



LISBON  
SCHOOL OF  
ECONOMICS &  
MANAGEMENT  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

## **MESTRADO**

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A  
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

## **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

TRABALHO DE PROJETO

ESCALONAMENTO DE PROVAS DE AVALIAÇÃO:  
UMA APLICAÇÃO

TIAGO MIGUEL MENDONÇA DUARTE

OUTUBRO - 2017



LISBON  
SCHOOL OF  
ECONOMICS &  
MANAGEMENT  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

## **MESTRADO**

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A  
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

## **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

TRABALHO DE PROJETO

ESCALONAMENTO DE PROVAS DE AVALIAÇÃO:  
UMA APLICAÇÃO

TIAGO MIGUEL MENDONÇA DUARTE

ORIENTAÇÃO:

LEONOR ALMEIDA LEITE SANTIAGO PINTO

OUTUBRO - 2017

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora Professora Dra. Leonor Santiago Pinto pela disponibilidade, acompanhamento e ajuda constante na orientação deste projeto.

À Ana Filipa Loureiro, da secretaria das licenciaturas do ISEG, agradeço a disponibilidade na explicação de todos os processos e no esclarecimento das dúvidas que foram surgindo. De forma a retribuir toda essa ajuda demonstrada e cumprir um dos objetivos deste projeto, pretendo acompanhar todos os processos do próximo escalonamento das provas escritas.

Aos meus amigos, por todos os momentos bem passados que serviram para descontrair dos períodos mais complicados e, também, pelo apoio e ajuda.

Aos meus avós e restante família, pelo constante apoio e essenciais na minha educação.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e por me terem proporcionado a formação académica que eu desejava. Agradecer, ainda, pela motivação, educação e compreensão pela minha ausência neste percurso académico. Muito Obrigado.

Por último, um agradecimento especial à Carolina Domingues pelo seu papel essencial nestes últimos anos. Também, agradecer pela motivação, apoio, paciência e compressão demonstrada no decorrer deste projeto.

## Resumo

O presente projeto reside na criação, em parceria com a Secretaria das Licenciaturas do ISEG, de uma plataforma para o escalonamento de todas as provas escritas das Licenciaturas. Para facilitar a utilização da plataforma, houve um cuidado particular em reproduzir o procedimento manual, no processo automático.

Esta ferramenta, a ser aplicada na secretaria do ISEG, permite otimizar o escalonamento das provas aplicando métodos que observam as regras impostas pelo regulamento de avaliação. A plataforma desenvolvida permitiu tornar a tarefa num processo mais rápido, acessível e eficaz. Partindo da lista das inscrições de cada aluno e com os restantes dados referentes às unidades curriculares e época de avaliação, obtêm-se os vários horários das provas de avaliação por curso.

Para ilustrar e avaliar esta ferramenta, a plataforma foi testada num escalonamento anterior, sendo assim possível comparar os resultados obtidos pelos dois métodos: manual e automatizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escalonamento, Otimização, Heurística.

## Abstract

This project is based on the creation, in partnership with the Undergraduate Office of ISEG, of a platform for the scheduling of all the written tests of the Undergraduate Courses. Particular care has been taken to reproduce, as much as possible, in the automatic process the appearance of the manual procedure, to facilitate its use.

This tool, to be applied in the secretariat of ISEG, allows the scheduling of the exams and tests by applying methods that observe the rules imposed by the evaluation regulation.

The developed platform made the scheduling task faster, more accessible and more efficient. Starting from the list of the enrollments of each student and the remaining data referring to the curricular units and the evaluation period, the schedules for the exams and tests by course are obtained.

To illustrate and evaluate this tool, the platform was used in a previous scheduling and the results obtained by the two methods were compared: manual and automated.

KEYWORDS: Scheduling, Optimization, Heuristic.

## Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>vi</b>
<b>Siglas</b>	<b>vii</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2. Revisão de Literatura</b>	<b>3</b>
<b>3. Definição e Enquadramento do caso de Estudo</b>	<b>5</b>
<b>4. Metodologia</b>	<b>13</b>
<b>5. Plataforma de Escalonamento</b>	<b>18</b>
<b>6. Resultados</b>	<b>25</b>
<b>7. Conclusão</b>	<b>34</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>35</b>
<b>I Anexo</b>	<b>36</b>

## Lista de Figuras

1	Apresentação do Menu da Plataforma . . . . .	19
2	Formulário de introdução e alteração das UCs . . . . .	20
3	Formulário inicial . . . . .	22
4	Formulário de seleção das UCs a realizar prova . . . . .	22
5	Formulário de introdução prévia das UCs . . . . .	23
6	Mensagem indicativa do número de UCs a escalonar . . . . .	26
7	Formulário de introdução prévia das UCs a realizar exame de época normal	27
8	Alerta das UCs com inscritos em comum . . . . .	27
9	Escalonamento de Exames da Época Normal (processo manual) . . . . .	28
10	Escalonamento de Exames da Época Normal (pela Plataforma) . . . . .	30

## Lista de Tabelas

1	Estrutura semanal do calendário da época de exames . . . . .	11
2	Estrutura semanal do calendário das provas de avaliação intermédios .	12
3	Tabela de inscrições . . . . .	21
4	Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na EN (processo manual) . . . . .	29
5	Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na EN (pela Plataforma) . . . . .	29
6	Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na ER (processo manual) . . . . .	31
7	Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na ER (pela Plataforma) . . . . .	31
8	Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, para a AI (processo manual) . . . . .	32
9	Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, para a AI (pela Plataforma) . . . . .	32

## Siglas

AI	Avaliações Intercalares
ECTS	<i>European Credit Transfer System</i>
EE	Época Especial
EEES	Espaço Europeu de Ensino Superior
EN	Época Normal
ER	Época de Recurso
FMH	Faculdade de Motricidade Humana
ISEG	Instituto Superior de Economia e Gestão
MAEG	Matemática Aplicada à Economia e à Gestão
MBA	<i>Master of Business Administration</i>
RGAC	Regulamento Geral de Avaliação de Conhecimentos das Licenciaturas
UC	Unidade Curricular
ULisboa	Universidade de Lisboa
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

## 1. Introdução

A motivação para a realização do presente projeto surgiu perante a necessidade de melhorar os processos de escalonamento utilizados pela secretaria das licenciaturas do ISEG. O desafio proposto foi o de aplicar os conhecimentos adquiridos no Mestrado, para automatizar o escalonamento das provas.

Apesar de no instituto serem lecionadas matérias relacionadas com otimização e automatização, atualmente a secretaria das licenciaturas não tira partido deste conhecimento no sistema de escalonamento das provas. As regras para a introdução da prova de cada unidade curricular (UC) no horário seguem um processo heurístico, afetando-se cada UC a um horário sem que daí resulte conflito com outras UCs para os mesmos alunos.

Todo este sistema é feito manualmente tendo apenas o apoio informático de tabelas das inscrições de alunos nas diferentes UCs. Nestas tabelas consta a informação das inscrições dos alunos dos anos anteriores. Por exemplo, para os exames do ano de 2017/2018, são utilizadas as inscrições nas unidades curriculares do ano de 2016/2017, podendo assim existir falhas. As inscrições nas UCs optativas e as sobreposições entre provas são as componentes com maior variação registada entre os diferentes anos letivos. Contrariamente, o número de inscritos por UC, influenciado pela taxa de reprovação e certas precedências de cadeiras, regista uma menor variação entre anos letivos.

O presente Projeto propõe-se contribuir para reduzir o trabalho manual envolvido no escalonamento das provas. Através da ferramenta do Excel *Visual Basic for Applications*

(VBA), foi desenvolvida uma plataforma automática para o escalonamento das provas escritas do ISEG, preservando os critérios estabelecidos pelo Regulamento Geral de Avaliação de Conhecimentos das Licenciaturas (RGAC)[8].

## 2. Revisão de Literatura

O escalonamento (*scheduling*) consiste na organização de uma agenda, tratando-se da atribuição de recursos ou tarefas a um período temporal, de modo a otimizar a utilização de recursos escassos, podendo minimizar os custos ou o tempo de trabalho.

