

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

LEONARDO DE SOUZA NOGUEIRA

**UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA PARA A ALOCAÇÃO DE
HORÁRIOS DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

João Monlevade

2018

LEONARDO DE SOUZA NOGUEIRA

***** UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA PARA A ALOCAÇÃO DE
HORÁRIOS DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO *****

Monografia apresentada ao curso
Sistemas de Informação do Instituto de
Ciências Exatas e Aplicadas, da
Universidade Federal de Ouro Preto,
como requisito parcial para aprovação na
Disciplina “Trabalho de Conclusão de
Curso II”.

Orientador: Samuel Souza Brito

Coorientador: George H. G. da Fonseca

João Monlevade

2018



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ANEXO IV - Ata de Defesa

ATA DE DEFESA

Aos 19 dias do mês de fevereiro de 2018, às 16 horas na sala C304 do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, foi realizada a defesa de Monografia pelo aluno **Leonardo de Souza Nogueira**, sendo a Comissão Examinadora constituída pelos professores: Prof. Me. Samuel Souza Brito, Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca, Prof. Me. Paganini Barcellos de Oliveira e Prof. Dr. Rafael Frederico Alexandre.

O candidato apresentou a monografia intitulada: "*Um modelo de Programação Inteira para a alocação de horários do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto*". A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do candidato, com nota 8,5 (8 PONTOS E 5 DÉCIMOS), concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporação das alterações sugeridas ao texto final.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo graduando.

João Monlevade, 19 de fevereiro de 2018.

Prof. Me. Samuel Souza Brito
Professor Orientador/Presidente

Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca
Professor Coorientador

Prof. Me. Paganini Barcellos de Oliveira
Professor Convidado

Prof. Dr. Rafael Frederico Alexandre
Professor Convidado

Leonardo de Souza Nogueira
Graduando



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ANEXO III – Termo de Responsabilidade

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Eu, Leonardo de Souza Nogueira,
declaro que o texto do trabalho de conclusão de curso intitulado
“Um Modelo de Programação Inteira para a alocação de laboratórios do Instituto
de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto” é de
minha inteira responsabilidade e que não há utilização de texto, material fotográfico, código
fonte de programa ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem as devidas
referências ou consentimento dos respectivos autores.

João Monlevade, 8 de maio de 2018

Leonardo de Souza Nogueira
Assinatura do aluno

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por permitir que eu tivesse sempre um ombro amigo nesta jornada que me trouxeram até aqui.

Aos meus pais que sempre souberam ensinar um bom caminho nesta vida de maneira a vencer obstáculos e conquistar meus objetivos, aos quais eu devo tudo o que sou hoje.

Aos meus orientadores Samuel Souza Brito e George Henrique Godim da Fonseca pela disponibilidade de tempo para atendimento e pelo ensinamento e explicações excelentes que foram imprescindíveis na realização deste trabalho, a eles meu muito obrigado.

Aos alunos da turma de 2013/2 do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA – UFOP) pelo apoio, amizade e momentos de felicidades que carregarei comigo para sempre, a estes desejo todo sucesso do mundo.

RESUMO

O Problema da Programação de Horários Educacionais é um problema de difícil resolução, pois busca alocar recursos educacionais como professores, disciplinas, turmas e salas em períodos de tempos específicos, visando atender preferências institucionais e pessoais. Dentre as preferências mais comuns em instituições de ensino, pode-se citar: intervalo de tempo entre aulas da mesma disciplina, capacidade de salas quanto ao número de alunos, disponibilidade de dias dos professores, distância percorrida entre salas por alunos de uma turma, etc. Neste trabalho é proposto e implementado um modelo de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) a fim de solucionar o problema em questão, considerando o cenário do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Atualmente, o processo de elaboração da grade de horários desse instituto requer um esforço significativo do pessoal envolvido, devido à necessidade de fazer uma reestruturação manual da grade de horários gerada pelo software utilizado. A abordagem de solução deste trabalho se mostrou capaz de obter soluções que atendam a todos os requisitos especificados, minimizando dias na semana em que cada professor deve lecionar na universidade.

Palavras-chave: Programação Linear Inteira Binária, Programação de Horários, Otimização Combinatória.

ABSTRACT

The Educational Timetabling Problem is a problem that is difficult to solve because it seeks to allocate educational resources such as teachers, disciplines, class and classrooms at specific times, in order to meet institutional and personal preferences. Among the most common preferences in teaching institutions are: time interval between classes of the same discipline, classrooms capacity, availability of teachers' days, distance traveled between classrooms by students of a class, etc. . In this work, a Binary Integer Linear Programming (PLIB) model is proposed and implemented to solve the problem in question, considering the scenario of the Institute of Exact and Applied Sciences (ICEA) of the Federal University of Ouro Preto (UFOP). Currently, the process of elaborating the schedule of this institute requires a significant effort of the personnel involved, due to the need to make a manual restructuring of the schedule grid generated by the software used. The solution approach of this work was able to obtain solutions that meet all the specified requirements, minimizing days in the week in which each teacher must teach in the university.

Keywords: Binary Programming, Timetabling, Combinatorial Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Associação de conjuntos reais a conjuntos artificiais

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representação de slots de horários usados no FET

Tabela 2 – Resultado do teste referente ao 2º semestre de 2017

Tabela 3 – Resultado do teste referente ao 1º semestre de 2018

LISTA DE ABREVIATURAS

| | | |
|---------|---|--|
| CTTPC | – | Class-Teacher Timetabling Problem with Compactness Constraints |
| DECEA | – | Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas |
| DECSI | – | Departamento de Computação e Sistemas |
| DEELT | – | Departamento de Engenharia Elétrica |
| DEENP | – | Departamento de Engenharia de Produção |
| EC | – | Engenharia da Computação |
| EE | – | Engenharia Elétrica |
| EP | – | Engenharia de Produção |
| FET | – | Free Educational Timetabling |
| GRASP | – | Greedy Randomized Adaptive Search Procedure |
| IA | – | Inteligência Artificial |
| ICEA | – | Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas |
| ITC | – | Three international competitions |
| PIM | – | Programação Inteira Mista |
| PLIB | – | Programação Linear Inteira Binária |
| PO | – | Pesquisa Operacional |
| PPHE | – | Problema da Programação de Horários Educacionais |
| SI | – | Sistemas de Informação |
| SOBRAPO | – | Segundo a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional |
| TAB | – | Tabela |
| UFOP | – | Universidade Federal de Ouro Preto |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.2 Objetivo Geral | 12 |
| 1.3 Objetivos específicos | 12 |
| 1.4 Estrutura do trabalho | 12 |
| 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA..... | 13 |
| 2.1 Pesquisa Operacional | 13 |
| 2.2 Otimização Combinatória | 13 |
| 2.3 Trabalhos relacionados | 13 |
| 3 ESTUDO DE CASO: INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS | 16 |
| 4 SOLUÇÃO PROPOSTA | 18 |
| 4.1 Função Objetivo | 19 |
| 4.2 Restrições | 20 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 24 |
| REFERÊNCIAS..... | 25 |
| APÊNDICE – GRADE DE HORÁRIOS DE 2018/1 | 28 |

1 Introdução

Neste trabalho é apresentado um problema clássico de Otimização Combinatória conhecido como Problema de Programação de Horários Educacionais (PPHE) considerando o cenário do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

O PPHE consiste basicamente em restrições que estabelecem a combinação viável entre professor, disciplina, turma, dia e horário. O desenvolvimento de um algoritmo ou modelo matemático para solucionar esse problema é uma atividade complexa e específica para cada situação real, pois além de se buscar satisfazer as preferências de todos os envolvidos, a solução deve ser encontrada em tempo hábil.

Este tipo de problema, conhecido também como *Timetabling Problem*, foi definido pela primeira vez por GOTLIEB (1963). Posteriormente, COLE (1964) desenvolveu um método baseado em técnica de classificação que foi capaz de produzir uma solução final com um número mínimo de conflitos em situações reais. No mesmo ano, BRODER (1964) desenvolveu um método para agendar exames finais com um número mínimo de conflitos estudantis. Essa solução foi possível graças a uma avaliação repetitiva de um conjunto de equações não-lineares com processo de seleção randômico e técnicas heurísticas propostas por ele.

