

**RAILDO BARROS RODRIGUES**

**Modelo de programação matemática na elaboração de quadros de  
horários para cursos de graduação**

Raildo Barros Rodrigues

**Modelo de programação matemática na elaboração de quadros de  
horários para cursos de graduação**

Dissertação apresentada no Programa de Mestrado Profissional da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

Coorientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva

R696m	<p>Rodrigues, Raildo Barros</p> <p>Modelo de programação matemática na elaboração de quadros de horários para cursos de graduação / Raildo Barros Rodrigues. – Guaratinguetá, 2018. 87 f : il. Bibliografia: f. 47-50</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins Coorientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva</p> <p>1. Programação linear - Processamento de dados. 2. Combinações (Matemática) 3. Universidades e faculdades - Planejamento. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 65.012.122 (043)</p>
-------	--

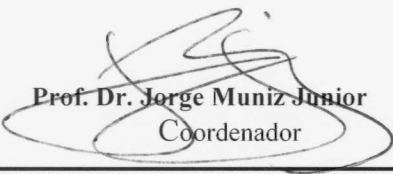
Pâmella Benevides Gonçalves  
Bibliotecária/CRB-8/9203

**RAILDO BARROS RODRIGUES**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
**Prof. Dr. Jorge Muniz Junior**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS**  
Orientador / UNESP-FEG

**Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON**  
UNESP/FEG

  
**Prof. Dr. FABRÍCIO MACIEL GOMES**  
EEL/USP

*Setembro de 2018*

## **DADOS CURRICULARES**

### **RAILDO BARROS RODRIGUES**

NASCIMENTO	29.06.1992 – BOA VISTA/RR
FILIAÇÃO	Francisco Enoque Rodrigues Jusceline Barros Conceição
2012/2016	Curso de Graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas Instituto Federal de Roraima
2016/2017	Especialização em Lato Sensu Engenharia de Sistemas Escola Superior Aberta do Brasil

*A Deus, família e namorada.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por todos os ensinamentos e lutas travadas com ele ao lado.

Aos meus pais, Francisco Enoque Rodrigues e Jusceline Barros Conceição, pelo apoio durante muitos anos e o cuidado que sempre tiveram comigo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins, por suas aulas de Pesquisa Operacional e por ter me guiado prontamente durante cada etapa desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva, por suas contribuições, disponibilidade e atenção durante as etapas desta pesquisa.

A todos os professores do programa de mestrado que compartilharam seus conhecimentos.

À minha amiga e companhia de todas as horas, minha namorada Jidiã da Silva Vieira, que me apoiou e incentivou em cada momento difícil dessa jornada.

Aos colegas e amigos do Mestrado pelos momentos que passamos juntos nessa caminhada.

Ao IFRR, pelo apoio financeiro e empenho das pessoas que estiveram à frente do Programa de Mestrado.

## RESUMO

Esta dissertação trata da construção de um modelo matemático para a elaboração do quadro de horários dos cursos de graduação do CBV/IFRR. A programação de horários é um problema de otimização combinatória estudado há anos pela Pesquisa Operacional e, em termos de complexidade computacional, é tido como NP-Completo, sendo assim, é um problema que exige grande capacidade de processamento. A elaboração do quadro de horários em qualquer instituição de ensino é complexa e demanda tempo para os responsáveis por essa atividade, pois as necessidades dos professores e alunos devem ser atendidas e devem-se evitar conflitos nos horários dos professores. A instituição estudada nesta dissertação assim como outras instituições, possui particularidades institucionais, dessa forma, uma formulação geral do problema acaba não lhe sendo útil. O CBV/IFRR realiza a elaboração dos horários de forma manual, por meio de planilha eletrônica e realização de reuniões entre os gestores, o que torna difícil encontrar uma solução factível. Sendo assim, foi necessária a realização de pesquisa científica para encontrar métodos que poderiam ser aplicados ao problema. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de Programação Matemática que permitisse a elaboração dos horários para cursos de graduação do CBV/IFRR. Utilizou-se entrevistas com as Coordenações de Cursos para obtenção das informações acerca do problema tratado, tais como restrições e prioridades a serem atendidas com a programação de aulas para professores. Estas informações serviram de base para a construção do modelo conceitual, que foi utilizado para elaboração do modelo matemático final, que foi implementado na linguagem de alto nível GAMS<sup>®</sup> e resolvido pelo *solver* CPLEX<sup>®</sup>. Os testes do modelo foram realizados otimizando uma instância com dados reais da instituição estudada. Os resultados obtidos da otimização foram satisfatórios, pois foi possível encontrar uma solução ótima para a instância em tempo computacional adequado, com todas as restrições, impostas pelas características peculiares do problema tratado, sendo respeitadas e as prioridades estabelecidas pelas Coordenações de Cursos atendidas.

**PALAVRAS-CHAVES:** Cursos universitários. Tabela de horários. Programação linear inteira mista. Problema de otimização combinatória.



## ABSTRACT

This dissertation deals with the construction of a mathematical model for the elaboration of the timetable of the undergraduate courses of the CBV/IFRR. Time scheduling is a combinatorial optimization problem that has been studied for years by Operational Research and, in terms of computational complexity, is considered as NP-Complete, so it is a problem that requires large processing capacity. The elaboration of the timetable in any educational institution is complex and takes time for those responsible for this activity, because the needs of teachers and students must be met and avoid conflicts in the schedules of teachers. The institution studied in this dissertation as well as other institutions, has institutional features, so a general formulation of the problem ends up being of no use to it. The CBV/IFRR performs the elaboration of the schedules manually, through a spreadsheet and holding meetings between managers, which makes it difficult to find a feasible solution. Thus, it was necessary to carry out scientific research to find methods that could be applied to the problem. Thus, this work had the objective of developing a Mathematical Programming model that allowed the elaboration of the schedules for the undergraduate courses of the CBV/IFRR. We used interviews with the Course Coordinators to obtain information about the problem, such as constraints and priorities to be met with the programming of classes for teachers. This information was the basis for the construction of the conceptual model, which was used to elaborate the final mathematical model, which was implemented in the GAMS<sup>®</sup> high-level language and solved by the CPLEX<sup>®</sup> solver. The tests of the model were performed optimizing an instance with real data of the studied institution. The results obtained from the optimization were satisfactory, since it was possible to find an optimal solution for the instance in adequate computational time, with all the restrictions imposed by the peculiar characteristics of the problem, being respected and the priorities established by the Coordination of Courses attended.

**KEYWORDS:** University courses. Timetable. Mixed integer linear programming. Combinatorial optimization problem.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Total de publicações referentes às palavras-chaves “ <i>timetabling</i> ” e “ <i>university course</i> ” .....	17
Figura 2 – Número de citações referentes as palavras-chaves “ <i>timetabling</i> ” e “ <i>university course</i> ” .....	18
Figura 3 – Mapa de árvore feita por meio da combinação das Palavras-Chaves “ <i>timetabling</i> ” e “ <i>university course</i> ” .....	19
Figura 4 – Classificação da Pesquisa Científica .....	20
Figura 5 – Etapas do trabalho .....	22
Figura 6 – Diagrama do Problema de Horário de Curso Universitário .....	24
Figura 7 – Quadro de horários gerado pela otimização .....	40
Figura 8 – Quadro de horários da turma 34411 do curso TSA .....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tempos computacionais para a resolução em função da quantidade de núcleos de processamento. ....	41
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações quantitativas sobre os cursos .....	15
Tabela 2 – Resultados de buscas na base de dados <i>Web of Science</i> , no período 2013 - 2018 .	16
Tabela 3 – Resultados de buscas na base de dados <i>Scopus</i> , no período 2013-2018 .....	16
Tabela 4 – Curso e turno a qual as turmas pertencem .....	37
Tabela 5 – Representação dos intervalos num determinado dia.....	38
Tabela 6 – Estatísticas do modelo .....	39

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Quadro da carga horária dos professores.....	32
---	----

## LISTA DE SIGLAS

B&B	<i>Branch and Bound</i>
CBV	Campus Boa Vista
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
IFRR	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima
ITC2007	<i>International Timetabling Competitions 2007</i>
LCB	Licenciatura em Ciências Biológicas
LEF	Licenciatura em Educação Física
LLELH	Licenciatura em Letras-Espanhol e Literatura Hispânica
LM	Licenciatura em Matemática
MS	<i>Mediation Software</i>
PD	Programação Dinâmica
PE	Programação Estocástica
PEQHE	Problema de Elaboração de Quadro de Horário Escolar
PG	Programação Geométrica
PL	Programação Linear
PLI	Programação Linear Inteira
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PM	Programação Matemática
PNL	Programação Não-Linear
PO	Pesquisa Operacional
TADS	Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas
TGH	Tecnologia em Gestão Hospitalar
TGT	Tecnologia em Gestão de Turismo
TSA	Tecnologia em Saneamento Ambiental
VBA	<i>Visual Basic Application</i>
VND	<i>Variable Neighborhood Descent</i>
XHSTT	<i>Extended Markup Language for High School Timetabling</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA CIENTÍFICA .....	16
1.3 QUESTÃO DA PESQUISA, OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	19
1.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
<b>2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA O PROBLEMA DE ELABORAÇÃO DE QUADRO DE HORÁRIOS.....</b>	<b>23</b>
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	23
2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	24
2.3 REVISÃO DE TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS COM O PROBLEMA DE ELABORAÇÃO DE QUADRO DE HORÁRIO ESCOLAR .....	26
<b>3. DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA .....</b>	<b>32</b>
3.1 INFORMAÇÕES SOBRE O PEQHE DO CBV/IFRR .....	32
3.2 O MODELO PROPOSTO PARA O PEQHE DO CBV/IFRR.....	33
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO AO PEQHE DO CBV/IFRR .....	37
<b>4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>43</b>
4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS, RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	43
4.2 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO .....	44
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO A – QUADROS DE HORÁRIOS ELABORADOS PELOS GESTORES</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE B - MODELAGEM EM LINGUAGEM GAMS® .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE C – LOTAÇÃO DOS PROFESSORES NOS CURSOS TECNÓLOGOS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE D – TRECHO DA PLANILHA EXPORTADA PELO GAMS® .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE E – QUADROS DE HORÁRIOS GERADOS PELA OTIMIZAÇÃO</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE F – DOCUMENTAÇÃO SOBRE O MODELO E SUA SOLUÇÃO .</b>	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas a contextualização, questão de pesquisa, os objetivos, justificativas, delimitação da pesquisa, materiais e métodos utilizados e, por fim, a estrutura desta dissertação.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Conforme Kotsko, Machado e Santos (2005), o problema de quadro de horários é uma classe de problemas em que é necessário alocar pessoas à horários, lugares, tarefas, etc. De acordo com Fonseca et al. (2017), os problemas de horário educacional consistem na atribuição de eventos à horários e recursos, considerando várias restrições rígidas e flexíveis.

Às vezes, a construção dos horários educacionais pode ser resolvida manualmente, contudo, torna-se um trabalho impossível quando possui um número relevante de eventos, recursos e restrições a serem considerados (FONSECA et al., 2017).

Os gestores da educação enfrentam diversos problemas no dia a dia de suas instituições como, por exemplo, a alocação ótima do seu orçamento ou onde cada classe deve ser alocada e quem deve ministrar as aulas (JOHNES, 2015). Ainda segundo Johnes (2015), a Pesquisa Operacional (PO) possui ferramentas que podem resolver esses problemas, como se identifica na literatura de PO dedicada à gestão de horários e agendamento na educação. De fato, como apontado por Babaei, Karimpour e Hadidi (2015), esses problemas podem ser caracterizados como sendo de otimização combinatória e otimizar instâncias, mesmo de médio porte, é uma tarefa desafiadora (DORNELES; ARAÚJO; BURIOL, 2014).

O objeto do estudo desta dissertação é o Campus Boa Vista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (CBV/IFRR), sendo que uma das dificuldades encontradas pelos gestores da área acadêmica é planejar a distribuição de carga horária dos professores de forma que seja compatível com as suas disponibilidades. Há dificuldades adicionais, pois alguns professores, principalmente os responsáveis pelas disciplinas introdutórias, lecionam em diversos cursos na Instituição, o que torna o acerto de horário uma tarefa complicada e exaustiva.

O CBV/IFRR possui, oito cursos de graduação na modalidade presencial, são eles: Tecnologia em Gestão Hospitalar (TGH), Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (TADS), Tecnologia em Saneamento Ambiental (TSA), Tecnologia em Gestão de Turismo (TGT), Licenciatura em Ciências Biológicas (LCB), Licenciatura em Letras-Espanhol e Literatura Hispânica (LLELH), Licenciatura em Matemática (LM) e Licenciatura em



Educação Física (LEF). Cada curso possui um determinado número de semestres para integralização dos créditos, um ou mais turnos do dia em que as aulas são ministradas, número de turmas em cada disciplina e um rol de disciplinas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Informações quantitativas sobre os cursos

<b>Curso</b>	<b>Quantidade de Semestres</b>	<b>Turnos</b>	<b>Quantidade de Turmas</b>	<b>Total de Disciplinas</b>	<b>Carga Horária Total</b>
Gestão Hospitalar	6	Vespertino e Noturno	3	40	2.700h
Análise e Desenvolvimento de sistemas	6	Vespertino e Noturno	6	38	2.420h
Saneamento Ambiental	6	Noturno	1	46	2.445h
Gestão de Turismo	6	Noturno	4	34	1.930h
Ciências Biológicas	8	Vespertino e Noturno	4	53	3.210h
Letras Espanhol	8	Matutino e Vespertino	3	50	3.310h
Licenciatura em Matemática	8	Vespertino e Noturno	5	44	3.170h
Educação Física	8	Matutino e Vespertino	8	68	3.430h
<b>TOTAL</b>			<b>34</b>	<b>373</b>	

Fonte: Produção do próprio autor.

Os Coordenadores de Curso são os responsáveis por elaborar a grade horária semestral de aulas das respectivas turmas, com a designação de professores e turnos. A sistemática adotada até o momento inclui a realização de reuniões com os professores visando a atribuição de disciplinas para cada um deles, em seguida, cada Coordenador elabora um quadro de horários para o curso sob sua responsabilidade. Na sequência são agendadas outras reuniões para a verificação e solução de possíveis conflitos no horário inicialmente proposto pelo Coordenador.

Este exaustivo processo de elaboração dos horários envolve inúmeras variáveis como: professor, disciplina, turma, turno, sala de aula, horário, restrição e preferência de horário, entre outros.

Como essa elaboração é feita atualmente de forma manual, se torna difícil gerenciar estes fatores de maneira a evitar conflitos no horário, assim, este é um trabalho desgastante e demorado pois, segundo a Diretora de graduação do CBV/IFRR, pode demandar até um mês para ser concluído de maneira minimamente satisfatória, atendendo aos interesses do Curso e dos professores envolvidos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA CIENTÍFICA

Segundo Berardino (2013), nem toda combinação de horário, feita de forma manual, garante uma solução satisfatória entre professores e alunos. Desta maneira, é inevitável que erros aconteçam e onere cada vez mais o tempo de elaboração do quadro de horários. Cresce, então, a importância de aplicar um modelo matemático que permita a otimização do processo de elaboração do quadro de horários, em substituição ao uso da planilha eletrônica.

Para Cardoso e Marcelino (2010), a automação na elaboração de horários escolares, conhecido na literatura científica como *Timetabling Problem*, proporciona facilidade e agilidade, além de otimizar os recursos necessários para tal, principalmente recursos humanos. Neto e Vianna (2013) afirmam que, além de os funcionários das instituições gastarem um tempo considerável para elaborar as grades horárias, na maioria das vezes a solução encontrada não atende às expectativas da instituição de ensino.

Visando identificar o grau de interesse pelo *Timetabling Problem* na comunidade científica internacional, realizou-se uma pesquisa nas bases de dados *Web of Science* ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)) e *Scopus* ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), no período de 2013 a 2018, com resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Resultados de buscas na base de dados *Web of Science*, no período 2013 - 2018

PALAVRAS-CHAVE	OCORRÊNCIAS	CITAÇÕES
<i>Timetabling AND Mixed Integer Programming</i>	24	85
<i>Timetabling AND University Courses</i>	65	139
<i>Timetabling AND School</i>	68	175
<i>Timetabling AND Combinatorial Optimization</i>	36	165
<i>Timetabling AND GAMS®</i>	4	6

Fonte: Web of Science (2018).

Tabela 3 – Resultados de buscas na base de dados *Scopus*, no período 2013-2018

PALAVRAS-CHAVE	OCORRÊNCIAS	CITAÇÕES
<i>Timetabling AND Mixed Integer Programming</i>	27	74
<i>Timetabling AND University Courses</i>	104	216
<i>Timetabling AND School</i>	90	226
<i>Timetabling AND Combinatorial Optimization</i>	73	298
<i>Timetabling AND GAMS®</i>	4	6

Fonte: Scopus (2018).

Nesta pesquisa foram utilizadas combinações de palavras-chave correlatas ao tema do trabalho, que retornaram uma quantidade considerável de ocorrências nas bases pesquisadas, indicando que o assunto de elaboração de horários é bastante estudado, como pode-se observar nas Tabelas 2 e 3, com respeito às palavras-chaves: “*Timetabling AND Mixed Integer Programming*”, “*Timetabling AND University Courses*“, “*Timetabling AND School*” e “*Timetabling AND Combinatorial Optimization*”.

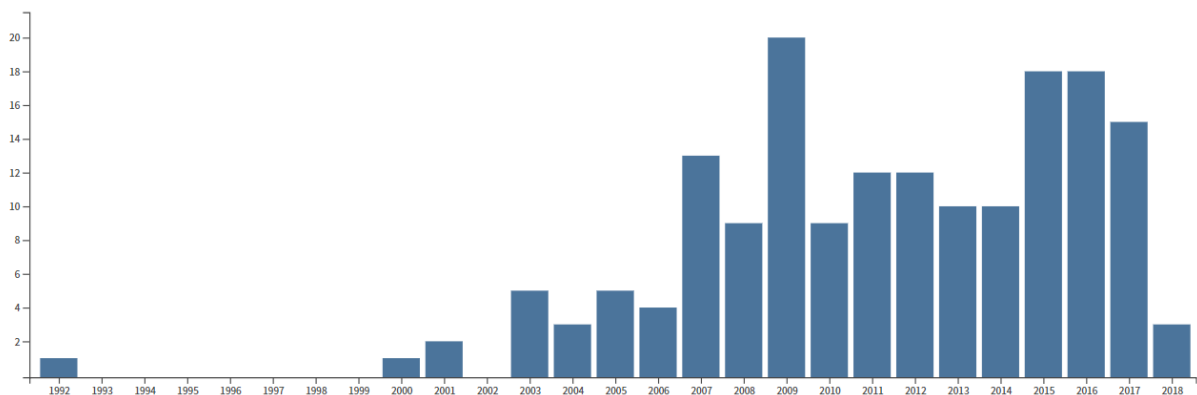
Pode-se constatar, também, para as palavras-chaves “*Timetabling AND General Algebraic Modeling System - GAMS®*”, que foram encontradas apenas 4 publicações, com 6 citações, sendo que apenas 1 está relacionado a elaboração de horário escolar. Isto evidencia a escassez de pesquisas sobre elaboração de horário escolar utilizando a linguagem de modelagem GAMS® que foi adotada nesta pesquisa.

A Figura 1 apresenta o total de publicações referentes às palavras-chaves “*timetabling*” e “*university course*” na base de dados *Web of Science*, mostrando a ocorrência de 170 publicações relacionadas à elaboração de horários de cursos universitários, onde nos anos 2009, 2015 e 2016 houve um maior número de publicações, 20, 18 e 18, respectivamente.

Pode-se inferir da Figura 1 que as publicações se intensificaram a partir de 2007, fato que pode estar relacionado a diversos fatores, como por exemplo, a evolução da tecnologia para resolução deste tipo de problema, tornando maior a viabilidade de pesquisas nessa área, uma vez que diversos métodos para resolução do problema requerem bons recursos computacionais.