Como o presente projeto visa o escalonamento das provas escritas do ISEG, faz-se uma breve revisão da literatura sobre *timetabling*, como exposto no *Survey A comprehensive study of educational timetabling*[9]. Com este artigo, é possível compreender os vários problemas de *timetabling* tais como cursos universitários, horários escolares, horários de exames e criação de turmas abordando um conjunto de soluções para os mesmos.

Tal como consta no *Survey* referido anteriormente, a quantidade de documentos e artigos sobre este tema é extensa e variada nas aplicações que trata.

No artigo *An introduction to timetabling*, D. de Werra (1985) [1] ofereceu um conhecimento mais alargado relativamente às principais variáveis e restrições inerentes a este tipo de problemas, bem como alguns modelos que apoiam a resolução de diversos problemas de *timetabling*. O presente projeto baseia-se neste artigo para a formulação do problema em estudo.

Adicionalmente, o artigo *Integer programming for minimal perturbation problems in university course timetabling*, Phillips et al.(2016) [2], contribuiu para a contextualização do problema atual em que a otimização e automatização fazem parte, cada vez mais, de todos os processos. Neste âmbito, expõe um conjunto de restrições de *neighborhood*,

que consiste em processos de agrupamento de otimização combinatória, permitindo entender o conceito aplicado em formalizações deste tipo. Estas restrições têm aplicação prática nos problemas de *timetabling*, onde se tornam fundamentais quando existe a necessidade de restringir uma tarefa a uma outra em tempos anteriores ou posteriores.

Face à necessidade de melhorar o escalonamento das Unidades Curriculares optativas, foi estudada a possibilidade de introdução de *graph coloring*. Recorrendo ao artigo *A cutting plane algorithm for graph coloring*, Méndez-Díaz e Zabala (2004) [3], o qual contribuiu para entender o seu conceito e criar uma opção que organiza as optativas em grupos, onde nenhuma tenha implicação com as restantes. As UCs juntam-se em grupos que podem ter provas em simultâneo por não terem nenhum aluno em comum.

### 3. Definição e Enquadramento do caso de Estudo

#### O Instituto

O Instituto Superior de Economia e Gestão (ISEG), também designado por *Lisbon School of Economics and Management*, é a escola de Economia e Gestão mais antiga do país, tendo como origem a Aula do Comércio, fundada em 1759. Recentemente, em 2011, o ISEG, bem como o Instituto Superior Técnico, assinalaram o seu primeiro centenário, pois em 1911 o Instituto Industrial e Comercial de Lisboa dá origem ao Instituto Superior de Comércio (mais tarde ISCEF, depois ISE e finalmente, ISEG) e ao Técnico.

Portanto, a instituição conta com mais de 100 anos na formação da elite empresarial e política portuguesa. Integra a Universidade de Lisboa (ULisboa) desde 2013, a maior universidade do país e a universidade portuguesa melhor posicionada nos *rankings* internacionais, 160<sup>a</sup> no *Academic Ranking of World Universities* 2016, [5].

O ISEG, tem como **missão** a criação, transmissão e valorização social e económica do conhecimento de cultura nos domínios das ciências económicas, financeiras e empresariais. A sua **visão** passa por contribuir para o desenvolvimento económico e social do país, promover o avanço da fronteira de conhecimento, e afirmar o país internacionalmente. Como **valores**, destaca a diversidade e pluralidade, ética e responsabilidade social, liberdade intelectual e científica, avaliação e melhoria contínua [6].

O instituto procurou oferecer sempre a melhor formação aos seus alunos, criando oportunidades que os diferencie no mercado de trabalho, criando novos cursos e atu-

alizando constantemente os seus planos de estudo. Atualmente, o instituto oferece 6 Licenciaturas, 19 Mestrados, 32 Pós-Graduações, 12 Cursos Executivos, 6 Doutoramentos e 1 *Master of Business Administration* (MBA) [4], para além de outras formações.

## **Após os acordos de Bolonha**

Como anteriormente se referiu, desde a fundação do instituto, os planos de estudo sofreram muitas alterações na sua estrutura, acompanhando as mudanças do panorama universitário; a duração dos cursos e os planos curriculares, foram sofrendo algumas alterações ao longo da história do Instituto.

No ano de 2007/2008 foi implementado, no ISEG, o processo de Bolonha. Neste, todos os planos académicos passaram a ter regras idênticas dentro do Espaço Europeu de Ensino Superior (EEES). Este processo contribuiu para um ensino superior global compatível, mais competitivo, com mais mobilidade e partilha de conhecimentos nos países Europeus. Este acordo foi assinado em Bolonha, em 1999, por Ministros da Educação de 29 países europeus, com objetivos claros em tornar a educação a base do desenvolvimento sustentável das sociedades. Por conseguinte, passaram a existir três ciclos de estudos: Licenciatura, Mestrado e Doutoramento, também designados por 1º, 2º e 3º Ciclos, respetivamente.

Com a implementação dos acordos de Bolonha, as licenciaturas passaram a ter uma nova estrutura: os programas apresentam agora uma nova organização com objetivos formativos, durações e cargas de trabalho semelhantes e comparáveis. Neste âmbito,

foi introduzido um sistema de créditos, *European Credit Transfer System* (ECTS), que corresponde a uma unidade de medida que permite a comparação dos cursos e UCs das diferentes universidades representando o volume de trabalho do estudante (como aulas, trabalhos práticos ou relatórios). Este sistema permite ao aluno realizar um semestre numa universidade distinta, fora ou dentro do território nacional. Adicionalmente, para além de poderem escolher algumas UCs no seu curso, também pode obter créditos por experiências extra-curriculares desenvolvidas durante o seu percurso académico, como por exemplo, a integração em grupos universitários, como por exemplo a Associação de Estudantes ou a Tuna. Outra alteração resultante do processo de Bolonha, residiu na redução das licenciaturas para seis ou oito semestres.

Face às alterações anteriormente referidas, o sistema de avaliação de conhecimentos foi igualmente ajustado a todo este processo. Os cursos do 1º ciclo, as licenciaturas, passaram a ser divididas em 180 ou 240 ECTS sendo que em cada semestre e em cada ano letivo, o plano de estudos inclui 30 e 60 ECTS, respetivamente.

Como resultado do processo, os cursos do 1º ciclo do ISEG têm planos de estudo de 3 anos e com 180 ECTS. Deste modo, as UCs obrigatórias têm 6 ECTS e as optativas variam entre os 4 e os 7,5 ECTS, com os 7,5 ECTS atribuídos às UCs lecionadas no 2º ciclo - Mestrado.

Como o presente trabalho tem por finalidade o escalonamento de provas escritas das licenciaturas, dedica-se o ponto seguinte à descrição das mesmas.

## As atuais licenciaturas do ISEG

Desde o século XX que o ISEG disponibiliza as licenciaturas de Economia, Gestão, Finanças e Matemática Aplicada à Economia e à Gestão (MAEG).

Em 2002, inicia-se o curso de Gestão do Desporto em parceria com a Faculdade de Motricidade Humana (FMH), também da ULisboa. As UCs da área financeira e matemática são lecionadas no ISEG e as restantes na FMH.

Perante a crescente globalização e intercâmbio escolar, o ISEG procurou adaptar-se à nova procura, alargando a sua oferta em termos de licenciaturas. Desta forma, foram criados os cursos de *Economics* e *Management*, com início nos anos de 2013/2014 e 2015/2016, respetivamente, sendo integralmente lecionados em língua inglesa.

O 1º ano das licenciaturas em Economia, Gestão e Finanças é comum, e a licenciatura em MAEG partilha algumas UCs com as anteriores. Nos restantes anos, os planos de estudo distinguem-se, embora contenham algumas UCs em comum. No caso das optativas, esta multiplicidade de cursos tem uma escala maior uma vez que cada optativa está aberta a várias licenciaturas.

A existência de UCs comuns a várias licenciaturas faz com que a calendarização das provas escritas assumam uma grande dificuldade.

