

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO HENRIQUE DA SILVA

OTIMIZAÇÃO DO QUADRO DE HORÁRIOS DE PROFESSORES ATRAVÉS
DE UMA NOVA ABORDAGEM DO MODELO EXATO: ESTUDO DE CASO DO
IFPR – CAMPUS CURITIBA

CURITIBA

2016

BRUNO HENRIQUE DA SILVA

OTIMIZAÇÃO DO QUADRO DE HORÁRIOS DE PROFESSORES ATRAVÉS
DE UMA NOVA ABORDAGEM DO MODELO EXATO: ESTUDO DE CASO DO
IFPR – CAMPUS CURITIBA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin

CURITIBA


2016

TERMO DE APROVAÇÃO

BRUNO HENRIQUE DA SILVA

OTIMIZAÇÃO DO QUADRO DE HORÁRIOS DE PROFESSORES ATRAVÉS
DE UMA NOVA ABORDAGEM DO MODELO EXATO: ESTUDO DE CASO DO
IFPR – CAMPUS CURITIBA


Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Eng. De Produção, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela seguinte banca examinadora:



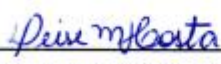
Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin (Orientador)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFPR



Prof. Dr. Robson Seteme
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFPR



Prof. Dr. Gustavo Valentim Loch
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFPR



Prof. Dra. Deise Maria Bertholdi Costa
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR

Curitiba, 29 de novembro de 2016

DEDICATÓRIA

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela iluminação e bênçãos neste caminho tão difícil.

Aos meus Pais, Sueli Aparecida Laverde da Silva e Alfeu Sidnei da Silva, por todo apoio e carinho ao longo da trajetória de toda a minha vida, sem vocês nada (nada mesmo) seria possível.

Ao Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin, por aceitar prontamente meu pedido de orientação, e que sempre com paciência me motivou e me orientou para a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva, por suas excelentes aulas de Implementação Computacional e sugestões, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao Grupo de Tecnologia Aplicada à Otimização (GTAO), excelente grupo de estudos, com uma maravilhosa estrutura e maravilhosos colegas, todos dispostos a ajudar e onde a troca de experiências é vivida dia a dia.

A todos os professores, mestre e doutores, que compartilharam seus conhecimentos e me ajudaram na escolha de uma carreira.

A todos da minha família, pois nossa família é nossa estrutura, é nosso alicerce, é a nossa base, pode ter certeza que cada um, perto ou distante, ajudou nessa caminhada direta ou indiretamente.

A minha companhia de todas as horas, minha amada namorada Renata Pires da Silva, que me ajudou muito, levantando minha cabeça sempre que estava desanimado, me dando seu incansável apoio e me motivando durante todos esses turbulentos e nebulosos dias.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”

Walter Savage Landor

RESUMO

As instituições de ensino precisam organizar a grade horária de aulas, para que os professores saibam em quais turmas e em que dias irão trabalhar. O problema em obter a grade horária é conciliar todas as aulas que os professores devem ministrar em uma turma nos horários disponíveis da mesma. Esse assunto será tratado com o uso de modelagem exata, com três modelos matemáticos de Programação Linear Inteira e Binária, com funções objetivo diferentes. A primeira proposta de solução apresentada neste trabalho é utilizar um modelo com o objetivo de reduzir a quantidade de dias de efetivo ensino em sala pelos os professores. O segundo modelo proposto tem o objetivo de melhorar a distribuição das aulas obtida na solução do modelo anterior. Também é proposto um terceiro modelo com o objetivo de reduzir a quantidade de dias de efetivo ensino em sala pelos professores e melhorar as distribuições ao mesmo tempo. A nova abordagem, utilizada nestes três modelos, é caracterizada por possuir padrões de distribuição de aulas e também uma variável chamada Super Professor, que penaliza a função objetivo, mas que quando designada informa qual é a relação professor e turma que está inviabilizando a solução do problema. Os resultados obtidos pela abordagem adotada neste trabalho são factíveis, mas não são ótimos. O terceiro modelo atingiu um resultado pior em relação ao primeiro modelo e melhor em relação ao segundo, quando comparados os valores objetivos.

Palavras-chave: quadro de horários, Programação Linear Inteira Binária, *Timetabling problem*, padrões de distribuição

ABSTRACT

At the beginning of every semester educational institutions must organize their classes' timetables in order to notify the teachers when and in which classes they will work. One of the major problems during the timetable planning is to conciliate all classes that the professors must teach at a course with its available timetable. This problem will be handled making use of exact modelling with three Integer and Binary Linear Programming models with different objective functions. The first solution method aims to decrease the total amount of teaching days of the professors. The second model aims to improve the classes distribution obtained with the previous solution. It is also proposed a third model which aims to minimize the professors' teaching days and improve the classes distribution simultaneously. The new approach, used in these three models, is characterized for having a distributions patterns of classes and a variable known as Super Teacher, which penalizes the objective function but when is assigned informs what is the relation between teachers and classes that makes the problem's solution infeasible. The results obtained with the adopted approach in this study are feasible, but aren't the optimal value. When the objective values achieved were compared, the third model reached a better result than the second one but a worse outcome than the first model.

Keywords: timetabling; Binary Integer Linear Programming; Super Teacher, standards classes distribution

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - LISTA DE TURMAS	21
QUADRO 2 - LISTA DE PROFESSORES	22
QUADRO 3 - BASE DE DADOS DO CURSO DE ADMINISTRAÇÃO TURMA 1 (ADM1).....	23
QUADRO 4 - GRADE HORÁRIA INICIAL DE ADM1, TURNO MANHÃ	25
QUADRO 5 - GRADE HORÁRIA INICIAL DE ADM1, TURNO TARDE (CONTRA TURNO)	25
QUADRO 6 - DISTRIBUIÇÃO DAS TURMAS NO CONTRA TURNO	26
QUADRO 7 - DISPONIBILIDADE DE HORÁRIO DO PROFESSOR R04	27
QUADRO 8 - DISPONIBILIDADE DO PROFESSOR P04	28
QUADRO 9 - QUADRO RESUMO, QUANTIDADE DE AULAS PROFESSOR/TURMA	29
QUADRO 10 - QUANTIDADE DE DIAS DE DIVISÃO DE AULAS	29
QUADRO 11 - PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE AULAS POR PROFESSOR/TURMA	32
QUADRO 12 - DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES, PARÂMETROS E VARIÁVEIS DO MODELO DA SEÇÃO 4.1	58
QUADRO 13 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR M01, TURNOS MANHÃ E TARDE	62
QUADRO 14 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR M03, TURNO DA MANHÃ	63
QUADRO 15 - EXEMPLO DE PARÕES PARA EXPLICAÇÃO DO CONTUNTO DE RESTRIÇÕES (24).....	64
QUADRO 16 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR P04, SOMENTE TURNO DA TARDE	66
QUADRO 17 - QUADRO DE HORÁRIOS DA TURMA PF1, TURNO DA TARDE	66
QUADRO 18 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR H01, TURNOS MANHÃ E TARDE	67
QUADRO 19 - DISPONIBILIDADE DO PROFESSOR E03	70

QUADRO 20 - DISTRIBUIÇÃO DE HORÁRIO OBTIDO PARA O PROFESSOR E03 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO REDUZIR DIAS ..	70
QUADRO 21 - INDISPONIBILIDADE DE HORÁRIOS DO PROFESSOR E02..	71
QUADRO 22 - DISTRIBUIÇÃO DE HORÁRIO OBTIDO PARA O PROFESSOR E02 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO REDUZIR DIAS ..	71
QUADRO 23 - TRATAMENTO DA RESPOSTA OBTIDA PARA O PROFESSOR E05 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO REDUZIR DIAS ..	72
QUADRO 24 - DISTRIBUIÇÃO DE HORÁRIO OBTIDO PARA O PROFESSOR E05 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO MELHORAR DISTRIBUIÇÃO.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
1.3	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	16
1.4	ESTRUTURA.....	16
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	18
2.1	O ESTUDO DE CASO.....	19
2.1.1	Coleta de dados.....	21
2.1.2	Tratamento de dados.....	28
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	33
3.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	34
3.2	MODELO MATEMÁTICO.....	35
3.3	HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS.....	40
3.4	TRABALHOS CORRELATOS.....	43
4	METODOLOGIA.....	58
4.1	MODELO MATEMÁTICO.....	60
4.2	FUNÇÕES OBJETIVO UTILIZADAS E RESULTADOS.....	68
4.2.1	Reduzir dias.....	69
4.2.2	Melhorar a distribuição.....	72
4.2.3	Reduzir dias e melhorar distribuição.....	73
5	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICES.....	83
	Apêndice A: Horário de disponibilidade dos professores.....	83
	Apêndice B: Quadro resumo: quantidade de aulas professor x turma.....	99
	Apêndice C: Quadro de horário dos professores obtido utilizando o modelo de Função Objetivo Reduzir Dias (37).....	102

Apêndice D: Quadro de horário dos professores obtido utilizando o modelo de Função Objetivo Melhorar Distribuição (38).....	124
Apêndice E: Quadro de horário dos professores obtido utilizando o modelo de Função Objetivo Reduzir Dias e Melhorar distribuição (39)	146

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação apresenta uma nova abordagem para o problema de distribuição de horários entre professores e turmas no contexto de uma Instituição de Educação Tecnológica do Estado do Paraná, situado na cidade de Curitiba. Para a resolução deste problema é desenvolvida uma nova abordagem por método exato.

O problema de distribuição de horários é comum às instituições de ensino em todo início de período, pois é necessário alocar um professor para cada turma num determinado período chamado de hora-aula (ANDRADE, 2014; KOTSKO; STEINER; MACHADO, 2003; OLIVEIRA; VIANNA; VIANNA, 2012; SANTOS; SOUZA, 2007; SOUSA; MORETTI; PODESTÁ, 2008). Em alguns casos, é necessário realizar pequenos ajustes na grade de horários durante o período letivo. Estes são os motivos que justificam a utilização de um modelo computacional (FERREIRA et al., 2011; NETTO, 2011).

Para cada situação é necessária uma averiguação profunda das restrições e dos métodos que serão utilizados para resolver o problema, pois cada instituição tem sua particularidade. Em alguns casos, os professores são escalados a dar aula em determinada turma com um horário já definido interferindo em outros horários. Em outros casos, o horário precisa ser totalmente definido, assim como, o professor precisa ser designado para trabalhar com a turma. Também existem casos em que nem os horários estão determinados e nem o corpo docente está completo, onde é necessário, após uma solução inicial obtida por algum método heurístico ou não, realizar alterações nos horários no decorrer do ano letivo.

Há instituições que possuem a característica de horários bem flexíveis para que seus professores participem de cursos de extensão e formação continuada, enriquecendo sua formação e qualificando o corpo docente da instituição. Este caso ocorre no Instituto Federal do Paraná – Campus Curitiba, instituição utilizada no estudo de caso, que incentiva a prática da pesquisa e extensão entre seus docentes.

A falta de conhecimento ou até mesmo de pessoal capacitado faz com que muitas instituições ainda adotem o método manual para resolver o problema de distribuição de horários. Mas essa resolução empírica é muito demorada e acaba gerando, na maioria dos casos, insatisfação entre os professores (ANDRADE, 2014).

O avanço da tecnologia possibilita que sejam criados modelos com melhor otimização, pois os *hardwares* tornaram-se mais robustos e capazes de processar uma maior quantidade de operações e informações.

Na determinação do quadro horário, um dos problemas encontrados é a formação de “janelas” entre aulas de um mesmo professor em uma mesma turma (OLIVEIRA; VIANNA; VIANNA, 2012). Deste modo, para evitar que sejam distribuídas aulas com horários vagos entre elas, sendo aulas de um mesmo professor em uma mesma turma, é proposto neste trabalho padrões de distribuição de aulas. Esses padrões são formas de se distribuir as aulas no turno e dia, de forma a combinar a quantidade de aulas e os horários disponíveis para efetuar essas distribuições. Assim, o padrão de distribuição de uma aula, no primeiro horário, é diferente do padrão de distribuição de uma aula no segundo horário do turno.

Para cada quantidade de aula existem padrões de distribuição de aulas, determinando em quais horários as aulas serão designadas. Contudo, esses padrões foram criados de forma a deixar, para o caso de mais de uma aula, todas as aulas em horários seguidos. Ou seja, os padrões de distribuição de aulas evitam que sejam criadas “janelas” entre as aulas de um mesmo professor em uma mesma turma.

A maior frustração na execução de um modelo para resolver um problema é de se obter uma solução infactível, ou seja, uma solução que não consegue conciliar todas as restrições, gerando para o caso de quadro de horários incompatibilidade de horários (MOURA et al., 2004). Quando isso acontece, é necessário ou alterar o modelo, pois ele pode estar errado, ou alterar a base de dados. No segundo caso, quando possível, muitas vezes não se tem o conhecimento de onde a alteração pode ser realizada.

Neste trabalho é apresentado uma maneira de se determinar para qual professor ou turma a solução está se tornando infactível, pois para cada professor é criado uma variável que representa um “clone” que não tem indisponibilidade de horários, disposto a assumir as aulas que não podem ser designadas para o professor devido ao fato de incompatibilidade de horários, do professor ou da turma. O nome dado neste trabalho para esta variável é Super Professor, que indica quantas aulas não estão sendo designadas para um determinado professor em uma turma. O uso desta variável é penalizado na função objetivo, de modo que ela só será usada em real necessidade, isto é, o problema, caso ao menos uma dessas variáveis sejam utilizadas, seria inviável.