Figura 1 – Total de publicações referentes às palavras-chaves “*timetabling*” e “*university course*”

Total de publicações  
**170** Analisar



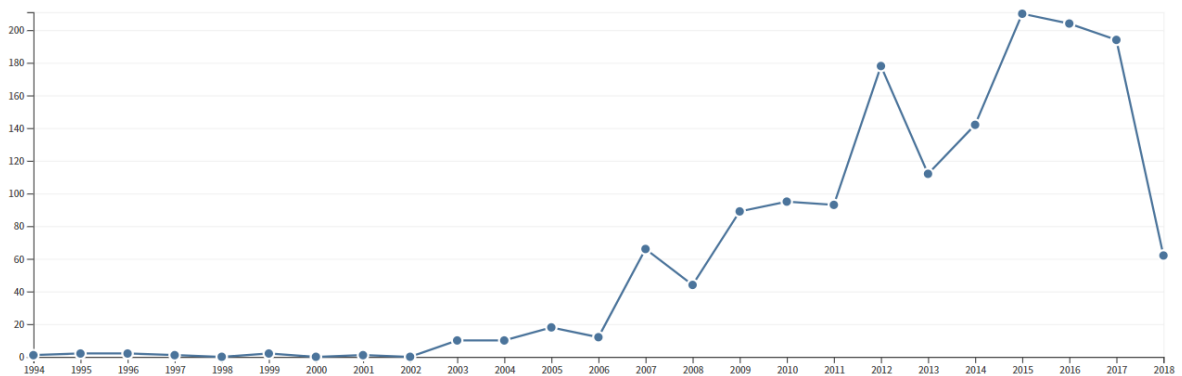
Fonte: Web of Science (2018).

Quanto às citações, a Figura 2 apresenta o número de citações na base de dados *Web of Science* referentes às mesmas palavras-chave utilizadas para a Figura 1. Das 1.548 citações

realizadas por 763 trabalhos, 210 foram realizadas em 2015, ano em que os trabalhos foram mais citados.

Figura 2 – Número de citações referentes as palavras-chaves “*timetabling*” e “*university course*”

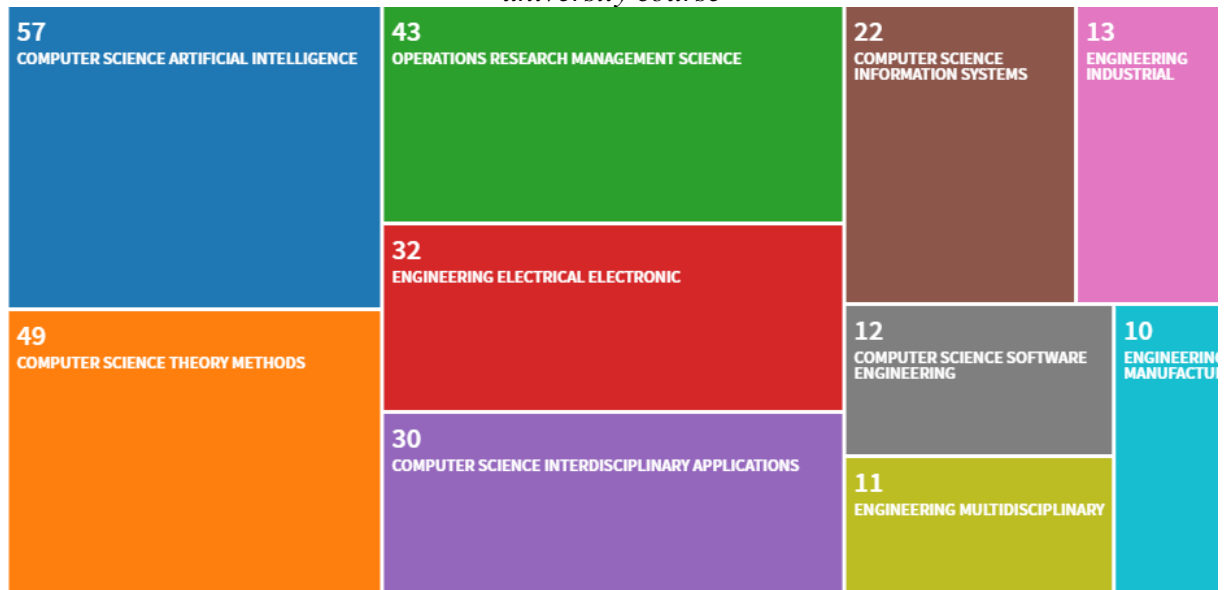
Número de citações por ano



Fonte: Web of Science (2018).

A Figura 3 apresenta um mapa de árvore dos resultados obtidos da base de dados *Web of Science*, com o número de trabalhos por área de conhecimento. Observa-se que os trabalhos estão categorizados em maior número nas áreas de *Computer Science Artificial Intelligence*, *Computer Science Theory Methods* e *Operations Research Management Science*, possuindo 57, 49 e 43 trabalhos categorizados nessas áreas, respectivamente. Sendo assim, pode-se inferir do mapa de árvore que, em grande parte das pesquisas realizadas sobre o problema de *timetabling* em cursos universitários estão sendo aplicados métodos da Inteligências Artificial da Ciência da Computação, contudo, o problema ainda possui um número considerável de pesquisas dentro das demais áreas apresentadas no mapa de árvore.

Figura 3 – Mapa de árvore feito por meio da combinação das Palavras-Chaves “*timetabling*” e “*university course*”



Fonte: Web of Science (2018).

Assim, pode-se afirmar que esta pesquisa é justificada pela sua relevância e contribuição científica na área de elaboração de horários, além da sua contribuição prática para a instituição estudada, colaborando para reduzir o trabalho dos responsáveis por sua elaboração, o desperdício de tempo e conflitos de horários, promovendo a satisfação para o corpo docente e discente.

### 1.3 QUESTÃO DA PESQUISA, OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

No contexto abordado nas seções anteriores, determinou-se a questão de pesquisa que motivou este trabalho: quais seriam as características desejáveis de um modelo matemático para a elaboração de horários e alocação de professores para disciplinas de cursos de graduação?

Na busca por uma resposta para esta indagação, formulou-se como objetivo geral deste trabalho o desenvolvimento de um modelo de Programação Matemática que permita a elaboração de horários de cursos de graduação no CBV/IFRR.

Como desdobramentos deste objetivo geral, esta dissertação teve como objetivos específicos:

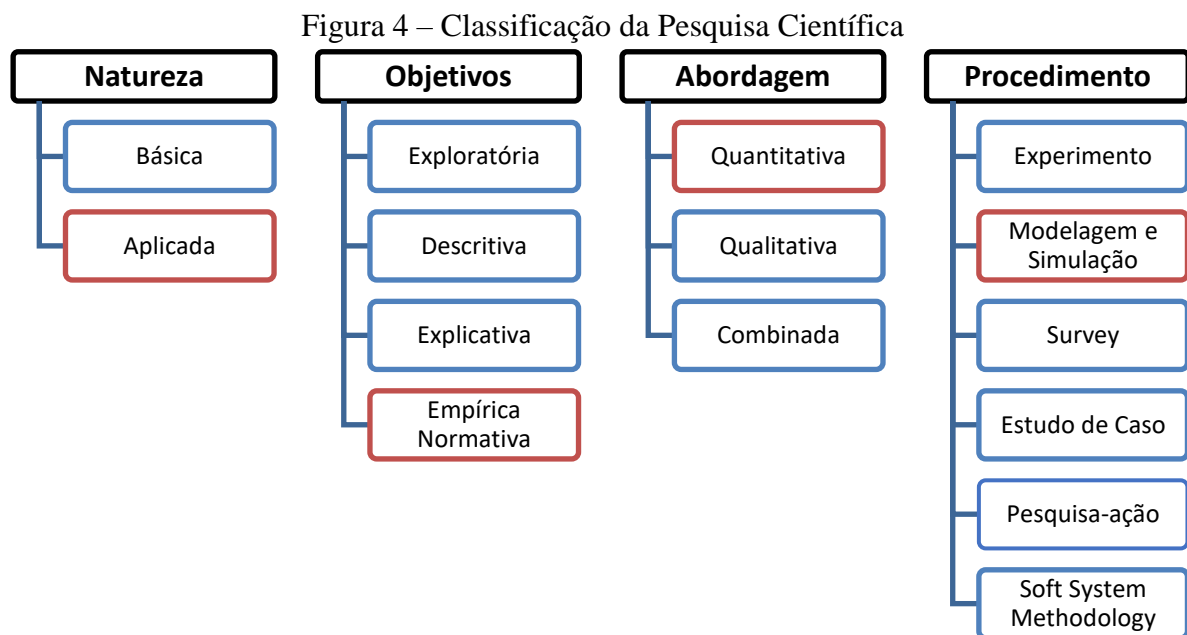
- Testar e otimizar um modelo de Programação Matemática que possibilite a elaboração de horários no CBV/IFRR.
- Avaliar o tempo computacional do modelo para resolver o problema de elaboração de horários no CBV/IFRR por meio da utilização de multinúcleos de processamento (*multithreads*).
- Elaborar documentação sobre o modelo e sua solução.

O tema desta dissertação está delimitado à elaboração de horários e alocação de professores para disciplinas de cursos de graduação (*Timetabling Problem*) para o CBV/IFRR, utilizando a linguagem de modelagem *General Algebraic Modeling System* (GAMS®) ([www.gams.com](http://www.gams.com)) e o *solver* CPLEX® ([www.ibm.com](http://www.ibm.com)).

Na próxima seção passa-se a descrever os materiais e métodos adotados neste trabalho.

#### 1.4 MATERIAL E MÉTODOS

Seguindo a classificação proposta por Bertrand e Fransoo (2002), exposta na Figura 4, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada com objetivos empíricos normativos, que segundo Morabito e Pureza (2012), visam gerar estratégias e políticas que melhorem uma situação atual. A abordagem do problema foi quantitativa e o procedimento de pesquisa adotado foi a modelagem e simulação.



Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002).

Observe-se que este trabalho não interferiu no objeto de estudo, no momento de seu desenvolvimento, e não visou gerar modificações imediatas na elaboração da tabela de horários do CBV/IFRR. De fato, foram realizados testes com o modelo proposto, utilizando os dados reais do problema, visando validá-lo, para posteriormente, com a concordância dos Coordenadores de Curso e da Diretora de Graduação, ser adotado na instituição estudada.

As etapas desenvolvidas neste trabalho estão na Figura 5 e descritas a seguir:

- Identificação do Problema – Foi escolhido como objeto de estudo o CBV/IFRR. Analisou-se o processo de construção do horário acadêmico e verificou-se que, além de demandar trabalho e tempo considerável, não garantia as melhores soluções possíveis.

- Coleta de Dados – Este trabalho utilizou a entrevista estruturada, em que, segundo Turrioni e Mello (2012), as perguntas são predeterminadas, feitas a pessoas selecionadas de acordo com um plano elaborado para tal finalidade.

Na seleção dos indivíduos responsáveis por fornecerem as informações da coleta de dados foi utilizado o método de amostragem não probabilística, mais especificamente a amostragem intencional. De acordo com Manzato e Santos (2012), na amostragem intencional o pesquisador escolhe deliberadamente os elementos que pertencem à amostra, por julgá-los bons representantes da população. O grupo de pessoas escolhido para a pesquisa foram os coordenadores dos cursos de graduação do CBV/IFRR, por serem os responsáveis diretos pela elaboração da grade horária.

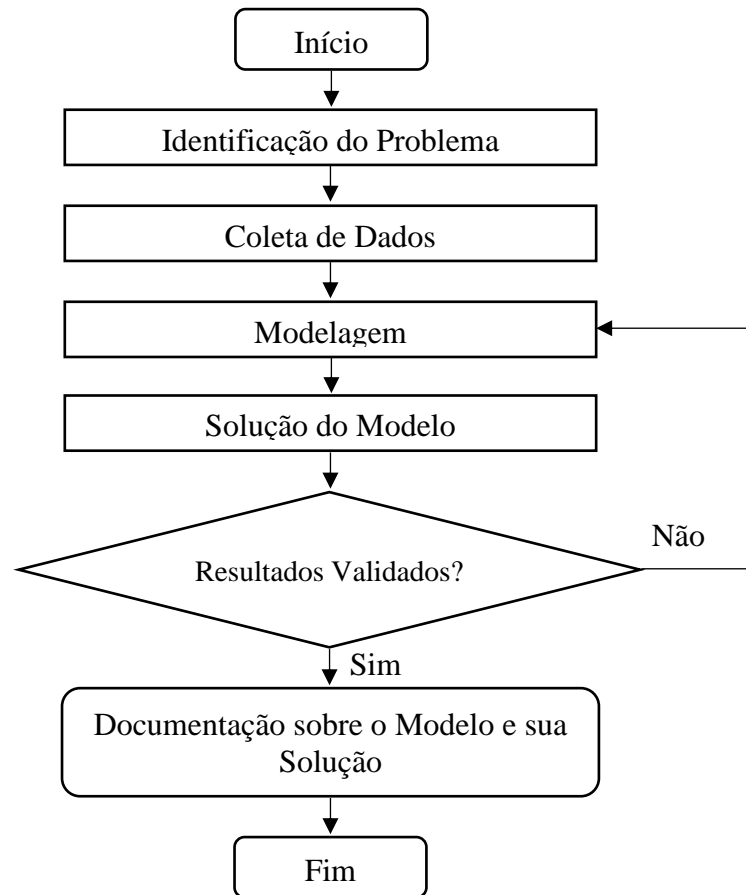
- Modelagem – Foi desenvolvido um modelo matemático da PO que se adequasse ao problema da instituição estudada. Ele foi implementado em linguagem de alto nível GAMS<sup>®</sup> versão 23.5.2.

- Solução do Modelo – O modelo foi otimizado empregando o *solver* IBM ILOG CPLEX<sup>®</sup> V12.2. Foi utilizado um notebook DELL com processador Intel Core I7-6700HQ 2,60GHz, 16 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 10 *Home Single Language* 64 bits.

- Validação dos Resultados – Os coordenadores foram consultados sobre a validade dos resultados.

- Documentação sobre o Modelo e sua Solução – Foi elaborado um Manual para Orientação dos Coordenadores de como operar e solucionar o modelo desenvolvido, como pode ser observado no Apêndice F.

Figura 5 – Etapas do trabalho



Fonte: Produção do próprio autor.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em mais três capítulos. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, contendo temas relacionados à otimização de horários escolares e modelos de PO correlatos. No Capítulo 3 são abordadas a descrição e a modelagem do problema para o CBV/IFRR, bem como a apresentação dos resultados e as suas análises. Por fim, no último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, incluindo a verificação do atingimento dos objetivos, a formalização de resposta à questão de pesquisa, destaque para as contribuições do trabalho bem como sugestões para futuras pesquisas, seguidas das referências utilizadas neste texto, e os Apêndices com informações complementares ao texto.



## 2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA O PROBLEMA DE ELABORAÇÃO DE QUADRO DE HORÁRIOS

Este capítulo aborda, primeiramente, o conceito e classificação dos problemas de agendamento, bem como sua dificuldade computacional e métodos de solução existentes. Em seguida, apresenta modelos simplificados da Programação Matemática e do problema de quadro de horários escolar, seguido pela descrição de trabalhos recentes realizados na área.

### 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Pinedo (2016) define *Scheduling* (Agendamento ou Programação) como um processo de tomada de decisão com o objetivo de otimizar um ou mais objetivos alocando tarefas em períodos determinados.

Pesquisas sobre *Scheduling* abrangem diversas áreas, tais como educação, transporte, funcionários, esportes e saúde, onde, dentro de educação, são mais estudados horários de ensino médio, cursos universitários e de exame (OUDE VRIELINK et al., 2017).

A solução para o Problema de Elaboração de Quadros de Horários Escolares (PEQHE), que foi o foco desta dissertação, requer o agendamento de eventos, como disciplinas e aulas, e recursos, como professores e salas de aula, para um determinado número de intervalos de tempo sujeitos a um conjunto de restrições rígidas e flexíveis (AHMED; ÖZCAN; KHEIRI, 2015).

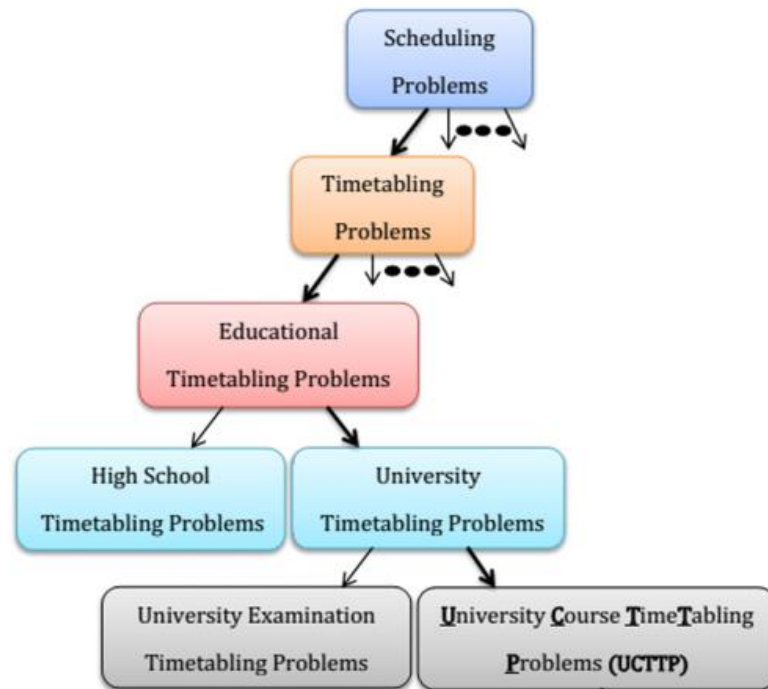
As restrições rígidas devem ser satisfeitas para que seja encontrada uma solução viável e as restrições flexíveis são preferências, não são essenciais para a obtenção de uma solução factível, porém, quando atendidas melhoram a solução, determinando assim, sua qualidade (MIRHASSANI; HABIBI, 2013).

De acordo com Tripathy (1984), o problema de quadro de horários vem sendo estudado desde o final da década de 1950 e, segundo Pinedo (2016), nos últimos cinquenta anos, um número considerável de pesquisas foi realizado nessa área, o que resultou em uma quantidade e variedade significativas de modelos.

Pinedo (2016) relata pesquisas de 1963, realizadas por Muth e Thompson, que focavam primariamente nos aspectos computacionais de *Scheduling*. Fonseca et al. (2017) afirmam que estudos sobre otimização do tempo começaram em 1963 com o trabalho de Gotlieb (1963).

Na Figura 6, observa-se que o PEQHE é uma ramificação dos Problemas de *Timetabling* em Universidades, que está contido dentro dos Problemas de *Timetabling* Educacional, e este, dentro dos Problemas de *Timetabling* que, por fim, faz parte dos problemas de *Scheduling*.

Figura 6 – Diagrama do Problema de Horário de Curso Universitário



Fonte: Babaei, Karimpour e Hadidi (2015).

Neste contexto, dependendo das restrições associadas a um problema específico de quadro de horários, ele pode ser considerado um problema NP-completo ou NP-difícil (PILLAY, 2013). Tanto trabalhos mais antigos, como o de Even, Itai e Shamir (1976), quanto trabalhos mais recentes, como o de Dostert, Politz e Schmitz (2016), mostram a complexidade da construção de quadros de horário escolar.

Existem diversos métodos e algoritmos que podem ser aplicados ao problema de construção de quadro de horário, tais como: Algoritmos Exatos - Programação Inteira e Programação por Restrições, e Heurísticas e Metaheurísticas - *Simulated Annealing*, Algoritmos Genéticos, Busca Tabu, GRASP (Procedimento de Busca Gulosa Adaptativa Aleatória), Colônia de Abelhas, e Abordagens Híbridas, entre outros (PILLAY, 2013).

A Programação Matemática (PM) é uma importante área da PO que abrange a Programação Linear (PL), Programação Não-Linear (PNL), Programação Linear Inteira (PLI), Programação Dinâmica (PD), Programação Geométrica (PG) e a Programação Estocástica (PE) (MARINS, 2011).

Nos próximos tópicos descreve-se brevemente a PL e suas ramificações PLI, PLI Mista (PLIM) e PLI Mista 0-1 (PLIM 0-1) que possuem ligação com o tema da pesquisa.

## 2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Carvalho (2014) apresenta um modelo de PL na sua forma básica, como está em (1) - (3):

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \begin{cases} \geq \\ = \\ \leq \end{cases} b_i, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0, \quad (3)$$

sendo  $c = (c_1, \dots, c_n)$  o vetor de custos  $1 \times n$ ;  $A = (a_{ij})$  a matriz dos coeficientes tecnológicos  $m \times n$ ;  $b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$  o vetor de demandas  $m \times 1$ ; e  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$  o vetor das variáveis de decisão  $n \times 1$ .

Neste modelo, (1) representa a função objetivo, que pode ser de maximização ou minimização, (2) representa as restrições do problema e (3) as restrições de não negatividade.