## Processo de Avaliação de Conhecimentos

A avaliação realizada no ISEG difere de UC para UC, estando a cargo dos respetivos responsáveis a definição do método de avaliação, respeitando o Regulamento Geral de Avaliação de Conhecimentos (RGAC). Para além da época normal (EN), da época de recurso (ER) e da época especial (EE), a avaliação de conhecimentos de uma UC pode integrar também uma percentagem em avaliação contínua.

A avaliação contínua consiste na avaliação realizada ao longo do semestre que pode conter trabalhos individuais ou de grupo, ou provas intercalares. Caso exista, a avaliação contínua pode contemplar a dispensa de exame, mas regra geral, a sua ponderação varia entre os 30% e os 60%.

A época normal serve de complemento à avaliação contínua ou, se esta não existir tem carácter obrigatório para avaliação na UC representando 100% da avaliação. A época de recurso destina-se aos alunos que reprovem na época normal ou aos casos de melhoria de nota, tendo esta avaliação um peso de 100% na nota final.

A época especial é uma época suplementar, apenas para trabalhadores-estudantes, dirigentes associativos, atletas de alta competição, atletas universitários, militares e finalistas.

O presente trabalho tem como objetivo construir uma plataforma que automatize o escalonamento das provas escritas das três épocas anteriormente referidas e ainda o escalonamento das Provas de Avaliação Intercalares (AI).

## Caso de Estudo

O escalonamento das provas escritas, das licenciaturas do ISEG, está a cargo da secretaria das licenciaturas. O calendário apresentado desde a introdução do acordo de Bolonha nas licenciaturas, tem a duração de três semanas para os exames da EN e uma semana para os exames da época de ER, EE e AI. A construção do calendário tem em conta o percurso recomendado dos alunos, isto é, a realização dos exames das UCs no semestre estipulado pelo plano curricular do curso.

O Regulamento Geral de Avaliação de Conhecimentos das Licenciaturas, no seu artigo 4º estabelece regras precisas que devem ser observadas no escalonamento das provas escritas quer da EN, quer da ER [7],

*1. Na avaliação de conhecimentos da época normal, as provas escritas individuais das unidades curriculares obrigatórias – para todos os alunos de uma licenciatura – do mesmo ano curricular dos percursos recomendados não podem ter lugar no mesmo dia ou em dias consecutivos.*

*2. Na avaliação de conhecimentos da época de recurso, as provas escritas individuais das unidades curriculares obrigatórias – para todos os alunos de uma licenciatura – do mesmo ano curricular dos percursos recomendados não podem ter lugar no mesmo dia.*

Relativamente às provas de ambas as épocas de avaliação, a secretaria definiu, para cada dia, quatro turnos com duração de três horas, sem intervalos entre turnos. O escalonamento é feito de Segunda-feira a Sábado, com esta última opção a ser utili-

zada apenas em caso de necessidade de mais um dia para o cumprimento das regras do RGAC e para o benefício dos alunos, contando apenas com dois turnos. Caso exista algum feriado durante este período, o calendário é ajustado ao número de dias.

	2º Feira	3º Feira	4º Feira	5º Feira	6º Feira	Sábado
9h						
12h						
15h						
18h						

Tabela 1: Estrutura semanal do calendário da época de exames

A partir do ano letivo de 2015/2016, foram implementadas as provas das avaliações intercalares no ISEG. São testes para a avaliação contínua que decorrem durante uma semana com interrupção no calendário das aulas. Fica ao critério de cada UC optar ou não pela realização destas provas.

No primeiro ano de implementação, 2015/2016, as provas decorreram durante uma semana para as sete licenciaturas. Já no ano letivo seguinte, 2016/2017, a duração passou para duas semanas, onde a primeira foi destinada a exames de 2º ano e a segunda semana aos 1º e 3º anos. Depois de testadas estas duas opções, preferiu-se o escalonamento em uma semana para todos os anos.

Para as provas intercalares o horário estabelecido pela secretaria define cinco turnos de duas horas por dia, de segunda a sexta, e ao sábado três turnos no período da manhã, sem intervalos entre os turnos.

	2º Feira	3º Feira	4º Feira	5º Feira	6º Feira	Sábado
8h						
10h						
12h						
14h						
16h						

Tabela 2: Estrutura semanal do calendário das provas de avaliação intermédios

O cumprimento das regras do RGAC permite apurar mais do que um escalonamento colocando-se então a questão de saber o que se entende por melhor escalonamento para o conjunto dos alunos. Neste trabalho optou-se por considerar ideal o escalonamento que minimiza o número de vezes que alunos têm UCs escalonadas para o mesmo dia, que designaremos simplesmente como o número de sobreposições de UCs. Pretende-se construir um horário para as provas escritas, atendendo às UCs envolvidas, conhecidos os alunos inscritos e observando as regras do RGAC. Esse horário deverá minimizar o número de sobreposições.

## 4. Metodologia

### Modelo

O problema identificado no capítulo anterior pode ser formulado como um problema de Programação Linear Inteira (PLI).

Para tal define-se:

- $U$  conjunto das UCs a escalonar
- $U_j \subset U$  conjunto de UCs que não podem ser escalonado no mesmo dia,  $j=1,2,\dots,J$ ,  
 $J$  número de conjuntos de cadeiras incompatíveis;
- $b_u$  número de alunos inscritos na UCs  $u$ ;
- $c_{uv}$  número de alunos inscritos simultaneamente nas UCs  $u$  e  $v$ ;
- $S$  número máximo de UCs que podem ser escalonadas simultaneamente;
- $B$  número máximo de alunos que podem realizar prova simultaneamente;
- $D$  conjunto de dias disponíveis para o escalonamento;
- $T_d$  conjunto de turnos no dia  $d$ ;
- $E$  conjunto de dias disponíveis para escalonamento mas que devem ser evitados;

e as variáveis

$$x_u^{dt} = \begin{cases} 1, & \text{se a prova da UC } u \text{ é colocada no turno } t \text{ do dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

onde  $u \in U, d \in D, t \in T_d$ .

Uma solução a satisfazer as restrições definidas seguidamente corresponderá a um escalonamento a cumprir as regras estabelecidas sujeitas a,

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T_d} x_u^{dt} = 1 \quad , \quad u = 1, 2, \dots, |U| \quad (1)$$

$$\sum_{u \in U} x_u^{dt} \leq S \quad , \quad t = 1, 2, \dots, |T_d| \quad , \quad d = 1, 2, \dots, |D| \quad (2)$$

$$\sum_{u \in U} b_u x_u^{dt} \leq B \quad , \quad t = 1, 2, \dots, |T_d| \quad , \quad d = 1, 2, \dots, |D| \quad (3)$$

$$\sum_{t \in T_d} \sum_{u \in U_j} x_u^{dt} \leq 1 \quad , \quad d = 1, 2, \dots, |D| \quad , \quad j = 1, 2, \dots, |J| \quad (4)$$

em que,

- (1) todas as UCs são escalonadas;
- (2) não existem mais do que  $S$  UCs em simultâneo;
- (3) não existem mais do que  $B$  alunos em simultâneo;
- (4) não existem incompatibilidades.

Atualmente, no processo manual, a secretaria observa simultaneamente os critérios (2) e (3).

O número de sobreposições para uma dada solução pode ser obtido pela função,

$$\sum_{u,v \in U} \sum_{d \in D} c_{uv} \left( \sum_{t \in T_d} x_u^{dt} \sum_{t \in T_d} x_v^{dt} \right) \quad (5)$$

Contudo não se trata de uma expressão linear. Para escrever uma função equivalente linear, considere-se o grafo das sobreposições  $G = (U, A)$  com nodos a representar as

UCs e com arestas a traduzir a existência de sobreposições. Desta forma, a existência de arestas  $(u, v)$  em  $A$  significa que as UCs  $u$  e  $v$  têm alunos em comum.