O PPHE apresentado neste trabalho é classificado também como NP-Difícil pelo fato de ser tão difícil quanto os problemas da classe NP, visto que se todas as combinações forem testadas o tempo de solução para problemas razoáveis aumentaria drasticamente (CARVALHO, 2011).

Algumas especificidades podem ocorrer no PPHE, como: aulas com tempo de duração diferentes, como em práticas e teóricas, onde pode existir uma aula prática e duas teóricas; alunos podem escolher suas disciplinas, incluindo disciplinas optativas que são oferecidas por outros cursos; união de turmas para assistirem uma mesma aula eletiva.

Métodos exatos (matemáticos) são capazes de encontrar a solução ótima para esse problema, entretanto, a busca pela solução em todo espaço de soluções possíveis pode tornar sua aplicação inviável. Assim, soluções heurísticas são usualmente aplicadas a esse problema, como Algoritmos Genéticos (KHEIRI, ÖZCAN e PARKES, 2016), *Simulated Annealing* (BELLIO et al., 2016), Busca Tabu (AMARAL e PAIS, 2016), GRASP (NOVOA et al, 2016), Algoritmos de Colônias de Formigas (VIEIRA e MACEDO, 2011) e Busca local (DA FONSECA, SANTOS, TOFFOLO, BRITO e SOUZA) e *Variable Neighborhood Search* (FONSECA e SANTOS, 2014).

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um modelo de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) para a alocação de horários do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA), campus da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

1.3 Objetivos específicos

Como objetivos específicos do trabalho têm-se:

- Levantar os requisitos organizacionais, pedagógicos e pessoais relacionados à universidade;
- Criar um modelo matemático que contemple os requisitos pré-estabelecidos para obtenção de um horário válido para o ICEA/UFOP;
- Minimizar o número de dias que cada professor está envolvido com atividades letivas na universidade;
- Desenvolver um software simples e capaz de gerenciar os arquivos necessários para os testes.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma: No Capítulo 2 são abordados os conceitos gerais, revisão da literatura e trabalhos relacionados. No Capítulo 3 é apresentado o estudo de caso do Problema de Programação de Horários Educacionais no contexto real do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA). O Capítulo 4 contém a solução proposta com sua justificativa e a modelagem matemática. Posteriormente, no Capítulo 5 são apresentados os testes e resultados obtidos. Por fim, as considerações finais são apresentadas no Capítulo 6.

2 Conceitos gerais e revisão da literatura

Neste capítulo são apresentados conceitos importantes e revisão de trabalhos da mesma área de estudo para o entendimento e contextualização do Problema da Programação de Horários Educacionais.

2.1 Pesquisa Operacional

Segundo a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), o termo Pesquisa Operacional (PO), de origem militar, é uma área de estudo altamente difundida no meio empresarial, tecnológico e acadêmico tendo como foco gerir com eficiência operações de uma organização. A PO se apoia no uso de técnicas de modelagem matemática e algoritmos computacionais para auxiliar na melhor tomada de decisão e obtenção de soluções efetivas para o problema aplicado.

No plano acadêmico esta área tem sido amplamente explorada, visto que possibilita lidar com diversos problemas como Programação Matemática, Simulação, Teoria dos Jogos, Análise de Redes, Inteligência Artificial (IA), Big Data, entre outros problemas.

2.2 Otimização Combinatória

Otimização Combinatória é uma área de estudo da Pesquisa Operacional que, juntamente do estudo de algoritmos e complexidade computacional, busca encontrar uma solução ótima para um problema a partir de um conjunto discreto de dados, ou seja, que podem ser enumerados (SCHRIJVER, 2010). Existem vários problemas que envolvem Otimização Combinatória, dentre eles os mais comuns são problema do caixeiro viajante (OTTONI et al., 2015); problema da mochila compartimentada (INAREJOS, HOTO e MACULAN, 2017) e o problema de árvore geradora mínima (CONTRERAS-BOLTON, GATICA, BARRA, e PARADA, 2016).

2.3 Trabalhos relacionados

A seguir são apresentados sete trabalhos e suas técnicas para resolver Problemas de Programação de Horários Educacionais:

Uma técnica híbrida baseada em metaheurísticas GRASP, Algoritmos Genéticos e Busca Tabu foi proposta por SOUZA, GUIMARÃES e COSTA (2002). No Algoritmo Genético, um cromossomo representa um quadro de horário semanal de valores inteiros. Primeiramente obtêm-se uma população inicial através da técnica GRASP optando por cromossomos que definem horários críticos, que possuem poucos professores disponíveis, e aulas mais difíceis de serem alocadas. Por fim, o algoritmo entra em um loop onde é feito cruzamento, mutação,

avaliação e refinamento através da Busca Tabu até que a solução atenda os critérios de parada.

Uma formulação para o problema de timetabling universitário utilizando Programação Inteira Binária foi feita por DASKALAKI, BIRBAS e HOUSOS (2004). A solução apresentada é factível e flexível em vários aspectos, a ser citado: alocar períodos de aula consecutivos; emitir solução onde a grade é completa; acomodar sessões repetitivas de um determinado curso ou parte de um curso, como por exemplo, aulas em laboratório; permitir inserir preferências de professores quanto a horário de aula; permitir intervalos durante o almoço para os alunos; minimizar as mudanças de sala especialmente para estudantes dos períodos iniciais; e a preferência na designação de salas de aula para cursos.

DE SOUZA FILHO et al. (2009) desenvolveram uma formulação linear inteira para o problema de programação de horários dos professores de matemática do Departamento de Tecnologias e Linguagens do Instituto Multidisciplinar da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foi implementado um algoritmo de branch-and-bound no XPRESS-MP© capaz de alcançar rapidamente a solução ótima para o problema. Neste trabalho são consideradas as seguintes restrições: número máximo e mínimo de aulas a serem ministradas por professor; o número total de alocações feitas por dia é limitado a capacidade de salas disponíveis naquele dia; todas disciplinas devem ser lecionadas; cada professor não pode lecionar a mesma matéria duas vezes no mesmo dia; e deve existir (preferencialmente) uma rotatividade de professores em todo período para lecionar uma determinada disciplina.

Duas formulações foram propostas por SANTOS, UCHOA, OCHI e MACULAN (2012) para o problema denominado por eles como *Class-Teacher Timetabling Problem with Compactness Constraints* (CTTPC), a primeira utilizando Programação Inteira (PI) e a segunda Programação Inteira Mista (PIM). Quanto às restrições elaboradas, houve uma preocupação em restringir que um professor possa dar aula para apenas uma classe em um período, e também que a turma só presencie a aula de um único professor em um período. Também foram considerados os dias indisponíveis dos professores para lecionar e a quantidade certa de períodos para cada par professor-turma. A segunda formulação elaborada busca obter relaxações lineares, melhores limites e também menos propensão a problemas de simetria, entretanto possui um número grande de restrições e variáveis necessitando assim de um algoritmo de geração de corte e coluna para sua solução. Os experimentos computacionais apresentados demonstram que a formulação pode fornecer limites inferiores fortes em tempo razoável, permitindo determinar soluções ótimas e limites apertados para as instâncias reais e artificiais usadas.

Fonseca e Santos (2014) apresentaram um estudo computacional de *Variable Neighborhood Search* e suas variantes aplicadas ao terceiro problema do *Three international*

competitions (ITC) mostrando que o método proposto supera as soluções propostas até o referido trabalho na maioria dos testes. Neste trabalho o modelo é dividido em três entidades principais: Tempo e Recursos, Eventos e Restrições onde uma solução consiste em um conjunto de tarefas de tempos e recursos para os eventos. A execução pela busca da solução ocorre da seguinte maneira: Primeiramente é utilizado o e *Kingston High School Timetabling Engine* para encontrar soluções iniciais em um pequeno espaço de tempo, logo após o método desenvolvido é utilizado para encontrar a solução. O método em questão se baseia em *Hierarchical Timetabling* utilizando uma árvore de várias camadas onde cada nó representa uma alocação de tarefa necessária para obtenção da solução final. A cada interação deste método um vizinho é selecionado, utilizando com base um dos seis tipos de estruturas de vizinhança definidos. Dentro desta interação, o algoritmo segue em um *loop* de busca aleatória por vizinhos que sejam melhores que o já escolhido anteriormente. Isto é feito até que a condição de parada é encontrada.