Em uma modelagem de PL, quando as variáveis assumirem apenas valores inteiros, tem-se um Modelo de Programação Linear Inteira (PLI). Para Conforti, Cornuéjols e Zambelli (2014), um modelo de PLI puro pode ser expresso como em (4) – (6):

$$\text{maximizar } cx \quad (4)$$

$$\text{sujeito a } Ax \leq b \quad (5)$$

$$x \geq 0 \text{ inteiras,} \quad (6)$$

Num modelo de PLI o domínio das variáveis é o conjunto dos números inteiros, sendo que, se um problema possuir variáveis inteiras e variáveis reais, será classificado como um problema da PLIM (PINEDO, 2016), expresso conforme (7) – (10):

$$\text{maximizar } cx + hy \quad (7)$$

$$\text{sujeito a } Ax + Gy \leq b \quad (8)$$

$$x \geq 0, \text{ inteiras} \quad (9)$$

$$y \geq 0, \quad (10)$$

sendo,  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$  e  $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_p \end{pmatrix}$  os vetores com as variáveis de decisão,  $c = (c_1, \dots, c_n)$  o vetor dos

coeficientes de custo das variáveis de decisão com domínio nos números inteiros,  $h = (h_1, \dots, h_p)$  o vetor dos coeficientes de custo das variáveis de decisão com domínio no conjunto dos números reais,  $A = (a_{ij})$  a matriz dos coeficientes nas restrições das variáveis do vetor  $x$ ,  $G = (g_{ij})$  a matriz dos coeficientes nas restrições das variáveis do vetor  $y$  e  $b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$  o vetor com os

valores das constantes das restrições.

Um caso particular muito relevante da PLIM envolve variáveis de decisão binárias, pertencentes ao conjunto  $\{0, 1\}$ , neste caso ela é conhecida na literatura como PLIM 0-1 (HANAFI; TODOSIJEVIĆ, 2017). A PLIM 0-1 é utilizada para modelar muitos problemas combinatórios e pode ser expressa como em (11) – (14), conforme Hanafi e Todosijević (2017):

$$\text{Maximizar } cx \quad (11)$$

$$\text{sujeito a: } Ax \leq b \quad (12)$$

$$x_j \geq 0, j \in N = \{1, \dots, n\} \quad (13)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, j \in I \subseteq N, \quad (14)$$

sendo  $N$  o conjunto de índices de todas as variáveis de decisão, e  $I$  o conjunto de índices das variáveis binárias.

Na próxima seção apresenta-se algumas pesquisas recentes que utilizaram PM na resolução do PEQHE.

### 2.3 REVISÃO DE TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS COM O PROBLEMA DE ELABORAÇÃO DE QUADRO DE HORÁRIO ESCOLAR

Caixeta-Filho (2004) apresenta um modelo matemático simplificado do PEQHE, dado por (15) – (20), e explicado na sequência:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^p X_{ijkl} \quad (15)$$

$$X_{ijkl} \leq A_{ijkl} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ijkl} \leq 1,0 \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ijkl} \leq 1,0 \quad \forall i \in I, k \in K, l \in L \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^p X_{ijkl} \leq TOT_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^m X_{ijkl} + \sum_{i=b}^b \sum_{j=1}^m X_{ijkl} \leq 1,0, \quad \text{para } 1 \leq a, b \leq n \quad \forall k \in K, l \in L \quad (20)$$

Observe-se que os índices  $i, j, k, l$  representam, respectivamente, disciplinas, salas, horários e dias. As quantidades de disciplinas, salas, horários e dias de aula por semana são representadas, respectivamente, por  $n, m, o$  e  $p$ . A variável  $X_{ijkl}$  representa a ocorrência ou não da disciplina  $i$ , na sala  $j$ , no horário  $k$ , no dia  $l$ .

A equação (15) representa a função objetivo que, neste modelo, busca maximizar o número de aulas a fim de oferecê-las em maior número possível. As restrições são representadas por (16) – (20).

A restrição (16) permite que uma disciplina seja alocada em um determinado horário de um determinado dia somente se o professor tiver disponibilidade, onde  $A_{ijkl}$  é um parâmetro do tipo 0-1 que indica a disponibilidade de se oferecer uma disciplina em um determinado horário. Em (17) tem-se a restrição que evita a ocorrência de mais de uma disciplina em determinada sala e horário de um dia. A equação (18) não permite que uma disciplina seja alocada para mais de uma sala em um determinado horário de um dia. A restrição (19) por sua vez, garante que uma disciplina seja alocada para determinada sala até determinado número de vezes na semana, onde  $TOT_{ij}$  representa o total de aulas da disciplina  $i$  na sala  $j$ . Já a restrição (20) evita conflitos de horário para casos em que um professor ministre mais de uma disciplina.

Uma tese de doutorado muito interessante e abrangente (MÜHLENTHALER, 2015) discute em profundidade vários problemas relacionados com programação de disciplinas, incluindo a formalização de tipos de problemas envolvidos e procedimentos de solução. Como exemplo, Mühlenthaler (2015) fornece uma formulação do PEQHE, considerando:

- Conjunto de professores  $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ .
- Conjunto de turmas  $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ .
- Conjunto de intervalos de tempo  $P = \{p_1, \dots, p_k\}$ .
- Matriz de requisitos  $M = (m_{ij})$  do tipo  $m \times n$ , em que,  $m_{ij}$  representa o número de aulas a serem ministradas pelo professor  $t_j$  na turma  $c_i$ .

No modelo discutido por Mühlenthaler (2015),  $E$  é o conjunto de aulas, o número de aulas para cada professor está na matriz  $M$ , e as aulas ministradas pelo professor  $t_j$  para cada turma  $c_1, \dots, c_m$  podem ser distintas.

O Apêndice A apresenta um sumário de pesquisas realizadas, no período de 2013 a 2018, e que utilizaram PLIM para tratar o PEQHE. Neste Apêndice A incluíram-se, para cada artigo analisado, os objetivos do trabalho, o método de modelagem e solução adotadas, resultados, bem como algumas recomendações dos autores associados. Na sequência são descritos os artigos apresentados no Apêndice A.

Dorneles, Araújo e Buriol (2014) apresentaram uma nova abordagem para resolver uma variante do problema de horário escolar, onde elaboraram um modelo de Programação Linear Inteira Mista e uma heurística de correção e otimização combinada com um método *Variable Neighborhood Descent* (VND) usando três tipos diferentes de decomposições (classe, professor

e dia). A abordagem dos autores forneceu soluções viáveis de alta qualidade em um menor tempo computacional quando comparado com resultados obtidos com o *solver* do CPLEX®, e eles encontraram melhorias em soluções conhecidas na literatura no caso de 7 dos 12 exemplos testados.

Domenech e Lusa (2015) buscaram resolver o problema de atribuição de professores para o Departamento de Gestão na Escola de Engenharia Industrial de Barcelona na *Universitat Politècnica de Catalunya*, Espanha, desenvolvendo um modelo de Programação Linear Inteira Mista. O modelo desenvolvido foi comprovadamente adequado para muitas situações, sendo útil para departamentos com solicitações semelhantes, e pode ser resolvido para situações de até 40 professores, obtendo soluções aceitáveis em um tempo de cálculo reduzido.

No trabalho de Prabodanie (2017) buscou-se desenvolver um modelo de PI econômico e gerenciável de um problema de capacitação intensiva na Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Wayamba do Sri Lanka. O autor usou uma matriz de relacionamento para eliminar a necessidade de algumas dimensões (índices) das variáveis, reduzindo assim o número total de variáveis no modelo. Um código de programação *Visual Basic Application* (VBA) foi desenvolvido na implementação do modelo que pode gerar horários de forma eficiente, com um número significativamente menor de horas de trabalho por semana, em comparação com os horários que eram utilizados.

Bagger, Sørensen e Stidsen (2017) aplicaram o método de Decomposição de Benders (BELFIORI, COSTA; FÁVERO, 2005) em um modelo PLIM para o problema de programação de horários de cursos e uma heurística para reparar as soluções que foram cortadas pelos cortes de viabilidade do método de Benders. Os autores testaram a abordagem proposta em um conjunto de 32 instâncias, eles obtiveram um limite inferior que foi pelo menos bom em 23 instâncias e foi melhor em 8 instâncias. Compararam também a decomposição de Benders ao modelo PLIM, utilizando 6 instâncias de grande porte, concluíram que os limites inferior e superior foram aprimorados para todas as instâncias comparadas ao modelo original.

Sánchez-Partida et al. (2017) mostraram o desenvolvimento de uma solução para construir um Currículo com base no *Timetabling Problem* em uma universidade mexicana. Primeiro, os autores identificaram uma estrutura de dados usando um Software de Mediação (MS - *Mediation Software*) - software que pode ler, analisar e organizar dados de diferentes arquivos. Além disso, o MS faz grupos de disciplinas que não tem interferência com outras disciplinas nos currículos, a fim de eliminar essa restrição do modelo de Programação Inteira (PI). Em seguida, eles apresentam um modelo de PI abrangente, que utiliza um conjunto de restrições complexas, por exemplo, disponibilidade do professor, considerar a modalidade do

curso para designar uma sala apropriada, sequência das disciplinas no Currículo, entre outros. Além disso, o modelo considera a restrição que garante não cancelar disciplinas de interesse devido existir atribuições paralelas de disciplinas obrigatórias. Com essa metodologia foi possível atribuir 2.101 aulas e melhorar a eficiência do atual processo de agendamento de disciplinas no currículo.

Vermuyten et al. (2015) modelaram o problema de alocar alunos às salas de aula, utilizando uma abordagem de PI de dois estágios, de forma a minimizar os fluxos de alunos pelos corredores e prédios. No primeiro estágio, as palestras são atribuídas aos intervalos de tempo, levando em conta as várias restrições e maximizando as preferências dos *stakeholders*. A segunda etapa utiliza a solução do estágio anterior como entrada e realoca as salas de aula com o objetivo de minimizar os fluxos de alunos interessados nas palestras. Em contraste com um modelo de um estágio, o modelo de dois estágios conseguiu encontrar soluções viáveis de boa qualidade. Além disso, os horários gerados implicaram em fluxos de estudantes significativamente reduzidos em comparação com o método manual adotado pela Instituição estudada. A nova abordagem proporcionou soluções de boa qualidade para todas as instâncias do *International Timetabling Competitions 2007 (ITC2007)*, comprovando sua aplicabilidade a uma ampla gama de problemas reais.

Marmolejo et al. (2016) desenvolveram um modelo da Programação Matemática, implementado em uma planilha para resolver o problema de alocação de professores, horários e salas de aula. Estes autores aplicaram com sucesso o modelo na Faculdade de Engenharia da Universidade *Anahuac* no México e geraram uma alocação que maximizou o número de aulas atribuídas.

Phillips et al. (2016) buscaram resolver inviabilidades na solução de problemas de agendamento de aulas para professores. A técnica adotada foi a de minimizar a interrupção ou a perturbação da tabela de horários, utilizando uma abordagem baseada em Programação Inteira. Eles constataram que operar dentro de uma vizinhança de tamanho mínimo facilita os cálculos necessários e evita grandes alterações nas soluções, o que causaria uma ruptura generalizada na estrutura do agendamento programado.

Al-Yakoob e Sherali (2015) investigaram o problema de horário para escolas de ensino médio no sistema educacional público do Kuwait buscando encontrar cronogramas semanais para professores de turma sem violar nenhuma das restrições (rígidas) do problema. Estes autores propuseram dois esquemas de decomposição, e chegaram à conclusão de que ambas as abordagens produziram soluções que satisfaziam os requisitos da escola enquanto usavam menos professores do que aqueles obtidos por meio de uma abordagem manual que é

implementada na prática, com porcentagens médias de redução, respectivamente, de 7,06% e 22,32%:

- O primeiro é uma abordagem de solução em duas etapas, desenvolvidas para derivar soluções aproximadas. Para a 1ª etapa foi desenvolvido um modelo de PLIM para determinar os intervalos de tempo semanais de classes para todas as seções de classes e, para a 2ª etapa, foi formulado outro modelo de PLIM para atribuir professores às aulas, com base nos intervalos de tempo determinados na etapa anterior;

- A segunda abordagem constitui um modelo alternativo resolvido por um processo de geração de colunas, com um procedimento heurístico de fixação sequencial eficaz. Esta abordagem superou a primeira em relação ao tempo de CPU e ao número necessário de professores.

Heitmann e Brüggemann (2013) estudaram a programação de estudantes para a Escola de Ciências Econômicas e Sociais da Universidade de Hamburg, Alemanha. O problema estudado possuía 3.735 alunos a serem alocados para 48 cursos em 300 grupos de ensino múltiplo. Estes autores formularam um modelo de PLIM com as principais restrições de designação e apresentaram uma nova abordagem onde os estudantes podem especificar individualmente suas preferências para classes e grupos. O problema estudado foi modelado em GAMS® e foi utilizado o CPLEX® como otimizador. Os autores relatam que a abordagem utilizada foi bem-sucedida e que o problema pode ser resolvido em tempo operacional adequado.

Veenstra e Vis (2016) fizeram experimentos numéricos com dados de cinco escolas de ensino médio da Holanda, cada uma com suas particularidades, número de aulas, número de professores e com reuniões diárias. A fim de definir métodos para resolver com eficiência as sub-perturbações do problema de horários escolares, os autores apresentaram três abordagens de soluções diferentes: *rule of thumb*, heurística, e otimização (PLI). Eles concluíram que a heurística elimina, respectivamente, distúrbios pequenos (95,5%) e grandes (97,2%) dos períodos vazios entre atividades, e a *rule of thumb* elimina, apenas, 80,5% e 77,6% destes períodos vazios. Eles concluíram, também, que para pequenos distúrbios, a heurística gerou soluções ótimas para 50% das instâncias e, em média, resolve 0,2 períodos vazios inferiores à abordagem por PLI.

Kristiansen, Sørensen e Stidsen (2014) descreveram um método, baseado em um modelo de PLIM, capaz de lidar com instâncias no formato *eXtended Markup Language for High School Timetabling* (XHSTT). O formato XHSTT é baseado na *eXtensible Markup Language* (XML) e seu objetivo é servir como linguagem de referência para o problema de horário escolar (POST; AHMADI; DASKALAKI, 2012). Eles apresentaram o primeiro método exato para



instâncias de horário do ensino médio utilizando o formato XHSTT. O método aproveita a estrutura da função objetivo do XHSTT, e nos testes realizados pelos autores, eles conseguiram produzir 2 novas soluções ótimas, comprovar a otimização de 4 soluções anteriormente conhecidas e obtiveram novos limites inferiores não triviais para outras 11 instâncias, além de encontrar novas soluções mais conhecidas em 9 casos.

Na formulação proposta por Kristiansen, Sørensen e Stidsen (2014), que foi projetada de forma compatível com qualquer instância XHSTT, os autores propuseram algumas desigualdades válidas e uma formulação baseada em fluxo prolongado para XHSTT, produzindo uma formulação melhorada. Eles obtiveram melhora no relaxamento linear da formulação por meio dos cortes propostos, levando a uma redução média de 32% de diferença. Em um de seus testes realizados, a formulação proposta forneceu quatro novos limites inferiores e onze novos limites superiores.

Fonseca et al. (2017) também utilizaram o formato XHSTT para modelar o problema, tendo como objetivo propor novos cortes e reformulações à formulação de Programação Inteira XHSTT.

Em resumo, a partir destes trabalhos recentemente publicados e que constam do Apêndice A, é possível perceber que alguns autores utilizaram métodos heurísticos juntamente com a PLIM a fim de melhorar a solução, conseguindo obter soluções satisfatórias para suas instâncias. Observou-se também nestes trabalhos pesquisados que poucos utilizaram GAMS® como linguagem de modelagem, bem como constata-se que a PLIM é uma das técnicas que vem sendo mais aplicada ao PEQHE. Adicionalmente, notou-se que alguns autores buscam desenvolver soluções utilizando o formato padrão XHSTT, o que pode indicar uma nova tendência de pesquisa na área.

No próximo capítulo será apresentado o PEQHE do CBV/IFRR para o qual foi desenvolvido e testado um novo modelo de Programação Matemática.

### 3. DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

Este Capítulo aborda inicialmente o escopo do PEQHE do CBV/IFRR, descrevendo suas informações e apresentando seu modelo conceitual. Em seguida é apresentado o modelo matemático com suas restrições rígidas e flexíveis e sua função objetivo. Na sequência é relatada a análise dos resultados de sua aplicação utilizando dados da instituição.

#### 3.1 INFORMAÇÕES SOBRE O PEQHE DO CBV/IFRR

O CBV/IFRR possui 8 cursos de graduação presenciais, sendo 4 de tecnologia e 4 de licenciatura. Os cursos possuem um total de 34 turmas, sendo, no semestre 2018.1, 5 matutinas, 15 vespertinas e 14 noturnas, e contam com um total de 233 disciplinas a serem alocadas nesse semestre. Além disso, no semestre 2018.1, foram designados 81 professores, entre os da graduação e do ensino médio, para ministrarem aula para os cursos de graduação.

Todas as disciplinas possuem aulas geminadas que podem ocorrer de segunda a sábado para todos os cursos, sendo que o sábado é utilizado para completar a carga horária e as aulas nesse dia devem ocorrer no turno da manhã. Os horários vão de 07:30h até 09:30h e 09:50h até 11:50h para o turno da manhã, 13:30h até 15:30h e 15:50h até 17:50h para o turno da tarde e 18:30h até 20:20h e 20:40h até 22:30h para o turno da noite. Como as aulas são geminadas, considera-se no problema que uma aula possui carga horária de 2h.

O semestre letivo deve ser planejado para o período de 20 semanas. A alocação de salas de aula é realizada por um setor específico da instituição e não será considerada nesta pesquisa.

A carga horária dos professores deve respeitar a Resolução nº 116 do Conselho Superior do IFRR, de 14 de fevereiro de 2013, que determina a carga horária mínima e máxima de acordo com o grupo que o professor fizer parte, conforme Quadro 1. Os grupos 1 - 6 representam os professores que exercem atividades de ensino, apoio ao ensino, complementares de ensino, pesquisa, extensão e gestão, respectivamente.

Quadro 1 – Quadro da carga horária dos professores

Grupos	Atividade	Carga Horária Mínima Semana	Carga Horária Máxima Semanal
GRUPO 1	Regência	10h	12h
GRUPO 2	Regência	18h	24h
GRUPO 3	Regência	12h	20h
GRUPO 4	Regência	04h	8h preferencialmente
GRUPO 5	Regência	04h	6h preferencialmente
GRUPO 6	NÃO SE APLICA		

Fonte: IFRR (2018).

Foram obtidas as informações do problema, desenvolveu-se seu modelo conceitual apresentado a seguir e logo após elaborou-se a modelagem matemática.

As restrições do problema são apresentadas utilizando o prefixo HC representando as restrições rígidas e SC as restrições flexíveis. Assim têm-se as seguintes restrições:

- HC01 - Poderá ocorrer uma disciplina por vez para uma turma;
- HC02 - Um professor poderá ministrar uma disciplina por vez;
- HC03 - As disciplinas deverão ser alocadas no mesmo turno da turma a qual pertencem nos dias de segunda a sexta;
- HC04 - As aulas no sábado deverão ocorrer pela manhã;
- HC05 - A carga horária semestral da disciplina deverá ser cumprida;
- HC06 - Um professor não poderá ultrapassar sua carga horária semanal máxima;
- HC07 - Um professor poderá ser alocado somente nos horários que estiver disponível;
- HC08 - Aulas não poderão ser alocadas em dias feriados;
- HC09 - As disciplinas não deverão ser alocadas em dias consecutivos para uma turma;
- SC01 - Um professor deverá cumprir sua carga horária semanal mínima;
- SC02 - As disciplinas devem ocorrer no mesmo dia e horário;
- SC03 - Atender as preferências de horários dos professores;
- SC04 - Alocar o mínimo de aulas aos sábados;
- SC05 - A carga horária semanal da disciplina deverá ser cumprida;
- SC06 - Disciplinas consideradas difíceis não deverão ser alocadas consecutivamente;
- SC07 - Evitar aulas consecutivas de um professor para uma turma;
- SC08 - Alocar as disciplinas de estágio no final do semestre.

O modelo buscou atender as restrições SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08.

### 3.2 O MODELO PROPOSTO PARA O PEQHE DO CBV/IFRR

Na sequência apresenta-se os índices, parâmetros, variáveis, função objetivo e restrições do modelo matemático desenvolvido nesta dissertação:

#### *Índices*

<i>g</i>	Turmas, $g \in G$ , $G = \{1, 2, \dots, 34\}$ ;
<i>p</i>	Professores, $p \in P$ , $P = \{1, 2, \dots, 81\}$ ;
<i>d</i>	Disciplinas, $d \in D$ , $D = \{1, 2, \dots, 233\}$ ;
<i>s</i>	Semanas, $s \in S$ , $S = \{s1, s2, \dots, s20\}$ ;
<i>t</i>	Turnos, $t \in T$ , $T = \{\text{matutino}, \text{vespertino}, \text{noturno}\}$ ;

$h$	Horários, $h \in H$ , $H = \{h1, h2\}$ ;
$j$	Dias, $j \in J$ , $J = \{seg, ter, qua, qui, sex, sab\}$ .