Definam-se ainda as variáveis

$$y_{uv}^d = \begin{cases} 1, & \text{as UCs } u \text{ e } v \text{ são colocadas no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

para,  $(u, v) \in A$ ,  $d = 1, 2, \dots, |D|$  devem-se impôr:

$$y_{uv}^d \geq \sum_{t \in T_d} x_u^{dt} + \sum_{t \in T_d} x_v^{dt} - 1 \quad , \quad (u, v) \in A, d = 1, 2, \dots, |D| \quad (6)$$

Assim a função objectivo pode ser escrita de forma linear

$$\min z = \sum_{u, v \in A} \sum_{d \in D} c_{uv} y_{uv}^d \quad (7)$$

A penalização do escalonamento em dias especiais  $d \in E \subset D$  pode ser feita usando um valor elevado  $M$  e acrescentado à função (7), ou seja, tomando como objetivo:

$$\min z = \sum_{u, v \in A} \sum_{d \in D} c_{uv} y_{uv}^d + M \sum_{d \in E} \sum_{t \in T_d} \sum_{u \in U} x_u^{dt} \quad (8)$$

Em resumo o modelo de PLI é dado pela função (8) e pelas restrições (1), (2), (3), (4) e (6)

## Heurística

No sistema atual o escalonamento tem sido feito manualmente por um procedimento heurístico. O processo torna-se moroso, complexo e propenso a falhas devido à quantidade de UCs que integram os vários cursos.

O processo manual é inicializado pela escolha de uma UC do 1º ano do percurso recomendado e comum a mais do que uma licenciatura. Posteriormente, com base nos inscritos dessa UC e das outras já inseridas no horário, escolhe-se um dia em que a interseção dos inscritos da UC a inserir e das UCs já inseridas seja nula. Caso o número de alunos em comum seja elevado em todos os dias, seleciona-se um turno cuja interseção corresponda ao menor número de alunos. Aplica-se este procedimento para cada UC até que todas se encontrem fixas.

Esta heurística segue as regras do RGAC, dadas pelo artigo 4º relativo ao escalonamento das provas escritas, apresentado anteriormente. O número de dias considerado para cada escalonamento é suficiente para que a heurística chegue a um escalonamento viável.

Seguidamente, as UCs são diferenciadas pelas respetivas licenciaturas, até que todas as UCs do 1º ano fiquem escalonadas. Este procedimento é repetido para o 2º ano, 3º ano e optativas, respetivamente.

O escalonamento atual tem como base as inscrições nas UCs do ano anterior, ou seja, o escalonamento das provas do ano letivo 2016/2017 foi definido com as inscrições do ano 2015/2016.

Adiante esquematiza-se o procedimento usado sob a forma de pseudocódigo.

## Pseudocódigo

**INPUT:**  $U$  conjunto de  $N$  UCs a escalonar,  $U = N_1 \cup N_2 \cup N_3$  sendo  $N_p$  o conjunto de  $|N_p|$  UCs do grupo  $p = 1, 2, 3$  representando, pela mesma ordem, o percurso recomendado, percurso não recomendado e grupos de optativas. Com  $N_p \cap N_q = \emptyset$ , para  $p \neq q$ .

$n_u$  é o número de cursos a que pertence a UC  $u$ ;

$b_u$  é o número de alunos inscritos na UC  $u$ ;

$B_u$  conjunto de alunos inscritos na UC  $u$ ;

**OUTPUT:** Horário  $H$ , sendo  $H$  uma matriz de conjuntos, cujo elemento genérico  $H[d][t]$  é o conjunto de UCs colocadas no turno  $t$  do dia  $d$ ;  $H[d]$  será o conjunto das UCs colocadas no dia  $d$ .

$D$  conjunto de dias do período de escalonamento;

$E$  conjunto de dias especiais (sábado, por exemplo);

$T_d$  conjunto de turnos do dia  $d$ ;

$S$  número máximo de UCs por turno;

$B$  número máximo de alunos inscritos em provas escalonadas para um turno;

**Para**  $p = 1$  até 3

**Enquanto**  $N_p \neq \emptyset$

**Selecionar**  $u_s$ , a próxima UC em  $N_p$  a escalonar,

será a UC ainda não escalonada dentro das presentes em mais cursos e a que tiver maior número de alunos inscritos. Isto é,

$$\circlearrowleft \text{ Seja } k = \max_{u \in N_p} \{n_u\}; H_p^k = \{u \in N_p : n_u = k\}$$

$$\circlearrowleft u_s: b_{u_s} = \max_{u \in H_p^k} \{b_u\}$$

**Escalonar**  $u_s$  no dia  $d_s$ , turno  $t_s$

$$D_s = D \setminus E$$

**Selecionar**  $d_s$

$$\circlearrowleft \text{ Seja } d_s \in D_S \text{ tal que } |B_{u_s} \cap \left( \cup_{u \in H[d]} B_u \right)| \text{ é mínimo;}$$

$\circlearrowleft$  Seja  $t_s$  o turno de  $d_s$  sem sobreposição com disponibilidade, isto é, com número de UCs colocadas  $< S$  e o número de alunos nas UCs colocadas  $< B$ ;

$\circlearrowleft$  Se não existe tal turno no dia  $d_s$  fazer  $D_s \leftarrow D_s - \{d_s\}$ , ( se  $D_s = \emptyset$  fazer  $D_s = E$ ) e voltar ao passo **selecionar**  $d_s$ ;

$$\circlearrowleft \text{ Se existe } t_s \text{ no dia } d_s H[d_s][t_s] \leftarrow H[d_s][t_s] + \{u_s\};$$

$$\circlearrowleft N_p \leftarrow N_p - \{u_s\};$$

**Fim** Enquanto  $N_p \neq \emptyset$ .

**Próximo**  $p$

No final o resultado está em  $H$ .

## 5. Plataforma de Escalonamento

A plataforma para o escalonamento automático das provas escritas do ISEG requer apenas o *Excel* e as suas ferramentas, incluindo o VBA no qual está programado todo o algoritmo. O input, o registo das inscrições dos alunos nas unidades curriculares, é uma folha de *Excel* fornecida pelo departamento informático do ISEG. O Anexo I do presente trabalho contém um manual de instruções para apoiar os utilizadores.

A plataforma desenvolvida baseia-se na execução do algoritmo de seleção e introdução das unidades curriculares no horário. Seguidamente serão explicitados os procedimentos desta plataforma desenvolvida desde o seu Menu inicial até ao Output - escalonamento dos horários das provas escritas do ISEG.



Figura 1: Apresentação do Menu da Plataforma

A presente plataforma lê os dados sobre as UCs tais como o semestre e os cursos em que a cadeira é lecionada e se é optativa. Na Figura 2 pode observar-se o formulário de introdução e alteração das UCs na plataforma, sendo esta informação fundamental ao escalonamento.

Formulário das Unidades Curriculares	
Alterar UC   Adicionar UC	
UC	MI1
Nome	Microeconomia I
Sigla	MI1
Ano	2
1º Semestre	<input checked="" type="checkbox"/>
2º Semestre	<input type="checkbox"/>
Economia	<input checked="" type="checkbox"/>
Gestão	<input type="checkbox"/>
Finanças	<input checked="" type="checkbox"/>
MAEG	<input checked="" type="checkbox"/>
Economics	<input type="checkbox"/>
Management	<input type="checkbox"/>
Gestão do Desporto	<input type="checkbox"/>
Optativa	<input type="checkbox"/>
Guardar   Apagar   Fechar	

Figura 2: Formulário de introdução e alteração das UCs

Posteriormente, é necessária a importação dos dados relativos às inscrições disponibilizados por uma tabela dinâmica. Esta apresenta as sobreposições entre as UCs sendo o número de inscritos em cada uma delas dado pela diagonal da matriz.