Serão utilizados três modelos com o mesmo conjunto de restrições, mas que diferem na função objetivo. A primeira função objetivo utilizada tem como finalidade a redução da quantidade de dias e turnos de trabalho dos professores em geral. O resultado gerado com o modelo desta função objetivo é indicado como solução inicial para um outro modelo que tem como função objetivo efetuar uma melhor distribuição dos horários nos mesmo dias já designados. Por fim, o modelo com a terceira função objetivo é a união das duas funções anteriores com objetivo a redução dos dias e turnos de trabalho dos professores, melhorando a distribuição das aulas nesses dias.

A utilização das duas primeiras funções objetivos em sequência não apresentam o mesmo resultado da utilização direta da terceira função objetivo. Isso se deve ao fato de a terceira função objetivo efetuar as melhorias das distribuições de aulas em tempo de processamento, podendo ainda efetuar trocas das distribuições de aulas já efetuadas.

Os resultados obtidos na execução dos três modelos são satisfatórios por não apresentarem incompatibilidades de horários, ou seja, por não utilizarem a variável Super Professor.

1.1 OBJETIVOS

São aqui apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor uma nova abordagem por método exato de programação linear inteira e binária para resolução do problema de distribuição de horários de professores em uma Instituição de Educação Tecnológica do Estado do Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir este objetivo geral são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever as características do problema *School Timetabling*;
- Explicar as características do estudo de caso do Instituto Federal do Paraná, Campus Curitiba;
- Propor três modelos exatos para a resolução do problema de distribuição de horários;
- Analisar as soluções obtidas e apontar as diferenças

1.2 JUSTIFICATIVA

A organização do horário de aulas nas instituições de ensino é realizada a cada início de período e também quando se quer realizar pequenos ajustes. Essa tarefa deve ser automatizada, desfrutando do ganho computacional que a tecnologia pode oferecer. Portanto, uma ferramenta com características de resolução de problemas de *timetabling* auxilia as instituições de ensino na tomada de decisão referente ao quadro de horários.

Para escolas de ensino médio, principalmente do setor público, geralmente as turmas tem aulas somente no turno do qual elas pertencem. Este trabalho abrange a característica peculiar de uma instituição que as turmas têm aula

também no contra turno. Apesar do modelo proposto ser construído com base nesta característica, ele pode ser adaptado para outras situações.

Nos casos em que a resposta obtida é infactível, pode-se perceber o principal ganho da modelagem proposta, pois neste caso, o modelo indica em que situação está acontecendo a inviabilidade da solução. Com essa informação, é possível fazer as devidas alterações para a correta resolução do problema.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A presente pesquisa se restringe a encontrar uma solução para o problema de distribuição de quadro de horários com o uso de uma nova abordagem por método exato de programação linear inteira e binária. A verificação dos horários obtidos e os ajustes que precisam ser realizados para as trocas de horários solicitados por professores, assim como a alocação das turmas nas salas, que são de natureza gerencial, não fazem parte deste trabalho.

Com a devida proposta de solução é realizado uma verificação para viabilizar a resposta, mas o aceite e possíveis ajustes, como por exemplo a troca direta de horários entre os professores, são de responsabilidade da coordenação da instituição.

1.4 ESTRUTURA

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos, o primeiro traz a introdução, bem como o escopo da pesquisa e seus objetivos.

O Capítulo 2 mostra a descrição do problema, como é tratado o problema do *Timetabling* e o estudo de caso abordado nesse trabalho, da coleta de dados ao tratamento e pré-processamento das informações.

O Capítulo 3 traz a revisão de literatura, contemplando a distribuição de encargos didáticos por método exato, com dois exemplos de modelos da literatura, bem como por meios heurísticos e metaheurísticos, citando alguns trabalhos correlatos.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da presente pesquisa está apresentada no Capítulo 4. Neste capítulo também serão apresentados os resultados obtidos com a utilização de cada modelo e uma comparação entre essas abordagens.

Por fim no Capítulo 5 é realizada a discussão a respeito dos resultados obtidos, das dificuldades encontradas para resolver o problema e as sugestões para trabalhos futuros.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O Problema de Programação de Horários Educacionais (PPHE), também conhecido como *School Timetabling*, enquadra-se em problemas de Otimização Combinatória (OC) com complexidade NP-Difícil e de grande relevância na área de Pesquisa Operacional (PO) (ANDRADE, 2014; CARVALHO, 2011; GÓES, 2005; MOURA et al., 2004; NETTO, 2011; SANTOS; SOUZA, 2007).

A programação de horários, também chamada de *timetabling*, é o problema de se alocar ou designar determinados recursos, em um período ou horário específico. Pode ser o escalonamento de atividades e tarefas, ou a determinação de escalas de trabalho, ou também a programação de saída ou chegada de veículos em um ramo de transporte. A programação de horários pode, ainda, indicar a relação entre evento, horário e recurso que deve ser obedecida sem violar restrições pré-definidas (ALMEIDA, 2015; ANDRADE, 2014; BORGES, 2003; GREEN, 1999).

Timetabling é, portanto, um problema de definição de horários de um determinado evento, sob instâncias de vários recursos, em janelas de tempo pré-determinadas. Quando consideramos o evento como sendo um encontro de um professor e uma turma (aula), o horário como sendo o próprio horário de aula e os recursos os sujeitos envolvidos nesse evento, no caso os professores e as turmas, o problema é denominado de *School Timetabling* (DASKALAKI; BIRBAS; HOUSOS, 2004; KRISTIANSEN; SØRENSEN; STIDSEN, 2015; LAWRIE, 1969; MUGGY; EASTON, 2015; RIBEIRO FILHO; LORENA, 2006; SOUSA; MORETTI; PODESTÁ, 2008).

Consideramos professores e turmas como os recursos do problema, pois eles geram várias restrições devido as suas necessidades particulares: as turmas devem ter um professor ministrando uma disciplina em cada horário de aula, em uma quantidade de aulas semanais; os professores possuem restrições e preferências quanto aos seus horários e precisam cumprir a carga horária da disciplina que lecionam; um mesmo professor não pode ser designado a dar aulas para duas turmas diferentes em um mesmo horário; existe uma quantidade

máxima de aulas de uma disciplina no mesmo dia; entre outras restrições que serão melhor explicadas ao longo do texto com a ajuda de exemplos de situações estudadas.

2.1 O ESTUDO DE CASO

Este trabalho irá desenvolver uma nova abordagem, usando o método exato, para a resolução do problema de distribuição de horários dos professores do Instituto Federal do Paraná (IFPR), Campus Curitiba. Nesta subseção, tratamos de examinar as particularidades da Instituição nas questões envolvidas na programação do quadro de horários. Procuramos deixar especificado todos os pontos que diferem de outras instituições de ensino, bem como explicar a forma que foi realizado a coleta e tratamento dos dados para aplicação no modelo e resolução do problema.

No IFPR há uma grande quantidade de professores, no entanto, eles possuem diversos compromissos na instituição, com atividades administrativas e de pesquisa; o que ocasiona em um extenso número de restrições de horários. Essas restrições de horários são informadas à instituição pelos próprios professores, através de um formulário para esse específico fim.

Uma característica que diferencia esta instituição de ensino de outras instituições citadas em trabalhos correlatos é o fato dos turnos da manhã e da tarde terem 6 horas-aula cada, ao invés de 5 horas-aula que é o caso mais comum para escolas de ensino médio. As aulas do turno da manhã se iniciam às 7h15 e vão até 12h30, com intervalo de 15 minutos entre a terceira e a quarta aula. As aulas do turno da tarde começam às 13h15 e terminam às 18h30, também com horário de 15 minutos entre a terceira e a quarta aula. Cada hora-aula tem 50 minutos no relógio. Essa questão de a hora-aula ser diferente da hora-relógio não faz parte da discussão desse trabalho, sendo aceita da forma como a instituição específica.

A oferta no Campus Curitiba nos turnos da manhã e tarde é de cursos técnicos integrados ao ensino médio e cursos técnicos subsequentes, mas

somente os cursos que envolvem o ensino médio é que delimitam as turmas estudadas nesse trabalho. São ao total, em ambos os turnos, 24 turmas de curso técnico integrado ao ensino médio. A instituição também oferece cursos superiores e subsequentes no turno da noite. As aulas do período da noite não fazem parte deste estudo. Portanto os horários das aulas dos cursos técnicos subsequentes e cursos superiores serão definidos pela própria instituição, de uma maneira que não será abordada neste trabalho.

Tanto no turno matutino, quanto no turno vespertino tem-se disponíveis 30 horas-aula por semana. No entanto, muitas turmas tem uma carga horária superior a este valor. Assim sendo, é necessário a oferta de contra turno nestas turmas que excedem esta carga horária em seu turno habitual. Essa característica de aulas no contra turno também é muito específica da referida instituição de ensino.

Um dos problemas encontrados na distribuição de aulas do IFPR é um professor ministrar a última aula do turno matutino e a primeira aula do turno vespertino, restando um intervalo de apenas 45 minutos para almoço do professor. Então, um dos cuidados que deve ser levado em consideração é a não ocorrência da distribuição da última aula do turno da manhã e a primeira aula do turno da tarde para um mesmo professor em um mesmo dia.

Uma ocasião que pode acontecer é de o professor não ter aula, por exemplo, antes das 11h40 e optar em ter a última aula da manhã e a primeira aula da tarde. Ou também de o professor não ter aula depois das 14h05 e considerar aceitável ter sua primeira aula da tarde alocada em um mesmo dia das aulas da manhã que terminam às 12h30. Estas situações não serão consideradas no presente trabalho.

Essa questão de aulas finalizadas no último horário do turno da manhã e iniciadas no primeiro horário do turno da tarde, com um intervalo de 45 minutos, consideravelmente pouco tempo para almoço, também gera restrições para os horários das turmas que precisam de aulas no contra turno. Portanto, nem os professores nem as turmas devem ter aulas distribuídas nesta configuração acima citada.

Devido a utilização de laboratórios, algumas disciplinas tem o horário fixo, determinado pelas coordenações dos cursos. Esses horários fixos podem ser vistos como uma delimitação dos horários disponíveis para a distribuição de outras aulas.

A disciplina de Educação Física também tem suas aulas com horário fixo, por causa da quadra poliesportiva, que é a única da instituição, portanto, os horários da quadra devem ser bem distribuídos para seu melhor aproveitamento de aulas pelas turmas.

2.1.1 Coleta de dados

Os dados foram obtidos junto da instituição de ensino e organizados em planilhas eletrônicas.

Ao todo, nos períodos da manhã e tarde, são 24 turmas de ensino médio com técnico integrado a serem atendidas na distribuição dos horários, elencadas no QUADRO 1.

QUADRO 1 - LISTA DE TURMAS
FONTE: O AUTOR (2016)

CodCur	Curso	CodCur	Curso
1	ADM1	13	JD1
2	ADM2	14	JD2
3	ADM3	15	JD3
4	C1	16	MEC1
5	C2	17	MEC2
6	C3	18	MEC3
7	ELE1	19	PEG1
8	ELE2	20	PEG2
9	ELE3	21	PEG3
10	I1	22	PF1
11	I2	23	PF2
12	I3	24	PF3

A sigla ADM corresponde ao curso de Administração, C - Contabilidade, ELE – Eletrônica, I – Informática, JD – Jogos Digitais, MEC – Mecânica, PEG – Petróleo e Gás, PF – Processos Fotográficos. Cada sigla é acompanhada dos números 1, 2 e 3, que correspondem ao ano de cada turma. Deste modo, ADM1 representa a turma do primeiro ano do curso de Técnico em Administração Integrado ao Ensino Médio, ADM2 representa a turma do segundo ano do curso de Técnico em Administração Integrado ao Ensino Médio, e assim por diante. Cada turma está relacionada à um único número (CodCur), sendo esta a forma de identificação da turma no modelo matemático utilizado.

Ao todo o IFPR, Campus Curitiba, conta com 98 professores, sendo 23 destes com apenas aulas fixas (como por exemplo os professores de Educação Física). Os 75 professores que possuem aulas não fixas também foram organizados em uma tabela, em ordem alfabética, cada um bi univocamente relacionado a um número, QUADRO 2. Portanto, cada professor recebe apenas um número (CodProf), de 1 a 75, que será a sua identificação no modelo matemático. Seus nomes foram omitidos e trocados por códigos.

QUADRO 2 - LISTA DE PROFESSORES

FONTE: O AUTOR (2016)

CodProf	Nome	CodProf	Nome	CodProf	Nome	CodProf	Nome	CodProf	Nome
1	A01	16	C06	31	F03	46	L05	61	R03
2	A02	17	C07	32	G01	47	M01	62	R04
3	A03	18	C08	33	G02	48	M02	63	S01
4	A04	19	D01	34	G03	49	M03	64	S02
5	A05	20	D02	35	G04	50	M04	65	S03
6	A06	21	D03	36	H01	51	M05	66	S04
7	A07	22	D04	37	I01	52	M06	67	T01
8	A08	23	D05	38	J01	53	P01	68	T02
9	A09	24	E01	39	J02	54	P02	69	T03
10	B01	25	E02	40	J03	55	P03	70	T04
11	C01	26	E03	41	J04	56	P04	71	V01
12	C02	27	E04	42	L01	57	P05	72	V02
13	C03	28	E05	43	L02	58	P06	73	V03
14	C04	29	F01	44	L03	59	R01	74	W01
15	C05	30	F02	45	L04	60	R02	75	W02

Desses 75 professores, alguns já possuem aula fixa. Os professores que têm somente aulas fixas serão chamados de FixoI, sendo I um número de 1 a 23, mas não serão vinculados a nenhum código, pois não é necessário distribuir aulas para eles.