### **Parâmetros**

$DG_{dg}$	Matriz binária que informa qual disciplina $d$ faz parte da turma $g$ ;
$DP_{dp}$	Matriz binária que informa qual disciplina $d$ é ministrada pelo professor $p$ ;
$GT_{gt}$	Matriz binária que informa qual turma $g$ pertence ao turno $t$ ;
$CH_d$	Carga horária semanal da disciplina $d$ ;
$CHS_d$	Carga horária semestral da disciplina $d$ ;
$CMIN_p$	Carga horária semanal mínima do professor $p$ ;
$CMAx_p$	Carga horária semanal máxima do professor $p$ ;
$DD_d$	Disciplina $d$ considerada difícil;
$DE_d$	Disciplina de estágio $d$ ;
$F_{sj}$	Matriz binária que informa se em determinada semana $s$ o dia $j$ é feriado;
$DISP_{pthj}$	Matriz binária que informa se um professor $p$ tem disponibilidade em um turno $t$ , horário $h$ de um dia $j$ ;
$PREF_{pthj}$	Matriz binária que informa se um professor $p$ tem preferência por um turno $t$ , horário $h$ de um dia $j$ .

### **Variáveis de decisão**

$X_{dsthj}$	Variável binária que indica se a disciplina $d$ será alocada em uma semana $s$ , turno $t$ , horário $h$ e dia $j$ ;
$C_{gpstj}$	Variável de utilidade na alocação de aulas consecutivas de um professor para uma turma;
$E_{gstj}$	Variável de utilidade na alocação de disciplinas consideradas difíceis para uma turma;
$K_{ds}$	Variável utilizada para armazenar a carga horária semanal remanescente da disciplina $d$ na semana $s$ .

### **Variáveis auxiliares**

$Y_{dshj}$	Variável binária de utilidade na alocação das disciplinas em um mesmo dia e horário ao longo do semestre;
$A_{gdsj}$	Variável de utilidade na não alocação de uma disciplina em dias consecutivos para uma turma;

$L_p$  Variável utilizada para flexibilizar a carga horária semanal mínima do professor  $p$  por haver semanas em que ele não ministrará aula.

### Função objetivo

$$\begin{aligned} \text{Min} & - \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} X_{dsthj} \text{PREF}_{pjth} DP_{dp} + \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j=6} X_{dsthj} + \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} K_{ds} \\ & + \sum_{g \in G} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} E_{gstj} + \sum_{g \in G} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} C_{gpstj} - \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} X_{dsthj} DE_{ds} \end{aligned} \quad (21)$$

- A função objetivo buscou maximizar as restrições flexíveis SC03 e SC08 e minimizar as restrições SC04, SC05, SC06 e SC07, observe-se que, sendo a função objetivo uma função de minimização, os termos que se buscou maximizar receberam um sinal negativo. O primeiro termo, em (21), contabiliza o total de preferências de horário dos professores atendidas; no segundo termo são contabilizados os totais de aulas que foram alocadas aos sábados; o terceiro termo está associado ao total de aulas semanais adicionais necessárias para o término das disciplinas; o quarto termo contabiliza as disciplinas consideradas difíceis que são alocadas consecutivamente no horário; no quinto termo está o total de aulas seguidas de um professor para uma turma; por fim, no sexto termo, são contabilizadas as alocações das disciplinas de estágio, utilizando o índice  $s$  como fator multiplicador a fim de que as disciplinas de estágio sejam alocadas para o final do período letivo.

### Restrições

- A equação (22) modela a restrição HC01 e evita que as disciplinas  $d$  e  $d'$  de uma turma  $g$  ocorram ao mesmo tempo:

$$\sum_{d \in D} X_{dsthj} DG_{dg} \leq 1 \quad \forall g \in G, s \in S, t \in T, h \in H, j \in J \quad (22)$$

- A equação (23) modela a restrição HC02 e evita que as disciplinas  $d$  e  $d'$  que um professor  $p$  ministra sejam alocadas no mesmo horário:

$$\sum_{d \in D} X_{dsthj} DP_{dp} \leq 1 \quad \forall p \in P, s \in S, t \in T, h \in H, j \in J \quad (23)$$

- A equação (24) modela a restrição HC03 e garante que uma disciplina  $d$  seja alocada no mesmo turno da turma a qual pertence nos dias de segunda a sexta:

$$X_{dsthj} \leq \sum_{g \in G} DG_{dg} GT_{gt} \quad \forall d \in D, s \in S, t \in T, h \in H, j \in \{1, \dots, 5\} \quad (24)$$

- A equação (25) modela a restrição HC04 e evita que uma disciplina  $d$  seja alocada nos turnos da tarde e noite no sábado:

$$\sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} X_{dsthj} = 0 \quad \forall t \in \{2,3\}, j \in \{6\} \quad (25)$$

- A equação (26) modela a restrição HC05 e garante que a carga horária semestral de uma disciplina  $d$  seja cumprida:

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} X_{dsthj} = CHS_d \quad \forall d \in D \quad (26)$$

- A equação (27) modela a restrição HC06 e evita que um professor  $p$  ministre mais aulas que sua carga horária semanal máxima:

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} X_{dsthj} DP_{dp} \leq CMAX_p \quad \forall p \in P, s \in S \quad (27)$$

- A equação (28) modela a restrição HC07 e evita que um professor  $p$  seja alocado em horários que não estiver disponível:

$$X_{dsthj} \leq \sum_{p \in P} DISP_{pthj} DP_{dp} \quad \forall d \in D, s \in S, t \in T, h \in H, j \in J \quad (28)$$

- A equação (29) modela a restrição HC08 e evita que uma disciplina  $d$  seja alocada em um dia feriado:

$$X_{dsthj} \leq F_{sj} \quad \forall d \in D, s \in S, t \in T, h \in H, j \in J \quad (29)$$

- As equações (30) e (31) modelam a restrição HC09 e são empregadas para que uma disciplina não seja alocada em dias consecutivos para uma turma. A equação (31) faz uso da variável auxiliar  $A_{gdsj}$  calculada pela equação (30) por meio de uma restrição de implicação:

$$A_{gdsj} \geq X_{dsthj} DG_{dg} \quad \forall g \in G, d \in D, s \in S, t \in T, h \in H, j \in J \quad (30)$$

$$A_{gdsj} + A_{gds(j+1)} \leq 1 \quad \forall g \in G, d \in D : d \notin DE_d, s \in S, j \in J : j < 6 \quad (31)$$

- A equação (32) modela a restrição SC01 e é utilizada para que o professor  $p$  cumpra sua carga horária mínima semanal, sendo flexibilizada pela variável  $L_p$ , por que há casos, como no final do semestre, em que há semanas que o professor não ministrará aula:

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} X_{dsthj} DP_{dp} \geq CMIN_p + L_p \quad \forall p \in P, s \in S \quad (32)$$

- A equação (33) modela a restrição SC02 e é utilizada para que a disciplina  $d$  cumpra sua carga horária semanal, sendo flexibilizada pela variável  $K_{ds}$ , por que em semanas com dias feriados, por exemplo, algumas disciplinas não terão sua carga horária semanal satisfeita:

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} X_{dsthj} = CH_d + K_{ds} \quad \forall d \in D, s \in S \quad (33)$$

- As equações (34) e (35) modelam a restrição SC03 e procuram fixar uma disciplina  $d$  em um determinado horário  $h$  e dia  $j$  ao longo do período letivo com o intuito de deixar o horário

uniforme ao longo do semestre. A equação (35) faz uso da variável auxiliar  $Y_{dshj}$  calculada pela equação (34) por meio de uma restrição de implicação:

$$Y_{dshj} \geq X_{dsthj} - X_{d(s-1)thj} \quad \forall d \in D, s \in S: s > 1, t \in T, h \in H, j \in J \quad (34)$$

$$\sum_{s \in S: s > 1} Y_{dshj} + X_{d1thj} \leq 1 \quad \forall d \in D, t \in T, h \in H, j \in J \quad (35)$$

- A equação (36) modela a restrição SC04, e evita que um professor seja alocado em horários consecutivos para uma turma:

$$\sum_{d \in D: d \neq DE_d} \sum_{h \in H} X_{dsthj} DP_{dp} DG_{dg} - C_{gpstj} \leq 2 \quad \forall g \in G, p \in P, s \in S, t \in T, j \in J \quad (36)$$

- A equação (37) modela a restrição SC05, e evita que disciplinas consideradas difíceis sejam alocadas consecutivamente para uma turma:

$$\sum_{d \in D} \sum_{h \in H} X_{dsthj} DD_d DG_{dg} - E_{gstj} \leq 2 \quad \forall g \in G, s \in S, t \in T, j \in J \quad (37)$$

- A equação (38) indica as variáveis binárias:

$$X_{dsthj}, Y_{dshj} \in \{0,1\} \quad \forall d \in D, s \in S, t \in T, h \in H, j \in J \quad (38)$$

- A equação (39) indica as variáveis não-negativas:

$$K_{ds} \geq 0 \quad \forall d \in D, s \in S \quad (39)$$

### 3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO AO PEQHE DO CBV/IFRR

O modelo matemático foi programado na linguagem GAMS<sup>®</sup>, conforme está no Apêndice B. Como instância teste, utilizaram-se os dados dos cursos tecnológicos TGH, TADS, TSA e TGT, referentes ao período letivo 2018.1. Os dados das suas turmas estão dispostas na Tabela 4 com seus devidos turnos, para os quais as disciplinas devem ser alocadas, sendo que aos sábados as aulas, para todas as turmas, deverão ocorrer no turno matutino.

Tabela 4 – Curso e turno a qual as turmas pertencem

CURSO	TURMA	TURNO
TSA	34411	Noturno
TADS	22511	Vespertino
TADS	32511	Noturno
TADS	32531	Noturno
TADS	22541	Vespertino

(continua)

Tabela 4 – Curso e turno a qual as turmas pertencem

(conclusão)

<b>CURSO</b>	<b>TURMA</b>	<b>TURNNO</b>
TADS	32551	Noturno
TADS	22561	Vespertino
TGH	22711	Vespertino
TGH	32731	Noturno
TGH	22751	Vespertino
TGT	33811	Noturno
TGT	33831	Noturno
TGT	33851	Noturno
TGT	33861	Noturno

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

No período letivo 2018.1, foram utilizados 43 professores para ministrarem 93 disciplinas para 14 turmas. O Apêndice C apresenta esses dados juntamente com a carga horária semanal e semestral das disciplinas, onde os professores estão atribuídos a disciplinas e turmas.

Devido à forma utilizada para modelar o problema, as disciplinas que estão em mais de uma turma são diferenciadas acrescentando ao final de sua sigla letras de (A) a (Z), a fim de que nenhuma disciplina esteja com o mesmo nome.

Foram considerados 6 dias da semana (segunda, terça, quarta, quinta, sexta e sábado), 3 turnos (matutino, vespertino e noturno), 2 horários (h1 e h2), onde cada horário equivale a 2h de aula conforme apresentado na Tabela 5, e 20 semanas para o período letivo (15/02/2018 a 25/06/2018).

Tabela 5 – Representação dos intervalos num determinado dia

<b>TURNNO</b>	<b>HORÁRIO</b>	<b>INTERVALO</b>
Matutino	h1	07:30h - 09:30h
	h2	09:50h - 11:50h
Vespertino	h1	13:30h - 15:30h
	h2	15:50h - 17:50h
Noturno	h1	18:30h - 20:20h
	h2	20:40h - 22:30h

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.



A instância foi otimizada e sua solução ótima foi encontrada em tempo computacional, 42 minutos e 50 segundos.

Na Tabela 6 observam-se as estatísticas do modelo para a instância utilizada. As equações e variáveis únicas contam as linhas e colunas individuais no problema gerado, respectivamente. A entrada com elementos não zero refere-se ao número de coeficientes diferentes de zero na matriz de problemas.

Tabela 6 – Estatísticas do modelo

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
Equações	17
Variáveis	8
Elementos não zero	2.698.237
Equações Únicas	1.619.796
Variáveis Únicas	493.273
Variáveis Discretas	88.164
Iterações	599.678

Fonte: Produção do próprio autor.

Ao final da execução, o resultado foi exportado pelo GAMS<sup>®</sup> em formato de planilha eletrônica, como pode ser observado no Apêndice D. Desenvolveu-se uma macro Excel para facilitar aos Coordenadores de Curso envolvidos uma melhor visão e interpretação dos resultados obtidos na programação das aulas, conforme ilustrado na Figura 7.

A Figura 7 ilustra o horário gerado para turma 34.411 contendo os dias da semana (segunda à sábado), com dois horários cada dia, representando a primeira e segunda aula para a turma. As aulas estão distribuídas nas semanas do período letivo. As disciplinas alocadas são diferenciadas com cores diferentes sendo que a cor cinza representa um dia feriado. Os horários obtidos para as demais turmas podem ser observados no Apêndice E.

Figura 7 – Quadro de horários gerado pela otimização

34411																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		TB	TB	TB	TB	TB	TB	QA	QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS
	2		PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	QA	QA	TB	TB	TB	BAS	BAS	BAS	BAS
Terça	1		QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	ICC	ICC
	2		QA	QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	FI	FI	FI	FI	FI
Quarta	1		AL(B)	AL(B)	AL(B)	QA	QA	QA	PI(A)	PI(A)	PI(A)	TB	TB	TB	TB	TB	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI
	2		TB	TB	TB	TB	QA	QA	QA	QA	QA	PI(A)	PI(A)	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI
Quinta	1	PI(A)	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	QA	QA	QA	QA	QA		TB	TB	TB	TB
	2	PI(A)	PI(A)	PI(A)	FI	FI	FI	FI	FI	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	QA	QA		AL(B)	TB	TB	TB
Sexta	1	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	TB	TB	TB	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	QA	QA	
	2	TB	FI	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	QA	QA	
Sábado	1					FI	FI	FI		MAI			QA						AL(B)	AL(B)	
	2				PI(A)	PI(A)			MAI				ICC	ICC	ICC	ICC	TB		FI		

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 8 apresenta o horário da turma 34.411 elaborado pelos gestores para o período 2018.1, os demais horários podem ser observados no Anexo A.

Para verificar a validade do modelo deve-se comparar seus resultados com dados históricos do problema (MORABITO; PUREZA, 2012), e isto foi realizado neste trabalho. Analisando o horário obtido pela otimização (Figura 7) e comparando-o com o horário elaborado pelos gestores (Figura 8), observa-se que, este último, elaborado com muito esforço e dedicação dos gestores, além de exigir um tempo alto para sua consecução, com as disciplinas distribuídas uniformemente, não há garantia que esta alocação de professores às disciplinas e horários seja a melhor possível.

Cabe ressaltar que, após a obtenção de um modelo inicial de PM este pode ser melhorado com a prática e observação do problema real (MARINS, 2011). Com respeito ao modelo aqui descrito, pode-se afirmar que ele representa adequadamente o PEQHE do CBV/IFRR uma vez que, para os dados levantados, ele descreveu adequadamente o comportamento do sistema real (MORABITO; PUREZA, 2012).

Figura 8 – Quadro de horários da turma 34411 do curso TSA

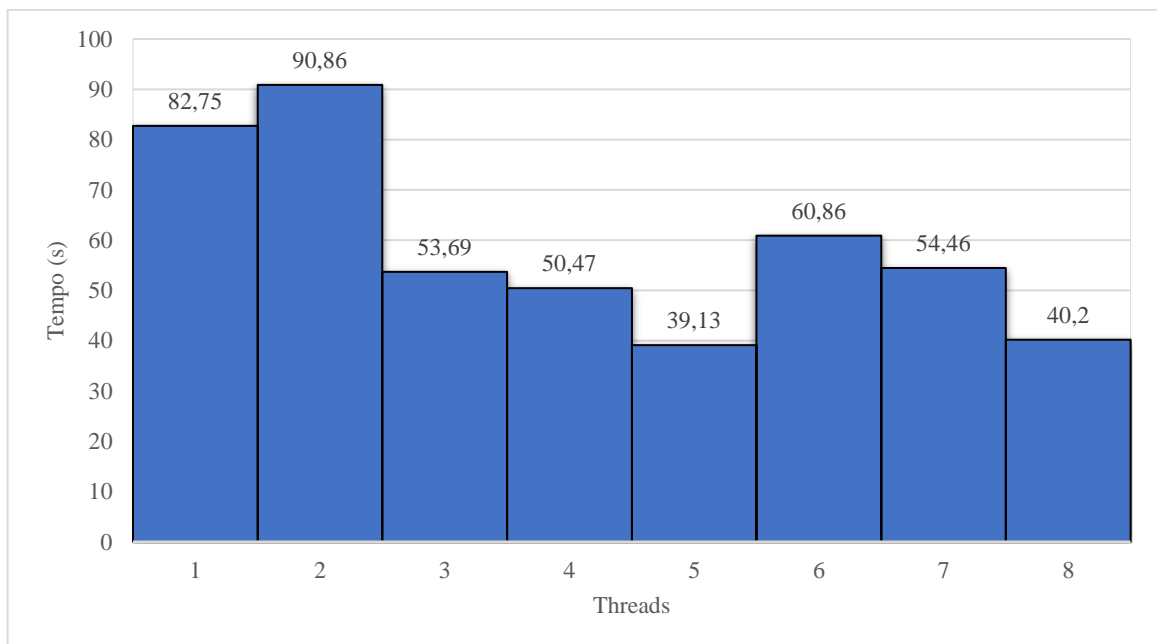
Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental Módulo: I Turno: noturno Turma:34411 Sala: 311

Dia/Hora	FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL				MAIO				JUNHO				JULHO
	5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25
Segunda	18:30	ENC PED	FERIADO	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA
	20:20			QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA	QA QA
	20:40			BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS
	22:30			BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS
Terça	18:30	ENC PED	FERIADO	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FERIADO	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI
	20:20			FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI		FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI	FI FI
	20:40			PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI		PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI
	22:30			PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI		PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI
Quarta	18:30	ENC PED	FERIADO	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB
	20:20			TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB		TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB	TB TB
	20:40			MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI		MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI
	22:30			MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI		MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI
Quinta	18:30	ENC PED		MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	FERIADO	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS
	20:20			MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	MAI MAI	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS		BAS BAS	BAS BAS	BAS BAS
	20:40			PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	QA QA	QA QA	ICC					
	22:30			PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	PI PI	QA QA	QA QA	ICC					
Sexta	18:30	ENC PED		AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	FERIADO	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL
	20:20			AL AL	AL AL	AL AL	AL AL		AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL	AL AL
	20:40			ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	FERIADO	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC
	22:30			ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC		ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC	ICC ICC
Sábado	07:30			QA	BAS AL	QA TB	AL QA	QA TB	AL QA	QA TB	FERIADO	TB	QA BAS	TB							
	09:30			QA	BAS AL	QA TB	AL QA	QA TB	AL QA	QA TB		TB	QA BAS	TB							
	09:50			QA	BAS AL	QA TB	AL QA	QA TB	AL QA	QA TB		TB	QA BAS	TB							
	11:50			QA	BAS AL	QA TB	AL QA	QA TB	AL QA	QA TB		TB	QA BAS	TB							

Fonte: IFRR (2018).

A fim de testar o tempo de execução do modelo elaborado variando a quantidade núcleos de processamento, utilizou-se os dados do curso TADS como instância (ver Gráfico 1).

Gráfico 1 – Tempos computacionais para a resolução em função da quantidade de núcleos de processamento.



Fonte: Produção do próprio autor.

Observa-se, no Gráfico 1, os tempos de solução de acordo com a quantidade de *threads* de processamento utilizadas. Comparando-se o uso de até oito *threads* de processamento para resolução da instância, verificou-se que com cinco obteve-se o menor tempo de execução, 39,13 segundos, ou seja, nem sempre a maior quantidade de *threads* de processamento disponíveis em um computador oferece um menor tempo de execução.

Koch et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes otimizando uma instância utilizando o *solver* Gurobi em uma máquina com 32 *threads*, onde observaram que o modelo foi executado mais rapidamente utilizando 24 *threads*. Koch, Ralphs e Shinano (2012) explicam que essa execução mais rápida com menos *threads* pode estar relacionada a um número reduzido de chamadas heurísticas por *thread* e que pode ser devido a diferenças na alocação de memória e melhor uso do cache com *multithreads*, além disso, os autores observam que a utilização de *multithreads* parece bem promissor.

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Neste capítulo discute-se o cumprimento dos objetivos estabelecidos, apresenta-se a resposta à questão de pesquisa, além de serem destacadas as contribuições do trabalho e, em seguida, serão apresentadas as sugestões para futuras pesquisas.