No trabalho, feito por PERMANHANE et al. (2014), é utilizado Programação Inteira, baseando-se nos trabalhos de DASKALAKI e BIRBAS para resolver o caso real do Departamento de Matemática Aplicada da Universidade Federal do Espírito Santo. A resolução do modelo é feita em duas fases: na primeira a alocação de disciplinas aos professores levando em consideração preferências como balanceamento de carga horária dos professores; na segunda fase os horários são estabelecidos, buscando compatibilidade e cuidando dos turnos de trabalho, dentre outras coisas. O tempo de execução das duas fases somadas não chegou a três minutos, e ainda assim conseguiu a otimalidade, porém vale ressaltar que o trabalho trata apenas um departamento da universidade com 18 professores, 49 disciplinas distribuídas em 29 grupos e 36 turmas.

BORGES et al. (2015) descrevem uma aplicação de otimização combinatória para a automação da grade de horários dos professores do departamento de estatística da Universidade Federal de Pernambuco. Neste trabalho são considerados disciplinas de dois tipos, internas e externas, sendo as internas originiais do curso e as externas funcionam como eletivas que são oferecidas por outros cursos. A aplicação conta com restrições que tratarão: a quantidade de disciplinas por professor; associação obrigatória de uma disciplina a um professor; não alocação de turmas em turnos diferentes; distância entre aulas de dois ou três dias; Disciplinas externas com horários fixos; entre outras restrições. Este trabalho busca ainda maximizar a oferta de disciplinas a alunos, minimizar dias de aula dos professores (ou maximizar se o professor preferir aulas esparsas) e maximizar a preferência por disciplinas dos professores.

3 Estudo de Caso: Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas

Ultimamente têm-se encontrado dificuldade na elaboração da grade de horários dos cursos pertencentes ao ICEA, pois como se deseja minimizar o número de dias que cada professor tem que lecionar na universidade é necessário fazer a reestruturação manual da grade gerada pelo software utilizado, o *Free Educational Timetabling* (FET). O programa FET é um aplicativo de código aberto e gratuito, se baseia em problema de Satisfatibilidade (SAT), pode ser usado em escolas e universidades para criar e gerenciar grades de horários de forma automatizada.

O ICEA é composto por 4 cursos: Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção e Sistemas de Informação. Existem 4 departamentos responsáveis por ofertar disciplinas aos cursos, sendo estes: Departamento de Computação e Sistemas (DECSI), Departamento de Engenharia de Produção (DEENP), Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas (DECEA) e Departamento de Engenharia Elétrica (DEELT). Ao todo são 87 professores, entre efetivos e substitutos, que são responsáveis por ministrar disciplinas aos 4 cursos. Em geral, cada professor leciona 3 disciplinas, com exceção dos que participam de cargos administrativos, que lecionam 2 disciplinas.

O processo atual para criação da grade horária é realizado da seguinte maneira: Inicialmente, é feita a entrada das relações entre professor, disciplina e turma dos 4 departamentos no programa FET considerando apenas as restrições fortes: dias indisponíveis para lecionar de cada professor, número de dias de descanso entre aulas da mesma relação professor/disciplina/turma, alocação de toda a carga horária referente a disciplina e a não permissão de conflitos para um mesmo professor ou turma. Após a entrada dos dados, o FET preenche slots dentro da tabela que agora pertencerão ao devido departamento a ele alocado, estes slots podem ser observados na Tabela 1. Sendo assim, cada departamento pode então manipular seus slots a fim de diminuir o número de dias dos professores ou atender a outras preferências pessoais. O tempo para a divisão de slots feita pelo FET leva apenas alguns segundos, porém a tarefa de otimização é feita manualmente tornando a atividade custosa e complicada. De fato, o atual responsável pela alocação de horários no instituto foi consultado e estimou em 30 horas/homem de trabalho para montar os horários finais. Vale ressaltar que esse processo não é otimizado e é propício a falhas humanas.

Tabela 1 – Representação de slots de horários usados no FET

| Horário | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta |
|----------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| 13:30 - 15:10 | Slot 0 | Slot 1 | Slot 2 | Slot 3 | Slot 4 |
| 15:25 - 17:05 | Slot 5 | Slot 6 | Slot 7 | Slot 8 | Slot 9 |
| 18:50 - 20:30 | Slot 10 | Slot 11 | Slot 12 | Slot 13 | Slot 14 |
| 20:45 - 22:25 | Slot 15 | Slot 16 | Slot 17 | Slot 18 | Slot 19 |

4 Solução Proposta

A solução proposta ao PPHE do ICEA consiste em um modelo matemático de programação linear inteira binária. A nomenclatura utilizada no modelo é listada a baixo:

Conjuntos:

- $P \rightarrow$ Professores;
- $M \rightarrow$ Disciplinas;
- $T \rightarrow$ Turmas;
- $PA \rightarrow$ Professores Artificiais;
- $TA \rightarrow$ Turmas Artificiais;
- $D \rightarrow$ Dias da Semana;
- $H \rightarrow$ Horários do Dia;
- $PMT \rightarrow$ Conjunto de tuplas de alocações (professor, disciplina, turma);
- $PPA \rightarrow$ Conjunto de tuplas que associam professores reais a professores artificiais;
- $TTA \rightarrow$ Conjunto de tuplas que associam turmas reais a turmas artificiais;
- $DI_p \rightarrow$ Datas que o professor não está disponível para lecionar disciplinas;
- $TU_t \rightarrow$ Horários que a Turma t pode ter aula (turno de aula);

Parâmetros:

- $CH_m \rightarrow$ Carga Horária da disciplina m ;
- $AD_{m,t} \rightarrow$ Quantidade máxima de aulas da disciplina m que podem ocorrer na turma t em um dia;
- $dm_{m,t} \rightarrow$ Descanso mínimo de dias entre duas alocações da disciplina m a turma t .

Variáveis binárias:

- $x_{p,m,t,d,h} \in \{0,1\}$, se professor p leciona disciplina m para turma t no dia d no horário h .
- $y_{m,t,d} \in \{0,1\}$, se a disciplina m da turma t foi alocada no dia d .
- $z_{p,d} \in \{0,1\}$, se professor p dá aula no dia d .

Dentre os conjuntos apresentados é importante ressaltar o uso dos conjuntos de elementos artificiais (PA e TA), pois eles indicam que seus elementos devem ser considerados igualmente (em conjunto) pelas restrições. Segue abaixo o caso real:

- Várias turmas possuem uma mesma disciplina eletiva, portanto estas turmas são reunidas em uma única turma artificial (TA) para assistirem esta disciplina no mesmo dia e horário;
- Vários professores lecionam uma mesma disciplina, portanto estes professores são reunidos em um único professor artificial (PA) para lecionarem esta disciplina no mesmo dia e horário (em salas diferentes). Isto permite ao aluno escolher um professor de sua preferência.

Já os conjuntos PPA e TTA associam conjuntos de dados reais com conjuntos de dados artificiais, o que facilita a representação e comparação dos elementos reais nas restrições do modelo. Um exemplo desta associação de conjuntos pode ser visualizado na imagem abaixo:

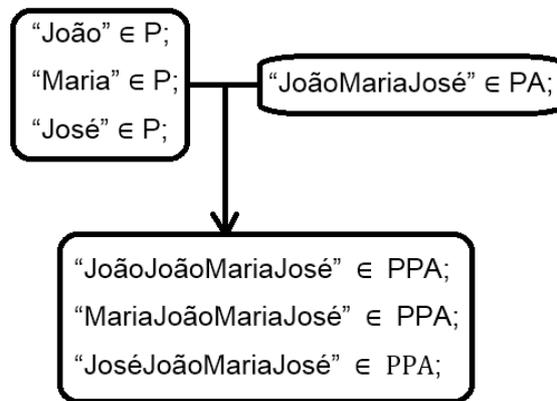


Figura 1 - Associação de conjuntos reais a conjuntos artificiais

O conjunto DI_p usado nesta modelagem é um recurso útil para casos em que o professor necessita conciliar, por exemplo, aulas que ele leciona e um curso de Pós-Doutorado, porém, o seu uso em excesso pode acarretar em uma grande variação de tempo na busca da solução podendo tornar a busca pela solução impraticável.