Interseções	AIEE	AM1	CAN	CGE1	E1	EC	EC1	GF1	HEE	IG	IO	M1	M2	SOND
AIEE	289		20	13	237			14	2	220	16	237	15	
AM1		60	1		46	3				47	1			
CAN	20	1	172		19	2	6	69		3	65	14	41	
CGE1	13			181	32	1	30	4	20	30	2	38	54	3
E1	237	46	19	32	632			17	232	505	14	481	38	
EC		3	2	1		144		5	4	2	20		2	
EC1			6	30			75	4		1				5
GF1	14		69	4	17	5	4	146		3	54	13	33	2
HEE	2			20	232	4			289	225	1	227	24	
IG	220	47	3	30	505	2	1	3	225	579	5	443	25	
IO	16	1	65	2	14	20		54	1	5	276	1	5	
M1	237		14	38	481			13	227	443	1	608		
M2	15		41	54	38	2		33	24	25	5		307	
SOND				3			5	2						10

Tabela 3: Tabela de inscrições

A tabela de inscrições, de que se apresenta um exemplo (Tabela 3), é alterada consoante o semestre em análise, utilizando os dados, previamente importados, relativos ao respetivo semestre. A tabela de inscrições é um input fundamental.

Tal como consta na Figura 3, a primeira fase do programa reside na introdução do nome do ficheiro de input e do caminho até à pasta onde se encontra o ficheiro de modo a transferir essa informação para a plataforma. Adicionalmente, o utilizador introduz nos devidos formulários a restante informação necessária: o semestre, o tipo de prova, o número de semanas para as avaliações e a data de início. Relativamente à data de início, caso exista algum feriado durante este período, o calendário é ajustado ao número de dias e não ao calendário semanal, uma vez que o programa não reconhece os feriados. A referência ao semestre a analisar é essencial para estabelecer a prioridade a dar às unidades curriculares do percurso recomendado, tal como se explicitará mais adiante.

Formulário Inicial

Seleccione os campos das secções seguintes

Ficheiro

Pasta do Ficheiro

Nome do Ficheiro

Semestre

1º Semestre  2º Semestre

Tipo de Prova

Testes Intercalares  Época Normal  Época de Recurso

Número de Semanas

1 Semana  3 Semanas

Data de Início das Provas

jan 2018

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

Guardar e Fechar

Figura 3: Formulário inicial

Após a introdução dessa informação que contém todas as UCs lecionadas durante o semestre a analisar, prossegue-se à seleção das UCs que realizam a prova de avaliação de que se pretende fazer o escalonamento, tal como ilustrado na Figura 4. *À posteriori*, é eliminada a informação em excesso na tabela das inscrições.

Inserir Unidades Curriculares a realizar prova

GF2-E  
GF-E  
GI  
GNI  
GQ  
HEE  
HEE-E  
HEP  
HPE  
HUE  
IDTR  
IG  
IG-E  
ING1  
IO  
IO1  
IO2  
IO-E

Adicionar

Remover

Concluir

AIEE  
AM1  
CAN  
CGE1  
E1  
EC  
EC1  
GF1

Selecionar/Desselecionar

Selecionar/Desselecionar

Figura 4: Formulário de seleção das UCs a realizar prova

Na sequência de certas questões conhecidas *à priori* quer dos regentes das cadeiras, do número de professores disponíveis ou do elevado número de exames afetos ao mesmo departamento, foi desenvolvida uma opção que permite colocar previamente algumas UCs manualmente. Deste modo, em casos excecionais, é possível introduzir UCs em turnos e dias oportunos com a aprovação da secretaria, como mostra a Figura 5. O algoritmo é executado com base nesta informação, previamente inserida, dando possibilidade ao utilizador de testar cenários alternativos de calendarização. Quando há inscritos em comum em pelo menos duas UCs fixadas pelo utilizador, no mesmo turno ou dia, é reportada a situação por um aviso.

	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira	Sábado
1º Turno 8h às 10h	E1				IG	
2º Turno 10h às 12h						
3º Turno 12h às 14h			AM1			
4º Turno 14h às 16h						
5º Turno 16h às 18h						

Limpar Tudo      Guardar

Figura 5: Formulário de introdução prévia das UCs

O passo seguinte reside no escalonamento das optativas, sendo grande parte destas disponíveis para todos os cursos. Existem três formas para as inserir no horário: podem ser inseridas como as restantes UCs, podem ser inseridas em grupos formados automaticamente ou por grupos formados pelo utilizador. Quando os grupos são formados automaticamente, juntam-se as optativas que não têm inscritos em comum podendo assim as provas decorrer em simultâneo. Mais precisamente, o algoritmo cria grupos de optativas até um máximo de 6 optativas por grupo e com um limite de inscritos de 700 alunos por grupo. Na opção de grupos formados pelo utilizador, podem ocorrer sobreposições entre os inscritos em diferentes UCs, mas surge um alerta. Em ambas as formas, é possível modificar os grupos para corrigir alguma situação menos desejável.

Uma vez inserida e analisada toda a informação sobre as respetivas provas escritas, o algoritmo é executado para escalonar todas as UCs.

Tendo em conta a informação de cada UC contida previamente no sistema e o semestre de escalonamento inserido no formulário inicial, a plataforma classifica as UCs como pertencentes, ou não, ao percurso recomendado.

## 6. Resultados

O funcionamento da plataforma foi testado considerando diferentes combinações de UCs. Posteriormente, foi anexada uma funcionalidade que permite obter o resultado do escalonamento por licenciatura, o número de alunos a realizar as provas em cada turno e dia e, ainda, a tabela com as sobreposições entre as provas do mesmo turno e dia. Estas funcionalidades foram desenvolvidas com o propósito de apoiar o trabalho da secretaria das licenciaturas, sendo útil não só para a distribuição das salas para cada exame, mas também para avaliar a qualidade do escalonamento.

Procura-se comparar o funcionamento da plataforma e do algoritmo introduzindo previamente as UCs de três épocas de exames de forma a obter a calendarização escalonada pela secretaria. Adicionalmente, de forma a avaliar esse escalonamento foram analisados os valores da função objetivo e do número de alunos a realizar provas por turnos e dias. Seguidamente, foram selecionadas as mesmas UCs e, sem introdução prévia, procedeu-se ao seu escalonamento comparando o escalonamento manual anteriormente feito pela secretaria com o da plataforma.

Foram selecionadas três provas de avaliação: provas da época normal, da época de recurso e provas intercalares. O período selecionado foi o 1<sup>o</sup> semestre de 2015/2016 uma vez que possuía os *inputs* de inscritos desse semestre utilizando, assim, a tabela de inscritos do respetivo semestre contrariamente ao escalonamento manual efetuado pela secretaria. Paralelamente, o escalonamento das provas intercalares desse ano teve os

mesmos moldes que estão definidos na plataforma sendo, deste modo, possível comparar resultados. Tal como explicitado anteriormente, é utilizado o número de inscritos do ano anterior para escalonar as provas do ano seguinte sendo que, neste caso, mais específico para o período do 1º semestre de 2015/2016, a secretaria utilizou a tabela de inscritos do 1º semestre de 2014/2015.

Apresentando o processo de introdução dos *inputs* no sistema, é possível ver o funcionamento da plataforma para o primeiro caso particular - **época normal** - e os respetivos resultados (*Output*). Desta forma, são enunciadas algumas etapas do processo de escalonamento.

Da totalidade das 114 UCs introduzidas no sistema provenientes do *input*, foram selecionadas 92 UCs a escalonar na época normal.

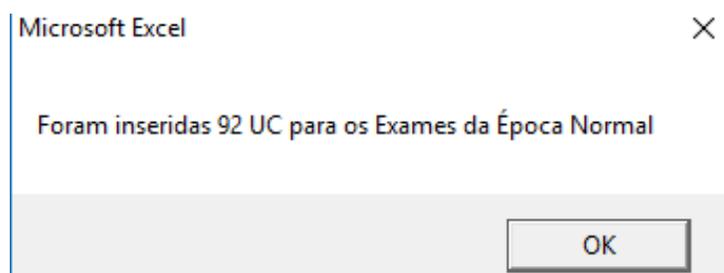


Figura 6: Mensagem indicativa do número de UCs a escalonar

Seguidamente, introduz-se, em cada uma das três semanas, as UCs que terão exame de época normal.