##### 4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS, RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Esta dissertação propôs a elaboração de um modelo matemático baseado em Programação Inteira Mista para o PEQHE - Problema de Elaboração de Quadros de Horários Escolar de uma instituição de ensino do estado de Roraima. Procurou-se responder quais seriam as características desejáveis de um modelo matemático para a elaboração de horários e alocação de professores para disciplinas de cursos de graduação. O trabalho teve, ainda, como objetivos específicos a otimização do modelo desenvolvido, a avaliação de influência no tempo de resolução quando se varia a quantidade de núcleos de processamento do *solver* CPLEX<sup>®</sup> e a documentação sobre o modelo e sua solução.

Assim, neste contexto, inicialmente foi elaborado o modelo conceitual do problema de acordo com as informações coletadas no site e por meio de entrevistas com os gestores da instituição e, em seguida, construiu-se um modelo matemático de PLIM, incluindo os aspectos, restrições e prioridades estabelecidas pelos Coordenadores de Cursos, de forma que o modelo fosse fidedigno com relação ao problema real.

Ao se otimizar o modelo, observou-se que os quadros de horários obtidos respeitaram a todas as restrições impostas, evitando conflitos de horários e atendendo às preferências relacionadas aos professores e disciplinas segundo as informações obtidas. A desvantagem encontrada para o modelo foi gerar horários menos uniformes que os elaborados manualmente, mas em contrapartida obteve-se soluções ótimas para o conjunto de restrições impostas ao modelo, ou seja, o modelo desenvolvido representou bem à realidade do PEQHE do CBV/IFRR.

Quanto ao tempo de execução, considerando as configurações da máquina utilizada para os testes e variando a quantidade de núcleos de processamento do CPLEX<sup>®</sup>, utilizados para otimizar o modelo, verificou-se que com cinco núcleos foi possível obter o menor tempo de execução, indicando que nem sempre o uso de maior número de núcleos de processamento de uma máquina é mais interessante computacionalmente.

A documentação sobre o modelo e sua solução foi elaborada e pode ser observada no Apêndice F desta dissertação.

As características desejáveis de um modelo matemático para o PEQHE do CBV/IFRR foram encontradas e escritas na forma de modelo conceitual, conforme apresenta o Capítulo 3 desta dissertação, onde pode-se observar características consideradas fundamentais como as restrições HC01, HC02, HC05, HC07, HC08 e características propícias para a instituição como as restrições HC03, HC04, HC06, HC09, SC01, SC02, SC03, SC04, SC05, SC06, SC07 e SC08 que produzem soluções satisfatórias para os cursos de graduação da instituição.

Este trabalho foi desenvolvido utilizando uma abordagem de otimização da PO, mas pode servir de base para a resolução do PEQHE do CBV/IFRR empregando heurísticas e metaheurísticas a fim de obter resultados, embora não ótimos, satisfatórios em menor tempo de execução, se necessário.

Outra contribuição desta pesquisa foi o emprego da PLIM 0-1 a uma instância com dados reais de uma instituição de ensino do Estado de Roraima, contribuindo com os resultados obtidos de sua otimização como as estatísticas do modelo e o tempo necessário para encontrar uma solução viável dada a quantidade de variáveis do problema abordado.

Nas pesquisas realizadas nessa dissertação, não foram identificados modelos que apresentassem a programação de horários para mais de uma semana. Portanto, este trabalho também contribuiu para a área de programação de horários com a modelagem de um problema que considera todo o período letivo de aulas.

## 4.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Os resultados encontrados nos testes realizados neste estudo permitem visualizar possíveis melhorias e soluções alternativas para o problema estudado. A seguir apresenta-se sugestões para essas melhorias e soluções alternativas que podem servir como base para futuras pesquisas:

- Aplicação de heurísticas e metaheurísticas ao problema a fim de obter resultados satisfatórios de maneira mais rápida;
- Criar restrições de uniformidade mais robustas para melhorar a distribuição das disciplinas, ou seja, com disciplinas alocadas de forma menos dispersa ao longo do período letivo;
- Utilizar uma abordagem em que os horários da semana sejam considerados como períodos, uma vez que os horários da tarde e noite de sábado não possuem aulas e acabam acrescentando a quantidade de variáveis do modelo sem necessidade. Ou seja, segunda-

matutino-h1 seria o primeiro período, segunda-matutino-h2 o segundo, segunda-vespertino-h1 o terceiro e assim até sábado-matutino-h2 o trigésimo segundo período, eliminando assim, a tarde e noite de sábado do modelo, reduzindo a quantidade de variáveis e conseqüentemente o tempo de execução;

- Otimizar o modelo elaborado utilizando o *NEOS Server* que é um projeto colaborativo advindo da comunidade de otimização e que fornece um grande número de solucionadores e tem suporte a diversas linguagens de modelagem (DOLAN et al., 2002). O *NEOS Server* possui estrutura com até 64 núcleos de processamento e até 200GB de memória RAM que pode ser utilizada de forma gratuita para resolver problemas de otimização numérica;
- Utilizar o *SolverStudio* que é um suplemento gratuito para o Excel e possui as linguagens de modelagem AMPL, GAMS<sup>®</sup> e GMPL, os ambientes de modelagem PuLP, COOPR/Pyomo e Gurobi baseados em Python, e que permite a transferência de dados e valores de soluções entre a planilha e o modelo de otimização (MASON, 2013). A utilização desse suplemento facilitaria a elaboração dos horários pelos gestores.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, L. N.; ÖZCAN, E.; KHEIRI, A. Solving high school timetabling problems worldwide using selection hyper-heuristics. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 13, p. 5463–5471, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.059>>. Acesso em: 27 jan. 2018.
- AL-YAKOOB, S. M.; SHERALI, H. D. Mathematical models and algorithms for a high school timetabling problem. **Computers and Operations Research**, v. 61, p. 56–68, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2015.02.011>>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- BABAEI, H.; KARIMPOUR, J.; HADIDI, A. A survey of approaches for university course timetabling problem. **Computers and Industrial Engineering**, v. 86, p. 43–59, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.010>>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- BAGGER, N. C. F.; SORENSEN, M.; STIDSEN, T. R. Benders' decomposition for curriculum-based course timetabling. **Computers and Operations Research**, v. 91, p. 178–189, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.10.009>>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- BELFIORE, P. P.; COSTA, O. L. DO V.; FÁVERO, L. P. L. Decomposição de Benders e suas aplicações em modelos de programação mista e em problemas de estoque e roteirização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. **Anais...** Gramado, 2005.
- DI BERARDINO, D. R. **Software para geração da grade horária do curso BSI da UNIRIO**. Rio de Janeiro, 2013.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/01443570210414338>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- CARDOSO, M. P.; MARCELINO, M. A. Estudo para automação de horários escolares em uma instituição de ensino. In: SIMPÓSIO HEPERTEXTO E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO. 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2010. v. 1, p.1–20, Disponível em: <<https://www.ufpe.br/nehete/simposio/anais/Anais-Hipertexto-2010/Marta-Pina-Cardoso&Marcio-Abud-Marcelino.pdf>>.
- CARVALHO, J. M. S. **Programação linear**. Porto: Vida Econômica, 2014.
- CONFORTI, M.; CORNUÉJOLS, G.; ZAMBELLI, G. **Integer programming**. Cham: Springer International Publishing, 2014.
- DOLAN, E. D. et al. The NEOS server for optimization: version 4 and beyond. Technical Memorandum ANL/MCS-P947-0202. **Mathematics and Computer Science Division**:



Argonne National Laboratory, n. feb., p. 5,8-9, 2002. Disponível em: <<http://www.mcs.anl.gov/papers/P947.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

DOMENECH, B.; LUSA, A. A MILP model for the teacher assignment problem considering teachers' preferences. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 3, p. 1153–1160, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.057>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

DORNELES, Á. P.; DE ARAÚJO, O. C. B.; BURIOL, L. S. A fix-and-optimize heuristic for the high school timetabling problem. **Computers and Operations Research**, v. 52, p. 29–38, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.06.023>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

DOSTERT, M.; POLITZ, A.; SCHMITZ, H. A complexity analysis and an algorithmic approach to student sectioning in existing timetables. **Journal of Scheduling**, v. 19, n. 3, p. 285–293, 2016. Springer US. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10951-015-0424-2>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A. On the complexity of timetable and multicommodity flow problems. **SIAM Journal on Computing**, v. 5, n. 4, p. 691–703, 1976. Disponível em: <<https://search.proquest.com/docview/918506217?accountid=8112>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

FONSECA, G. H. G. et al. Integer programming techniques for educational timetabling. **European Journal of Operational Research**, v. 262, n. 1, p. 28–39, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.020>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

GOTLIEB, C. C. The construction of class-teacher timetables. In: POPPLEWELL CONFERENCE, 1963, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam, 1963.

HANAFLI, S.; TODOSIJEVIĆ, R. Mathematical programming based heuristics for the 0–1 MIP: a survey. **Journal of Heuristics**, v. 23, n. 4, p. 165–206, 2017.

HEITMANN, H.; BRÜGGEMANN, W. Preference-based assignment of university students to multiple teaching groups. **OR Spectrum**, v. 36, n. 3, p. 607–629, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00291-013-0332-9>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RORAIMA. **Resolução n. 116 do CONSUP/IFRR, 14 de fevereiro de 2013**. Disponível em: <<http://www.ifrr.edu.br/acessoainformacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/conselho-superior/resolucoes/resolucoes-consup-2013/resolucao-no-116-conselho-superior>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

JOHNES, J. Operational research in education. **European Journal of Operational Research**, v. 243, n. 3, p. 683–696, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.043>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

KOCH, T. et al. MIPLIB 2010: Mixed integer programming library version 5. **Mathematical Programming Computation**, v. 3, n. 2, p. 103–163, 2011.

KOCH, T.; RALPHS, T.; SHINANO, Y. Could we use a million cores to solve an integer

program? **Mathematical Methods of Operations Research**, v. 76, n. 1, p. 67–93, 2012.

KOTSKO, E. G. D. S.; MACHADO, A. L. D. F.; SANTOS, E. M. Otimização na alocação de professores na construção. **Ambiência: Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 31–45, 2005.

KRISTIANSEN, S.; SØRENSEN, M.; STIDSEN, T. R. Integer programming for the generalized high school timetabling problem. **Journal of Scheduling**, v. 18, n. 4, p. 377–392, 2014. Springer US. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10951-014-0405-x>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MANZATO, A. J.; SANTOS, A. B. **A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa**. Florianópolis: UFSC - Departamento de Ciência de Computação e Estatística, 2012. p. 1–17. Disponível em: <[http://www.inf.ufsc.br/~verav/Ensino\\_2012\\_1/ELABORACAO\\_QUESTIONARIOS\\_PESQUISA\\_QUANTITATIVA.pdf](http://www.inf.ufsc.br/~verav/Ensino_2012_1/ELABORACAO_QUESTIONARIOS_PESQUISA_QUANTITATIVA.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2017.

MARINS, F. A. S. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica Editora, 2011.

MARMOLEJO, J. A. et al. Development of a tool for university timetabling using an integrated spreadsheet. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRACTICE AND THEORY OF AUTOMATED TIMETABLING. 11., 2016, Huixquilucan. **Proceedings...** Huixquilucan, 2016.

MASON, A. J. SolverStudio: A new tool for better optimisation and simulation modelling in Excel. **INFORMS Transactions on Education**, v. 14, n. 1, p. 45–52, 2013. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/ited.2013.0112>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

MIRHASSANI, S. A.; HABIBI, F. Solution approaches to the course timetabling problem. **Artificial Intelligence Review**, v. 39, n. 2, p. 133–149, 2013.

MÜHLENTHALER, M. **Fairness in academic course timetabling**. Cham: Springer International Publishing, 2015.

NETO, E. P.; VIANNA, D. S. Heurísticas eficientes para o problema de geração de grade escolar automatizada. **Revista Eletrônica Produção and Engenharia**, v. 4, n. 1, p. 330–337, 2013.

MORABITO, R. M.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 168-198.

PHILLIPS, A. E. et al. Integer programming for minimal perturbation problems in university course timetabling. **Annals of Operations Research**, Springer, v. 252, n. 2, p. 283–304, 2016.

PILLAY, N. A survey of school timetabling research. **Annals of Operations Research**, v. 218, n. 1, p. 261–293, 2013.

PINEDO, M. L. **Scheduling**. 5.ed. New York: Springer, 2016.

POST, G.; AHMADI, S.; DASKALAKI, S.; et al. An XML format for benchmarks in high school timetabling. **Annals of Operations Research**, v. 194, n. 1, p. 385–397, 2012.

PRABODANIE, R. A. R. An integer programming model for a complex university timetabling problem: a case study. **Industrial Engineering and Management Systems**, v. 16, n. 1, p. 141–153, 2017. Disponível em: <<http://koreascience.or.kr/journal/view.jsp?kj=SGHHEA&py=2017&vnc=v16n1&sp=141>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

SÁNCHEZ-PARTIDA, D. et al. Case study : a comprehensive integer programming model for improving an educational timetable. **International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics**, v. 8, n. 3, p. 71–82, 2017.

SCOPUS. **Resultados de buscas na base de dados Scopus, no período 2013-2018**. Disponível em: <<http://www.scopus.com>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

TRIPATHY, A. School timetabling: a case in large binary integer linear programming. **Management Science**, v. 30, n. 12, p. 1473–1489, 1984.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, p. 191, 2012. Disponível em: <[http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila\\_Metodologia\\_Completa\\_2012.pdf](http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf)>. Acesso em: 07 jun. 2017.

VEENSTRA, M.; VIS, I. F. A. School timetabling problem under disturbances. **Computers and Industrial Engineering**, v. 95, p. 175–186, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.02.011>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

VERMUYTEN, H. et al. Developing compact course timetables with optimized student flows. **European Journal of Operational Research**, v. 251, n. 2, p. 651–661, 2015.

VRIELINK, R. A. O. et al. Practices in timetabling in higher education institutions: a systematic review. **Annals of Operations Research**, Springer, p. 1–16, 2017.

WEB OF SCIENCE. **Resultados de buscas na base de dados Web of Science, no período 2013 - 2018**. Disponível em: <<http://www.webofknowledge.com>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

WEB OF SCIENCE. **Total de publicações referentes às palavras-chaves “timetabling” e “university course”**. Disponível em: <<http://www.webofknowledge.com>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

WEB OF SCIENCE. **Número de citações referentes as palavras-chaves “timetabling” e “university course”**. Disponível em: <<http://www.webofknowledge.com>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

WEB OF SCIENCE. **Mapa de árvore feito por meio da combinação das Palavras-Chaves “timetabling” e “university course”**. Disponível em: <<http://www.webofknowledge.com>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

# ANEXO A – QUADROS DE HORÁRIOS ELABORADOS PELOS GESTORES<sup>1</sup>

Turma: 34411

Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental Módulo: I Turno: noturno Turma:34411 Sala: 311

Dia/Hora		FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL				MAIO				JUNHO				JULHO	
Segunda	18:30	5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2
	20:20	ENC PED	FERIADO	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	
	20:40			BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS		
	22:30			BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS		
Terça	18:30	6	13	20	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3
	20:20	ENC PED	FERIADO	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FERIADO	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FI	FI	PI
	20:40			PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI		
	22:30			PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI		
Quarta	18:30	7	14	21	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4
	20:20	ENC PED	FERIADO	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	Lang. Notas	
	20:40			MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI		
	22:30			MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI		
Quinta	18:30	1	8	15	22	1	8	15	22	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5
	20:20	ENC PED	FERIADO	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	BAS	BAS	BAS	BAS	FERIADO	BAS	BAS	BAS	Exame Final	
	20:40			PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	QA	QA	ICC							
	22:30			PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	QA	QA	ICC							
Sexta	18:30	2	9	16	23	2	9	16	23	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	
	20:20	ENC PED	ENC PED	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	Exame Final/Entrega de diário	
	20:40			ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC		
	22:30			ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC		
Sábado	07:30	3	10	17	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30
	09:30			QA		BAS	AL	QA	TB	AL	QA	TB		QA	BAS	TB							
	09:50			QA		BAS	AL	QA	TB	AL	QA	TB		QA	BAS	TB							
	11:50			QA		BAS	AL	QA	TB	AL	QA	TB		QA	BAS								

Turma: 22511

TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS - MÓDULO I - VESPERTINO - 2018.1

MÊS	FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL				MAIO				JUNHO			
DIA	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	
SEGUNDA	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	
TERÇA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	
QUARTA	20	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	
QUINTA	15	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	
SEXTA	16	23	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	
SÁBADO	17	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	

Turma: 32511

TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS - MÓDULO I - NOTURNO - 2018.1

MÊS	FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL				MAIO				JUNHO			
DIA	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	
SEGUNDA	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	
TERÇA	20	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	
QUARTA	21	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	
QUINTA	15	22	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	
SEXTA	16	23	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	
SÁBADO	17	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	

<sup>1</sup> O Anexo A consiste no conjunto de figuras que representam as grades horárias dos cursos de graduação do CBV/IFRR no ano de 2018. Disponível em: < <http://www.boavista.ifrr.edu.br/cursos/graduacao>>. Acesso em: 20 abr. 2018.



Turma: 22561

TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS - MÓDULO VI - VESPERTINO - 2018.1

MÊS	FEVEREIRO					MARÇO					ABRIL					MAIO					JUNHO				
DIA	19	26				5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25			
SEGUNDA	DIR	DIR				DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR	DIR			
TERÇA	PSI	PSI				PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI			
QUARTA	TCCH	TCCH				TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH	TCCH			
QUINTA	EST	EST				EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST			
SEXTA																									
SÁBADO																									

Turma: 22711

Curso Superior de Tecnologia em Gestão Hospitalar Módulo: I Turno: Vespertino Turma: 22711

Dia/Hora	FEVEREIRO					MARÇO					ABRIL					MAIO					JUNHO					JULHO
Segunda																										
Terça																										
Quarta																										
Quinta																										
Sexta																										
Sábado																										

Turma: 32731

Curso Superior de Tecnologia em Gestão Hospitalar Módulo: III Turno: Noturno Turma: 32731

Dia/Hora	FEVEREIRO					MARÇO					ABRIL					MAIO					JUNHO					JULHO
Segunda																										
Terça																										
Quarta																										
Quinta																										
Sexta																										
Sábado																										

Turma: 22751

Curso Superior de Tecnologia em Gestão Hospitalar Módulo: V Turno: Vespertino Turma: 22751

Dia/Hora		FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL				MAIO				JUNHO				JULHO		
		5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9
Segunda	13:30																							
	15:30																							
	15:50																							
	17:50																							
Terça	13:30																							
	15:30																							
	15:50																							
	17:50																							
Quarta	13:30																							
	15:30																							
	15:50																							
	17:50																							
Quinta	13:30																							
	15:30																							
	15:50																							
	17:50																							
Sexta	13:30																							
	15:30																							
	15:50																							
	17:50																							
Sábado	07:30																							
	09:30																							
	09:50																							
	11:50																							

Turma: 33811

Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Turismo Módulo: I Turno: NOTURNO Turma: 33811 Sala: 307

Dia		FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL				MAIO				JUNHO				JULHO		
		5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9
Segunda	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
Terça	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
Quarta	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
Quinta	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
Sexta	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
Sábado	1																							
	2																							
	3																							
	4																							

Turma: 33831

Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Turismo Módulo:III Turno: NOTURNO Turma: 33831 Sala: 308																											
Dia		FEVEREIRO					MARÇO					ABRIL					MAIO				JUNHO					JULHO	
Segunda	1			5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	
	2	Férias					GAV	GAV	GAV	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT					
	3		Enc. Pedagog				GAV	GAV	GAV	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP					
	4			carneval				GAV	GAV	GAV	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP					
Terça	1			6	13	20	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	
	2	Férias					GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	Feriado	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP					
	3		Enc. Pedagog				GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP		GP	GP	GP	GP	GP	GP	GP					
	4			carneval				PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT		PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT					
Quarta	1			7	14	21	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4		
	2	Férias					ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING								
	3		Enc. Pedagog				ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING								
	4			carnaval				ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING	ING								
Quinta	1			8	15	22	29	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5		
	2	Férias					GAV	GAV	GAV	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	Feriado	ECO	ECO	ECO					
	3		Enc. Pedagog				GAV	GAV	GAV	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT		PPT	PPT	PPT					
	4							GAV	GAV	GAV	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT	PPT		PPT	PPT	PPT		Exame Final			
Sexta	1			9	16	23	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6		
	2	Enc. Pedagog					ECO	ECO	ECO	ECO	Feriado	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO				
	3		Enc. Pedagog				ECO	ECO	ECO	ECO		ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO				
	4							GTT	GTT	GTT	GTT	GTT	GTT											Feriado			
Sabado	1			10	17	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7		
	2							GAV																			
	3							GAV																			
	4							GAV																			