Cada turma têm uma carga horária específica, com disciplinas específicas, sendo algumas dessas disciplinas fixas. A quantidade de aulas semanais necessárias de cada disciplina e o professor que ministrará essa aula também é informado pela instituição. De posse a todas essas informações, foi construído uma base de dados, que relaciona turmas, professores, disciplinas, quantidade de aulas e se a aula é ou não fixa, conforme exemplificado no QUADRO 3, que representa essa base de dados para a turma do primeiro ano de Administração.

A primeira coluna corresponde ao curso e turma, a segunda a disciplina que será ministrada nessa turma e a terceira a quantidade de aulas semanais desta disciplina. O nome do professor que ministra esta matéria para esta turma está na quarta coluna. Na quinta coluna as células marcadas como “Fixo” representam que aquela matéria é fixa, ou seja, não serão distribuídas suas aulas, uma vez que elas têm horários fixos, devido a necessidade de uso de Laboratório, quadra poliesportiva ou outra sala especial, ficando a cargo da Instituição a distribuição dessas aulas, antes da distribuição do restante das aulas, como explicado anteriormente. A sexta e a sétima coluna são determinadas pelo sistema, usando o QUADRO 2 e QUADRO 1, respectivamente, para indicar os códigos internos dos professores e cursos a ser utilizado no modelo matemático.

QUADRO 3 - BASE DE DADOS DO CURSO DE ADMINISTRAÇÃO TURMA 1 (ADM1)
 FONTE: O AUTOR (2016)

Curso	Matéria	Quantidade	Professor	Horário	CodProf	CodCur
ADM1	Artes	1	L02		43	1
ADM1	Biologia	2	F03		31	1
ADM1	Contabilidade Básica	2	E05		28	1
ADM1	Economia e Mercados	1	C05		15	1
ADM1	Educação Física	2	Fixo11	Fixo		1
ADM1	Física	3	J02		39	1

(continua)

(conclusão)

ADM1	Geografia	2	L01		42	1
ADM1	História	2	E03		26	1
ADM1	Informática Instrumental	2	L04	Fixo		1
ADM1	Língua Espanhola	2	H01		36	1
ADM1	Língua Portuguesa	3	F01		29	1
ADM1	Matemática	3	B01		10	1
ADM1	Química	2	A04		4	1
ADM1	Rotinas Administrativas	2	P06		58	1
ADM1	Sociologia 1sem	2	M05		51	1
ADM1	TGA	2	Fixo28	Fixo		1

Do QUADRO 3 podemos verificar ainda que a turma AMD1 possui 6 aulas fixas de um total de 33 aulas de sua carga horária semanal. Ou seja, é necessário distribuir 27 aulas para essa turma. Como cada turno tem 6 horários de aula, e a semana de aula tem 5 dias, o total de aulas disponíveis em cada turno é 30. Portanto, a turma ADM1 precisa de 3 aulas no turno que não é o padrão para a turma, chamado de contra turno. Mas é necessário saber, antes de tudo, quais são os horários em que as aulas fixas já estão agendadas.

Do QUADRO 4, que mostra as aulas fixas da turma ADM1, notamos que a disciplina de Educação Física será ministrada pelo professor Fixo11 na quinta-feira, nos dois últimos horários do turno da manhã, para a turma ADM1 e que a disciplina TGA está agendada para sexta-feira, nos terceiro e quarto horários, também do turno da manhã, a ser ministrada pelo professor Fixo28 ou pelo professor Fixo15. A decisão de qual professor dará essa aula pertence à Instituição e não interfere em nada na resolução da distribuição de horários abordado neste trabalho. Já a disciplina de Informática Instrumental será ministrada na segunda-feira, nos dois primeiros horários do turno da manhã pelo professor L04. Essas duas aulas do professor L04 não constam no total de aulas para distribuir, pois são aulas fixas. Foram criadas as restrições desses horários para esse professor, para que não fossem distribuídas outras aulas nesses horários.

QUADRO 4 - GRADE HORÁRIA INICIAL DE ADM1, TURNO MANHÃ
 FONTE: A INSTITUIÇÃO (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	Informática Instrumental - L04				
2	Informática Instrumental - L04				
3					TGA - Fixo28 / Fixo15
4					TGA - Fixo28 / Fixo15
5				Educação Física - Fixo11	
6				Educação Física - Fixo11	

Portanto, as 27 aulas de ADM1 que precisam ser distribuídas, não podem ser alocadas nos dois primeiros horários de segunda-feira, nos dois últimos horários de quinta-feira e nos terceiro e quarto horários de sexta-feira, no turno da manhã, pois já estão designadas para as disciplinas fixas de Informática Instrumental, Educação Física e TGA, respectivamente. Restam no turno da manhã 24 horários livres. Desta forma, é necessário distribuir 3 aulas no turno da tarde, QUADRO 5.

QUADRO 5 - GRADE HORÁRIA INICIAL DE ADM1, TURNO TARDE (CONTRA TURNO)
 FONTE: O AUTOR (2016)

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	X	X	X	X	X
2		X	X	X	X
3		X	X	X	X
4		X	X	X	X
5	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X

Para evitar que sejam distribuídas mais que três aulas no contra turno e que essas três aulas fiquem designadas em dias diferentes, é escolhido e fixado 1 dia na semana para a turma. Para a turma ADM1, foi designado o dia de segunda-feira, nos horários 2, 3 e 4, para respeitar o horário de almoço da turma,

conforme discutido na seção 2.2. Todos os outros horários recebem uma marcação (“X”), indicando que não é possível designar aulas nesses horários.

Essa escolha do dia de contra turno foi realizada de forma aleatória e uniforme. Essa preocupação é devido ao fato de quanto mais turmas estão no contra turno, mais salas são utilizadas nas dependências da instituição. Não seria possível colocar todas as turmas de contra turno na segunda feira, pois faltariam salas de aula. É importante ressaltar que essa escolha interfere na distribuição das aulas e que uma alteração nesse parâmetro poderá ser determinante para a viabilização da solução. Foi realizado um levantamento para colocar essas condições no modelo, mas essa alternativa foi refutada, podendo ser considerada em um próximo trabalho.

De acordo com o levantamento realizado, 2 turmas não precisam de aulas no contra turno pois já têm a possibilidade de distribuir todas as suas aulas no próprio turno. No turno da manhã, uma turma já tem aula fixa programada, assim como no turno da tarde. Do restante, 10 turmas precisam de contra turno de manhã e 10 à tarde. Algumas turmas necessitam de mais de um dia de contra turno. Foram designados então os dias de contra turno de cada turma, de forma a deixar melhor distribuído a quantidade de turmas por dia, como resume o QUADRO 6.

QUADRO 6 - DISTRIBUIÇÃO DAS TURMAS NO CONTRA TURNO
 FONTE: O AUTOR (2016)

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Manhã	ELE1	ELE2	JD1	ELE2	JD3 (Fixo)
	ELE3	ELE3	JD2 (Fixo)	JD1	
	JD2	JD1	JD3 (Fixo)	JD2 (Fixo)	
	JD3 (Fixo)	JD2 (Fixo)	MEC1	MEC1	
	MEC2	MEC2	PF2	MEC3	
	PF1				
Tarde	ADM1	C1	ADM2	C2	
	I2 (Fixo)	C2	ADM3	I1	
	I3 (Fixo)	PEG3	PEG1	I2	
	PEG2 (Fixo)			PEG2	

As turmas foram distribuídas, quanto ao contra turno, de segunda-feira à quinta-feira, pois na sexta-feira a instituição promove a oferta de disciplinas de dependência. A turma JD3 possui contra turno na sexta-feira no turno da manhã, mas essas aulas são fixas, ou seja, essas aulas foram programadas pela própria instituição.

Essa disposição do quadro de contra turno foi construída de forma intuitiva, mas tentando usar um bom senso na distribuição. Essa configuração proposta não é a única que torna a solução viável, mas uma vez encontrada foi mantida, pois esse não é o foco principal da metodologia abordada.

Para cada professor também foi desenvolvido um quadro com informações de suas disponibilidades, informado pelos próprios professores em formulário específico. Portanto, a Instituição faz uma solicitação da disponibilidade de horário para cada professor, que preenche o formulário marcando um “x” no horário de indisponibilidade, QUADRO 7.

QUADRO 7 - DISPONIBILIDADE DE HORÁRIO DO PROFESSOR R04
 FONTE: A INSTITUIÇÃO (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	2	x				
3				x		3	x				
4				x		4	x				
5				x		5	x				
6				x	x	6	x				

Conclui-se do QUADRO 7 que o professor R04 não está disponível para dar aulas nos dois primeiros horários de todos os dias de manhã, assim como no primeiro horário de todos os dias à tarde. Também não está disponível no último horário de sexta-feira e também em todos os horários da quinta-feira de manhã e da segunda-feira à tarde.

Caso o professor já tenha uma aula fixa pré-determinada pela coordenação, como no caso do professor P04, QUADRO 8, essa aula fixa

também é considerada como um horário de indisponibilidade, já que não será possível alocar outra aula no mesmo horário.

Portanto, além da indisponibilidade de dar aulas no primeiro horário e no último horário de todos os dias do turno da manhã, o professor P04 não pode ter aulas designadas nos segundo, quinto e sexto horários de terça-feira e segundo e terceiro horários de quarta-feira, do turno vespertino, por conta das aulas fixas já agendadas pela instituição.

QUADRO 8 - DISPONIBILIDADE DO PROFESSOR P04
FONTE: A INSTITUIÇÃO (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x	x	x	1					
2						2		PF3	PF1		
3						3			PF1		
4						4					
5						5		PF2			
6	x	x	x	x	x	6		PF2			

2.1.2 Tratamento de dados

De posse dos dados coletados, gerei um quadro capaz de resumir as informações de quantidade de aulas de cada professor em cada turma, QUADRO 9, denominado neste trabalho de Quadro Resumo.

Este Quadro Resumo fornece a informação da quantidade de aulas que cada um dos 75 professores tem em cada uma das 24 turmas. Desta forma, podemos afirmar que o professor A01 tem 2 aulas na turma ADM2, representado pelo número 2, mas não tem nenhuma aula na turma PEG3, representado pelo número 0, por exemplo.

A última coluna do QUADRO 9 representa a quantidade total de aulas de cada professor, assim como a última linha representa a quantidade total de aulas em cada turma.

QUADRO 9 - QUADRO RESUMO, QUANTIDADE DE AULAS PROFESSOR/TURMA
 FONTE: O AUTOR (2016)

		ADM1	ADM2	ADM3	CON1	CON2							Total
		1	2	3	4	5	PEG1	PEG2	PEG3	PF1	PF2	PF3	Aulas do Professor
CodCur	CodProf	1	2	3	4	5	19	20	21	22	23	24	
A01	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	8
A02	2	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	10
A03	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4
A04	4	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8
A05	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
A06	6	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	9
A07	7	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	8
A08	8	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	13
		⋮					⋮						
T02	68	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
T03	69	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6
T04	70	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	2	14
V01	71	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	2	10
V02	72	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	8
V03	73	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	8
W01	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
W02	75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	6
Aulas para distribuir		27	28	28	31	32	23	24	24	22	22	20	
Aulas Fixas		6	4	3	4	3	12	13	11	13	13	9	
Total de aulas da turma		33	32	31	35	35	35	37	35	35	35	29	

A penúltima linha indica a quantidade de aulas fixas e a linha anterior a essa indica a quantidade total de aulas da turma que precisa ser distribuída no quadro de horários. O professor V01, por exemplo, tem um total de 10 aulas e a turma PEG2 tem 24 aulas para serem organizadas no quadro de horários e mais 13 fixas pela instituição, totalizando 37 aulas por semana.

QUADRO 10 - QUANTIDADE DE DIAS DE DIVISÃO DE AULAS
 FONTE: O AUTOR (2016)

		ADM1	ADM2	ADM3	CON1	CON2							
		1	2	3	4	5	PEG1	PEG2	PEG3	PF1	PF2	PF3	
CodCur	CodProf	1	2	3	4	5	19	20	21	22	23	24	
A01	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
A02	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
A03	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	

(continua)

							(conclusão)					
A04	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
A05	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A06	6	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
A07	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
A08	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
⋮							⋮					
T02	68	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
T03	69	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
T04	70	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0
V01	71	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
V02	72	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
V03	73	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
W01	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W02	75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Foi estabelecido uma forma de criar imposições de em quantos dias as aulas de cada professor em cada turma serão divididas. Por exemplo, um professor que tenha 2 aulas em uma turma pode ter essas aulas distribuídas no mesmo dia, ou em dois dias diferentes. O QUADRO 10 criado em uma planilha eletrônica determina em quantos dias serão divididas as aulas de cada professor em cada turma. Este quadro foi desenvolvido utilizando o recurso de fórmula da planilha eletrônica. De acordo com a quantidade de aulas de um professor em uma turma, denominada aqui de *QntdeAulas*, é aplicada a fórmula (1) a cada uma das células. Então, se a quantidade de aulas é maior que 2, a fórmula retorna o valor 2, senão, se a quantidade de aulas é maior ou igual a 1, a fórmula retorna 1, senão o valor será 0.

$$= SE(QntdeAulas > 2; 2; SE(QntdeAulas >= 1; 1; 0)) \quad (1)$$

Portanto, o professor T04 terá suas aulas na turma ADM2 distribuída preferencialmente em apenas 1 dia, enquanto que suas aulas na turma ADM3

serão divididas preferencialmente em 2 dias, pois nessa turma o professor tem uma quantidade de 4 aulas por semana.