Introduzir UC

Semana 1 | Semana 2 | Semana 3

Turno	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira	Sábado
1º Turno 9h às 12h	E1 E1-E EST1-E	M2 M2-E	EST1-G M11 M11-E	M1 M1-E		
2º Turno 12h às 15h	AUD GD CC AL1	EC EC-E	M1-GDES		AL MO MO-E	
3º Turno 15h às 18h	EST1	EC1		AM2 ESP FR1 GNI	GF2-E GF2 M-GDES	
4º Turno 18h às 20h	CNG	STE-E		EA		

Limpar Tudo | Guardar

Figura 7: Formulário de introdução prévia das UCs a realizar exame de época normal

Em caso de existência de inscritos em comum em pelo menos duas UCs do mesmo dia é exibido um alerta, como o da figura seguinte.

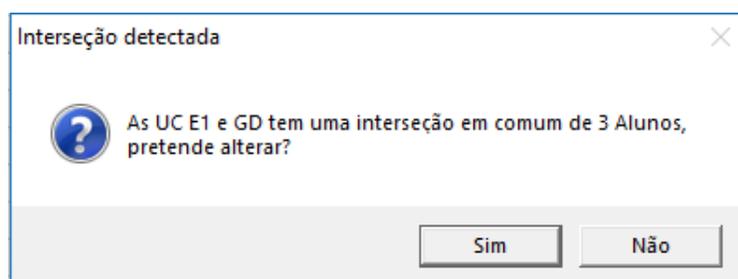


Figura 8: Alerta das UCs com inscritos em comum

A figura 9 apresenta o escalonamento dos exames da época normal efetuado pelo processo manual da Secretaria, tal como foi apresentado no 1º semestre aos alunos no ano letivo de 2015/2016. A par deste *output*, a Tabela 4 apresenta o número de inscritos em comum entre as UCs, isto é, as sobreposições existentes entre as UCs por turno e dia.

Exames da Época Normal												
SEMANA DATAS												
Turnos	2ª		3ª		4ª		5ª		6ª		Sáb	
	04-jan-16		05-jan-16		06-jan-16		07-jan-16		08-jan-16		09-jan-16	
1	E1 E1-E EST1-E	522 74 23	M2 M2-E	256 14	EST1-G M1 M1-E	217 447 33	M1 M1-E	522 67				
2	AUD GD CC AL1 ARFI	43 41 24 23 14	EC EC-E	105 22	M1-GDES	81			AL MO MO-E	61 259 103		
3	EST1	198	EC1	68			AM2 ESP FR1 GNI GI	21 21 24 27 16	GF2 GF2-E M-GDES	210 39 31		
4	CNG	76	STE-E	75			EA	1				
Total		1038		540		778		699		703		0
Turnos	11-jan-16		12-jan-16		13-jan-16		14-jan-16		15-jan-16		16-jan-16	
	CIF CIF-E	488 88	MA1 MA1-E	389 31	F	106	IG IG-E	545 113	AM3 S S-E	69 206 65	SP MDR1 HUE ARFI	40 19 15 14
1												
2	AM1 CAN	58 134	IO IO-E	245 50	DE DE-E E2	244 46 48	EST2	124	TI TI-E	281 53		
3	ECFF SEF HEP PCG HUE	20 20 8 30 15					EST2-G	102	COE CGE-GDES	117 58		
4												
Total		861		715		444		884		849		88
Turnos	18-jan-16		09-jan-16		20-jan-16		21-jan-16		22-jan-16		23-jan-16	
	AIEE AIEE-E HEE-E HEE ESTD	293 49 50 255 59	GF GF-E GF1	197 39 128	EI EST1-GDES E1-E	252 60 51			CGE2-E CGE2	39 278		
1												
2	ESPAN1 GC RU1 MINT	26 43 25 37	P	60			CGE1	156	ING1 PM	52 60		
3			AGP-GDES	31					IDTR MAPL RSEE	10 14 12		
4	SOND	5					STE	267				
Total		842		455		363		423		465		0

Figura 9: Escalonamento de Exames da Época Normal (processo manual)

Introduzindo as mesmas UCs sem as fixar previamente e formando os grupos automaticamente, obtém-se escalonamento dos exames da época normal obtido pelo algoritmo da plataforma desenvolvida (Figura 10) e, novamente a tabela do número de inscritos em comum entre as UCs ilustrada na Tabela 5.

Após análise dos *Outputs* obtidos por ambos os processos - manual pela Secretaria e da plataforma - conclui-se que a plataforma permite reduzir o número de sobreposições tornando este procedimento mais eficiente que o processo manual reduzindo ainda, a duração do processo de escalonamento. Interpretando a Tabela 4, pode afirmar-se que, do conjunto das UCs do dia 1 e turno 2, existem 2 alunos inscritos em mais do que uma prova a realizar. Adicionalmente, 48 alunos têm pelo menos duas provas no dia 1. Na Tabela 5 é ilustrada a redução dessas sobreposições, com a solução da plataforma.

Interseções						
Turnos	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sáb
	04/jan/16	05/jan/16	06/jan/16	07/jan/16	08/jan/16	09/jan/16
1	0	0	1	0	0	0
2	2	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0
Por Dia	48	10	0	3	23	0
Turnos	11/jan/16	12/jan/16	13/jan/16	14/jan/16	15/jan/16	16/jan/16
	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
Por Dia	10	18	7	6	21	0
Turnos	18/jan/16	19/jan/16	20/jan/16	21/jan/16	22/jan/16	23/jan/16
	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
Por Dia	11	5	0	5	11	0

Tabela 4: Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na EN (processo manual)

Interseções						
Turnos	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sáb
	04/jan/16	05/jan/16	06/jan/16	07/jan/16	08/jan/16	09/jan/16
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
Por Dia	0	0	0	0	1	0
Turnos	11/jan/16	12/jan/16	13/jan/16	14/jan/16	15/jan/16	16/jan/16
	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
Por Dia	0	0	0	2	0	0
Turnos	18/jan/16	19/jan/16	20/jan/16	21/jan/16	22/jan/16	23/jan/16
	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
Por Dia	0	0	0	0	5	0

Tabela 5: Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na EN (pela Plataforma)

Exames da Época Normal																														
SEMANA DATAS																														
Turnos	2ª		3ª		4ª		5ª		6ª		Sáb																			
	04-jan-16		05-jan-16		06-jan-16		07-jan-16		08-jan-16		09-jan-16																			
1	CGE1	156	IG	545	E2	48	GF1	128	AIEE	293	EST2	124																		
	CAN	134			M2-E	14	CIF-E	88	AM2	21	EST2-G	102																		
	AIEE-E	49			MO	259	EI	252	IO-E	50	EC1	68																		
	AGP-GDES	31			EI-E	51			EC-E	22	ESTD	59																		
2	ESP; FR1; GI	61	IG-E AM3 M-GDES	113 69 31			AL1; ARFI; AUD; CC;	143	S	206																				
													3		GD; RSEE	53			CNG; EA; HEP; SEF	90										
																							4							
Turnos	11-jan-16		12-jan-16		13-jan-16		14-jan-16		15-jan-16		16-jan-16																			
	M2	256	E1	522	M1	522	CIF	488	HEE	255	M1	447																		
1	E1-E	74	EC	105 65	M1-E	67	F	106	CGE-GDES	58	M1-E	33																		
	EST1-GDES	60											IO	245	GF2-E	39	DE-E	46	MO-E	103										
	EST1-E	23																			S-E	GF2-E	39	DE-E	46	MO-E	103			
	2																												COE; HUE	132
3																														
										4																				
																		Total	483	824	873	763	626	583						
	Turnos	18-jan-16																							09-jan-16		20-jan-16		21-jan-16	
MA1		389	TI	281	CGE2	278	GF2	210	EST1																198					
1	EST1-G	217	M1-GDES	81	STE-E	75	GF2	197	AM1	58																				
	2	TI-E	53	P	60	AL	61	PM	60	MA1-E	31																			
												3	GNI; ING1	79																
																					4									
Total																													738	461

Figura 10: Escalonamento de Exames da Época Normal (pela Plataforma)

Considerando, agora, o segundo caso analisado - **época de recurso** - tem-se que o intervalo de tempo para a realização dos exames é reduzido para uma semana. Deste modo, procedendo de forma idêntica da EN, obtém-se os seguintes *Outputs* relativamente às sobreposições entre UCs.