4.1 Função Objetivo

A função objetivo consiste na minimização dos dias em que professores lecionam na universidade:

$$\sum_{p \in P} \sum_{d \in D} z_{p,d}$$

4.2 Restrições

R1: O somatório das alocações referentes a uma disciplina deve ser igual a sua carga horária semanal. Geralmente a carga horária de uma disciplina do ICEA é de duas aulas por semana, pois assim é possível ter duas aulas na semana:

$$\sum_{d \in D} \sum_{h \in H} x_{p,m,t,d,h} = CH_m \quad \forall (p, m, t) \in PMT$$

R2: Cada professor pode lecionar no máximo uma aula em um dia e horário. A ideia de usar o conjunto PPA é permitir casos (geralmente disciplinas eletivas) em que um professor leciona uma disciplina em uma sala para mais de uma turma ao mesmo tempo:

$$\sum_{(p,m1,t1) \in PMT} x_{p,m1,t1,d,h} + \sum_{(p,m2,t2) \in PMT: (p,pa) \in PPA} x_{pa,m2,t2,d,h} \leq 1 \quad \forall p \in P, \forall d \in D, \forall h \in H$$

R3: Cada turma pode ter no máximo uma aula em um dia e horário. A ideia de usar o conjunto TTA é permitir casos em que uma turma pode ter escolhas por professor que lecionam uma determinada disciplina (geralmente disciplinas eletivas):

$$\sum_{(p1,m1,t) \in PMT} x_{p1,m1,t,d,h} + \sum_{(p2,m2,ta) \in PMT: (t,ta) \in TTA} x_{p2,m2,ta,d,h} \leq 1 \quad \forall t \in T, \forall d \in D, \forall h \in H$$

R4: A alocação de aulas deve respeitar o turno da turma. Esta restrição faz com que toda alocação x da turma t nos horários que não são de seu turno sejam iguais a zero, tornando possível a turma t ter aula somente nos horários que lhe é permitida (turno):

$$\sum_{h \in H - TU_t} x_{p,m,t,d,h} = 0 \quad \forall (p, m, t) \in PMT, \forall d \in D$$

R5: A quantidade de aulas de uma disciplina lecionadas em um dia para uma turma deve respeitar o limite máximo diário. No caso do ICEA todos valores em $AD_{m,t}$ são iguais a 1, dizendo que só é possível ter uma aula de uma determinada disciplina em um dia. Esta restrição associa também a alocação de horários das disciplinas com os dias que a turma tem aula da mesma disciplina:

$$\sum_{h \in H} \sum_{(p,m,t) \in PMT} x_{p,m,t,d,h} \leq AD_{m,t} \times y_{m,t,d} \quad \forall m \in M, \forall t \in (T \cup TA), \forall d \in D$$

R6: A quantidade de aulas lecionadas por um professor em um dia deve ser menor ou igual a quantidade de horários diários. Esta restrição associa também a alocação de horários das disciplinas com os dias que os professores lecionam:

$$\sum_{h1 \in H} \sum_{(p,m1,t1) \in PMT} x_{p,m1,t1,d,h1} + \sum_{h2 \in H} \sum_{\substack{(p,m2,t2) \in PMT: \\ (p,pa) \in PPA}} x_{pa,m2,t2,d,h2} \leq |H| \times z_{p,d} \quad \forall p \in P, \forall d \in D$$

R7: Esta restrição faz com que cada disciplina tenha no mínimo 1 dia de descanso, uma vez que a variável y terá valor 1 se uma disciplina é alocada para uma turma em um dia e 0 caso contrário:

$$\sum_{d_2=d_1}^{d_1+d_{m,t}} y_{m,t,d_2} \leq 1 \quad \forall (p, m, t) \in PMT, \forall d_1 \in D: d_1 \leq |D| - 1$$

R8: A alocação de aulas deve respeitar a lista de dias indisponíveis do professor. A variável z terá valor igual a 0 toda vez que seu dia pertencer ao conjunto DI_p , tornando impossível alocar o professor em algum x que contenha este dia indisponível:

$$\sum_{d \in DI_p} z_{p,d} = 0 \quad \forall p \in P$$

5 Resultados e Discussão

O modelo proposto foi implementado utilizando a linguagem GNU MathProg através da IDE GUSEK de versão 0.2 e resolvido pelo solver Gurobi versão 7.02. Os testes computacionais foram realizados em um computador Intel® Core™ i7-4790 CPU @ 3.60GHz com 16 GB de RAM, sistema operacional Ubuntu 14.04 de 64bits.

Foram realizados dois testes com instâncias reais do ICEA: o primeiro contendo dados do 2º semestre de 2017 e o segundo contendo dados do 1º semestre de 2018. Em ambas as execuções, o tempo limite de execução foi definido em 24 horas. As instâncias de entrada do modelo matemático foram geradas por um programa feito em Java. Esse programa faz a leitura do arquivo contendo os dados do ICEA, que possui o mesmo formato aceito pelo software FET. A saída obtida após a resolução do modelo é processada por um programa em Java que gera uma página HTML com a grade de horários.

Os resultados obtidos para os testes podem ser vistos nas tabelas 2 e 3. A grade de horários completa para o primeiro período de 2018 pode ser vista no Apêndice deste documento.

Tabela 2 – Resultado do teste referente ao 2º semestre de 2017

| | |
|--|--------|
| Professores | 75 |
| Professores Artificiais | 16 |
| Disciplinas | 143 |
| Turmas | 38 |
| Turmas Artificiais | 4 |
| Horários | 4 |
| Ocorrências de Indisponibilidade de professor | 5 |
| Limite Inferior (<i>lower bound</i>) | 161,00 |
| Limite Superior (<i>upper bound</i>) | 164,00 |
| Gap | 1.82% |
| Tempo de Execução | 24h |
| Solução | 164 |

Observa-se pela Tabela 2 que apesar da solução ótima não ser obtida o resultado encontrado foi suficiente para solucionar o problema real do segundo período de 2017. Ao analisar o resultado foi possível ver que do total de 75 professores alocados, a quantidade de dias letivos semanais para 60 deles foi de apenas dois dias, tendo 13 casos de professores que tiveram que lecionar três dias na semana e 2 casos de professores que tiveram que lecionar em quatro dias da semana.

Tabela 3 – Resultado do teste referente ao 1º semestre de 2018

| | |
|--|----------------|
| Professores | 77 |
| Professores Artificiais | 13 |
| Disciplinas | 141 |
| Turmas | 38 |
| Turmas Artificiais | 4 |
| Horários | 4 |
| Ocorrências de Indisponibilidade de professor | 7 |
| Limite Inferior (<i>lower bound</i>) | 165,00 |
| Limite Superior (<i>upper bound</i>) | 165,00 |
| Gap | 0% |
| Tempo de Execução | 11h e 13,4 min |
| Solução | 165 |

Observa-se pela Tabela 3 que a solução ótima foi encontrada para o primeiro período de 2018, pois o *gap* é igual a 0%. Ao analisar o resultado foi possível ver que do total de 77 professores alocados, a quantidade de dias letivos para 67 deles foi de apenas dois dias, tendo 8 casos de professores que tiveram que lecionar três dias na semana e 2 casos de professores que tiveram que lecionar quatro dias da semana.

Quanto ao tempo de execução de ambos os testes, pode-se dizer que o resultado é aceitável. Como esta tarefa só é realizada no início de cada período e existe um bom intervalo de tempo nas férias, é possível deixar o computador executando o algoritmo por bastante tempo, até mais de 24 horas se necessário. Quanto à reestruturação manual da grade, esta tarefa não será mais necessária caso o modelo apresentado neste trabalho seja utilizado pelo ICEA.

6 Considerações Finais

Neste trabalho, foi apresentada uma formulação de Programação Linear Inteira Binária para o Problema de Programação de Horários Educacionais aplicada a situação real do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA), campus da Universidade Federal de Ouro Preto. A utilização da abordagem proposta gera uma redução nos esforços necessários para a confecção de horários, tornando a tarefa mais prática e eficaz.