Determinado em quantos dias serão divididas as aulas de um professor em uma turma, é necessário especificar a forma como elas serão divididas. Para que não haja janelas entre as aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia, foram criados Padrões de distribuição de aulas, combinando as possíveis quantidades totais de aulas, como especificado no QUADRO 11. Ao todo, são 21 padrões de distribuição diferentes para um turno, ao modo que 6 padrões são para a distribuição de apenas uma aula, 5 padrões para a distribuição de duas aulas, 4 padrões para três aulas, 3 padrões para quatro aulas, 2 padrões para cinco aulas e 1 padrão para as seis aulas do turno.

A utilização desses padrões surgiu da necessidade de ter um melhor controle sob as aulas geminadas, que demandariam num grande número de restrições para resolver esse tipo de problema. Com esse padrão de distribuição é possível agrupar as aulas de um professor em uma turma de modo que não existam janelas entre as aulas de uma mesma disciplina em uma mesma turma.

Portanto, os padrões de 1 a 6 são utilizados para distribuir uma aula do professor na turma em um turno, os padrões de 7 a 11 são utilizados para distribuir duas aulas seguidas (geminadas) do professor na turma em um turno, os padrões do 12 ao 15 para três aulas, os padrões de 16 a 18 para quatro aulas, os padrões 19 e 20 para cinco aulas e o padrão 21 para as seis aulas no mesmo turno.

A informação da quantidade de dias que as aulas de um professor em uma turma devem preferencialmente ser distribuídas precisam exercer influência em determinados padrões de distribuição, para atender esta preferência. Esse controle é realizado através de pesos que são atribuídos a cada uma dessas combinações entre quantidade de aulas e dias em que devem ser distribuídas essas aulas.

Retomando o exemplo citado anteriormente, o professor T04 tem duas aulas na turma ADM2 que devem ser distribuídas, preferencialmente, no mesmo

dia. Os padrões de distribuição do 7 ao 11 recebem peso menor que os padrões de distribuição do 1 ao 6. Como a função objetivo é de minimização, quanto menor for o peso atribuído, maior é a possibilidade de se utilizar o padrão de distribuição desejado.

QUADRO 11 - PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE AULAS POR PROFESSOR/TURMA
 FONTE: O AUTOR (2016)

Padrão	HORÁRIO						Quantidade total de aulas
	1	2	3	4	5	6	
1	1	0	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	1
3	0	0	1	0	0	0	1
4	0	0	0	1	0	0	1
5	0	0	0	0	1	0	1
6	0	0	0	0	0	1	1
7	1	1	0	0	0	0	2
8	0	1	1	0	0	0	2
9	0	0	0	1	1	0	2
10	0	0	0	0	1	1	2
11	0	0	1	1	0	0	2
12	1	1	1	0	0	0	3
13	0	0	0	1	1	1	3
14	0	1	1	1	0	0	3
15	0	0	1	1	1	0	3
16	1	1	1	1	0	0	4
17	0	1	1	1	1	0	4
18	0	0	1	1	1	1	4
19	1	1	1	1	1	0	5
20	0	1	1	1	1	1	5
21	1	1	1	1	1	1	6

Portanto, todas essas informações são lidas da base de dados que está na planilha eletrônica e o devido tratamento é realizado antes da criação do modelo matemático, em linguagem de programação VB.NET.

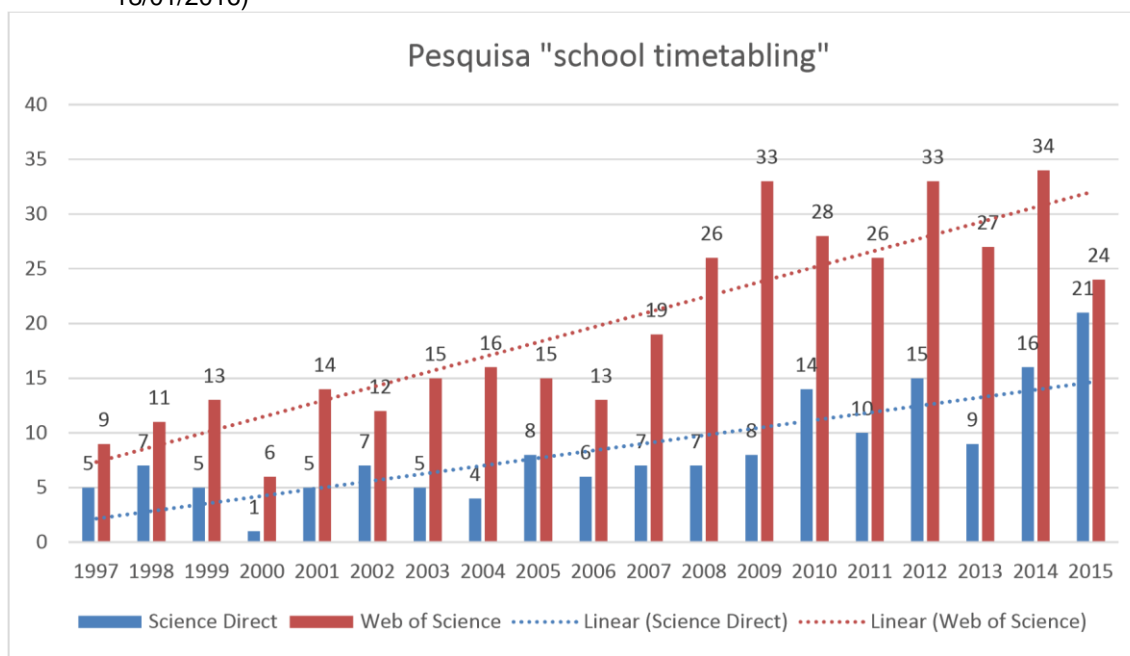
Com as devidas explicações sobre as restrições do problema abordado, é necessária uma investigação acerca do assunto e uma imersão e compreensão no que se refere ao estado da arte, para ter um ponto de partida mais consistente e então propor uma resolução mais pautada diante da academia.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo desta investigação em trabalhos correlatos é nortear o trabalho com resoluções já propostas, com um aprofundamento sobre o tema, relacionando e identificando similaridades, mas também apontar lacunas para uma nova abordagem que será descrita para a resolução do referido problema.

O interesse por problemas de programação de horários vem crescendo a cada ano, FIGURA 1 e é considerado como um problema de grande dificuldade de resolução, pois estabelecer um quadro de horários que satisfaça o interesse de todos os envolvidos é uma tarefa muito difícil. Por sua complexidade, encontrar uma solução qualquer, mesmo que não seja ótima, muitas vezes já se torna uma tarefa muito difícil, dependendo da quantidade e objetividade das restrições. Outro fator que motiva a busca de resolução por esse tipo de problema é a sua importância prática, melhorando a satisfação dos docentes e em alguns casos capacitando a reserva de recursos das instituições.

FIGURA 1 - PESQUISA DE TRABALHOS RELACIONADOS A "SCHOLL TIMETABLING" (PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIOS EDUCACIONAIS) NAS BASES DE DADOS SCIENCE DIRECT E WEB OF SCIENCE
 FONTE: SCIENCE DIRECT (ACESSO EM 18/01/2016) E WEB OF SCIENCE (ACESSO EM 18/01/2016)



O problema de programação de horários é dito como um problema de designação, classificado como NP-Completo, devido sua natureza em considerar as restrições de horários disponíveis, em um número finito de soluções possíveis com um tempo polinomial de processamento para verificar se a resposta é correta ou não (ANDRADE, 2014; FERREIRA et al., 2011; SANTOS, 2007).

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde 1995 é realizado uma conferência internacional, a cada 2 anos, chamada PATAT (*Practice and Theory on Automated Timetabling*), para a discussão do problemas de *Timetabling* (SPINDLER, 2010).

Essa conferência serve como fórum para a comunidade de pesquisadores e profissionais envolvidos com o problema de *timetabling* em geral e também do caso específico de *school timetabling*.

Os problemas de *timetabling* são problemas que envolvem a organização de eventos em um determinado número de intervalos de tempo, sujeito a algumas restrições. No caso específico de *school timetabling* esses eventos podem ser considerados como o encontro professor-turma, também chamado de aula, e os intervalos de tempo são os horários em que esses eventos podem acontecer. As restrições podem ser consideradas como “fortes”, que são restrições que obrigatoriamente devem ser atendidas, enquanto outras restrições são consideradas “fracas”, ou seja, não existe necessidade de serem atendidas, mas elas têm importância, pois são consideradas na análise da qualidade da solução (ANDRADE, 2014; FANG, 1994).

O problema de programação de horários consiste em uma distribuição de professores para determinadas turmas em um determinado conjunto de períodos (SANTOS, 2007). Essa designação deve garantir a não existência de conflitos, pois cada professor pode ser relacionado a uma turma, assim como cada turma só pode ser atendida por um único professor em cada horário específico.

Na literatura existente, esse problema é resolvido por métodos exatos e por métodos heurísticos. O primeiro consiste em obter a solução ótima, satisfazendo todas as restrições impostas, enquanto que os métodos heurísticos retornam uma solução, mas não garantem que ela seja a solução ótima (GÓES, 2005).

3.2 MODELO MATEMÁTICO

A Otimização Combinatória faz um agrupamento de itens específicos em subgrupos e denomina de solução. Para cada subgrupo criado por itens e regras, então, existe uma solução com um custo associado. O objetivo deste tipo de problema é analisar as soluções e encontrar uma com o melhor custo. Mas muitas vezes não é possível obter a solução ótima em um tempo viável, então passa-se a considerar também as soluções factíveis encontradas mais rapidamente, denominadas soluções ótimas locais (FERREIRA et al., 2011; GÓES; COSTA; STEINER, 2010; MUGGY; EASTON, 2015).

Dependendo do problema, a Função Objetivo pode ser de maximização (no caso de maximizar lucros, por exemplo) ou de minimização (no caso de minimizar custos e gastos, por exemplo). Para melhor entendimento, seguem dois exemplos de modelos exatos utilizados em trabalhos correlatos, sendo um com uma função objetivo de maximização e outro com a função objetivo de minimização.

Para o caso de uma função objetivo de maximização, temos como exemplo o modelo proposto para satisfazer ao máximo as preferências dos professores (ANDRADE, 2014):

$$\text{Max } Z(X) = \left(\sum_p \sum_t \sum_d \sum_h PD_{p,d} * PP_p * X_{p,t,d,h} \right) - D + G \quad (2)$$

sujeito a:

$$D = \sum 10 * P_p * (DA_p DM_p) \quad (3)$$

$$G'_{p_n} = \sum_t P_{p_n} * \sum_d \left\{ \left[\left(\sum_{h=1}^{k-1} X_{p_n,t,d,h} * X_{p_n,t,d,h+1} \right) - \frac{1}{2} \right] * (-2) \right\} \quad \forall p_n \quad (4)$$

$$G''_{p_g} = \sum_t P_{p_g} * \sum_d \left\{ \left[\left(\sum_{h=1}^{k-1} X_{p_g,t,d,h} * X_{p_g,t,d,h+1} \right) - \frac{1}{2} \right] * 2 \right\} \quad \forall p_g \quad (5)$$

$$G = \sum_{p_n} G'_{p_n} + \sum_{p_g} G''_{p_g} \quad (6)$$

$$\sum_p X_{p,t,d,h} = 1 \quad \forall t, \forall d, \forall h \quad (7)$$

$$\sum_t X_{p,t,d,h} \leq 1 \quad \forall p, \forall d, \forall h \quad (8)$$

$$\sum_d \sum_h X_{p,t,d,h} = C_{p,t} \quad \forall p, \forall t \quad (9)$$

$$\sum_h X_{p,t,d,h} \leq 2 \quad \forall p, \forall t, \forall d \quad (10)$$

Para este modelo, $X_{p,t,d,h}$ é a variável binária de decisão, que representa por 1 se o professor p lecionará na turma t em determinado horário h do dia d , e 0 caso contrário.

O parâmetro $PD_{p,d}$ representa a preferência do professor p em dar aulas no dia d , que pode receber os seguintes valores: 1 para o dia de não vínculo, 4 para o dia da hora-atividade e 10 para os demais dias. Já o parâmetro PP_p representa o peso referente a hierarquia de cada professor, onde 10 é atribuído ao professor de menor hierarquia e os seguintes sempre acrescentando 1 ao peso do anterior, onde o professor de maior hierarquia receberá o maior dos pesos.

O parâmetro D representa uma penalidade em distribuir as aulas de um ou mais professores em mais dias do que o mínimo necessário, determinado por (3), onde DA_p é o número de dias de aulas alocados ao professor p e DM_p o número

mínimo de dias necessários, definido de uma divisão por 5 (quantidade máxima de aulas em um dia) da quantidade de aulas do professor p .

Nas equações de (4) e (5) são atribuídos pesos referente a preferência ou não por aulas geminadas, onde P_{p_g} são os professores com preferência por aulas geminadas e P_{p_n} são os professores que preferem não ter aulas geminadas. Todos esses pesos são somados em (6).

As restrições a seguir são usadas pela maioria dos modelos exatos de resolução da distribuição de horários escolares. As equações em (7) garantem que todos os horários das turmas tenham aulas e que cada horário seja exclusivo de um professor. As inequações em (8) garantem que cada professor lecionem em apenas uma turma em cada horário. As equações em (9) garante que a carga horária semanal da disciplina que o professor p leciona na turma t seja cumprida. E por fim, as inequações em (10) garantem que em cada dia cada o professor não lecionem mais de duas aulas para a mesma turma.