Interseções						
Turnos	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sáb
	01/fev/16	02/fev/16	03/fev/16	04/fev/16	05/fev/16	06/fev/16
1	18	6	2	3	10	0
2	8	50	10	5	30	0
3	41	0	25	8	32	0
4	5	2	2			
5	0	0	0	0	0	0
Por Dia	609	395	368	614	624	61

Tabela 6: Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na ER (processo manual)

Interseções						
Turnos	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sáb
	01/fev/16	02/fev/16	03/fev/16	04/fev/16	05/fev/16	06/fev/16
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
Por Dia	508	314	44	75	118	0

Tabela 7: Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, na ER (pela Plataforma)

Pela análise das tabelas anteriores, verifica-se que todas as sobreposições dentro do mesmo turno foram eliminadas. Adicionalmente, constata-se um número elevado de alunos inscritos em pelo menos duas provas em cada dia. Esta situação resulta da redução da duração estabelecida para a época de recurso por ser apenas de uma

semana. Porém, nem todos os alunos realizam a totalidade das provas nesta época sendo o presente escalonamento realizado para os alunos que reprovarem na época normal ou que pretendem fazer melhoria da nota. Deste modo, não é possível fazer um escalonamento mais adequado devido à proximidade entre as duas épocas.

Por último, considerando o terceiro caso analisado - **Avaliações Intercalares** - obtém-se os *Outputs* dos escalonamentos manual e pela plataforma, resumidos nas Tabelas 8 e 9, respetivamente. Também neste caso se verifica que a plataforma permitiu suprimir totalmente as sobreposições.

Interseções						
Turnos	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sáb
	02/set/17	03/set/17	04/set/17	05/set/17	06/set/17	07/set/17
1	2	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0
Por Dia	2	0	0	1	0	0

Tabela 8: Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, para a AI (processo manual)

Interseções						
Turnos	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sáb
	02/set/17	03/set/17	04/set/17	05/set/17	06/set/17	07/set/17
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
Por Dia	0	0	0	0	0	0

Tabela 9: Número de inscritos em comum entre as UCs por turno e dia, para a AI (pela Plataforma)

Através dos resultados apresentados anteriormente para ambos os processos - pelo processo manual e pelo algoritmo desenvolvido na plataforma - é possível constatar o contributo da presente plataforma no escalonamento das provas escritas nas três épocas ilustradas.

O teste da plataforma apresentado nesta seção permite observar que a mesma produz escalonamentos com um número de sobreposições reduzido. Contudo, na comparação com o escalonamento manual, é preciso ter em consideração que o manual é feito com dados estimados a partir do ano anterior enquanto o teste da plataforma usou como input os dados dos alunos inscritos no ano corrente. Acresce-se ainda que a rapidez com que é produzido o escalonamento pela plataforma também poderá melhorar os dados de entrada, evitando eventualmente o recurso a uma estimativa.

## 7. Conclusão

A plataforma que se apresenta neste trabalho para o escalonamento das provas escritas do ISEG, foi desenvolvida aplicando os conhecimentos adquiridos no mestrado de Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial. Este projeto responde a uma necessidade da secretaria das licenciaturas uma vez que transforma um processo que habitualmente requeria dois a três dias num que demora apenas 5 a 10 minutos. Através dos *outputs* da secção de Resultados, verifica-se igualmente que a presente plataforma permite um escalonamento de qualidade.

Perante essa qualidade e a rápida execução do algoritmo, a secretaria das licenciaturas poderá realizar um escalonamento considerando os dados reais, como apresentados na secção de Resultados, contrariamente ao que é realizado atualmente. Por conseguinte, o escalonamento não implica a utilização dos dados do ano anterior, mas sim de dados correntes.

Após a conclusão do projeto, este foi apresentado à secretaria das licenciaturas recebendo aprovação e um agradecimento pela utilidade que o mesmo pode trazer nesta tarefa. De modo a cumprir cabalmente o objetivo do projeto - escalonar uma época de avaliações, ficará o compromisso de apoiar a Secretaria no próximo escalonamento, podendo inclusive ajustar alguns detalhes que se mostrem necessários.

Como proposta de desenvolvimento futuro, seria interessante estender o presente estudo a outras necessidades do ISEG, nomeadamente da secretaria das licenciaturas. A plataforma pode ser melhorada introduzindo diretamente a afetação das salas de aula de cada exame.

## Referências Bibliográficas

- [1] D. de Werra (1985), European Journal of Operational Research, *An introduction to timetabling*, Vol. 19, Issue 2, pp. 151-162
- [2] Phillips, Walker, Ehrgott e Ryan (2016), Springer Science+Business Media New York, *Integer programming for minimal perturbation problems in university course timetabling*, pp. 283-304
- [3] Méndez-Díaz e Zabala (2004), Science Direct, *A cutting plane algorithm for graph coloring*, Discrete Applied Mathematics 156(2), pp. 159-179
- [4] [www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG](http://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG) [Acesso em: 2017/09/04]
- [5] [www.iseg.ulisboa.pt/aquila/publico/units/announcements.do?method=viewAnnouncement&unitID=102&announcementId=1268145&contentContextPath\\_PATH=/instituicao/ISEG/pagina-iniciallocale=en](http://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/publico/units/announcements.do?method=viewAnnouncement&unitID=102&announcementId=1268145&contentContextPath_PATH=/instituicao/ISEG/pagina-iniciallocale=en) [Acesso em: 2017/09/04]
- [6] [www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG/quem-somos/missao-e-valores](http://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG/quem-somos/missao-e-valores) [Acesso em: 2017/09/12]
- [7] [www.iseg.ulisboa.pt/aquila/getFile.do?method=getFilefileId=739115,request\\_checksum=0fceba96b32498cbfc863f18d02a47242e3e1df4](http://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/getFile.do?method=getFilefileId=739115,request_checksum=0fceba96b32498cbfc863f18d02a47242e3e1df4) [Acesso em : 2017/09/12]
- [8] [https://aquila5.iseg.ulisboa.pt/aquila/getFile.do?method=getFilefileId=739115,request\\_checksum=0fceba96b32498cbfc863f18d02a47242e3e1df4](https://aquila5.iseg.ulisboa.pt/aquila/getFile.do?method=getFilefileId=739115,request_checksum=0fceba96b32498cbfc863f18d02a47242e3e1df4) [Acesso em : 2017/09/12]

[9] Kristiansen, S., Stidsen, T. R., November 2013. A comprehensive study of educational timetabling - a survey. Tech. Rep. 8, 2013, DTU Management Engineering, Technical University of Denmark

# I Anexo



## ESCALONAMENTO DE PROVAS ESCRITAS DO ISEG

### INSTRUÇÕES

#### MENU



**INTRODUZIR DADOS INICIAIS** – Será direcionado ao formulário no qual deve escrever a pasta onde está o ficheiro *export* das interseções entre UC e o respetivo nome do ficheiro.

Formulário Inicial

Selecione os campos das secções seguintes

**Ficheiro**

Pasta do Ficheiro

Nome do Ficheiro

**Semestre**

1º Semestre  2º Semestre

**Tipo de Prova**

Testes Intercalares  Época Normal  Época de Recurso

**Número de Semanas**

1 Semana  3 Semanas

**Data de Início das Provas**

jan 2018 | jan | 2018

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

Guardar e Fechar

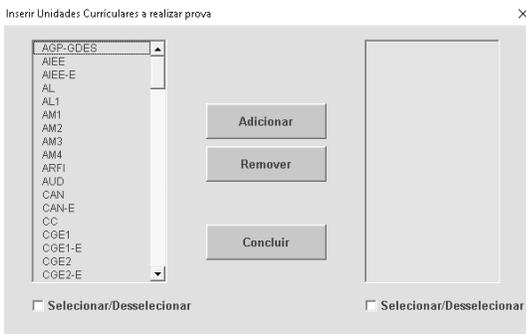
O **nome do ficheiro** deve incluir a extensão do ficheiro, .xls ou .xlsm

Em seguida, deve indicar os dados respetivos à prova de avaliação em questão, como **semestre**, **tipo de prova** e **duração da época**.