O fato das variáveis usadas serem multidimensionais e binárias facilitou tanto na elaboração do modelo quanto na execução em busca da solução ótima devido ao menor espaço de combinações possíveis se comparado ao uso irrestrito de variáveis inteiras.

O modelo elaborado tem como função objetivo minimizar dias na semana em que cada professor deve lecionar na universidade disponibilizando um tempo extra para que eles possam programar suas aulas. O modelo conta ainda com um diferencial que é permitir a inserção de dias de indisponibilidade de professores, que pode ser utilizado quando o professor necessita de certos dias da semana para realizar tarefas como lecionar em outra instituição de ensino ou realizar cursos. É importante ressaltar que este recurso pode tornar a solução inviável ou impraticável.

Como trabalhos futuros, destacam-se a melhoria do modelo matemático, inserindo técnicas que permitam acelerar sua resolução e também adição de restrições que tornem o problema mais abrangente a fim de atender melhor as necessidades pessoais dos professores e da instituição. A integração do solver com uma interface gráfica com o usuário que auxilie na inserção dos dados de entrada para o modelo matemático também pode ser tratado como trabalho futuro de grande ajuda e que toranaria a tarefa ainda mais prática.

Referências

- Amaral, P., Pais, T.C., **Compromise Ratio with weighting functions in a Tabu Search multi-criteria approach to examination timetabling**. *Computers & Operations Research*. 2016, 72, 160–174.
- BELLIO, R., CESCHIA, S., GASPERO, L., SCHAERF, A. e URLI, T., **Feature-based tuning of simulated annealing applied to the curriculum-based course timetabling problem**. In *Computers & Operations Research*, vol. 65, p. 83-92, Elsevier, 2016.
- BORGES, Abel et al. Estudo de caso de programação inteira para automação de grade de horários do departamento de estatística da Universidade Federal de Pernambuco. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, vol. 3, número 1, 2015.
- BRODER, S., Final examination scheduling. **Communications of the ACM**, vol. 7, número 8, 494–498, Agosto, 1964.
- BURKE, E. K. e PETROVIK, S., Recent research directions in automated timetabling. **European Journal of Operational Research**, vol. 140, número 2, Julho, 2002.
- CARVALHO, R., **Abordagem heurística para o problema de programação de horários de cursos**. 2011. Dissertação – Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte-MG, 2011.
- COLE, A. J., The preparation of examination timetables using a small-store computer. **The Computer Journal**, vol. 7, número 2, 117–121, Janeiro, 1964.
- C. CONTRERAS-BOLTON, G. GATICA, C. R. BARRA e V. PARADA., A multi-operator genetic algorithm for the generalized minimum spanning tree problem, **Expert Systems with Applications**, vol. 50, p. 1–8, Maio, 2016.
- DA FONSECA, G. H. G., H. G. SANTOS, T. Â. M. TOFFOLO, S. S. BRITO and M. J. F. SOUZA. GOAL solver: a hybrid local search based solver for high school timetabling. **Annals of Operations Research**. Vol. 239, no. 1, pp. 77-97, Abril, 2016.
- DASKALAKI, S., BIRBAS, T. e HOUSOS, E., An integer programming formulation for a case study in university timetabling. **European Journal of Operational Research**, vol. 153, número 1, p. 117–135, Fevereiro, 2004.
- DE SOUZA FILHO, E. M.; GOMES, C. R., **Programação do quadro de horários de disciplinas de uma universidade via programação inteira**. XLI SBPO - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento p. 357 , 2009. Disponível em: < <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2009/artigos/55634.pdf>>. Acesso em 4 Fev. 2018.

Fonseca, G. H. G., and Santos, H. G. **Variable neighborhood search based algorithms for high school timetabling**. In *Computers & Operations Research*. Vol. 52, pp. 203–208, Elsevier, 2014.

GOTLIEB, C. C., **The construction of class-teacher timetables**. In C. M. Popplewell, editor, *IFIP congress 62*, p. 73–77. North-Holland, 1963.

INAREJOS, O., HOTO, R. e MACULAN, N., An integer linear optimization model to the compartmentalized knapsack problem. **International Transactions in Operational Research**. Wiley Online Library, Outubro, 2017.

KHEIRI, A., ÖZCAN, E. e PARKES, A.J., A stochastic local search algorithm with adaptive acceptance for high-school timetabling. **Annals of Operations Research**, vol. 239, número 1, p. 135–151, Abril, 2016.

NOVOA, D., OLARTE, C., BARRERA, D. e GONZÁLES-NEIRA, E. M., A GRASP-based approach to the multi activity combined timetabling and crew scheduling problem considering a heterogeneous workforce. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, vol. 7, no. 4, pp. 597–606, 2016.

OTTONI, A. L. C., NEPUMOCENO, E. G., CORDEIRO, L. T., LAMPERTI, R. D. e OLIVEIRA, M. S., **Análise do Desempenho do Aprendizado por Reforço na Solução do Problema do Caixeiro Viajante**. XII SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, p. 43–48, 2015. Disponível em: < <http://swge.inf.br/SBAI2015/anais/017.pdf> >. Acesso em 4 Fev. 2018.

PERMANHANE, R. M.; SECCHIN, L. D., O problema da elaboração de grade de horários escolares: uma aplicação á Universidade Federal do Espírito Santo. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, vol. 2, número 1, 2014.

SANTOS, H. G., UCHOA, E., OCHI, L. S. e MACULAN, N., Strong bounds with cut and column generation for class-teacher timetabling, **Annals of Operations Research**, vol. 194, número 1, p. 399–412, Abril, 2012.

SCHRIJVER, A., **A course in combinatorial optimization**, Centrum Wiskunde & Informatica (CWI), Amsterdam, Netherlands, 2010. Disponível em: <http://www.academia.edu/download/1809196/A_Course_in_Combinatorial_Optimization.pdf>. Acesso em 30 Jan. 2018.

SOBRAPO, **O que é pesquisa operacional?**. SOBRAPO, 1969. Disponível em: <<http://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

SOUZA, M. J. F., GUIMARÃES, I. F. e COSTA, F. P., **Um algoritmo evolutivo híbrido para o problema de programação de horários em escolas**. In: XXII Encontro Nacional de

Engenharia de Produção, 2002, Curitiba. Anais do XXII ENEGEP. Santa Bárbara D'Oeste: ABEPRO. vol. 1, p. 1-8, 2002.

VIEIRA, F. e MACEDO, H., **Sistema de Alocação de Horários de Cursos Universitários: Um Estudo de Caso no Departamento de Computação da Universidade Federal de Sergipe**. Scientia Plena, vol. 7, número 3, Março, 2011.

APÊNDICE – Grade de Horários de 2018/1

Neste apêndice é apresentada a grade de horários gerada para o primeiro semestre de 2018. Esta grade é organizada por turmas e para identifica-las usou-se uma sigla que representará o curso seguida de “_ número” onde o número representa o período da turma em questão. As siglas utilizadas são apresentadas a seguir com seus respectivos significados: EE: Engenharia Elétrica; EC: Engenharia da Computação; EP: Engenharia de Produção e SI: Sistemas de Informação. Os nomes dos professores foram anonimados.