Para o caso de uma função objetivo de minimização, temos como exemplo o modelo proposto para também satisfazer ao máximo as preferências dos professores, que é determinada por pesos, só que nesse caso, quanto maior o peso, menor é a preferência por aquele dia e horário (ANDRADE; SCARPIN; STEINER, 2012):

$$\text{Min } Z(X) = \sum_{c=1}^{32} \sum_{d=1}^5 \sum_{h=1}^{11} P_{c,d,h} * X_{c,d,h} \quad (11)$$

sujeito a:

$$\sum_c X_{c,d,h} \leq 1 \quad \forall d,h \quad (12)$$

$$\sum_c X_{c,d,h} \leq 1 \quad , \forall d,h \quad (13)$$

$$\sum_{d=1}^5 \sum_{h=1}^{11} X_{c,d,h} = W_c \quad , \forall c \quad (14)$$

$$\sum_{d=1}^5 \sum_{h=1}^{11} X_{c,d,h} = Y_c * W_c, \quad \forall c \quad (15)$$

$$\sum_c X_{c,d,h} + X_{c,d,h+1} = 0 \quad (16)$$

$$\sum_c X_{c,d,h} + X_{c,d,h+1} \leq 1, \quad \forall d, h \quad (17)$$

$$\sum_c \sum_{d=1}^5 \sum_{h=1}^{11} X_{c,d,h} \geq T_t \quad (18)$$

$$\sum_c \sum_{d=1}^5 \sum_{h=1}^{11} X_{c,d,h} \geq Z_p \quad (19)$$

$$\sum_c X_{c,d,h} = 0 \quad (20)$$

Neste modelo, a variável binária de decisão é $X_{c,d,h}$ que determina se um “conjunto” c , formado por uma trinca Professor, Disciplina e Turma, será designado para o dia d no horário h . Esse conjunto Professor, Disciplina e Turma, representa as combinações possíveis de um professor lecionar uma determinada disciplina para uma turma específica. São 64 conjuntos para o caso das aulas do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, sendo dividido em 2 semestres. Portanto, cada semestre contém 32 conjuntos c , dos quais 10 são referentes às disciplinas regulares, e 22 são referentes às disciplinas optativas.

O parâmetro $P_{c,d,h}$ representa o peso da preferência do conjunto c ser designado para o horário h do dia d . Quanto maior o peso, menor a preferência, pois a função objetivo (11) é de minimização. O parâmetro W_c indica a carga horária semanal da disciplina, T_t indica o valor da soma das cargas horárias de todas as disciplinas da turma no semestre e Z_p indica o valor da carga horária mínima que o professor deve cumprir.

Os conjuntos de restrições (12) e (13) são idênticos e o que muda entre é a variação do conjunto c . Enquanto que (12) c varia entre os conjuntos que

indicam um professor específico, impedindo que um mesmo professor ministre duas disciplinas no mesmo horário do mesmo dia, em (13) c varia entre os conjuntos que indicam uma turma específica, impedindo que sejam ofertadas para a mesma turma, duas disciplinas no mesmo horário do mesmo dia.

As equações em (14) e (15) alocam na grade horária a carga horária total de todas as disciplinas regulares e optativas, respectivamente. A variável binária Y_c indica se a disciplina optativa será (valor 1) ou não (valor 0) ofertada.

A restrição (16) garante um período de duas horas livres em comum a todos os professores, para o desenvolvimento de reuniões, onde c varia entre todos os conjuntos, d e h são definidos pelo usuário. As inequações de (17) garantem uma boa distribuição das aulas ao longo da semana, evitando que uma mesma disciplina seja ofertada para uma mesma turma em dois dias seguidos, por exemplo, na segunda-feira e na terça-feira.

A inequação (18) garante que as turmas recebam toda a carga horária do período em que se encontram, com c variando entre conjuntos que indicam uma turma específica. Com c variando nos conjuntos que indicam um professor específico, a inequação (19) garante que todos os professores cumpram sua carga horária mínima em sala de aula. Por fim, a equação (20) não deixa que seja distribuída uma aula para uma turma em um horário que já exista aula de outro departamento. Portanto, d e h são informados pelo usuário.

Resolver um problema de distribuição de horários de forma manual é praticamente inviável. O risco de se obter conflitos de horários entre outros erros na distribuição é muito grande. Portanto os modelos exatos, como exemplos os dois modelos descritos nesta mesma seção, resolvem o problema com o uso do esforço computacional. Mas mesmo assim, a medida que cresce o número de variáveis e de restrições, os modelos exatos podem ser inviáveis para aplicação por conta do tempo de processamento, que inclusive pode demorar dias. Este é o motivo de que em muitos casos usa-se heurísticas ou metaheurísticas para resolver o problema de distribuição de horários escolares.

3.3 HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS

Como a montagem do quadro de horários é uma tarefa necessária a cada início de período, ou até mesmo no decorrer do período, por motivos de alteração do quadro de professores ou motivos pedagógicos, depender da resolução do problema por um modelo exato, muitas vezes é inviável, devido o tempo computacional exigido para a resolução. Esse é o motivo de na maioria dos casos esses problemas serem resolvidos com o uso de heurísticas e metaheurísticas.

- Algoritmos Evolutivos: inspirado nos conceitos de evolução das espécies, esse algoritmo seleciona uma população inicial e aplica os chamados operadores genéticos para recombinação e mutação dos indivíduos da população, gerando uma população mais evoluída. Define-se, portanto, a função objetivo e a forma de codificação proposta para o problema, como por exemplo, o objetivo de minimizar conflitos entre as disciplinas e a codificação dos horários de aulas (primeira aula, segunda aula, assim segue até a última aula). Os operadores genéticos são determinados através de comparação entre os genes de diferentes espécies, escolhendo-se o melhor, que é aplicado ao restante da população (BORGES, 2003; ROMERO; BUOSI; LOTUFO, 2003).
- Algoritmos Genéticos (AG): é um método de otimização e busca desenvolvido sob os mecanismos de evolução de populações de seres vivos. De acordo com as mudanças realizadas em uma população, as soluções tendem a melhorar, criando uma ideia de evolução. O AG é robusto e facilmente adaptável para diversas áreas do conhecimento, em especial para problemas de otimização, como a programação de horários. AG é uma metaheurística que procura os melhores indivíduos (soluções), de forma a atender de uma melhor forma possível as restrições propostas (ALMEIDA, 2015; BARATA et al., 2010; BORGES, 2003; BRAZ JÚNIOR, 2000; CHONG-KEAT; WIBOWO; NGADIMAN, 2015; CISCON et al., 2005, 2006; COLORNI, 1998; FANG, 1994; GÓES, 2005; HAMAWAKI,

2005; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA; SILVA, 2015; MOURA et al., 2004; NETTO, 2011; RIBEIRO FILHO; LORENA, 2001; RODRIGUES et al., 2015; SANTOS; SOUZA, 2007).

- Busca Dispersa (*Scatter Search*): é um método metaheurístico evolutivo, que combina soluções de um conjunto de boas soluções com o objetivo de melhorar as soluções do conjunto. A diferença da Busca Dispersa para os outros algoritmos evolucionários é o uso de uma memória que se adapta para guiar a exploração dos subconjuntos, evitando uma escolha aleatória de soluções. O algoritmo, portanto, gera soluções diversas, que são melhoradas pelo método da busca local. As soluções são divididas em dois grupos: o atual grupo de soluções diversas e o grupo de soluções referência, onde são realizadas as combinações entre elas, com o objetivo de melhorar as soluções (SPINDLER, 2010).
- Busca Tabu: é uma heurística evolutiva que atualiza uma única solução, um método de busca local que procura evitar estacionar em um ótimo local. Até que um determinado critério de parada seja satisfeito, é realizado uma busca por soluções em um conjunto de vizinhança. Essa solução encontrada é inserida em uma lista, em que as soluções dessa lista são testadas na função objetivo, e a que retornar o melhor valor é atribuída a variável destinada a guardar a melhor solução encontrada. É atualizada a lista e reiniciado o laço, até que o critério de parada seja satisfeito (ANDERSON, 2015; COLORNI, 1998; MOURA et al., 2004; NGUYEN; LUU; PHAM, 2015; SANTOS; SOUZA, 2007).
- *Greed Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP): é um algoritmo guloso e seu grande diferencial está em apenas utilizar a Busca Local para pequenas melhorias, por isso ele é classificado como construtivo. Este método iterativo consiste em duas fases: a construção da solução inicial, elemento a elemento, seguido da busca por ótimos locais próximos da solução criada (FEO;

RESENDE, 1995; MOURA et al., 2004; OLIVEIRA; VIANNA; VIANNA, 2012; SOUZA; MACULAN; OCHI, 2003).

- *Iterated Local Search (ILS)*: A metaheurística Iterated Local Search (ILS) é baseada em Busca Local. A solução inicial é criada de tal forma a obedecer determinadas restrições hard, ou seja, restrições fortes que não podem ser negligenciadas. Então é proposto perturbações nessa solução, afim de localizar um novo ótimo local e esse processo se repete n vezes. Quanto melhor for a escolha da parametrização das perturbações, mais próxima do ótimo global a solução irá ficar (ANDRADE, 2014; MOURA et al., 2004).
- *Path Relinking*: é uma busca por melhores soluções determinada por uma combinação entre soluções de alta qualidade, denominadas soluções elite, obtidas de uma população. Para alcançar tal objetivo, são criados caminhos entre uma solução inicial e a solução guia e no decorrer desse caminho esperasse obter soluções de melhor qualidade que as soluções iniciais, atualizando a melhor solução encontrada. Devido ao fato de necessitar de uma solução inicial de boa qualidade, esse método é combinado com outras heurísticas, como exemplo a Busca Tabu, o GRASP e a Busca Dispersa, com o objetivo de melhorar as soluções encontradas (MOURA et al., 2004; SEGATTO et al., 2007; SPINDLER, 2010).
- *Simulated Annealing*: este método é baseado no procedimento de aquecimento utilizado na metalurgia para a mudança das propriedades de um metal. O algoritmo gera uma solução aleatória e a partir dela a cada iteração é gerada uma solução vizinha. Verifica se a solução vizinha é melhor que a anterior, então é aceita como solução atual. Para fugir de ótimos locais, algumas vezes uma solução “pior” que a solução atual é selecionada e realizada mais iterações do algoritmo. Para tanto, é estabelecido um parâmetro chamado de temperatura, com um valor estabelecido no início do

processo e a cada iteração essa temperatura é alterada, chegando a um valor que induza a atualização da solução atual. Esse procedimento se repete até que o objetivo, previamente estabelecido, seja cumprido (ANDERSON, 2015; COLORNI, 1998; FONSECA et al., 2012; ODENIYI et al., 2015; SANTOS; SOUZA, 2007).

3.4 TRABALHOS CORRELATOS

O problema de programação de horários em instituições educacionais é um problema de escalonamento de eventos em um período finito de tempo, sujeito a restrições como tempo, professores, salas de aula e atividades (BORGES, 2003). No trabalho acima citado se faz uma comparação entre os resultados obtidos na aplicação de algoritmos Coevolutivos e Algoritmos Genéticos, concluindo que este último encontra mais dificuldade na resolução do problema de *timetabling*, ao passo que o primeiro apresenta resultados mais satisfatórios.

Os aspectos conceituais da evolução cooperativa, segundo a autora, favorecem na escolha deste método para resolver o problema do *timetabling*. Isto porque é realizado uma divisão do problema geral em problemas menores e mais simples, como no estudo de caso realizado pela autora, em que o curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Paraná é dividido em 8 períodos semestrais, que são chamados de espécies, resolvidas individualmente, mas objetivando um resultado colaborativo entre elas, pois elas precisam evoluir de forma cooperativa.

Os objetivos específicos na aplicação da programação de horários escolares em uma escola pública de ensino fundamental e médio do Estado do Paraná consiste em obter a grade de horários de uma maneira mais rápida e eficiente, aumentando a satisfação do quadro de docentes em relação aos seus horários, atendendo ao máximo às suas preferências (KOTSKO; STEINER;

MACHADO, 2003). Uma particularidade do trabalho desses autores consiste em concentrar as aulas dos professores o máximo possível nos horários mais internos, no caso os 2º, 3º e 4º horários, deixando os 1º e 5º horários para aulas vagas dos professores. Desta forma, foram estabelecidos pesos para cada horário, seguindo a regra 2 – 5 – 8 – 5 – 2, onde o peso 2 é referente ao primeiro horário, o peso 5 é referente ao segundo horário, e assim por diante.

A preferência dos professores por horários também foi obedecida ao máximo em, seguindo uma hierarquia, onde professores mais antigos recebiam peso maior nas preferências de seus horários. As aulas dos professores devem, o máximo possível, ser seguidas evitando espaços vazios nos horários dos professores. Caso fosse necessário, era utilizada no máximo uma aula vazia entre outros horários de aulas.

A metodologia utilizada na resolução deste problema segue os passos de uma resolução de problemas de programação de horários escolares por meio do método exato: obter os dados do problema, fazer a modelagem, maximizando (ou minimizando) a função objetivo; criar as restrições referente ao problema específico; reduzir a quantidade de variáveis; executar o algoritmo; por fim, analisar a solução obtida. Os autores seguiram esses passos partindo de uma implementação computacional no software Lingo versão 6.0 – Educacional. Foi utilizado uma tolerância de otimalidade de 5%, chegando a um resultado em pouco mais de 7 minutos.

Os resultados mostraram que a utilização de pesos de horários e de hierarquia dos professores foi um método eficiente, favorecendo aulas intermediárias para professores mais antigos. Como o objetivo era maximizar a satisfação dos horários dos professores, o método foi dito razoavelmente eficiente (KOTSKO; STEINER; MACHADO, 2003).