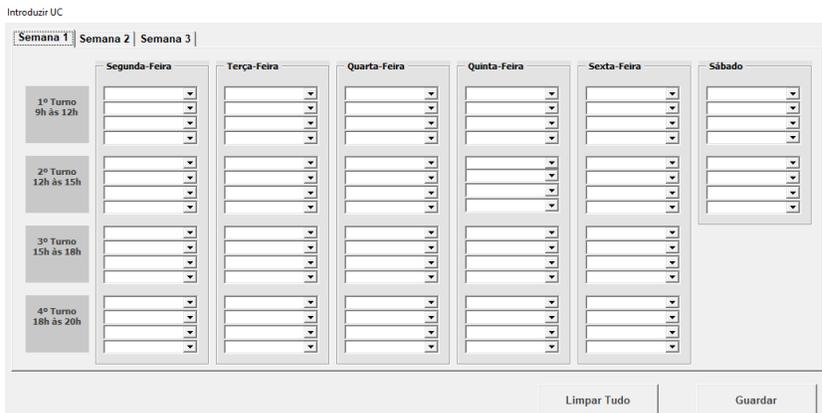
Do lado direito deve indicar a **data** de início das provas. Neste campo, escolha **SEMPRE** uma segunda feira (o programa está definido para começar sempre à segunda e não é possível detetar feriados). Em caso de existência de feriados na semana das provas em questão: as provas a realizar no dia do feriado serão transferidas para o dia ou semana seguinte. **ATENÇÃO**: não passar o sábado para um dia normal!

**INICIAR PROGRAMA** – Executa o algoritmo de seleção e escalonamento de UCs. No seu processo irá responder a alguns formulários:

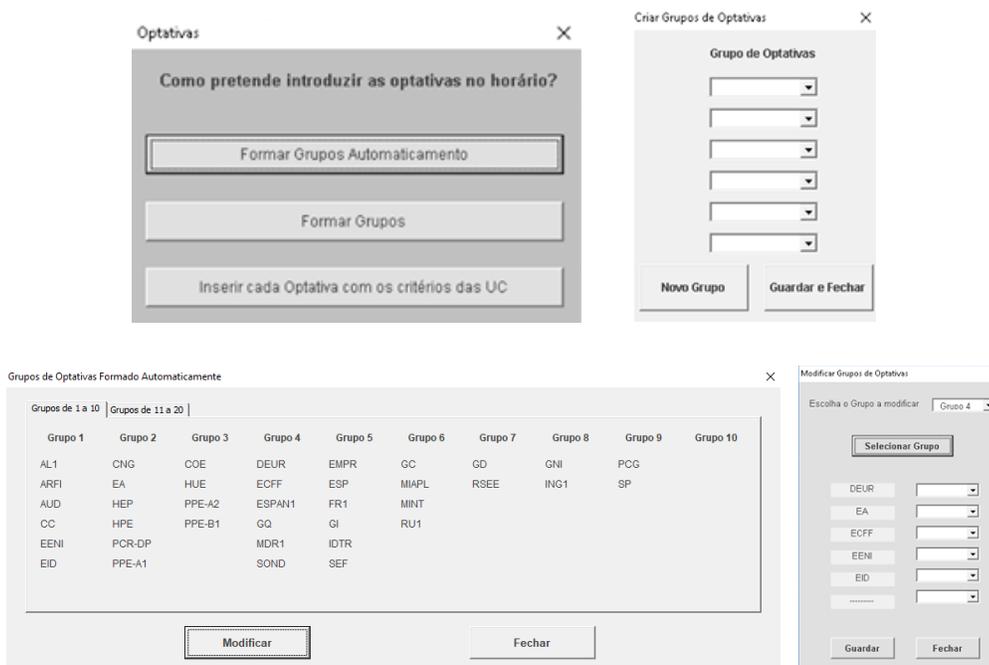
**Formulário 1: Seleção das UC no sistema** - na coluna da esquerda, deve selecionar as UCs a serem avaliadas em prova escrita carregando, seguidamente, em Adicionar para introduzi-las no sistema (coluna da direita). No caso de UCs a mais na coluna direita poderá removê-las ao selecionar nesse mesmo quadro e depois carregar em Remover. Para finalizar, confirme se estão todas as UCs e carregue em Concluir.



**Formulário 2: Introdução prévia das UCs** - caso as provas tenham duração de 3 semanas, terá três abas para inserir previamente os exames nas três semanas. No turno e no dia que pretender, insira a UC a fazer prova.



**Formulário 3: Forma de introdução das optativas** - na opção Automática, o *Excel* analisa as intersecções entre optativas e agrupa-as em grupos sem intersecções. Na opção Manual, pode inserir os grupos que pretender. Na última opção, as UCs optativas serão inseridas como as restantes UCs (não sendo em grupos). Após a formação dos grupos, poderá ver a sua composição e alterá-los, se necessário.



**Optativas**

Como pretende introduzir as optativas no horário?

Formar Grupos Automaticamente

Formar Grupos

Inserir cada Optativa com os critérios das UC

**Criar Grupos de Optativas**

Grupo de Optativas

Novo Grupo

Guardar e Fechar

**Grupos de Optativas Formado Automaticamente**

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10
AL1	CNG	COE	DEUR	EMPR	GC	GD	GNI	PCG	
ARFI	EA	HUE	ECFF	ESP	MIAPL	RSEE	ING1	SP	
AUD	HEP	PPE-A2	ESPAN1	FR1	MINT				
CC	HPE	PPE-B1	GQ	GI	RU1				
EENI	PCR-DP		MDR1	IDTR					
EID	PPE-A1		SOND	SEF					

Modificar

Fechar

**Modificar Grupos de Optativas**

Escolha o Grupo a modificar: Grupo 4

Selecionar Grupo

DEUR

EA

ECFF

EENI

EID

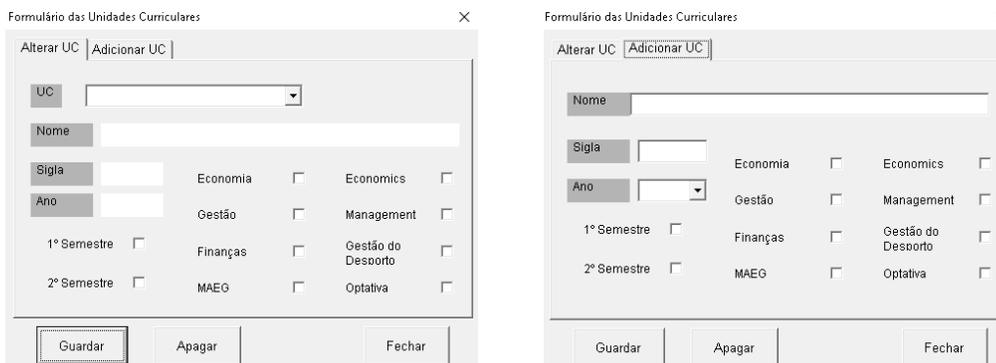
Guarda

Fechar

**OUTPUTS** – Todos os resultados do programa.

**ALTERAR OU INTRODUIZIR UC** – Será direcionado ao formulário para alteração da informação de uma UC (nome, sigla, ano, cursos da UC). Adicionalmente, poderá Apagar a UC que seleciona.

Na aba seguinte poderá adicionar uma nova UC e introduzir toda a sua informação no sistema.



**Formulário das Unidades Curriculares**

Alterar UC | Adicionar UC

UC

Nome

Sigla

Ano

1º Semestre

2º Semestre

Economia

Gestão

Finanças

MAEG

Economics

Management

Gestão do Desporto

Optativa

Guardar

Apagar

Fechar

**Formulário das Unidades Curriculares**

Alterar UC | Adicionar UC

Nome

Sigla

Ano

1º Semestre

2º Semestre

Economia

Gestão

Finanças

MAEG

Economics

Management

Gestão do Desporto

Optativa

Guardar

Apagar

Fechar