| EE_01 | | | | | |
|---------------------|---|--|--|-------------------------------------|--|
| H | SEGUNDA | TERÇA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof1 | Geometria Analitica e Algebra Linear Prof5 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof1 | Quimica Geral - Pratica Prof8 | Calculo Diferencial e Integral I Prof10 |
| 20:45 - 22:25 | Calculo Diferencial e Integral I Prof10 | CEA204 - Introducao a Engenharia Eletrica Prof24 | CEA458 - Metodologia da Pesquisa Prof15 | Quimica Geral - Teorica Prof8 | Geometria Analitica e Algebra Linear Prof5 |

| EE_02 | | | | | |
|---------------------|--|--|--|---|--|
| H | SEGUNDA | TERÇA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | Estatistica e Probabilidade Prof13 | CEA026 - Desenho Computacional Prof25 | CSI488 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof2 | Fisica I Prof6 | CSI488 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof2 |
| 15:25 - 17:05 | Fisica I Prof6 | Calculo Diferencial e Integral II Prof11 | Estatistica e Probabilidade Prof13 | CEA026 - Desenho Computacional Prof25 | Calculo Diferencial e Integral II Prof11 |

| EE_03 | | | | | |
|---------------------|--|--|---|---------------------|---|
| H | SEGUNDA | TERÇA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Fisica II Prof6 | Fisica III Prof7 | Introducao as Equacoes Diferenciais Ordinarias Prof12 | Fisica III Prof7 | Calculo Diferencial e Integral III Prof5 |
| 20:45 - 22:25 | CEA341 - Principios de Eletronica Digital Prof26 | Calculo Diferencial e Integral III Prof5 | CEA341 - Principios de Eletronica Digital Prof26 | Fisica II Prof6 | Introducao as Equacoes Diferenciais Ordinarias Prof12 |

| EE_04 | | | | | |
|---------------------|--|--|---|--|---|
| H | SEGUNDA | TERÇA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CSI148 - Analise Numerica Prof1 | Metodos Matematicos Aplicados a Engenharia Eletrica Prof7 | CSI148 - Analise Numerica Prof1 | Fisica IV Prof7 | CSI422 - Organizacao e Arquitetura de Computadores I Prof3 |
| 15:25 - 17:05 | CEA552 - Circuitos Eletricos I Prof28 | Fisica IV Prof7 | CSI422 - Organizacao e Arquitetura de Computadores I Prof3 | Metodos Matematicos Aplicados a Engenharia Eletrica Prof7 | CEA552 - Circuitos Eletricos I Prof28 |

| EE_05 | | | | | |
|---------------------|---|--------------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CEA563 - Circuitos Elétricos II Prof23 | CEA562 - Sinais e Sistemas Prof22 | CEA551 - Modelagem e Análise de Sistemas Lineares Prof15 | Mecânica Quântica Aplicada Prof9 | CEA551 - Modelagem e Análise de Sistemas Lineares Prof15 |
| 20:45 - 22:25 | Mecânica Quântica Aplicada Prof9 | CEA502 - Eletromagnetismo Prof16 | CEA563 - Circuitos Elétricos II Prof23 | CEA502 - Eletromagnetismo Prof16 | CEA562 - Sinais e Sistemas Prof22 |

| EE_06 | | | | | |
|---------------------|---|--|---|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CEA573 - Sistemas de Potência I Prof29 | CEA582 - Fundamentos de Comunicações Prof19 | CEA570 - Sistemas de Controle I Prof20 | CEA573 - Sistemas de Potência I Prof29 | CEA582 - Fundamentos de Comunicações Prof19 |
| 15:25 - 17:05 | CEA561 - Eletrônica I Prof27 | CEA550 - Máquinas Elétricas I Prof18 | CEA561 - Eletrônica I Prof27 | CEA550 - Máquinas Elétricas I Prof18 | CEA570 - Sistemas de Controle I Prof20 |

| EE_07 | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CEA580 - Microprocessadores e Microcontroladores Prof26 | CEA571 - Eletrônica II Prof16 | CEA580 - Microprocessadores e Microcontroladores Prof26 | CEA571 - Eletrônica II Prof16 | Eletiva 1EE Prof19, Prof20, Prof21 |
| 20:45 - 22:25 | CEA583 - Sistemas de Potência II Prof21 | CEA560 - Máquinas Elétricas II Prof18 | Eletiva 1EE Prof19, Prof20, Prof21 | CEA560 - Máquinas Elétricas II Prof18 | CEA583 - Sistemas de Potência II Prof21 |

| EE_08 | | | | | |
|---------------------|---|--|---|--|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CEA147 - Eletrônica Embarcada Prof27 | Eletiva 3EE Prof16, Prof17, Prof18 | CEA581 - Eletrônica de Potência Prof26 | Eletiva 3EE Prof16, Prof17, Prof18 | Eletiva 2EE Prof22, Prof23, Prof15 |
| 15:25 - 17:05 | CEA581 - Eletrônica de Potência Prof26 | CEA671 - Processamento Digital de Sinais Prof17 | Eletiva 2EE Prof22, Prof23, Prof15 | CEA671 - Processamento Digital de Sinais Prof17 | CEA147 - Eletrônica Embarcada Prof27 |

| EE_09 | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---------------------------------------|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CEA572 - Instrumentação Prof28 | Eletiva 4EE Prof24, Prof17, Prof25 | CEA590 - Acionamentos Elétricos Prof23 | CSI548 - Redes de Computadores I Prof4 | Eletiva 1EE Prof19, Prof20, Prof21 |
| 20:45 - 22:25 | CEA590 - Acionamentos Elétricos Prof23 | CSI548 - Redes de Computadores I Prof4 | Eletiva 1EE Prof19, Prof20, Prof21 | Eletiva 4EE Prof24, Prof17, Prof25 | CEA572 - Instrumentação Prof28 |

| EE_10 | | | | | |
|---------------------|---|--|--|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | Fundamentos da Ciencia do Ambiente Prof14 | CEA595 - Informatica Industrial Prof24 | slot_deelt PROF30 | CEA593 - Materiais Eletricos Prof25 | CEA594 - Projeto Integrador Prof24 |
| 15:25 - 17:05 | CEA597 - Instalacoes Eletricas Prof29 | CEA593 - Materiais Eletricos Prof25 | CEA594 - Projeto Integrador Prof24 | CEA597 - Instalacoes Eletricas Prof29 | CEA595 - informatica Industrial Prof24 |

| EC_01 | | | | | |
|---------------------|---|--|---|--------------------------------------|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof60 | CSI427 - Metodologia da Pesquisa Aplicada a Computacao Prof58 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof60 | Quimica Geral - Teorica Prof56 | CSI201 - Introducao a Engenharia da Computacao Prof61 |
| 15:25 - 17:05 | Calculo Diferencial e Integral I Prof57 | Geometria Analitica e Algebra Linear Prof5 | Calculo Diferencial e Integral I Prof57 | Quimica Geral - Pratica Prof56 | Geometria Analitica e Algebra Linear Prof5 |

| EC_02 | | | | | |
|---------------------|---|--|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Fisica I Prof9 | CSI032 - Programacao de Computadores II Prof63 | CSI443 - Matematica Discreta Prof62 | CSI032 - Programacao de Computadores II Prof63 | Calculo Diferencial e Integral II Prof12 |
| 20:45 - 22:25 | CSI443 - Matematica Discreta Prof62 | Estatistica e Probabilidade Prof11 | Calculo Diferencial e Integral II Prof12 | Fisica I Prof9 | Estatistica e Probabilidade Prof11 |

| EC_03 | | | | | |
|---------------------|--|---|---|---|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CEA341 - Principios de Eletronica Digital Prof26 | Introducao as Equacoes Diferenciais Ordinarias Prof55 | CSI448 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof32 | Fisica II Prof53 | CSI448 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof32 |
| 15:25 - 17:05 | Calculo Diferencial e Integral III Prof10 | Fisica II Prof53 | CEA341 - Principios de Eletronica Digital Prof26 | Introducao as Equacoes Diferenciais Ordinarias Prof55 | Calculo Diferencial e Integral III Prof10 |

| EC_04 | | | | | |
|---------------------|---|--|---|--|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Fisica III Prof54 | CSI429 - Algoritmos e Estrutura de Dados II Prof64 | Fisica III Prof54 | CEA552 - Circuitos Eletricos I Prof25 | CEA562 - Sinais e Sistemas Prof22 |
| 20:45 - 22:25 | CSI466 - Teoria dos Grafos Prof65 | CEA552 - Circuitos Eletricos I Prof25 | CEA562 - Sinais e Sistemas Prof22 | CSI429 - Algoritmos e Estrutura de Dados II Prof64 | CSI466 - Teoria dos Grafos Prof65 |

| EC_05 | | | | | |
|---------------------|--|---|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | Fisica IV Prof6 | CSI485 - Engenharia de Software I Prof66 | CEA502 - Eletromagnetismo Prof27 | CSI203 - Organizacao e Arquitetura de Computadores I Prof67 | CEA502 - Eletromagnetismo Prof27 |
| 15:25 - 17:05 | CSI148 - Analise Numerica Prof1 | CSI203 - Organizacao e Arquitetura de Computadores I Prof67 | CSI148 - Analise Numerica Prof1 | Fisica IV Prof6 | CSI485 - Engenharia de Software I Prof66 |