Um dos problemas específicos na geração de grade horária de professores é a maior complexidade gerada pelas multigrades, ou seja, grades diferentes para ensino fundamental e médio. Portanto, deve-se ter muito cuidado para que não haja sobreposição de horários, uma vez que os tempos das aulas do ensino fundamental não são os mesmos horários das aulas do ensino médio e alguns

professores lecionam nas duas modalidades (MOURA et al., 2004). Os autores trabalharam nos problemas de grades horárias em escolas públicas de São Paulo e também em uma escola particular. Para resolver o problema de distribuição de horários usaram as metaheurísticas evolutivas (Algoritmos Genéticos), técnicas de busca local (Busca Tabu e GRASP) e mesclaram estas duas últimas com o *Path Relinking*, para obter melhores resultados sobre a instância do problema tratado. Os autores concluem que a hibridização do método *Path Relinking* com Busca Tabu não surtiu efeito, enquanto que com o método GRASP os resultados foram satisfatórios.

O problema na distribuição dos horários em uma instituição de ensino está na designação dos dias de trabalho dos professores (GÓES, 2005). O autor aborda a distribuição de horários para professores em uma escola pública de educação infantil e ensino fundamental de Araucária-PR, com um método exato, um método heurístico e um método misto exato e heurístico. Segundo o autor, a quantidade de dias de trabalho dos docentes é três, mas cada professor têm um dia de hora atividade e um dia de folga, que é escolhido pelo próprio professor.

A preferência pelo dia de não vínculo é conhecida após o preenchimento de um formulário por parte dos funcionários. Nesse formulário é questionado a cada docente também a preferência por turmas e por aulas geminadas.

O objetivo do autor era resolver o problema da distribuição de aulas de uma escola municipal de Araucária-PR e poder utilizar o mesmo método para a distribuição de horários das escolas da região. Para isso criou uma interface no software Visual Basic 6.0 em que era possível cadastrar turnos, turmas, disciplinas, professores e carga horária das turmas. Toda interação do usuário com o modelo é mediada por essa interface e o usuário pode escolher em ver o resultado apenas na tela ou fazer sua impressão.

O autor apresenta um método exato com um modelo de Programação Linear Inteira Binária (PLIB). Para a solução deste modelo foi utilizado o software Lingo 6.0. A variável de decisão indica se o professor p está designado a atender ou não a turma t , no dia d , no horário h . O modelo possui também outras variáveis que indicam os dias que cada professor tem aulas, com o intuito de concentrar

suas aulas num mesmo dia, obedecendo a escolha do dia sem vínculo, quando possível. A função objetivo é de maximização da satisfação dos professores, ou seja, suas preferências e seu privilégio em hierarquia. As restrições apresentadas são para garantir que em cada turma deve atuar apenas um professor e também que um professor atenda apenas uma turma em cada horário. Outras restrições são a respeito da carga horária da disciplina nas turmas. Para finalizar, o modelo conta também com restrições referentes a quantidade de aulas de uma disciplina em uma turma num determinado dia que não pode passar de 2 aulas.

O autor também aborda uma solução para o problema com o uso da metaheurística Algoritmo Genético (AG), primeiramente fazendo uma equiparação dos termos para aplicação na situação problema. Deste modo, a grade horária semanal é definida como o indivíduo e são realizadas alterações na população com o uso de operadores genéticos para melhorá-los e torná-los mais adaptáveis à população no processo de otimização. Nesse ponto está se buscando evitar as infactibilidades, e então é feita uma verificação através de várias heurísticas que verificam se o número de aulas por professor é maior que o permitido por dia em uma mesma turma, se o professor está com mais dias de trabalho do que o necessário, se há um professor atendendo mais de uma turma em qualquer horário e se há professor com aula no dia de hora atividade.

Verificou-se que a solução pelo método exato era muito demorada de se obter, se tornando assim inviável para a situação. Foi proposto então um método misto entre modelo exato e o Algoritmos Genéticos utilizados anteriormente. Como a restrição de preferência ou não por aula geminada era responsável por 50% das restrições geradas, o método exato foi executado sem essas restrições, e a partir desta solução foi realizado o refinamento buscando preferências por aulas geminadas, baseado no Algoritmo Genético. A solução encontrada é uma solução muito boa, e encontrada de forma rápida.

Com base nas conclusões do autor, o método resolvido por Algoritmo Genético foi cerca de 680 vezes mais rápido que o método exato, enquanto que o método misto foi cerca de 1900 vezes mais rápido que o método que fornece a solução ótima, em aproximadamente 10 horas. Em questão da satisfação dos

professores, tanto o método utilizado com a metaheurística quanto o método misto apresentaram pequenos percentuais de não atendimento às restrições, mas não deixa de tornar a solução aceitável.

O problema de programação de horários escolares parte de características comuns às escolas brasileiras, como o uso total de horários das turmas, resolver conflitos de sobreposição de aulas e professores e também a preferência de horários dos professores, esta última sendo uma restrição *soft* (RIBEIRO FILHO; LORENA, 2006).

Os autores fizeram um estudo no modelo de programação linear inteira e binária para a resolução de grades escolares com o objetivo de, no futuro, desenvolver um software para auxiliar o administrativo das escolas na execução desta tarefa. Após a construção do modelo e dos testes realizados, foi efetuada uma comparação dos resultados com os resultados obtidos por métodos heurísticos pelos próprios autores (RIBEIRO FILHO; LORENA, 2001). As instancias utilizadas no modelo exato foram as mesmas utilizadas no método heurístico evolutivo. Os resultados mostram que o método exato tem melhor porcentagem de atendimento das frequências em três dos quatro exemplos, mas o número de janelas (aulas vagas entre aulas em sala) é maior na metade dos exemplos. Isso se deve ao fato de não haver uma formulação no modelo exato para evitar essas janelas, tendo em vista que no método heurístico foi acrescentado um parâmetro específico para este problema.

Os autores anotaram os tempos computacionais nas soluções do modelo exato nas quatro instâncias, sendo que algumas foram resolvidas pelo solver CPLEX versão 7.75 quase que instantaneamente. Eles classificam que essa diferença pode ter sido causada pelas particularidades de cada instância, pois de acordo com o número de restrições e variáveis, existem poucas soluções viáveis disponíveis. Os autores afirmam que ainda existam outros fatores que influenciam no tempo de execução do modelo e que isso exige mais pesquisa, deixando como indicações para estudos posteriores.

Devido ao fato de algumas preferências serem conflitantes, a satisfação de todos os requisitos desejáveis na construção de um quadro de horários pode ser

impossível de se realizar na prática (SANTOS; SOUZA, 2007). Em seu trabalho, o autor faz apresenta uma nova heurística híbrida baseada em Busca Tabu, melhorando os resultados encontrados na literatura até então. Ele apresenta também uma formulação de um modelo exato, através de técnicas de Programação Linear Inteira Mista, obtendo quadros provadamente ótimos.

Em sua tese, Santos (2007) também faz uma abordagem de solução mista entre heurística e exato, mas de uma diferente das normalmente citadas, que parte de um princípio de rodar um modelo exato com um número reduzido de variáveis, anexando essa solução parcial obtida em um modelo heurístico, que é executado para aprimoramento da solução pela inclusão de novas restrições. Ele propõe a resolução ótima por um método exato após uma solução parcial obtida por um meio heurístico.

O desenvolvimento de quadro de horários para professores são problemas com características únicas, mas com uma estrutura bastante similar, que se resolvido um problema é possível adaptar para resolver outro com características semelhantes. O problema tem uma elevada dificuldade de resolução, mas com uma elevada importância teórica e prática (SANTOS; SOUZA, 2007).

A Busca Dispersa (ou *Scatter Search*) é um método metaheurístico evolutivo, em que realiza a busca de soluções em um conjunto de boas soluções, combinandoas entre si, gerando novas soluções melhores que as iniciais (SPINDLER, 2010). A autora usa em seu trabalho este método, associado a heurística Reconexão por Caminhos, para resolver o problema de Programação de Curso Baseada em Currículo, que é uma das variantes do problema de programação de horários.

Esta heurística Reconexão por Caminhos (ou *Path Relinking*) é descrita pela autora como uma estratégia de intensificação, para explorar trajetórias que conectavam soluções de elite obtidas pelo método de Busca Dispersa. Desta forma, a Reconexão por Caminhos favorecia na seleção dos movimentos de soluções melhores.

A elaboração da grade horária deve satisfazer questões operacionais e pedagógicas. Deve também satisfazer as preferências dos professores (GÓES; COSTA; STEINER, 2010). Em comparação dos métodos exato, heurístico e misto, os autores concluíram que o método que apresentou o melhor resultado na questão de custo-benefício foi o método misto. Este método, desenvolvido pelos autores, se baseia numa aplicação de modelo exato, mas sem as restrições de preferência por aulas geminadas que, segundo eles, compõem mais de 50% das restrições geradas. Na solução encontrada é aplicada uma heurística de refinamento acrescentando as restrições retiradas no processo anterior.

Não é somente o tempo computacional necessário para resolver a designação de horários o limitante do problema. Existe também uma grande dificuldade relacionada com o tratamento das informações, necessário antes da formulação e execução do modelo (SANTOS et al., 2010). Os autores formularam propostas para resolver o problema de programação de horários com variáveis binárias, objetivando a satisfação dos professores.

O problema do horário escolar consiste em evitar que sejam distribuídas turmas para professores diferentes em um mesmo intervalo de tempo, denominado horário. Ou seja, o objetivo é fazer a distribuição de horários a fim de evitar “choque de aulas”, e também que os alunos não fiquem sem aulas. Como não se pode existir aulas livres para as turmas, cada disciplina deve ter um determinado número de aulas na semana e os professores tem um determinado número de dias com vínculo na instituição, esse problema se caracteriza como um problema NP-Difícil (NP-Hard) (ALVES, 2010).

Em seu trabalho, as restrições de maior importância para a geração da grade de horários que determinam se a solução é factível ou não, são: todas as aulas de cada classe devem ser agendadas; garantir que cada professor não assuma duas turmas diferentes em um mesmo horário ou que cada turma não seja atendida em um mesmo horário por um mesmo professor; respeitar as indisponibilidades dos professores; as aulas da disciplina de educação física devem ser sempre geminadas e nos dois últimos horários; e não se pode ter mais

de duas aulas de uma mesma disciplina para uma mesma turma em um mesmo dia.

As restrições de menor importância, ou seja, aquelas que definem o grau de qualidade da solução, mas que não causam inviabilidade são: cada professor deve ter no mínimo um dia livre de atividades de sala de aula; reduzir o número de horários ociosos dos professores; evitar que duas aulas de um professor em uma mesma turma sejam separadas por um intervalo; e se houver duas aulas de um professor em uma determinada turma no mesmo dia, espera-se que essas aulas sejam geminadas.

O autor elaborou uma solução para o problema de grade horária de uma instituição federal de ensino profissional e técnico de nível médio do sudeste mineiro.

Ele fez uso das metaheurísticas *Iterated Local Search* (ILS), *Discrete Particle Swarm Optimization* (DPSO) e *Jump Frog Optimization* (JFO). Estes dois últimos são híbridos com o *Iterated Local Search*, denominados no trabalho de DPSO-ILS e JFO-ILS. Ele obteve como conclusão que esses métodos são aceitáveis por mostrarem uma solução aceitável em um tempo computacional pequeno, comparado com uma solução lenta e de pouca qualidade quando encontrada de forma manual.

Com a geração da grade horária por ILS, a solução inicial é gerada aleatoriamente, obedecendo a certas restrições *hard*. Então é realizada uma perturbação na solução, ajustando uma troca de horários, com uma escolha aleatória de professor. Esta nova solução é então comparada com a solução anterior e este processo é repetido n vezes.

Segundo Alves (2010) a heurística DPSO utilizada foi uma adaptação da Particle Swarm Optimization (PSO), que modela o “comportamento social” visto em várias espécies de pássaros. A ideia deste algoritmo é tratar de variáveis discretas e foi combinada com a ILS para se gerar soluções factíveis após um número fixo de tentativas. A mudança na solução se caracteriza pela velocidade de atualização de posições, sendo a partícula o professor e a posição a turma.

A metaheurística JFO também foi adaptada para a questão da grade escolar, pois sua solução tradicional é para resolver problemas de p -medianas. Então, as trocas aleatórias do método tradicional foram substituídas por uma busca local. Mas muitas vezes se percebeu que a solução ficará presa em um ótimo local, então se fazia uma perturbação com o método ILS, sendo então a heurística híbrida entre JFO-ILS.

A árdua tarefa de programar a grade de horários é realizada manualmente em muitas instituições. É necessário, a cada início de período, realizar a designação dos horários de cada relação professor-turma, satisfazendo as necessidades pedagógicas e atendendo às preferências individuais dos professores (FERREIRA et al., 2011). Os autores optaram por automatizar a distribuição de encargos didáticos no caso específico do Departamento de Matemática da Universidade Federal do Paraná (UFPR) com uma modelagem programada em ambiente LINGO e uma interface gráfica desenvolvida em Visual Basic. As restrições citadas são as turmas ofertadas, a carga horária dos professores e se o professor pode assumir ou não a determinada turma. Contudo, Ferreira et al. (2011) afirmam esperar a possibilidade de adaptar essa abordagem para outros departamentos e até para outras instituições. Como recomendação de estudos posteriores, eles afirmam que outras preferências podem ser levadas em consideração, procurando concentrar as aulas dos professores em determinados dias.