Turma: 33851

Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Turismo Módulo:V Turno: NOTURNO Turma: 33851 Sala: 309																											
Dia		FEVEREIRO					MARÇO					ABRIL					MAIO				JUNHO					JULHO	
Segunda	1			5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	
	2	Férias					PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	MKT	MKT	MKT	ORI	ORI	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT	ORI	ORI			
	3		Enc. Pedagog				PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	MKT	MKT	MKT	ORI	ORI	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT	ORI	ORI			
	4			carneval								MKT	MKT	MKT	ORI	ORI	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT	ORI	ORI			
Terça	1			6	13	20	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	
	2	Férias											DT	DT	Feriado	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT				
	3		Enc. Pedagog										DT	DT		DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT				
	4			carneval				EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST				
Quarta	1			7	14	21	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4		
	2	Férias					TMA	TMA	TMA	TMA	MKT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT				
	3		Enc. Pedagog				TMA	TMA	TMA	TMA	MKT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT				
	4			carnaval				TMA	TMA	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT	PEPT				
Quinta	1			8	15	22	29	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5		
	2	Férias											DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT				
	3		Enc. Pedagog				EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST					
	4							EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST	EST				
Sexta	1			9	16	23	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6		
	2	Enc. Pedagog					TMA	TMA	TMA	TMA	Feriado	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT											
	3		Enc. Pedagog				TMA	TMA	TMA	TMA		MKT	MKT	MKT	MKT	MKT											
	4							TMA	TMA	TMA	TMA	Feriado	MKT	MKT	MKT	MKT	MKT							Feriado			
Sabado	1			10	17	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7		
	2																	DT		DT			ORI				
	3																	DT		DT			ORI				
	4																	DT		DT			ORI				





**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018** (continua)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
1	Dorneles, Araújo e Buriol (2014)	A fix-and-optimize heuristic for the high school timetabling problem	Computer & Operations Research	Propor uma nova abordagem para resolver uma variante do problema do horário escolar.	Elaboração de um modelo de programação linear inteira mista e uma heurística de correção e otimização combinada com um método <i>Variable Neighborhood Descent</i> (VND) usando três tipos diferentes de decomposições (classe, professor e dia).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A abordagem fornece soluções viáveis de alta qualidade em um menor tempo computacional quando comparado com resultados obtidos com o solucionador de programação de inteiros do CPLEX®.</li> <li>- Melhoras em soluções mais conhecidas no caso de 7 dos 12 exemplos citados na literatura.</li> </ul>	-
2	Domenech e Lusa (2015)	A MILP model for the teacher assignment problem considering teachers' Preferences	European Journal of Operational Research	Resolver o Problema de Atribuição de Professores para o Departamento de Gestão (DOE) na Escola de Engenharia Industrial de Barcelona (ETSEIB) na Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Espanha.	Desenvolvimento de um modelo de programação linear inteira mista.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O modelo é comprovadamente adequado para muitas situações (número de professores-cursos e peso dos critérios), sendo útil para departamentos com solicitações semelhantes.</li> <li>- O modelo pode ser resolvido para situações de até 40 professores, obtendo soluções aceitáveis em um tempo de cálculo reduzido.</li> </ul>	-

**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018** (continuação)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
3	Prabodanie (2017)	An Integer Programming Model for a Complex University Timetabling Problem: A Case Study	Industrial Engineering & Management Systems	Desenvolver um modelo de PI econômico e gerenciável de um problema de capacitação intensiva na Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Wayamba do Sri Lanka.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de uma matriz de relacionamento para eliminar a necessidade de algumas dimensões (índices) das variáveis, reduzindo assim o número total de variáveis no modelo.</li> <li>- Um código de programação <i>Visual Basic Application</i> (VBA) foi desenvolvido na implementação do modelo.</li> </ul>	O modelo pode gerar horários de forma eficiente, com um número significativamente menor de horas de trabalho por semana, em comparação com os horários atualmente utilizados.	- Usar o SolverStudio, que possui algoritmos de solver mais avançados.
4	Bagger, Sørensen e Stidsen (2017)	Benders' decomposition for curriculum-based course timetabling	Computers and Operations Research	Aplicar decomposição de <i>Benders</i> em um modelo PLIM para o problema de programação de horários de curso baseado em currículo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação da decomposição de <i>Benders</i> a um modelo PLIM.</li> <li>- Utilização de heurística para reparar as soluções que foram cortadas pelos cortes de viabilidade dos <i>Benders</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparando a abordagem a um conjunto de dados de 32 instâncias, obteve-se um limite inferior que foi pelo menos bom em 23 instâncias e um limite melhor em 8 instâncias.</li> <li>- Comparando a decomposição de <i>Benders</i> ao modelo PLIM, utilizando 6 instâncias de grande porte, os limites inferior e superior foram aprimorados para todas as instâncias comparadas ao modelo original.</li> </ul>	-

**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018** (continuação)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
5	Sánchez-Partida et al. (2017)	Case Study: A Comprehensive Integer Programming Model for Improving an Educational Timetable	International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics	Construir um Currículo com base no <i>Timetabling Problem</i> em uma universidade mexicana	<p>- Utilização de um software de mediação para pesquisar e organizar os dados com base em mapas de currículos e arquivos de log.</p> <p>- Problema modelado como modelo PI e resolvido com método <i>Branch and Bound</i> (B&amp;B).</p>	Várias instâncias foram resolvidas com sucesso, com pouco tempo computacional e soluções globalmente ótimas. foi possível atribuir 2.101 aulas e melhorar a eficiência do atual processo de agendamento de disciplinas no currículo.	Implementar os modelos na universidade e avaliar completamente sua eficácia.
6	Vermuyten et al. (2015)	Developing compact course timetables with optimized student flows	European Journal of Operational Research	Construir cronogramas compactos com fluxos de alunos minimizados.	Abordagem de IP de dois estágios. No primeiro estágio, as palestras são atribuídas a intervalos de tempo levando em conta as várias restrições e maximizando as preferências dos <i>stakeholders</i> . A segunda etapa utiliza o cronograma do estágio anterior como entrada e realoca as salas de aula com o objetivo de minimizar os fluxos de alunos resultantes.	<p>Em contraste com um modelo monolítico, o modelo de dois estágios consegue encontrar soluções viáveis de boa qualidade. Além disso, os horários gerados implicam fluxos de estudantes significativamente reduzidos em comparação com o método manual.</p> <p>A abordagem pode encontrar soluções de boa qualidade para todas as instâncias do <i>International Timetabling Competitions 2007 (ITC2007)</i> comprovando sua aplicabilidade a uma ampla gama de problemas reais.</p>	Uma orientação possível para pesquisas futuras é a derivação de limites mais curtos para o modelo do segundo estágio para reduzir o tempo de computação necessário para resolver o modelo de otimização.

**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018**  
(continuação)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
7	Marmolejo et al. (2016)	Development of a tool for university timetabling using an integrated spreadsheet	Proceedings of the 11 <sup>th</sup> International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling	Desenvolver um modelo matemático realista e de fácil utilização com base em uma planilha para resolver o problema de alocação.	Estudo de caso descrevendo o problema apresentado na Faculdade de Engenharia da Universidade Anahuac no México.	Conseguiu-se desenvolver uma ferramenta em planilha utilizando programação matemática que é capaz de gerar uma alocação que maximiza o número de aulas que podem ser sujeitas a suas respectivas restrições, quais sejam: professores, horários e salas de aula. A ferramenta desenvolvida resolve com sucesso o problema atual de calendarização para a Faculdade de Engenharia da Universidade de Anahuac.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adicionar à ferramenta a atribuição automática de uma sala de aula específica.</li> <li>- Adicionar uma restrição similar à restrição de professores que permita ao usuário atribuir um número a qualquer grupo de ensino e restringir grupos com o mesmo número que não seja programado ao mesmo tempo.</li> <li>- Usar um software de programação linear para resolver o modelo enquanto mantém a interface e gera os parâmetros na planilha.</li> <li>- Adicionar mais opções de dia para tornar o modelo mais flexível para o usuário, incluindo uma opção de 1 sessão para cada dia da semana.</li> </ul>

**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018**  
(continuação)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
8	Phillips et al. (2016)	Integer programming for minimal perturbation problems in university course timetabling	Annals of Operations Research	Resolver inviabilidades enquanto minimiza a interrupção ou a perturbação da tabela de horários.	Abordagem baseada em programação inteira para o problema de perturbação mínima em agendamento de cursos universitários.	Constatou-se que operar dentro de uma vizinhança de tamanho mínimo mantém os cálculos rápidos e não permite grandes movimentos de eventos do curso, o que causa uma ruptura generalizada na estrutura do cronograma.	Aplicação de técnicas de otimização multiobjetivo, para que múltiplas soluções possam ser geradas com uma ponderação diferente de perturbação total versus equidade de perturbação.
9	Al-Yakoob e Sherali (2015)	Mathematical models and algorithms for a high school timetabling problem	Computers & Operations Research	Encontrar cronogramas semanais para professores de turma sem violar nenhuma das restrições (difíceis) do problema.	Na abordagem de dois estágios, o estágio inicial determina os intervalos de tempo semanais para as classes, com base nas quais o segundo estágio atribui os professores às classes. Em vez de gerar programações semanais dentro do próprio modelo, é proposto uma outra formulação de programação inteira mista que seleciona combinações válidas de programações semanais a partir do conjunto de todos os planejamentos viáveis, e projeta-se uma estrutura de solução de geração de colunas para explorar sua estrutura especial inerente.	Tanto a abordagem de dois estágios quanto a heurística de geração de colunas produziram soluções para os seis problemas de teste em tempos de CPU relativamente curtos, mas a última abordagem superou a primeira em relação ao tempo de CPU e ao número necessário de professores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporar as abordagens propostas (particularmente, heurística de geração de colunas) dentro de um software de fácil utilização e apresentá-lo ao Ministério da Educação no Kuwait para potencial implementação.</li> <li>- Investigar técnicas para incorporar preferências dos professores e questões de equidade dentro da estrutura de geração de coluna.</li> </ul>

**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018**  
(continuação)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
10	Heitmann e Brüggemann (2013)	Preference-based assignment of university students to multiple teaching groups	OR Spectrum	Fornecer uma formulação de modelo de número inteiro misto com as principais restrições para a atribuição.	<p>- Teste de viabilidade antes de designar os alunos.</p> <p>- Estudo experimental realizado em duas etapas para as duas versões do modelo: primeiro, o modelo básico é testado usando dados de registro e cronograma da vida real do programa de Negócios da Universidade de Hamburgo para o problema de programação do aluno. Em segundo lugar, o mesmo framework é usado juntamente com preferências geradas artificialmente para analisar o modelo estendido.</p>	Os problemas de ambos os estágios são facilmente solucionáveis em instâncias operáveis. Os subgrupos (ou seja, a divisão de alunos e vários grupos de ensino) usados no Departamento de Administração de Empresas se tornariam obsoletos e o agendamento dos alunos poderia ser melhorado. A abordagem utilizada foi bem-sucedida e o problema pode ser resolvido em tempo operacional.	Mais pesquisas devem ser direcionadas para analisar a sensibilidade da abordagem de solução sugerida a outras combinações de configurações de parâmetros para os custos de penalidade, e dependências entre limites superiores de bem-estar individual e os fatores de utilização do grupo. Além disso, seria interessante realizar testes de agendamento para unidades maiores - até a Universidade de Hamburgo inteira com cerca de 40.000 alunos - para descobrir que tipo de instância ainda pode ser resolvida exatamente dentro de um prazo satisfatório, apesar do problema ser NP-difícil.

**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018**  
(continuação)

Nº	Autores	Título	Periódico	Objetivo	Método	Resultados	Recomendações
11	Veenstra e Vis (2016)	School timetabling problem under disturbances	Computers & Industrial Engineering	Definir métodos para resolver com eficiência as sub-perturbações do problema de horários escolares.	Utilização de três tipos de métodos de solução, a saber, <i>rule-of-thumb</i> , uma heurística e uma abordagem de otimização.	<p>A heurística elimina, respectivamente, pequenas e grandes perturbações, 95,5% e 97,2% dos períodos vazios. A <i>rule-of-thumb</i> elimina apenas 80,5% e 77,6% dos períodos vazios.</p> <p>O número médio de mudanças necessárias para eliminar um único período vazio é comparável, respectivamente, com 1,1 e 1,0 para a <i>rule-of-thumb</i> e a heurística. Para pequenas perturbações, a heurística gera soluções ótimas para 50% das instâncias e, em média, soluciona 0,2 períodos vazios menores do que na situação ótima. Experiências mostram que o método projetado gera soluções robustas de alta qualidade para cada tipo de escola.</p>	-
12	Kristiansen, Sørensen e Stidsen (2014)	Integer programming for the generalized high school timetabling problem	Journal of Scheduling	Descrever um método exato capaz de manipular uma instância arbitrária do formato XHSTT.	O método é baseado em um modelo de PLIM, que é resolvido em duas etapas com um solucionador comercial de propósito geral para PLIM.	Conseguiu-se produzir 2 novas soluções ótimas, comprovar a otimização de 4 soluções anteriormente conhecidas e obter novos limites inferiores não triviais para outras 11 instâncias, além de encontrar novas soluções mais conhecidas em 9 casos.	A PLIM poderia ser usada em um contexto de duas etapas de trabalho (TSD), atribuindo primeiro tempo aos eventos e em seguida atribuindo recursos aos recursos do evento.



**APÊNDICE A - TRABALHOS SOBRE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADOS AO PEQHE, NO PERÍODO DE 2013 – 2018** (conclusão)

<b>Nº</b>	<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Periódico</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Método</b>	<b>Resultados</b>	<b>Recomendações</b>
13	Fonseca et al. (2017)	Integer programming techniques for educational timetabling	European Journal of Operational Research	Propor novos cortes e reformulações à formulação de Programação Inteira XHSTT.	Modelagem do problema empregando o formato XHSTT.	Obteve-se melhora no relaxamento linear da formulação por meio dos cortes propostos, levando a uma redução média de 32% de diferença. Em um dos testes realizados, a formulação proposta forneceu quatro 4 limites inferiores e 11 novos limites superiores.	Desenvolver uma abordagem de geração de colunas para o problema e sua incorporação em um algoritmo de ramificação e corte. Buscar cortes adicionais com base nos recursos de cada instância.

## APÊNDICE B - MODELAGEM EM LINGUAGEM GAMS®

```

Set
  g turmas
  p professores
  d disciplinas
  s semanas /s1*s20/
  t turnos /manha,tarde,noite/
  h horarios /h1,h2/
  j dias /seg,ter,qua,qui,sex,sab/
;

OPTION ITERLIM=10000000, RESLIM=1000000000,limrow=100000000, optcr=0.000;

$onecho > sets_parameters.txt
set=g rng=sets!a2 rdim=1
set=p rng=sets!b2 rdim=1
set=d rng=sets!c2 rdim=1
par=gt rng=gt!
par=dg rng=dg!
par=dp rng=dp!
par=f rng=f!
par=chs rng=chs! rdim=1
par=ch rng=ch! rdim=1
par=cmin rng=cmin! rdim=1
par=cmax rng=cmax! rdim=1
par=dd rng=dd! rdim=1
par=de rng=de! rdim=1
cmerge=1 par=disp rng=disp! odim=3 rdim=1
cmerge=1 par=pref rng=pref! odim=3 rdim=1
$offecho

Parameter
  dg(d,g)
  dp(d,p)
  gt(g,t)
  ch(d)
  chs(d)
  cmin(p)
  cmax(p)
  dd(d)
  de(d)
  f(s,j)
  disp(p,j,t,h)
  pref(p,j,t,h)
;

$call.gdxrw tecnologo2018.1.xlsx @sets_parameters.txt
$GDXIN tecnologo2018.1.gdx
$LOAD g p d gt dg dp f chs ch disp pref cmin cmax dd de
$GDXIN

Variables
  z
  a(g,d,s,j)
  c(g,p,s,t,j)
  e(g,s,t,j)
  k(d,s) usada para flexibilizar a ch semanal da disciplina
  l(p) usada para flexibilizar a ch semanal mínima do professor
  y(d,s,h,j)
  x(d,s,t,h,j)

```

```

binary variable x(d,s,t,h,j),y(d,s,h,j)
positive variable k(d,s)
;

Equations
fo
r1(g,s,t,h,j)
r2(p,s,t,h,j)
r3(d,s,t,h,j)
r4(t,j)
r5(d)
r6(p,s)
r7(d,s,t,h,j)
r8(d,s,t,h,j)
r9(g,d,s,t,h,j)
r10(g,d,s,j)
r11(p,s)
r12(d,s)
r13(d,s,t,h,j)
r14(d,t,h,j)
r15(g,p,s,t,j)
r16(g,s,t,j)
;

*FUNÇÃO OBJETIVO
fo.. z=e=-sum((d,p,s,t,h,j),x(d,s,t,h,j)*pref(p,j,t,h)*dp(d,p))
      +sum((d,s,t,h,j)$(ord(j) eq 6),x(d,s,t,h,j))
      +sum((d,s),k(d,s))
      +sum((g,s,t,j),e(g,s,t,j))
      +sum((g,p,s,t,j),c(g,p,s,t,j))
      -sum((d,s,t,h,j)$(de(d),x(d,s,t,h,j)*ord(s))
      ;

*UMA DISCIPLINA POR VEZ PARA UMA TURMA
r1(g,s,t,h,j).. sum(d,x(d,s,t,h,j)*dg(d,g))=l=1;
*UMA DISCIPLINA POR VEZ PARA UM PROFESSOR
r2(p,s,t,h,j).. sum(d,x(d,s,t,h,j)*dp(d,p))=l=1;
*DISCIPLINAS NO SEU DEVIDO TURNO
r3(d,s,t,h,j)$(ord(j) le 5).. x(d,s,t,h,j)=l=sum(g,dg(d,g)*gt(g,t));
*AULAS SÁBADO SOMENTE PELA MANHÃ
r4(t,j)$(ord(j) eq 6 and (ord(t) ge 2)).. sum((d,s,h),x(d,s,t,h,j))=e=0;
*CARGA HORÁRIA SEMESTRAL DA DISCIPLINA
r5(d).. sum((s,t,h,j),x(d,s,t,h,j))=e=chs(d);
*RESPEITAR C.H. MÁXIMA SEMANAL DO PROFESSOR
r6(p,s).. sum((d,t,h,j),x(d,s,t,h,j)*dp(d,p))=l=cmax(p);
*DISPONIBILIDADE DO PROFESSOR
r7(d,s,t,h,j).. x(d,s,t,h,j)=l=sum(p,disp(p,j,t,h)*dp(d,p));
*FERIADOS
r8(d,s,t,h,j).. x(d,s,t,h,j)=l=f(s,j);
*NÃO ALOCAR UMA DISCIPLINA EM DIAS CONSECUTIVOS PARA UMA TURMA
r9(g,d,s,t,h,j).. a(g,d,s,j)=g=x(d,s,t,h,j)*dg(d,g);
r10(g,d,s,j)$(ord(j) lt card(j)) and not de(d).. a(g,d,s,j)+a(g,d,s,j+1)=l=1;
*RESPEITAR C.H. MÍNIMA SEMANAL DO PROFESSOR
r11(p,s).. sum((d,t,h,j),x(d,s,t,h,j)*dp(d,p))=g=cmin(p)+l(p);
*CARGA HORÁRIA SEMANAL DA DISCIPLINA
r12(d,s).. sum((t,h,j),x(d,s,t,h,j))=l=ch(d)+k(d,s);
*PREFERÊNCIA DE DISCIPLINAS EM UM MESMO DIA E HORÁRIO AO LONGO DO SEMESTRE
r13(d,s,t,h,j)$(ord(s) ge 2).. y(d,s,h,j)=g=x(d,s,t,h,j)-x(d,s-1,t,h,j);
r14(d,t,h,j).. sum(s$(ord(s) gt 1),y(d,s,h,j))+x(d,"s1",t,h,j)=l=1;

```

```
*EVITAR ALOCAR PROFESSOR EM HORÁRIOS CONSECUTIVOS PARA UMA TURMA
r15(g,p,s,t,j).. sum((d,h)$(dp(d,p) and not de(d)),x(d,s,t,h,j)*dg(d,g))-c(g,p,s,t,j)=l=2;
*EVITAR AULAS SEGUIDAS, EM UMA TURMA, DE DISCIPLINAS CONSIDERADAS DIFÍCEIS
r16(g,s,t,j).. sum((d,h),x(d,s,t,h,j)*dd(d)*dg(d,g))-e(g,s,t,j)=l=2;

MODEL horagams /ALL/;
horagams.optfile=1;
$onecho > cplex.opt
threads=6
$offecho
SOLVE horagams USING MIP MINIMIZING z;

DISPLAY x.L, z.L;

*Exportar resultados para excel
execute_unload "saida.gdx" x;
execute 'gdxrw.exe saida.gdx var=x';
```

