | AGR | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 08-Fev | 19:00 | GESTP | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 5 | LTM | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 09-Fev | 09:00 | MTNMT | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 135 | MDC | F202, F204, F207, F208 | 4 | F204,F207,F209 | 3 |
| 09-Fev | 19:00 | TEMOP | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | 14 | PSA | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 09-Fev | 19:00 | CAMAT | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | R | 14 | LMD | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 09-Fev | 19:00 | COMBU | Mestrado Eng. Mecânica - Energia<br>Mestrado Energias Sustentáveis | R | 7 | LSR | F204 | 1 | F209 | 1 |
| 09-Fev | 19:00 | SEENG | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 8 | JBC | F207 | 1 | F204 | 1 |
| 09-Fev | 19:00 | TECON | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 6 | JMC | F208 | 1 | F207 | 1 |
| 10-Fev | 09:00 | FIEXP | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 250 | JNP | F202, F203,F204, F207, F208, F209, F302 | 7 | F202,F204,F207,F208,F317 | 5 |
| 10-Fev | 09:00 | FIEXP | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 50 | MPA | F303, F309 | 2 | F209 | 1 |
| 10-Fev | 18:00 | ORMAQ | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 147 | AJC | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F209 | 3 |
| 10-Fev | 19:00 | MECFC | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 5 | FAC | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 11-Fev | 09:00 | MATE2 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 150 | ASB | F204, F207 | 2 | F204,F207,F209 | 3 |
| 11-Fev | 09:00 | MATE2 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 15 | ATM | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 11-Fev | 11:00 | AEXPT | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | R | 13 | FJF | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 11-Fev | 11:00 | GESEM | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Eng. Mecânica - Energia | R | 20 | JMO | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 11-Fev | 11:00 | PREPT | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | R | 14 | FGS | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 11-Fev | 11:00 | ASRNA | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 16 | JOM | F207, F208 | 2 | F204 | 1 |
| 13-Fev | 09:00 | CMATE | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 140 | OMP | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F209 | 3 |
| 13-Fev | 09:00 | AUTOM | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 7 | AFS | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 13-Fev | 14:00 | CMATE | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 34 | MDJ | F202, F203 | 2 | F202 | 1 |
| 13-Fev | 18:00 | AUTO1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 90 | AFS | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207 | 2 |
| 13-Fev | 19:00 | MCOMP | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | R | 24 | JFS | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 13-Fev | 19:00 | GESAP | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | 10 | MMS | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 13-Fev | 19:00 | UTIRE | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 3 | LCC | F208 | 1 | F209 | 1 |
| 14-Fev | 09:00 | MECA2 | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 235 | JFJ | F202,F204, F207, F208, F209 | 5 | F202,F204,F207,F208,F209 | 5 |
| 14-Fev | 19:00 | METEF | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | R | 13 | RDS | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 14-Fev | 19:00 | REFRI | Mestrado Eng. Mecânica - Energia | R | 7 | LSR | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 14-Fev | 19:00 | SCDIN | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 15 | JTM | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 15-Fev | 09:00 | IENG1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 105 | LMD | F204, F207 | 2 | F202 | 1 |
| 15-Fev | 09:00 | MECV3 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 8 | AGS | F202 | 1 | F207 | 1 |
| 15-Fev | 14:00 | IEAUT | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 35 | DAB | F202 | 1 | F204,F207 | 2 |
| 15-Fev | 19:00 | PLANP | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | 35 | PSA | F203 | 1 | F202 | 1 |
| 15-Fev | 19:00 | APIEA | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 13 | RBR | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 16-Fev | 09:00 | ELTRO | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 15 | RMB | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 16-Fev | 18:00 | TRFCA | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 140 | LOC | F204, F207, F208 | 3 | F204,F207,F209 | 3 |
| 16-Fev | 19:00 | ENRE1 | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 15 | LOC | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 16-Fev | 19:00 | LOGIS | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | 18 | MPL | F209 | 1 | F202 | 1 |
| 17-Fev | 09:00 | APROG | Licenciatura Engenharia Mecânica<br>Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 183 | JSM | F202, F204, F207, F208 | 4 | F202,F204,F207,F209 | 4 |
| 17-Fev | 14:00 | ANPRO | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | | JJV | F202 | 1 | F203 | 1 |
| 17-Fev | 14:00 | EMELE | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | 100 | ATA | F204, F207 | 2 | F204,F207,F209 | 3 |
| 17-Fev | 18:00 | PROJ1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | | ISP | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 17-Fev | 19:00 | SMPFA | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas<br>Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações<br>Mestrado Eng. Mecânica - Energia | R | 38 | AGM | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 17-Fev | 19:00 | TRIBO | Mestrado Eng. Mecânica - Materiais e Tec. Fabrico | R | 13 | LLM | F203 | 1 | F209 | 1 |
| 17-Fev | 19:00 | MEREN | Mestrado Energias Sustentáveis | R | 5 | ZAV | F207 | 1 | F204 | 1 |
| 18-Fev | 09:00 | ANPR1 | Licenciatura Engenharia Mecânica | R | | ORC | F202 | 1 | F202 | 1 |
| 18-Fev | 09:00 | MECV1 | Licenciatura Engenharia Mecânica Automóvel | R | 13 | FJF | F203 | 1 | F203 | 1 |
| 18-Fev | 09:00 | ESTES | Mestrado Eng. Mecânica - Construções Mecânicas<br>Mestrado Construções Mecânicas | R | 12 | JFS | F204 | 1 | F207 | 1 |
| 18-Fev | 09:00 | GESTP | Mestrado Eng. Mecânica - Gestão Industrial<br>Mestrado Gestão de Processos e Operações | R | | JAB | F207 | 1 | F204 | 1 |
| | | | | | | | | 266 | | 242 |