Para as instituições que possuem cursos baseados em currículos, as técnicas ILS e VND (*Variable Neighborhood Descent*) também podem ser aplicadas (CARVALHO, 2011). O autor propôs o uso do VND como procedimento de Busca Local no método ILS, obtendo um desempenho satisfatório. Como validação de seus resultados foram utilizadas instâncias do *International Timetabling Competition 2007* (ITC).

A distribuição da grade horária das disciplinas é um dos recursos que devem ser otimizados para uma melhor qualidade das instituições educacionais (ANDRADE; SCARPIN; STEINER, 2012). Os autores abordaram a distribuição

de horários na grade do curso de Engenharia de Produção da UFPR com um modelo de

Programação Linear Binária. Para reduzir a quantidade de variáveis eles utilizaram um artifício para impedir a criação de variáveis que representavam contradições para o modelo, como as restrições que relacionavam um professor a uma turma que ele não dava aula e também a relação de uma disciplina que não pertencia a grade do semestre.

Eles criaram um modelo para cada semestre do curso, onde as variáveis de decisão representavam se um conjunto (Professor-Disciplina-Turma) seria designado ou não ao dia e ao horário específico. A função objetivo tinha por objetivo minimizar essa quantidade, cada qual tinha um peso específico, determinado por relação de outros três pesos, que eram as preferências dos professores (1 para maior preferência e 10 para menor preferência); evitar aulas no período determinado para almoço (entre 11:30 e 12:30) sempre com peso máximo; e por último uma preferência por determinados horários para cada turma, com o objetivo de evitar janelas entre as aulas.

Esse padrão do último peso proposto no modelo também permitia dividir as disciplinas de modo que os alunos pudessem cursar disciplinas do semestre anterior ou do semestre posterior (turma anterior ou turma posterior), isso porque a distribuição dos pesos dava preferências para que as disciplinas do segundo e quarto período fossem no período matutino e as do terceiro no período vespertino. Em relação ao quinto ano, a preferência de distribuição de aulas estava nos primeiros horários do período da manhã e nos últimos horários do período da tarde, para proporcionar aos alunos desse ano a conciliar as atividades das aulas com as atividades do estágio. O primeiro ano tem apenas uma disciplina específica do departamento, e recebe por preferência os horários da manhã e do começo da tarde, para encaixar nos horários das disciplinas de outros departamentos.

As disciplinas ofertadas por outros departamentos são cadastradas para que não haja sobreposição de horários, ou seja, tendo as disciplinas de outros

departamentos distribuídas na grade os horários a que elas se destinam são anulados nas variáveis de decisão, por meio de um conjunto de restrições.

As restrições *hard* de qualquer problema de programação de horários de professores são supridas no trabalho, como por exemplo a obrigatoriedade de impedir que um mesmo professor ministre duas disciplinas diferentes em um mesmo horário; ou impedir que sejam ministradas duas disciplinas em um mesmo horário de um mesmo dia para uma mesma turma; como também alocar a carga horária total de cada disciplina na grade; garantir que as turmas recebam a carga horária total do período em que se encontram; ter a garantia de que a carga horária mínima de cada professor seja atendida.

Com relação as outras restrições do modelo, algumas são bem específicas para a situação proposta, como por exemplo a restrição criada para deixar uma carga horária de duas horas livre para todos os docentes, ou seja, nenhuma aula será distribuída naquele horário para nenhum professor, para proporcionar a realização de reuniões administrativas do departamento e do colegiado.

Com relação as restrições mais específicas dessa situação da grade horária do curso de Engenharia de Produção podemos destacar também a restrição que tem por finalidade a distribuição de aulas que necessitem de mais de um dia de aula, em dias não consecutivos, padronizando o horário da disciplina. Por exemplo, uma disciplina de carga horária de 4 horas semanais tem suas aulas distribuídas nos dias segunda-feira e quarta-feira, do horário das 13h30 às 15h30. Mas essa restrição também limita bastante a variação de horários, diminuindo a capacidade de o modelo ocupar horários vagos na semana.

Os autores concluem que o modelo é robusto na questão de realizar a tarefa de distribuição de horários a qual foi designado, onde os pesos atribuídos, e da forma com que foram atribuídos, funcionaram muito bem, obtendo um resultado satisfatório, por mais que a limitação na liberdade por soluções foi estipulada pela restrição de uma distribuição das disciplinas de forma organizada, com dia de folga e obedecendo um mesmo horário.

A determinação da grade horária semanal em escolas do ensino fundamental e médio é muito mais complexa do que em instituições de ensino superior, devido ao fato de que as escolas não permitem grades incompletas, ou seja, com horários vagos entre as aulas. Além disso, cada escola tem seu grau de complexidade, ficando praticamente inviável a aplicação de um mesmo modelo para outra instituição (OLIVEIRA; VIANNA; VIANNA, 2012).

Para a resolução do problema de alocação de horários os autores utilizam a heurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) que consiste em uma fase de construção da solução elemento a elemento e outra fase de busca local de uma solução melhor. Na fase de busca local, os autores utilizam a técnica *Variable Neighborhood Descent* (VND) que consiste em explorar o espaço de soluções através de trocas sistemáticas de estruturas de vizinhança, retornando apenas as soluções melhores. Com isso, eles concluem que GRASP+VND geram uma boa solução para o problema de programação de horários, com respostas cerca de 15% a 20% melhores e mais rápidas que obtidas manualmente.

Há uma grande necessidade das instituições de ensino em gerar de uma forma mais rápida e eficiente a grade horária. Porém, em muitos casos as instituições não utilizam recursos tecnológicos por falta de profissionais capacitados para manusear esses recursos, ou até pela falha que muitos sistemas têm em adaptação à realidade da instituição, inviabilizando o custo-benefício (ANDRADE, 2014).

Para resolver tal problema, ele desenvolveu uma plataforma denominada “Classe Mestre”, baseada nas metaheurísticas Busca Local (BL) e *Iterated Local Search* (ILS). Essa ferramenta é capaz de gerar grades horárias para escolas de ensino fundamental e médio, considerando a hierarquia dos professores e as suas preferências. A aplicação da ferramenta foi em escolas públicas do município de Araucária, do estado do Paraná.

Para o desenvolvimento de seu trabalho, foi constatado que a preferência dos professores é por horários isolados, ou seja, procura-se evitar aulas geminadas (duas aulas seguidas) pois os educadores acreditam que assim há

um melhor rendimento dos alunos. Mas isso não é consenso, o que de certa forma obriga levar em consideração essa escolha do educador por aula geminada ou não.

O autor faz a comparação dos procedimentos ILS, que tem uma parte de BL inserido, e o BL isolado, para verificar qual é o mais eficiente. Comparam-se também os resultados em relação à solução ótima do problema, apontados as suas dispersões. Quanto à resolução do problema pelo Método Exato, ele afirma que pode ser exigido um tempo computacional muito grande para a geração da grade horária, por isso essa busca por técnicas metaheurísticas.

A formulação do modelo matemático exato mostra que é levado em consideração a hierarquia dos professores, colocando-se pesos diferentes entre os professores. Há um determinado peso mínimo para o dia de folga, e um peso mediano para o dia da hora atividade, tendo em vista que a função objetivo é de maximização. Na função objetivo tem-se ainda uma penalidade caso o professor tenha mais dias de aula do que o mínimo necessário e um coeficiente que analisa a preferência dos professores por aulas geminadas.

O primeiro conjunto de restrições do modelo exato são para garantir que todas as turmas tenham aulas em todos os horários, com apenas um professor por horário. O segundo conjunto de restrições impede que um professor ministre uma aula para mais de uma turma no mesmo horário. O terceiro conjunto de restrições garante a carga horária das disciplinas em cada turma. Por fim, o quarto conjunto de restrições procura impedir que mais de duas aulas de uma disciplina sejam dadas em uma mesma turma em um mesmo dia.

Para a resolução do problema com o uso das metaheurísticas, o autor mostra um procedimento para a geração de uma solução inicial, que consiste em sortear um professor da lista (ordenada pela hierarquização) e distribuir todas as suas aulas da carga horária. Outro professor é sorteado da lista, e também tem todas as suas aulas distribuídas, e esse procedimento se repete até que o último professor tenha seus horários definidos. Essas distribuições são realizadas obedecendo uma ordem de preferência de horários dos professores, de forma

que os últimos professores praticamente não tenham nenhuma de suas preferências atendidas.

Esta designação inicial passa por alguns ajustes para que a solução inicial seja factível. É usada uma heurística para isso, mas Andrade (2014) não especifica seu nome. São geradas 10 soluções iniciais e em cada uma delas são aplicadas as metaheurísticas BL e ILS. A melhor das soluções é levada em consideração como solução do problema. Em todos os casos, a resolução pelos métodos metaheurísticos da “Classe Mestre” são mais rápidos do que a solução utilizando o Método Exato.

O autor usa o ILS para resolver o problema de distribuição de horários. Ele compara os resultados obtidos com esse método com a aplicação isolada de Busca Local. Como conclusão ele ressalta que este método traz resultados muito satisfatórios em relação à solução pelo método exato.

Há alguns softwares já existentes no mercado com a atividade de gerar grades de horários educacionais, como por exemplo o software livre FET - Free Evolutionary Timetabling (BARATA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2015). Para a solução de alocação de horários de aulas dos cursos de Ciência da Computação da UNIFESO, Barata et al. (2010) sugere a utilização do softwares FET, assim como Rodrigues et al. (2015) utiliza o mesmo software no caso da grade de horários dos cursos de Bacharelado em Sistemas de Informação e Licenciatura em Computação do Campus Universitário do Vale do Teles Pires.

O software FET resolve o problema de *timetabling* usando a metaheurística Algoritmos Genéticos, que combina resultados e executa mutações para encontrar a melhor solução. Mas somente uma mudança no algoritmo do software, em 2007, é que foi possível utilizar o programa para resolver quadro de horários mais complexos (MANSOR et al., 2013).

Após esse aprofundamento em trabalhos correlatos e averiguação dos métodos utilizados, constatou-se que mesmo com o número significativo de artigos, dissertações e teses na área de *school timetabling* ainda há um nicho de diversas abordagens a serem utilizadas, devido ao fato da natureza do problema

em ter abundantes situações que necessitam de abordagens diferentes, possibilitando um maior aperfeiçoamento do tema e concedendo acréscimos para trabalhos futuros.

4 METODOLOGIA

Com todos os dados necessários coletados e posterior tratamento das informações realizadas, o modelo a seguir foi escrito para ser resolvido no solver CPLEX.

Para entendimento do modelo utilizado, seguem os significados das variáveis e a classificação dos parâmetros e índices utilizados, computados no QUADRO 12.

QUADRO 12 - DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES, PARÂMETROS E VARIÁVEIS DO MODELO DA SEÇÃO 4.1
 FONTE: O AUTOR (2016)

Simbologia		Descrição
Parâmetros Unidimensionais	P	Número de professores
	T	Número de turmas
	R	Número de turno
	D	Número de dias na semana
	Q	Número de padrões
	H	Número de horários em um turno
	N	Peso das variáveis $SPU_{p,r,d}$ para priorizalas em relação aos pesos $psx_{p,t,r,d,q}$
	M	Peso de penalização da utilização da variável $SUPER_{p,t}$
Índices	$p = 1, \dots, P$	Variação correspondente aos
	$t = 1, \dots, T$	Variação correspondente às turmas
	$r = 1, \dots, R$	Variação correspondente aos turnos
	$d = 1, \dots, D$	Variação correspondente aos dias
	$q = 1, \dots, Q$	Variação correspondente aos padrões
	$h = 1, \dots, H$	Variação correspondente aos horários
Parâmetros Multidimensionais	$Total_p$	Total de aulas semanais do professor p
	$MinDia_p$	Mínimo de aulas do professor p por dia quando existirem aulas neste dia

(continua)

(conclusão)

Simbologia		Descrição
Parâmetros Multidimensionais	$MaxDia_p$	Máximo de aulas do professor p por dia
	$PAD_{q,h}$	Indica a existência de aula no horário h com padrão de distribuição q , conforme citado em 2.2
	$Qntd_{p,t}$	Quantidade de aulas semanais do professor p na turma t
	$Div_{p,t}$	Número de vezes que $Qntd_{p,t}$ será dividida durante a semana, conforme citado em 2.2
	$psx_{p,t,r,d,q}$	Peso atribuído à variável $x_{p,t,r,d,q}$ para penalizar sua utilização
Variáveis	$x_{p,t,r,d,q}$	Variável binária que indica a utilização do padrão q pelo professor p na turma t no dia d do turno r
	$SPU_{p,r,d}$	Variável binária que indica se o professor p possui aula(s) no turno r do dia d
	$NPU_{p,r,d}$	Variável inteira que representa a quantidade de padrões utilizados pelo professor p no turno r do dia d
	$SUPER_{p,t}$	Variável inteira que indica a quantidade de aulas não distribuídas de um professor p para a turma t

Para a resolução do problema de distribuição de horários do IFPR, os parâmetros unidimensionais receberam os seguintes valores:

- $P = 75$, conforme QUADRO 2;
- $T = 24$, conforme QUADRO 1;
- $R = 2$, (1 – Manhã; 2 – Tarde);

- $D = 5$, (1 – Segunda-feira; 2 – Terça-feira; 3 – Quarta-feira; 4 – Quinta-feira; 5 – Sexta-feira);
- $Q = 21$, conforme QUADRO 11;
- $H = 6$, (1 – primeiro horário do turno; ... ; 6 – sexto horário do turno);
- $N = 100$; e
- $M = 1000000$

Os valores desses 2 últimos parâmetros foram estabelecidos para determinar uma ordem na priorização da função objetivo e serão melhor explicados na seção 4.1, após a apresentação do modelo matemático utilizado.