**APÊNDICE C – LOTAÇÃO DOS PROFESSORES NOS CURSOS TECNÓLOGOS**

(continua)

Nº	PROFESSOR	TURMA	DISCIPLINA	C.H.	
				SEMANAL	SEMESTRAL
1	NILRA JANE	34411	MAI	2	30
2	JOERK OLIVEIRA	34411	AL(B)	2	23
3	ARLETE OLIVEIRA	34411	PI(A)	2	30
4	WALTER PAULO	34411	FI	2	15
5	DANIELI LAZARINI	34411	BAS	2	30
6	MOIVAN SILVA	34411	TB	2	30
7	LEOVERGILDO FARIAS	34411	QA	2	30
8	CRISTOFE ROCHA	34411	ICC	1	15
9	MARCOS SPOSITO	22511	ALG(A)	2	30
10	DENISE OLIVEIRA	22511	IC(A)	2	30
11	DOUGLAS ENISON	22511	MA(E)	2	30
12	EDUARDO SINDEAUX	22511	LA(A)	1	25
13	NARONETE NOGUEIRA	22511	II(B)	2	30
14	ARLETE OLIVEIRA	22511	PI(B)	1	29
15	DAYGLES SOUZA	22511	MT(A)	1	20
16	ANAZITA LOPES	22511	LB(B)	1	24
17	MARCOS SPOSITO	32511	ALG(B)	2	30
18	DENISE OLIVEIRA	32511	IC(B)	2	30
19	JOERK OLIVEIRA	32511	MA(F)	2	30
20	JUSCENILTON VASCONCELOS	32511	LA(B)	1	25
21	NARONETE NOGUEIRA	32511	II(C)	2	30
22	ARLETE OLIVEIRA	32511	PI(C)	1	29
23	DAYGLES SOUZA	32511	MT(B)	1	20
24	ANAZITA LOPES	32511	LB(C)	1	23
25	PIERRE VIANA	32531	POO	2	30
26	RENNER SARDECK	32531	BDI	2	30
27	CRISTOFE ROCHA	32531	SO	2	30
28	RENNER SARDECK	32531	EDII	2	30
29	DENIS APOLINARIO	32531	MAIII	2	30
30	DENISE OLIVEIRA	32531	ESI(B)	1	25
31	GEORGE OLIVEIRA	32531	APSI	1	25
32	PIERRE VIANA	22541	DAD	2	30
33	RENNER SARDECK	22541	BDII	2	30
34	TALLES DINO	22541	RC	2	30
35	SAULA LEITE	22541	IHM	2	30
36	LUIZ ROCHA	22541	OSM	2	30
37	LUIZ ROCHA	22541	EMP(A)	1	25
38	GEORGE OLIVEIRA	22541	ENGII	1	25
39	CRISTOFE ROCHA	32551	SD	2	30
40	LUIZ ROCHA	32551	AS	2	30
41	GEORGE OLIVEIRA	32551	DAM	2	30
42	RENNER SARDECK	32551	TE(B)	2	30

## APÊNDICE C – LOTAÇÃO DOS PROFESSORES NOS CURSOS TECNÓLOGOS

(continuação)

Nº	PROFESSOR	TURMA	DISCIPLINA	C.H.	
				SEMANAL	SEMESTRAL
43	ANAZITA LOPES	32551	LB(D)	1	25
44	GEORGE OLIVEIRA	32551	DAW	2	30
45	SAULA LEITE	32551	TCCI(C)	1	20
46	SAULA LEITE	22561	TCCII(A)	1	20
47	LUIZ ROCHA	22561	DIR	1	20
48	LUANDA MOURA	22561	PSI(B)	2	40
49	SAULA LEITE	22561	ESTAGIO	1	20
50	IVONE MEDEIROS	22711	PI(D)	2	28
51	DAYGLES SOUZA	22711	MA(G)	1	20
52	REGIA MACEDO	22711	NBA	2	40
53	CLEIDE FERNANDES	22711	TPSS	2	40
54	JOERK OLIVEIRA	22711	MF	1	23
55	ORLANDO MARINHO	22711	DI(B)	2	30
56	ROSELI BERNARDO	22711	HS(A)	2	30
57	REGIA MACEDO	32731	GP(A)	2	30
58	LUANDA MOURA	32731	PO(A)	2	30
59	LUCELIA SANTOS	32731	PMKT	2	35
60	LUIZ ROCHA	32731	EMP(B)	1	25
61	ANAZITA LOPES	32731	LIBRAS	1	25
62	NATHALIA E CARLOS	32731	EFE(A)	2	30
63	ANANIAS NORONHA	32731	EPI(B)	2	35
64	RENATA ORCIOLI	22751	II(D)	2	30
65	REGIA MACEDO	22751	FPE	1	30
66	LANA CRISTINA	22751	EEPI	1	25
67	CLEIDE FERNANDES	22751	ODH	2	30
68	CICERO CARDOSO	22751	LSH	2	30
69	DERICA E LUIZ	22751	SI(A)	1	22
70	LUCELIA SANTOS	22751	TCCI(D)	1	20
71	LUCELIA SANTOS	22751	QSS	2	35
72	DEICE	33811	PI	2	30
73	JÉSSICA E DEICE	33811	MA	1	20
74	SUZANA MENEZES	33811	FTH	2	30
75	LUCELIA SANTOS	33811	TGA	2	30
76	DOUGLAS E BRUNA	33811	ESP	2	30
77	LUANDA CAVALCANTE	33811	PO	2	30
78	LUANDA CAVALCANTE	33831	GP(B)	2	30
79	SUZANA E JORDANA	33831	PPT	2	30
80	RENATA E ELIESER	33831	ING	2	30
81	ROSELI BERNARDO	33831	ECO	2	30
82	MOIVAN SILVA	33831	GTT	1	20
83	LUCIANA VITORIO	33831	GAV	1	20
84	DEICE	33851	DT	2	30
85	LEILA SENA	33851	ORI	1	10

**APÊNDICE C – LOTAÇÃO DOS PROFESSORES NOS CURSOS TECNÓLOGOS**  
(conclusão)

<b>Nº</b>	<b>PROFESSOR</b>	<b>TURMA</b>	<b>DISCIPLINA</b>	<b>C.H. SEMANAL</b>	<b>C.H. SEMESTRAL</b>
86	LEILA E JORDANA	33851	MKT	2	30
87	SUZANA MENEZES	33851	PEPT	2	30
88	LUCIANA VITORIO	33851	TMA	1	20
89	JUSCENILTON VASCONCELOS	33851	EST	2	30
90	SUZANA MENEZES	33861	CT	1	20
91	LEILA GHEDIN	33861	GC	1	20
92	LUCIANA LEANDRO	33861	TAD	1	20
93	LEILA SENA	33861	TCCII(B)	1	20

**APÊNDICE D – TRECHO DA PLANILHA EXPORTADA PELO GAMS®**

				seg	ter	qua	qui	sex	sab
MAI	s1	noite	h1						1
MAI	s2	noite	h1						1
MAI	s3	noite	h1						1
MAI	s3	noite	h2						1
MAI	s4	noite	h1						1
MAI	s4	noite	h2						1
MAI	s5	noite	h1						1
MAI	s5	noite	h2						1
MAI	s6	noite	h1						1
MAI	s6	noite	h2						1
MAI	s8	manha	h2						1
MAI	s8	noite	h1		1				
MAI	s9	manha	h1						1
MAI	s9	noite	h1		1				
MAI	s10	noite	h1		1				
MAI	s11	noite	h1		1				
MAI	s11	noite	h2		1				
MAI	s13	noite	h2				1		
MAI	s14	noite	h2				1		
MAI	s15	noite	h2				1		
MAI	s16	noite	h1				1		
MAI	s16	noite	h2				1		
MAI	s17	noite	h1				1		
MAI	s17	noite	h2				1		
MAI	s18	noite	h1				1		
MAI	s18	noite	h2				1		
MAI	s19	noite	h1				1		
MAI	s19	noite	h2				1		
MAI	s20	noite	h1				1		
MAI	s20	noite	h2				1		
AL(B)	s2	noite	h1				1		
AL(B)	s3	noite	h1				1		
AL(B)	s4	noite	h1				1		
AL(B)	s8	noite	h1					1	
AL(B)	s8	noite	h2					1	
AL(B)	s9	noite	h1					1	
AL(B)	s9	noite	h2					1	
AL(B)	s10	noite	h1					1	
AL(B)	s10	noite	h2					1	
AL(B)	s11	noite	h2					1	
AL(B)	s12	noite	h2					1	
AL(B)	s13	noite	h1		1				
AL(B)	s13	noite	h2		1				
AL(B)	s14	noite	h1		1				
AL(B)	s14	noite	h2		1				
AL(B)	s15	noite	h1		1				
AL(B)	s15	noite	h2		1				
AL(B)	s16	noite	h1		1				
AL(B)	s17	noite	h1		1				
AL(B)	s17	noite	h2				1		
AL(B)	s18	manha	h1						1
AL(B)	s18	noite	h1		1				
AL(B)	s19	manha	h1						1
PI(A)	s1	noite	h1					1	
PI(A)	s1	noite	h2					1	
PI(A)	s2	noite	h2		1			1	
PI(A)	s3	noite	h2		1			1	
PI(A)	s4	manha	h2						1
PI(A)	s4	noite	h2		1				
PI(A)	s5	manha	h2						1



## APÊNDICE E – QUADROS DE HORÁRIOS GERADOS PELA OTIMIZAÇÃO

34411																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		TB	TB	TB	TB	TB	TB	QA	QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS
	2		PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	QA	QA	TB	TB	TB	BAS	BAS	BAS	BAS
Terça	1		QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	ICC	ICC
	2		QA	QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	FI	FI	FI	FI	FI
Quarta	1		AL(B)	AL(B)	AL(B)	QA	QA	QA	PI(A)	PI(A)	PI(A)	TB	TB	TB	TB	TB	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI
	2		TB	TB	TB	TB	QA	QA	QA	QA	QA	PI(A)	PI(A)	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI
Quinta	1	PI(A)	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	QA	QA	QA	QA	QA		TB	TB	TB	TB
	2	PI(A)	PI(A)	PI(A)	FI	FI	FI	FI	FI	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	QA	QA		AL(B)	TB	TB	TB
Sexta	1	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	TB	TB	TB	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	QA	QA	
	2	TB	FI	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	AL(B)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	QA	QA	
Sábado	1					FI	FI	FI		MAI		QA			BAS				AL(B)	AL(B)	
	2				PI(A)	PI(A)			MAI				ICC	ICC	ICC	ICC	TB		FI		

22511																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	MT(A)	MT(A)	MT(A)	LA(A)	LA(A)	MA(E)	MA(E)
	2		LA(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	PI(B)	PI(B)	LB(B)	II(B)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)
Terça	1		MT(A)	MT(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	LB(B)	LB(B)	LA(A)	LA(A)	LA(A)		MA(E)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	II(B)	II(B)	II(B)
	2		IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	MT(A)	MT(A)	LB(B)		MA(E)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)
Quarta	1		II(B)	II(B)	MT(A)	MT(A)	MT(A)	MT(A)	MT(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	ALG(A)
	2		MA(E)	MA(E)	II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	II(B)	LB(B)	LB(B)	IC(A)	IC(A)	IC(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)
Quinta	1	LA(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	II(B)	II(B)	LB(B)		MT(A)	MT(A)	MT(A)	MT(A)
	2	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	LB(B)	LB(B)	LA(A)	LA(A)	LA(A)	LA(A)		II(B)	II(B)	II(B)	II(B)
Sexta	1	MT(A)	LA(A)	LB(B)	LB(B)	LB(B)	LB(B)		MA(E)	II(B)	II(B)	II(B)	ALG(A)	ALG(A)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	PI(B)	
	2	LB(B)	LB(B)	LB(B)	LB(B)	LB(B)	LA(A)		MA(E)	PI(B)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)	ALG(A)
Sábado	1	MA(E)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	ALG(A)	PI(B)		LB(B)		MT(A)	MT(A)	MT(A)		II(B)	LA(A)		IC(A)	IC(A)	IC(A)
	2	II(B)	PI(B)	PI(B)	MA(E)	MA(E)	MA(E)	MA(E)				IC(A)	IC(A)	IC(A)		LA(A)	LB(B)	LB(B)	LB(B)	LB(B)	LB(B)

32511																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		MA(F)	MA(F)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	II(C)	II(C)	II(C)
	2		LA(B)	LA(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	IC(B)	IC(B)	IC(B)	MT(B)	MA(F)
Terça	1		II(C)	II(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	MT(B)	MT(B)	LB(C)		IC(B)	IC(B)	IC(B)	ALG(B)	ALG(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)
	2		II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)		IC(B)	IC(B)	IC(B)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MT(B)
Quarta	1		MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	IC(B)
	2		LB(C)	LB(C)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	LA(B)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)	IC(B)	IC(B)	IC(B)	IC(B)	IC(B)
Quinta	1		LA(B)	LA(B)	LA(B)	PI(C)	PI(C)	IC(B)	IC(B)	IC(B)	IC(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)		MA(F)	MA(F)	MA(F)	MA(F)
	2		MT(B)	ALG(B)	ALG(B)	IC(B)	IC(B)	IC(B)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)	II(C)		LB(C)	LB(C)	LB(C)
Sexta	1		IC(B)	IC(B)	IC(B)	MA(F)	MA(F)	MA(F)		LA(B)	LA(B)	LA(B)	LB(C)	LB(C)	LB(C)	LB(C)	LB(C)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	
	2		IC(B)	IC(B)	PI(C)	II(C)	MA(F)	MA(F)		LB(C)	LB(C)	LB(C)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	MT(B)	ALG(B)	
Sábado	1		PI(C)	PI(C)	LB(C)	LB(C)	LB(C)	LB(C)	LB(C)	II(C)	IC(B)		ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	ALG(B)	LA(B)		
	2		LB(C)	LB(C)		IC(B)	IC(B)		LA(B)				PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)	PI(C)

32531																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		SO	SO	SO	SO	SO	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)
	2		EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	APSI	POO	POO	POO	POO	POO	BDI	BDI	BDI
Terça	1		ESI(B)	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	BDI	BDI	POO		SO	SO	SO	SO	APSI	APSI	APSI	APSI
	2		ESI(B)	APSI	APSI	APSI	APSI	APSI	APSI	APSI	APSI	BDI		SO	SO	SO	SO	POO	POO	POO	POO
Quarta	1		EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	BDI	BDI	SO	SO	SO
	2		BDI	BDI	BDI	BDI	BDI	BDI	BDI	MAIII	MAIII	MAIII	MAIII	EDII	EDII	EDII	EDII	SO	SO	SO	SO
Quinta	1		ESI(B)	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO	POO		APSI	MAIII	MAIII	MAIII
	2		ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)	APSI	POO	POO	POO	POO	POO	BDI	BDI	BDI	BDI	BDI		MAIII	MAIII	MAIII	MAIII
Sexta	1		MAIII	MAIII	MAIII	ESI(B)	ESI(B)	ESI(B)		SO	SO	SO	SO	APSI	APSI	EDII	EDII	EDII	EDII	EDII	
	2		MAIII	BDI	BDI	BDI	BDI	BDI		SO	SO	SO	SO	APSI	APSI	APSI	APSI	APSI	EDII	EDII	EDII
Sábado	1				APSI	SO	SO	BDI	BDI	EDII				ESI(B)	ESI(B)			MAIII			
	2		APSI	APSI		MAIII														BDI	BDI

22541																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		OSM	OSM	OSM	OSM	RC	RC	RC	RC	IHM	IHM	IHM	IHM	IHM	EMP(A)	EMP(A)	BDII	BDII	BDII	BDII
	2		EMP(A)	ENGII	ENGII	ENGII	RC	RC	RC	RC	OSM	OSM	OSM	BDII	BDII	BDII	BDII	BDII	BDII	BDII	IHM
Terça	1		DAD	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)	ENGII	ENGII	ENGII	ENGII	ENGII		OSM	OSM	OSM	OSM	OSM	OSM	OSM	OSM
	2		DAD	DAD	DAD	DAD	DAD	IHM	IHM	IHM	EMP(A)	EMP(A)		OSM	OSM	OSM	OSM	OSM	OSM	OSM	OSM
Quarta	1		RC	RC	RC	RC	BDII	BDII	BDII	BDII	BDII	DAD	DAD	DAD	DAD	DAD	EMP(A)	ENGII	ENGII	ENGII	ENGII
	2		RC	IHM	OSM	ENGII	BDII	BDII	BDII	BDII	BDII	DAD	DAD	DAD	DAD	DAD	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)
Quinta	1		BDII	BDII	BDII	BDII	IHM	IHM	IHM	IHM	IHM	RC	RC	RC	RC	RC		DAD	DAD	DAD	DAD
	2		BDII	BDII	BDII	BDII	IHM	ENGII	EMP(A)	EMP(A)	OSM	OSM	RC	RC	RC	RC		DAD	DAD	DAD	DAD
Sexta	1		ENGII	ENGII	ENGII	RC	RC	OSM		DAD	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)	IHM	IHM	IHM	IHM	IHM	IHM	
	2		IHM	IHM	IHM	IHM	OSM	OSM		DAD	DAD	DAD	BDII	ENGII	ENGII	ENGII	ENGII	ENGII	ENGII	RC	RC
Sábado	1		RC		DAD	DAD	IHM						OSM	EMP(A)	EMP(A)	EMP(A)					ENGII
	2		EMP(A)				ENGII					IHM					RC	RC			

32551																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	SD	SD	LB(D)	LB(D)	DAM	DAM	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW
	2		DAM	DAM	DAM	DAM	DAM	SD	SD	SD	SD	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	DAW	DAW	DAW	DAW
Terça	1		TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	DAM	TCCI(C)	TCCI(C)	TCCI(C)		LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	AS	AS	AS	AS
	2		TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	SD		TCCI(C)	TCCI(C)	DAM	DAM	DAM	AS	AS	AS
Quarta	1		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	DAM	DAM	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW	TCCI(C)	TCCI(C)	LB(D)	LB(D)
	2		AS	AS	AS	SD	SD	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW	DAW	DAM	TCCI(C)	TCCI(C)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)
Quinta	1		LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	LB(D)	SD	SD	SD	SD		TE(B)	DAM	DAM	DAM
	2		TCCI(C)	TCCI(C)	TCCI(C)	TCCI(C)	TCCI(C)	TCCI(C)	TCCI(C)	AS	LB(D)	LB(D)	SD	SD	SD	SD		DAM	DAM	DAM	DAM
Sexta	1		DAW	DAW	DAW	DAW	DAW		DAM	DAM	DAM	DAM	AS	AS	AS	AS	AS	SD	SD	SD	
	2		DAW	DAM	DAM	DAM	DAM	DAM		TE(B)	TE(B)	TE(B)	TE(B)	AS	AS	AS	AS	SD	SD	SD	
Sábado	1									AS			TCCI(C)			TE(B)	TE(B)	TE(B)			
	2										AS			TE(B)						TCCI(C)	TCCI(C)

22561																					
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20
Segunda	1		TCCII(A)	TCCII(A)				DIR	DIR	DIR	DIR	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)
	2			PSI(B)	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO				DIR		
Terça	1				PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	DIR		TCCII(A)	TCCII(A)	TCCII(A)	TCCII(A)	TCCII(A)			
	2		DIR	DIR	DIR	DIR	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)								TCCII(A)	TCCII(A)	TCCII(A)
Quarta	1							TCCII(A)	TCCII(A)	TCCII(A)	TCCII(A)						ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	DIR	DIR
	2				TCCII(A)								PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)
Quinta	1	TCCII(A)					DIR					PSI(B)									ESTAGIO
	2	ESTAGIO	ESTAGIO	ESTAGIO	PSI(B)	PSI(B)												DIR	DIR		
Sexta	1	PSI(B)	PSI(B)	PSI(B)								TCCII(A)	TCCII(A)	DIR	DIR	DIR	DIR				
	2	PSI(B)	PSI(B)			TCCII(A)	TCCII(A)						DIR							ESTAGIO	
Sábado	1																				
	2																				