| EC_06 | | | | | |
|---------------------|--|---|---|---|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CSI509 - Organizacao e Arquitetura de Computadores II Prof69 | CEA582 - Fundamentos de Comunicacoes Prof19 | CSI509 - Organizacao e Arquitetura de Computadores II Prof69 | CSI546 - Projeto e Analise de Algoritmos Prof31 | CEA561 - Eletronica I Prof27 |
| 20:45 - 22:25 | CSI440 - Banco de Dados I Prof68 | CSI546 - Projeto e Analise de Algoritmos Prof31 | CEA561 - Eletronica I Prof27 | CSI440 - Banco de Dados I Prof68 | CEA582 - Fundamentos de Comunicacoes Prof19 |

| EC_07 | | | | | |
|---------------------|--|---|---|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CEA580 - Microprocessadores e Microcontroladores Prof28 | CSI508 - Computacao Grafica Prof64 | CEA551 - Modelagem e Analise de Sistemas Lineares Prof15 | CSI508 - Computacao Grafica Prof64 | CEA580 - Microprocessadores e Microcontroladores Prof28 |
| 15:25 - 17:05 | CSI476 - Fundamentos Teoricos da Computacao Prof70 | CSI437 - Sistemas Operacionais Prof71 | CSI476 - Fundamentos Teoricos da Computacao Prof70 | CSI437 - Sistemas Operacionais Prof71 | CEA551 - Modelagem e Analise de Sistemas Lineares Prof15 |

| EC_08 | | | | | |
|---------------------|--|---|---|--|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CSI457 - Inteligencia Artificial Prof74 | CSI450 - Interacao Humano - Computador Prof73 | CSI457 - Inteligencia Artificial Prof74 | CSI450 - Interacao Humano - Computador Prof73 | CSI419 - Linguagens de Programacao Prof72 |
| 20:45 - 22:25 | CSI419 - Linguagens de Programacao Prof72 | Eletiva 02 - DECSI Prof76, Prof67 | CSI548 - Redes de Computadores I Prof2 | Eletiva 02 - DECSI Prof76, Prof67 | CSI548 - Redes de Computadores I Prof2 |

| EC_09 | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|---|---|---|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CSI509 - Compiladores I Prof70 | Eletiva 04 - DECSI Prof63, Prof61 | CSI509 - Compiladores I Prof70 | Eletiva 04 - DECSI Prof63, Prof61 | Eletiva 03 - DECSI Prof74, Prof72 |
| 15:25 - 17:05 | Eletiva 03 - DECSI Prof74, Prof72 | CSI510 - Redes de Computadores II Prof4 | CSI433 - Sistemas Distribuidos Prof75 | CSI510 - Redes de Computadores II Prof4 | CSI433 - Sistemas Distribuidos Prof75 |

| EC_10 | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CSI693 - Avaliacao de Desempenho de Sistemas Prof32 | Eletiva_turma_extra - DECSI Prof58, Prof59 | CSI491 - Informatica e Sociedade Prof33 | Eletiva_turma_extra - DECSI Prof58, Prof59 | Fundamentos da Ciencia do Ambiente Prof14 |
| 20:45 - 22:25 | Eletiva 01 - DECSI Prof60, Prof69 | Eletiva 02 - DECSI Prof76, Prof67 | Eletiva 01 - DECSI Prof60, Prof69 | Eletiva 02 - DECSI Prof76, Prof67 | CSI693 - Avaliacao de Desempenho de Sistemas Prof32 |

| EP_01 | | | | | |
|---------------------|--|--|--|---|-----------------------------------|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | Calculo Diferencial e Integral I Prof57 | ENP 101 - Introducao a Metodologia da Pesquisa Prof40 | Calculo Diferencial e Integral I Prof57 | ENP 100 - Introducao a Engenharia de Producao Prof40 | Quimica Geral - Pratica Prof56 |
| 15:25 - 17:05 | Geometria Analitica e Algebra Linear Prof52 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof31 | Geometria Analitica e Algebra Linear Prof52 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof31 | Quimica Geral - Teorica Prof56 |

| EP_02 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Calculo Diferencial e Integral II Prof57 | Fisica I Prof53 | Calculo Diferencial e Integral II Prof57 | Fisica I Prof53 | CSI428 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof32 |
| 20:45 - 22:25 | CSI428 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof32 | ENP 004 - Expressao Grafica Prof41 | ENP 152 - etica e Responsabilidade Socioambiental Prof35 | ENP 004 - Expressao Grafica Prof41 | ENP 152 - etica e Responsabilidade Socioambiental Prof35 |

| EP_03 | | | | | |
|---------------------|--|---|--|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | Calculo Diferencial e Integral III Prof10 | ENP 151 - Ciencia .Tecnologia e Sociedade Prof38 | Introducao as Equacoes Diferenciais Ordinarias Prof12 | Probabilidade Prof55 | Calculo Diferencial e Integral III Prof10 |
| 15:25 - 17:05 | Fisica II Prof54 | Probabilidade Prof55 | Fisica II Prof54 | ENP 151 - Ciencia .Tecnologia e Sociedade Prof38 | Introducao as Equacoes Diferenciais Ordinarias Prof12 |

| EP_04 | | | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Calculo Numerico Prof13 | Estatistica I Prof11 | ENP 153_EP - Programacao Linear Prof43 | ENP 005 - Ergonomia Prof42 | Estatistica I Prof11 |
| 20:45 - 22:25 | Fisica III Prof54 | ENP 005 - Ergonomia Prof42 | Fisica III Prof54 | Calculo Numerico Prof13 | ENP 153_EP - Programacao Linear Prof43 |

| EP_05 | | | | | |
|---------------------|------------------------------------|---|---|---|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | ENP 015 - Microeconomia Prof44 | ENP 014 - Organizacao do Trabalho Prof42 | ENP 015 - Microeconomia Prof44 | ENP 014 - Organizacao do Trabalho Prof42 | ENP 017 - Teoria das Organizacoes Prof46 |
| 15:25 - 17:05 | ENP 157 - Estatistica II Prof45 | ENP 160 - Otimizacao Combinatoria Prof37 | ENP 017 - Teoria das Organizacoes Prof46 | ENP 160 - Otimizacao Combinatoria Prof37 | ENP 157 - Estatistica II Prof45 |

| EP_06 | | | | | |
|---------------------|---|--|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | ENP 155 - Custos Industriais Prof49 | ENP 019 - Psicologia do Trabalho Prof42 | ENP 154 - Planejamento Estrategico e Mercadologico Prof47 | ENP 022 - Gestao da Qualidade Prof48 | ENP 154 - Planejamento Estrategico e Mercadologico Prof47 |
| 20:45 - 22:25 | Principios de Ciencias de Materiais Prof14 | ENP 022 - Gestao da Qualidade Prof48 | ENP 155 - Custos Industriais Prof49 | ENP 019 - Psicologia do Trabalho Prof42 | Principios de Ciencias de Materiais Prof14 |

| EP_07 | | | | | |
|---------------------|--|---|---|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | ENP 141 - Controle Estatístico de Qualidade Prof45 | ENP 701 - Engenharia de Processos Mecânicos Prof41 | ENP 025 - Gestão do Conhecimento Prof46 | ENP 122 - Planejamento e Controle de Produto I Prof48 | ENP 141 - Controle Estatístico de Qualidade Prof45 |
| 15:25 - 17:05 | ENP 023 - Engenharia Econômica Prof49 | ENP 122 - Planejamento e Controle de Produto I Prof48 | ENP 023 - Engenharia Econômica Prof49 | ENP 701 - Engenharia de Processos Mecânicos Prof41 | ENP 025 - Gestão do Conhecimento Prof46 |