22711																						
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20	
Segunda	1		MF	MF	PI(D)	PI(D)	PI(D)	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	DI(B)	
	2		TPSS	MF	MF	MF	MF	NBA	HS(A)	HS(A)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	MA(G)	MA(G)	MA(G)	MA(G)	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)	
Terça	1		NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	MA(G)	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)		PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	MF	MF	MF	MF	
	2		NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)		MF	MF	MF	MF	MF	HS(A)	PI(D)	TPSS	
Quarta	1		DI(B)	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	MA(G)	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	
	2		TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	NBA	HS(A)	PI(D)
Quinta	1	MF	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)		TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	
	2	TPSS	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	MF	MF	MF	DI(B)	DI(B)	DI(B)		MA(G)	MA(G)	MA(G)	MA(G)	
Sexta	1	NBA	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)	DI(B)		MA(G)	MA(G)	MA(G)	MA(G)	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	PI(D)	PI(D)	HS(A)		
	2	NBA	MF	DI(B)	DI(B)	MA(G)	MA(G)		TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	TPSS	PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	PI(D)	
Sábado	1	TPSS						MF	MF	MF		HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	DI(B)	
	2	MA(G)	MA(G)	MA(G)	MA(G)								HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)	HS(A)		NBA	NBA	

32731																						
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20	
Segunda	1		EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	PMKT	PMKT	PMKT	GP(A)	GP(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	LIBRAS	EMP(B)	EMP(B)	
	2		EPI(B)	EPI(B)	EMP(B)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	LIBRAS	LIBRAS
Terça	1		PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)		EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)	PMKT	PMKT	PMKT	GP(A)	GP(A)	
	2		PO(A)	PO(A)	PO(A)	EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)		GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	EFE(A)	EFE(A)	PMKT	
Quarta	1		GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	EFE(A)	EFE(A)	EFE(A)	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	
	2		GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	GP(A)	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	EMP(B)	EMP(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	
Quinta	1		EMP(B)	EMP(B)	EMP(B)	EFE(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	PO(A)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)		LIBRAS	LIBRAS	PMKT	PMKT	
	2		PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	LIBRAS	LIBRAS	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)		EFE(A)	EFE(A)	EMP(B)	GP(A)
Sexta	1		EFE(A)	EFE(A)	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	EMP(B)		PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	GP(A)	GP(A)		
	2		LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	LIBRAS	EMP(B)	EMP(B)		GP(A)	GP(A)	GP(A)	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	
Sábado	1		PMKT	PMKT	PMKT	PMKT	EFE(A)	EFE(A)			PO(A)				GP(A)	GP(A)	GP(A)	LIBRAS		EMP(B)	EMP(B)	EPI(B)
	2					EPI(B)	EPI(B)	EPI(B)	EFE(A)		LIBRAS			EMP(B)	PO(A)	PO(A)				PMKT	PMKT	

22751																						
Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18	semana 19	semana 20	
Segunda	1		ODH	EEPI	EEPI	EEPI	SI(A)	SI(A)	SI(A)	SI(A)	II(D)	II(D)	II(D)	II(D)	LSH	LSH	LSH	LSH	LSH	FPE	FPE	
	2		FPE	EEPI	EEPI	EEPI	QSS	II(D)	II(D)	II(D)	SI(A)	SI(A)	SI(A)	ODH	ODH	ODH	ODH	LSH	LSH	TCCI(D)	TCCI(D)	
Terça	1		II(D)	II(D)	II(D)	II(D)	LSH	LSH	LSH	LSH	ODH	ODH		SI(A)	SI(A)	QSS	QSS	QSS	QSS	QSS	QSS	EEPI
	2		QSS	QSS	QSS	QSS	LSH	ODH	ODH	ODH	ODH	ODH		FPE	FPE	FPE	FPE	TCCI(D)	TCCI(D)	SI(A)	SI(A)	
Quarta	1		SI(A)	FPE	FPE	FPE	FPE	QSS	QSS	QSS	QSS	QSS	QSS	II(D)	II(D)	II(D)	EEPI	ODH	ODH	ODH	ODH	
	2		FPE	FPE	FPE	FPE	QSS	QSS	QSS	QSS	TCCI(D)	TCCI(D)	TCCI(D)	ODH	ODH	ODH	ODH	ODH	ODH	ODH	ODH	
Quinta	1		LSH	LSH	LSH	LSH	EEPI	TCCI(D)	FPE	FPE	FPE	FPE	FPE	FPE	QSS	SI(A)		II(D)	II(D)	II(D)	II(D)	
	2		SI(A)	ODH	LSH	LSH	EEPI	EEPI	EEPI	EEPI	EEPI	EEPI	II(D)	II(D)	TCCI(D)	TCCI(D)	FPE		QSS	QSS	QSS	QSS
Sexta	1		TCCI(D)	QSS	II(D)	ODH	ODH	ODH		LSH	LSH	LSH	LSH	LSH	LSH	LSH	SI(A)	SI(A)	SI(A)	FPE		
	2		EEPI	EEPI	QSS	QSS	QSS	ODH		II(D)	II(D)	LSH	LSH	LSH	LSH	SI(A)	TCCI(D)	TCCI(D)	FPE	FPE	FPE	
Sábado	1		FPE		SI(A)	SI(A)	SI(A)		TCCI(D)	TCCI(D)	TCCI(D)		EEPI	EEPI	EEPI	EEPI	EEPI	II(D)	II(D)	II(D)	II(D)	II(D)
	2		ODH	TCCI(D)	TCCI(D)	TCCI(D)	TCCI(D)	II(D)	II(D)	FPE	FPE		QSS	QSS	QSS	QSS	QSS	QSS	EEPI	EEPI	EEPI	SI(A)





## APÊNDICE F – DOCUMENTAÇÃO SOBRE O MODELO E SUA SOLUÇÃO

### 1. Requisitos

São necessários os seguintes programas na máquina em que será executado o modelo:

- GAMS<sup>®</sup>, versão 23.5.2 ou superior;
- IBM ILOG CPLEX<sup>®</sup>, versão 12.2 ou superior;
- Microsoft Excel, versão 2010 ou superior.

### 2. Apresentação da Planilha de Dados

Deve-se preencher uma pasta de trabalho do Excel que possui as guias de planilha mostradas na imagem abaixo, onde cada guia de planilha contém o que está descrito a seguir:

- Lotação – Alocação de disciplinas das turmas para os professores;
- sets – Conjuntos de turmas, professores e disciplinas;
- dg – Disciplinas que cada turma possui;
- dp – Disciplinas que cada professor ministrará;
- gt – Turno das turmas;
- cmin – Carga horária mínima semanal dos professores;
- cmax – Carga horária máxima semanal dos professores;
- chs – Carga horária semestral das disciplinas;
- ch – Carga horária semanal das disciplinas;
- disp – Disponibilidade dos professores;
- f – Dias feriados;
- pref – Preferências de horário dos professores;
- dd – Disciplinas consideradas difíceis;
- de – Disciplinas de estágio.



### 3. Preenchimento da Planilha de Dados

#### 3.1. Guia de planilha “Lotação”

Deve-se preencher a guia de planilha “Lotação” com as disciplinas das turmas designadas aos professores diferenciando por letras de (A) – (Z) as disciplinas que estão em mais de uma turma e acrescentando o caractere *underline* (“\_”) para fazer separação do nome e sobrenome de um professor, conforme imagem abaixo:



	A	B	C
1	<b>PROFESSOR</b>	<b>TURMA</b>	<b>DISCIPLINA</b>
2	ROSIMEIRE	32111	IB
3	ROSA_MARIA	32111	BG
4	LEOVERGILDO_FARIAS	32111	QG
5	LEILIANE	32111	MA(A)
6	LEILIANE	32111	PPI(A)

### 3.2. Guia de planilha “sets”

A guia de planilha “sets” deve conter as turmas, professores e disciplinas a serem alocados a horários, como ilustrado na imagem abaixo:

	A	B	C
1	<b>TURMAS</b>	<b>PROFESSORES</b>	<b>DISCIPLINAS</b>
2	32111	ADNELSON	IB
3	32131	ANA_E_LILIANA	BG
4	22151	ANA_LOPES	QG
5	32171	ANA_MOURA	MA(A)
6	12411	ANANIAS_NORONHA	PPI(A)
7	22421	ANAZITA_LOPES	CLP
8	12431	APARECIDA	BC
9	22441	ARLETE_OLIVEIRA	HA
10	12451	BEATRIZ_ALBINO	FE(A)
11	22461	BERNARD_ALVES	MB
12	12471	BRUNA_MARINHO	EPI(A)

### 3.3. Guia de planilha “dg”

A guia de planilha “dg” deve conter todas as disciplinas e turmas configurando a célula que faz o cruzamento de uma disciplina com uma turma com o valor 1, caso a disciplina pertença àquela turma, como ilustrado abaixo:

	A	B	C	D	E
1		32111	32131	22151	32171
2	IB	1			
3	BG	1			
4	QG	1			
5	MA(A)	1			
6	PPI(A)	1			
7	CLP	1			
8	BC	1			
9	HA		1		
10	FE(A)		1		
11	MB		1		

### 3.4. Guia de planilha “dp”

A guia de planilha “dp” deve conter todas as disciplinas e professores configurando a célula que faz o cruzamento de uma disciplina com um professor com o valor 1, caso a disciplina tenha sido designada àquele professor, como ilustrado abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		ADNELSO	ANA_E_LII	ANA_LOPI	ANA_MOI	ANANIAS	ANAZITA	APARECID
119	MH	1						
120	TC							
121	OPEB(B)							
122	PLMII	1						
123	AL(A)							
124	CDI_II							
125	FME_III							
126	NDG							
127	CLPD(B)							
128	IEM							
129	LB(A)						1	
130	PPI(B)	1						
131	CDI_III							
132	EB							
133	ESI(A)							
134	FS(B)							
135	PPII							1
136	CDI_IV							

### 3.5. Guia de planilha “gt”

Na guia de planilha “gt” deve-se adicionar as turmas e configurar a célula que faz o cruzamento da turma com o turno com o valor 1 caso a turma pertença àquele determinado turno, como ilustrado abaixo:

	A	B	C	D
1		manha	tarde	noite
2	32111			1
3	32131			1
4	22151		1	
5	32171		1	
6	12411	1		
7	22421		1	
8	12431	1		
9	22441		1	
10	12451	1		
11	22461		1	
12	12471	1		
13	22481		1	
14	23931		1	

### 3.6. Guia de planilha “cmin”

Conforme a imagem abaixo, a guia de planilha “cmin” deve ser preenchida com os professores na “Coluna A”, e na “Coluna B” deve-se informar a quantidade mínima de aulas que devem ministrar na semana, considerando que uma aula equivale a duas horas:

	A	B
1	ADNELSON	6
2	ANA_E_LILIANA	6
3	ANA_LOPES	6
4	ANA_MOURA	6
5	ANANIAS_NORONH	6
6	ANAZITA_LOPES	6
7	APARECIDA	6
8	ARLETE_OLIVEIRA	6

### 3.7. Guia de planilha “cmax”

Conforme a imagem abaixo, a guia de planilha “cmax” deve ser preenchida com os professores na “Coluna A”, e na “Coluna B” deve-se informar a quantidade máxima de aulas que devem ministrar na semana, considerando que uma aula equivale a duas horas:

	A	B
1	ADNELSON	10
2	ANA_E_LILIANA	10
3	ANA_LOPES	10
4	ANA_MOURA	10
5	ANANIAS_NORONH	10
6	ANAZITA_LOPES	10
7	APARECIDA	10
8	ARLETE_OLIVEIRA	10

### 3.8. Guia de planilha “chs”

A guia de planilha “chs” deve ser preenchida com as disciplinas na “Coluna A”, e na “Coluna B” deve-se informar a quantidade de aulas que terão no período letivo, considerando que uma aula equivale a duas horas, conforme ilustrado abaixo:

	A	B
1	IB	20
2	BG	30
3	QG	30
4	MA(A)	25
5	PPI(A)	35
6	CLP	30
7	BC	30
8	HA	30

### 3.9. Guia de planilha “ch”

A guia de planilha “ch” deve ser preenchida com as disciplinas na “Coluna A”, e na “Coluna B” deve-se informar a quantidade de aulas semanais da disciplina, considerando que uma aula equivale a duas horas, conforme ilustrado abaixo:

	A	B
1	IB	1
2	BG	2
3	QG	2
4	MA(A)	1
5	PPI(A)	2
6	CLP	2
7	BC	2
8	HA	1

### 3.10. Guia de planilha “disp”

Na guia de planilha “disp” deve-se informar os professores na “Coluna A” e deixar vazia a célula que faz o cruzamento do professor com o horário na semana caso o professor não tenha disponibilidade naquele horário, conforme ilustrado abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		seg						ter					
2		manha		tarde		noite		manha		tarde		noite	
3		h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2
4	ADNELSON	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
5	ANA_E_LILIANA	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
6	ANA_LOPES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	ANA_MOURA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	ANANIAS_NORONHA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	ANAZITA_LOPES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	APARECIDA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### 3.11. Guia de planilha “f”

Na guia de planilha “f” deve-se informar o valor 0 para a célula que faz o cruzamento de determinada semana do período letivo com o dia da semana para indicar que é um dia feriado, conforme ilustrado abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G
1		seg	ter	qua	qui	sex	sab
2	s1	0	0	0	1	1	1
3	s2	1	1	1	1	1	1
4	s3	1	1	1	1	1	1
5	s4	1	1	1	1	1	1
6	s5	1	1	1	1	1	1
7	s6	1	1	1	1	1	1
8	s7	1	1	1	1	0	1
9	s8	1	1	1	1	1	1
10	s9	1	1	1	1	1	1
11	s10	1	1	1	1	1	0
12	s11	1	1	1	1	1	1
13	s12	1	0	1	1	1	1
14	s13	1	1	1	1	1	1
15	s14	1	1	1	1	1	1
16	s15	1	1	1	1	1	1
17	s16	1	1	1	0	1	1
18	s17	1	1	1	1	1	1
19	s18	1	1	1	1	1	1
20	s19	1	1	1	1	1	1
21	s20	1	1	1	1	0	1

### 3.12. Guia de planilha “pref”

Na guia de planilha “pref” deve-se informar os professores na “Coluna A” e informar o valor 1 para a célula que faz o cruzamento do professor com o horário na semana caso o professor tenha preferência por aquele horário, como na imagem abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		seg						ter					
2		manha		tarde		noite		manha		tarde		noite	
3		h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2
4	ADNELSON												
5	ANA_E_LILIANA												
6	ANA_LOPES	1											
7	ANA_MOURA												
8	ANANIAS_NORONHA												
9	ANAZITA_LOPES					1							
10	APARECIDA												
11	ARLETE_OLIVEIRA												

### 3.13. Guia de planilha “dd”

Na guia de planilha “dd” deve-se informar as disciplinas na “Coluna A”, e na “Coluna B” informar o valor 1 caso a disciplina seja considerada difícil, como ilustrado abaixo:

	A	B
1	IB	
2	BG	
3	QG	
4	MA(A)	1
5	PPI(A)	
6	CLP	
7	BC	
8	HA	
9	FE(A)	1
10	MB	

### 3.14. Guia de planilha “de”

Na guia de planilha “de” deve-se informar as disciplinas na “Coluna A”, e na “Coluna B” informar o valor 1 caso a disciplina seja uma disciplina de estágio e precise ser alocada no final do período letivo, como ilustrado abaixo:

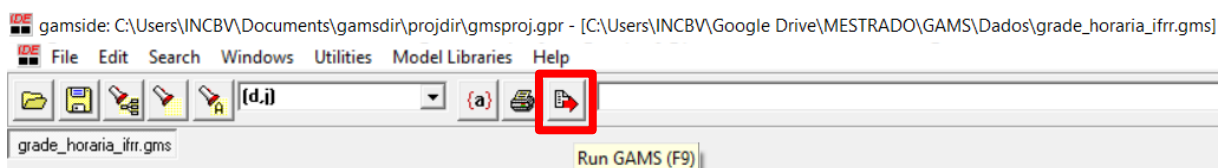
	A	B
16	PPV	
17	ECII	1
18	D	
19	PS(A)	
20	I	
21	ZDV	
22	PPVII	
23	EA(A)	
24	L	
25	ECIV	1
26	EV	

## 4. Solução do Modelo

Uma vez que a Planilha de Dados esteja com as informações dos cursos, deve-se colocá-la na pasta “C:\Users\NOME\_USUARIO\Documents\gamsdir\projdir”.

### 4.1. Execução do modelo

No GAMS<sup>®</sup>, o modelo pode ser executado clicando-se no botão destacado na figura abaixo ou apertando-se a tecla F9.



## 5. Organização dos resultados obtidos

Ao término da execução do modelo, o GAMS irá exportar os resultados para um arquivo Excel, ficando como na imagem abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1					seg	ter	qua	qui	sex	sab
2	MAI	s1	noite	h1					1	
3	MAI	s2	noite	h1					1	
4	MAI	s3	noite	h1					1	
5	MAI	s3	noite	h2					1	
6	MAI	s4	noite	h1					1	
7	MAI	s4	noite	h2					1	
8	MAI	s5	noite	h1					1	
9	MAI	s5	noite	h2					1	
10	MAI	s6	noite	h1					1	
11	MAI	s6	noite	h2					1	
12	MAI	s8	manha	h2						1
13	MAI	s8	noite	h1		1				
14	MAI	s9	manha	h1						1
15	MAI	s9	noite	h1		1				
16	MAI	s10	noite	h1			1			

Esses dados deverão ser copiados e, em seguida, colados a partir da “Coluna C” e “Linha 1” da planilha ilustrada abaixo, que contém o código VBA que organizará os resultados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1							seg	ter	qua	qui	sex	sab		
2			MAI	s1	noite	h1					1			
3			MAI	s2	noite	h1					1			Organizar
4			MAI	s3	noite	h1					1			
5			MAI	s3	noite	h2					1			Limpar
6			MAI	s4	noite	h1					1			
7			MAI	s4	noite	h2					1			
8			MAI	s5	noite	h1					1			Lotação
9			MAI	s5	noite	h2					1			
10			MAI	s6	noite	h1					1			
11			MAI	s6	noite	h2					1			
12			MAI	s8	manha	h2						1		
13			MAI	s8	noite	h1		1						
14			MAI	s9	manha	h1						1		
15			MAI	s9	noite	h1		1						

A planilha ilustrada acima possui uma outra guia em que a lotação deverá ser colada, uma vez que o código VBA utiliza essa lotação para organizar os dados, conforme apresenta a imagem abaixo:

	A	B	C
1	<b>PROFESSOR</b>	<b>TURMA</b>	<b>DISCIPLINA</b>
2	ROSIMEIRE	32111	IB
3	ROSA_MARIA	32111	BG
4	LEOVERGILDO_FARIAS	32111	QG
5	LEILIANE	32111	MA(A)
6	LEILIANE	32111	PPI(A)
7	PROFESSOR_X	32111	CLP
8	ROSA_MARIA	32111	BC
9	PEDRO_CALHEIROS	32131	HA
10	PAULO_RACOSKI	32131	FE(A)

Feito isso, deve-se clicar no botão “Lotação” para preencher as colunas “A” e “B” da planilha com a turma e professor, respectivamente, referentes à disciplina contida na coluna “C”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1							seg	ter	qua	qui	sex	sab		
2	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s1	noite	h1						1		Organizar
3	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s2	noite	h1						1		
4	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s3	noite	h1						1		
5	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s3	noite	h2						1		Limpar
6	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s4	noite	h1						1		
7	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s4	noite	h2						1		Lotação
8	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s5	noite	h1						1		
9	34411	NILRA_JAN MAI	MAI	s5	noite	h2						1		

Após isso, deve-se clicar no botão “Organizar” para estruturar os resultados obtidos em um formato com melhor visualização e interpretação dos dados, conforme ilustra a figura abaixo:

M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
													34411
	Organizar	Dia	Horário	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10
		Segunda	1		TB	TB	TB	TB	TB	TB	QA	QA	QA
			2		PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)	PI(A)
	Limpar	Terça	1		QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	MAI	MAI	MAI
			2		QA	QA	QA	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS
	Lotação	Quarta	1		AL(B)	AL(B)	AL(B)	QA	QA	QA	PI(A)	PI(A)	PI(A)
			2		TB	TB	TB	QA	QA	QA	QA	QA	QA
		Quinta	1	PI(A)	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC
			2	PI(A)	PI(A)	PI(A)	FI	FI	FI	FI	FI	BAS	BAS
		Sexta	1	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)
			2	TB	FI	MAI	MAI	MAI	MAI		AL(B)	AL(B)	AL(B)
		Sábado	1					FI	FI	FI		MAI	
			2				PI(A)	PI(A)			MAI		

Apenas os dias feriados precisarão ser coloridos manualmente. O botão “Limpar” apaga o conteúdo gerado pelo botão “Organizar”.

Finaliza-se assim a obtenção dos horários para cursos de graduação utilizando o modelo matemático.