| EP_08 | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | ENP 534 - Gestão de Projetos Prof39 | ENP 159 - Sistema de Desenvolvimento de Produto Prof40 | ENP 119 - Logística Prof50 | ELETIVA I e IV - DEENP Prof51, Prof34 | ENP 534 - Gestão de Projetos Prof39 |
| 20:45 - 22:25 | ENP 119 - Logística Prof50 | ELETIVA I e IV - DEENP Prof51, Prof34 | ENP 123 - Planejamento e Controle de Produto II Prof47 | ENP 159 - Sistema de Desenvolvimento de Produto Prof40 | ENP 123 - Planejamento e Controle de Produto II Prof47 |

| EP_09 | | | | | |
|---------------------|--|---|---|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | ENP 158 - Modelagem de Sistemas Produtivos e Logísticos I Prof36 | ELETIVA II - DEENP Prof34 | ENP 028 - Gestão da Cadeia de Suprimentos Prof50 | ELETIVA III e VIII - DEENP Prof38, Prof51 | CSI009 - Fundamentos de Sistemas de Informação Prof33 |
| 15:25 - 17:05 | ENP 028 - Gestão da Cadeia de Suprimentos Prof50 | ELETIVA III e VIII - DEENP Prof38, Prof51 | CSI009 - Fundamentos de Sistemas de Informação Prof33 | ELETIVA II - DEENP Prof34 | ENP 158 - Modelagem de Sistemas Produtivos e Logísticos I Prof36 |

| EP_10 | | | | | |
|---------------------|---|--|----------------------------------|--|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | ENP161 - Simulação a Eventos Discretos Prof36 | ENP156 - Gestão de Serviços Prof34 | ENP029 - Gestão Ambiental Prof35 | ELETIVA IV e IX - DEENP Prof37, Prof38 | ENP029 - Gestão Ambiental Prof35 |
| 20:45 - 22:25 | ELETIVA V - DEENP Prof39 | ELETIVA IV e IX - DEENP Prof37, Prof38 | ELETIVA V - DEENP Prof39 | ENP156 - Gestão de Serviços Prof34 | ENP161 - Simulação a Eventos Discretos Prof36 |

| SI_01 | | | | | |
|---------------------|--|---|--|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Fundamentos de Geometria Analítica e Álgebra Linear Prof52 | CSI030 - Programação de Computadores I Prof31 | Fundamentos de Geometria Analítica e Álgebra Linear Prof52 | Fundamentos de Cálculo Prof13 | CSI491 - Informática e Sociedade Prof33 |
| 20:45 - 22:25 | Fundamentos de Cálculo Prof13 | CSI427 - Metodologia da Pesquisa Aplicada a Computação Prof58 | CSI145 - Teoria e Fundamentos de Sistemas de Informação Prof33 | CSI030 - Programação de Computadores I Prof31 | CSI145 - Teoria e Fundamentos de Sistemas de Informação Prof33 |

| SI_02 | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | ENP 144 - Teoria Geral de Administracao Prof77 | CSI460 - Gestao da Informacao Prof76 | CSI443 - Matematica Discreta Prof62 | CSI460 - Gestao da Informacao Prof76 | ENP 144 - Teoria Geral de Administracao Prof77 |
| 15:25 - 17:05 | CSI443 - Matematica Discreta Prof62 | CSI032 - Programacao de Computadores II Prof63 | CSI488 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof2 | CSI032 - Programacao de Computadores II Prof63 | CSI488 - Algoritmos e Estrutura de Dados I Prof2 |

| SI_03 | | | | | |
|---------------------|------------------------------------|--|---|--|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CSI466 - Teoria dos Grafos Prof65 | ENP 473 - Comportamento Organizacional Prof51 | CSI424 - Fundamentos de Arquitetura de Computadores Prof3 | CSI429 - Algoritmos e Estrutura de Dados II Prof64 | CSI466 - Teoria dos Grafos Prof65 |
| 20:45 - 22:25 | Estatistica e Probabilidade Prof52 | CSI429 - Algoritmos e Estrutura de Dados II Prof64 | Estatistica e Probabilidade Prof52 | ENP 473 - Comportamento Organizacional Prof51 | CSI424 - Fundamentos de Arquitetura de Computadores Prof3 |

| SI_04 | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|--|--|---------------------------------------|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CSI440 - Banco de Dados I Prof68 | CSI437 - Sistemas Operacionais Prof71 | ENP 153_SI - Programacao Linear Prof43 | CSI437 - Sistemas Operacionais Prof71 | CSI485 - Engenharia de Software I Prof66 |
| 15:25 - 17:05 | ENP 150 - Economia Prof44 | CSI485 - Engenharia de Software I Prof66 | ENP 150 - Economia Prof44 | CSI440 - Banco de Dados I Prof68 | ENP 153_SI - Programacao Linear Prof43 |

| SI_05 | | | | | |
|---------------------|--|---|--|---|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | CSI442 - Banco de Dados II Prof68 | CSI426 - Fundamentos de Redes de Computadores Prof4 | CSI476 - Fundamentos Teoricos da Computacao Prof70 | CSI442 - Banco de Dados II Prof68 | CSI486 - Engenharia de Software II Prof66 |
| 20:45 - 22:25 | CSI476 - Fundamentos Teoricos da Computacao Prof70 | CSI486 - Engenharia de Software II Prof66 | CSI457 - Inteligencia Artificial Prof74 | CSI426 - Fundamentos de Redes de Computadores Prof4 | CSI457 - Inteligencia Artificial Prof74 |

| SI_06 | | | | | |
|---------------------|---|---|---------------------------------------|---|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CSI419 - Linguagens de Programacao Prof72 | CSI478 - Gerencia de Configuracao e Engenharia de Software Prof73 | CSI433 - Sistemas Distribuidos Prof75 | CSI478 - Gerencia de Configuracao e Engenharia de Software Prof73 | CSI433 - Sistemas Distribuidos Prof75 |
| 15:25 - 17:05 | CSI477 - Sistemas WEB I Prof60 | CSI450 - Interacao Humano - Computador Prof73 | CSI477 - Sistemas WEB I Prof60 | CSI450 - Interacao Humano - Computador Prof73 | CSI419 - Linguagens de Programacao Prof72 |

| SI_07 | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|---|--|---|--|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | ENP 493 - Empreendedorismo Prof77 | CSI439 - Gestao da Tecnologia da Informacao Prof76 | ENP 126 - Gerencia de Recursos humanos Prof39 | CSI439 - Gestao da Tecnologia da Informacao Prof76 | ENP 493 - Empreendedorismo Prof77 |
| 20:45 - 22:25 | Eletiva 01 - DECSI Prof60, Prof69 | Eletiva 02 - DECSI Prof76, Prof67 | Eletiva 01 - DECSI Prof60, Prof69 | Eletiva 02 - DECSI Prof76, Prof67 | ENP 126 - Gerencia de Recursos humanos Prof39 |

| SI_08 | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--------------------------------------|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 13:30 - 15:10 | CSI463 - Seguranca e Auditoria de Sistemas Prof62 | Eletiva 04 - DECSI Prof63, Prof61 | Eletiva 05 - DECSI Prof61, Prof3 | Eletiva 04 - DECSI Prof63, Prof61 | Eletiva 03 - DECSI Prof74, Prof72 |
| 15:25 - 17:05 | Eletiva 03 - DECSI Prof74, Prof72 | CSI462 - Sistemas de Apoio a Decisao Prof58 | CSI463 - Seguranca e Auditoria de Sistemas Prof62 | CSI462 - Sistemas de Apoio a Decisao Prof58 | Eletiva 05 - DECSI Prof61, Prof3 |

| SI_01 | | | | | |
|---------------------|---|--|---|--|---|
| H | SEGUNDA | TERCA | QUARTA | QUINTA | SEXTA |
| 18:50 - 20:30 | Fundamentos de Geometria Analitica e Algebra Linear Prof52 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof31 | Fundamentos de Geometria Analitica e Algebra Linear Prof52 | Fundamentos de Calculo Prof13 | CSI491 - Informatica e Sociedade Prof33 |
| 20:45 - 22:25 | Fundamentos de Calculo Prof13 | CSI427 - Metodologia da Pesquisa Aplicada a Computacao Prof58 | CSI145 - Teoria e Fundamentos de Sistemas de Informacao Prof33 | CSI030 - Programacao de Computadores I Prof31 | CSI145 - Teoria e Fundamentos de Sistemas de Informacao Prof33 |