A variável $SUPER_{p,t}$ indica, quando utilizada, a quantidade de aulas não distribuídas do professor p na turma t . Deste modo, cada professor possui um “clone”, chamado de Super Professor, que aceita aula em qualquer horário, em qualquer dia, pois não tem restrição de horário.

Foram utilizadas três funções objetivo, com o intuito de realizar uma melhor análise sobre os horários gerados. Mesmo com a mudança de uma função objetivo para outra, não houve a necessidade de acrescentar, retirar ou alterar qualquer uma das 8 restrições do modelo.

4.1 MODELO MATEMÁTICO

A seguir serão explicadas primeiramente as restrições do modelo seguida da análise e discussão sobre as funções objetivo utilizadas na resolução do problema de distribuição de horários. Ao todo, o problema foi abordado com três funções objetivo diferentes para a sua resolução e logo em seguida foi criada mais uma restrição que foi utilizada nos três diferentes modelos, ou seja, ao todo foram realizadas 6 resoluções diferentes, todas abordadas por método exato de programação linear inteira binária. Para exemplificar cada restrição serão utilizados exemplos oriundos de um teste realizado apenas para obter um

resultado qualquer do problema e outros exemplos de caráter mais didático, tendo em vista simplificar ao máximo a explanação das restrições.

$$\min \quad \text{FO} \quad (21)$$

sujeito a:

$$\sum_t \sum_q x_{p,t,r,d,q} = NPU_{p,r,d} \quad \forall p,r,d \quad (22)$$

$$NPU_{p,r,d} \leq H * SPU_{p,r,d} \quad \forall p,r,d \quad (23)$$

$$\sum_p \sum_q (x_{p,t,r,d,q} * PAD_{q,h}) \leq 1 \quad \forall t,r,d,h \quad (24)$$

$$\sum_t \sum_q x_{p,t,r,d,q} * PAD_{q,h} \leq 1 \quad \forall p,r,d,h \quad (25)$$

$$\sum_q x_{p,t,r,d,q} \leq 1 \quad \forall p,t,r,d \quad (26)$$

$$\sum_q \sum_t (x_{p,t,1,d,q} * PAD_{q,6} + x_{p,t,2,d,q} * PAD_{q,1}) \leq 1 \quad \forall p,d \quad (27)$$

$$\sum_h \sum_q \sum_t (x_{p,t,1,d,q} * PAD_{q,h} + x_{p,t,2,d,q} * PAD_{q,h}) \leq MaxDia_p \quad \forall p,d \quad (28)$$

$$\left(\sum_r \sum_d \sum_q \sum_h (x_{p,t,r,d,q} * PAD_{q,h}) \right) = Qntd_{p,t} - SUPER_{p,t} \quad \forall p,t \quad (29)$$

O primeiro conjunto de restrições (22) indica a quantidade de padrões utilizados por um determinado professor p em um dado turno r do dia d . Então, para cada professor p , turno r e dia d , são somadas as designações de aulas existentes nas turmas t com um padrão de distribuição q . Por exemplo, o professor **M01** ($p = 47$) possui três aulas no turno da **manhã** ($r=1$) do dia de **quarta-feira** ($d = 3$), sendo 1 aula na turma **I1** ($t = 10$) no sexto horário (ou seja, com padrão de distribuição de aulas $q = 6$) e 2 aulas na turma **I3** ($t = 12$) nos terceiro e quarto horários (ou seja, com padrão de distribuição de aulas $q=11$). A equação que

representa esse caso, somente com variáveis binárias $x_{p,t,r,d,q}$ diferentes de zero, é: $x_{47,10,1,3,6} + x_{47,12,1,3,11} = 2$. Logo, o número de padrões utilizados pelo professor **M01** no turno da manhã de quarta-feira é $NPU_{47,1,3} = 2$.

QUADRO 13 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR M01, TURNOS MANHÃ E TARDE
FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						1	PF1			ELE1	
2						2	PF1		ADM3		
3		I1	I3			3	ELE1		PF3		
4		I1	I3			4	ELE1		PF1	PF3	
5		I3				5					
6		ADM3	I1			6					

Observe no QUADRO 13 que o professor **M01** possui mais três aulas no mesmo dia, mas no turno da tarde. Como há mudança de turno, essa distribuição de aula resulta em $NPU_{47,2,3} = 3$, pois $x_{47,3,2,3,2} + x_{47,22,2,3,4} + x_{47,24,2,3,3} = 3$. Vale ressaltar que para essa equação estamos considerando apenas as variáveis binárias $x_{p,t,r,d,q}$ diferentes de zero.

O conjunto de restrições (23) determina, a partir da quantidade de padrões utilizados $NPU_{p,r,d}$, se o houve algum padrão de distribuição de aulas para o professor p , no turno r e dia d . No exemplo do professor **M01** (QUADRO 13), como houve distribuição de aulas na **quarta-feira** nos dois turnos, as inequações do conjunto de restrições (23) indicam que está sendo utilizado no mínimo um padrão de distribuição de aulas para o professor no turno da **manhã** ($NPU_{47,1,3} \leq 6 * SPU_{47,1,3}$) e também ao menos um padrão para o turno da **tarde** do mesmo dia ($NPU_{47,2,3} \leq 6 * SPU_{47,2,3}$). Como a variável $SPU_{p,r,d}$ é binária e as variáveis inteiras $NPU_{47,1,3}$ e $NPU_{47,2,3}$ são diferentes de zero, o único valor que as variáveis $SPU_{47,1,3}$ e $SPU_{47,2,3}$ aceitam é 1.

Caso exista alguma aula fixa para determinado professor, o conjunto de restrições (22) conta essa aula fixa e atribui à variável inteira $NPU_{p,r,d}$, mesmo que não tenha mais nenhuma aula distribuída no mesmo dia d e turno r . Como o

conjunto de restrições (23) determina se houve algum padrão de distribuição de aulas para o professor p , no turno r e dia d a partir da quantidade de padrões utilizados $NPU_{p,r,d}$, as variáveis binárias $SPU_{p,r,d}$ recebem valor 1 caso $NPU_{p,r,d} \geq 1$ e 0 caso contrário.

QUADRO 14 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR M03, TURNO DA MANHÃ

FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				C2	PG3
2					PG3
3	PEG2			I2	C2
4	PEG2			I2	PG1
5				PG3	PG1
6				PG3	

No QUADRO 14 observamos que existem aulas fixas (destacadas de vermelho) na segunda-feira, quinta-feira e sexta-feira. Independente de existir ou não aulas normais nesses dias, as variáveis binárias $SPU_{49,1,1} = 1$, $SPU_{49,1,4} = 1$ e $SPU_{49,1,5} = 1$ deixam de ser variáveis e passam a ser novos parâmetros do modelo.

O conjunto de restrições (24) limita o número de atendimento em cada turma t , dia d , turno r no horário h para apenas 1 professor p com um padrão de distribuição q . Para melhor entendimento deste conjunto de restrições, vamos considerar um outro exemplo mais didático, menor do que o relacionado com o problema real resolvido:

Seja uma turma t^* , de um turno r^* e dia d^* , mas apenas 2 horários para distribuir, ou seja, $h^* = \{1, 2\}$. Os três possíveis padrões de distribuição q^* e $PAD^*_{q^*, h^*}$ estão explicados no QUADRO 15. Considere ainda no exemplo apenas 2 professores.

A restrição gerada para essa turma t^* , turno r^* e dia d^* , para o horário $h^* = 1$ é:

$$\begin{aligned}
 & x_{1,t^*,r^*,d^*,1} * PAD_{1,1}^* + x_{1,t^*,r^*,d^*,2} * PAD_{2,1}^* + x_{1,t^*,r^*,d^*,3} * PAD_{3,1}^* \\
 & + x_{2,t^*,r^*,d^*,1} * PAD_{1,1}^* + x_{2,t^*,r^*,d^*,2} * PAD_{2,1}^* + x_{2,t^*,r^*,d^*,3} * PAD_{3,1}^* \leq 1
 \end{aligned} \tag{30}$$

Substituindo os valores de PAD_{q^*,h^*}^* do QUADRO 15 em (30), obtemos:

$$\begin{aligned}
 & x_{1,t^*,r^*,d^*,1} * 1 + x_{1,t^*,r^*,d^*,2} * 0 + x_{1,t^*,r^*,d^*,3} * 1 \\
 & + x_{2,t^*,r^*,d^*,1} * 1 + x_{2,t^*,r^*,d^*,2} * 0 + x_{2,t^*,r^*,d^*,3} * 1 \leq 1
 \end{aligned} \tag{31}$$

Efetuada as devidas simplificações, (31) resulta em:

$$x_{1,y^*,r^*,d^*,1} + x_{1,t^*,r^*,d^*,3} + x_{2,t^*,r^*,d^*,1} + x_{2,t^*,r^*,d^*,3} \leq 1 \tag{32}$$

QUADRO 15 - EXEMPLO DE PARÕES PARA EXPLICAÇÃO DO CONJUNTO DE RESTRIÇÕES (24)
 FONTE: O AUTOR (2016)

		Horários h*		Quantidade de aulas
		1	2	
Padrões q*	1	1	0	1
	2	0	1	1
	3	1	1	2

Observar que a restrição resultante (32) é bem mais simples que a restrição inicial (30), sendo que esta simplificação é feita pelo pré-processamento do solver, como demonstrados na seção 2.2.2. Fica bem evidente pela simplificação desta restrição que tanto o professor 1 quanto o professor 2 não podem assumir aula nesse primeiro horário na turma t^* , turno r^* e dia d^* com um padrão de distribuição $q^* = 2$, pois PAD_{q^*,h^*}^* nesses casos vale 0.

Voltando ao exemplo do professor **M03** (QUADRO 14), notamos que $x_{49,5,1,4,1} = 1$, logo, qualquer variável do tipo $x_{p,5,1,4,q} = 0$, com $p \neq 49$ e $q \neq 1$, pois o conjunto de restrições (24) impedem que sejam distribuídas outras aulas de outros professores no mesmo horário, ou ainda, impedem que sejam distribuídas outras aulas do mesmo professor mas com um padrão diferente.

Como cada horário de uma turma só pode ser atendido por um único professor, existe a necessidade de restringir esse atendimento por horário também para o professor. O conjunto de restrições (25), garante que cada professor p , em determinado turno r , do dia d , no horário h , atenda apenas uma turma t , com um padrão de distribuição de aulas q . Considere um novo exemplo, com menor tamanho em relação ao problema real resolvido, para melhor entendimento desse conjunto de restrições:

Seja um professor p^* , de um turno r^* e dia d^* , mas apenas 2 horários para distribuir, ou seja, $h^* = \{1, 2\}$. Os três possíveis padrões de distribuição q^* e PAD_{q^*, h^*}^* estão explicados no QUADRO 15. Considere ainda no exemplo apenas 2 turmas. A restrição gerada para esse professor p^* , turno r^* e dia d^* , para o horário $h^* = 2$ é:

$$\begin{aligned} x_{p^*, 1, r^*, d^*, 1} * PAD_{1, 2}^* + x_{p^*, 1, r^*, d^*, 2} * PAD_{2, 2}^* + x_{p^*, 1, r^*, d^*, 3} * PAD_{3, 2}^* \\ + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 1} * PAD_{1, 2}^* + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 2} * PAD_{2, 2}^* + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 3} * PAD_{3, 2}^* \leq 1 \end{aligned} \quad (33)$$

Substituindo os valores PAD_{q^*, h^*}^* do QUADRO 15 em (33), obtemos:

$$\begin{aligned} x_{p^*, 1, r^*, d^*, 1} * 0 + x_{p^*, 1, r^*, d^*, 2} * 1 + x_{p^*, 1, r^*, d^*, 3} * 1 \\ + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 1} * 0 + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 2} * 1 + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 3} * 1 \leq 1 \end{aligned} \quad (34)$$

Efetuada as devidas simplificações, (34) resulta em:

$$x_{p^*, 1, r^*, d^*, 2} + x_{p^*, 1, r^*, d^*, 3} + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 2} + x_{p^*, 2, r^*, d^*, 3} \leq 1 \quad (35)$$

Portanto, os conjuntos de restrições (24) e (25) são semelhantes, pois ambos têm por objetivo garantir a exclusividade de atendimento do horário, sendo que o foco em (24) é o professor e em (25) é a turma.

O conjunto de restrições (26) garante a utilização de apenas um padrão de distribuição de aulas q do professor p na turma t , no dia d do turno r . Com isso, fica impedido que um professor tenha aulas separadas por janelas em uma mesma turma, em um mesmo turno e dia. Como mostra o QUADRO 16, o

professor **P04** tem quatro aulas na turma **PF1** na quarta-feira à tarde, mas com uma janelas entre as aulas.

QUADRO 16 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR P04,
SOMENTE TURNO DA TARDE
FONTE: O AUTOR (2016)

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		PF3	PF1		
3			PF1		
4					
5		PF2	PF1		
6		PF2	PF1		

Isso se dá pelo fato de que as aulas do segundo e terceiro horários são fixas, e as aulas do quinto e sexto horários são as aulas distribuídas posterior execução do modelo.

QUADRO 17 - QUADRO DE HORÁRIOS DA TURMA PF1, TURNO DA TARDE
FONTE: O AUTOR (2016)

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	Língua Portuguesa - M01	Introdução ao Tratamento de Imagens - Fixo10	Geografia - G02	Biologia - F03	Matemática - A06
2	Língua Portuguesa - M01	Introdução ao Tratamento de Imagens - Fixo10	Linguagem e Estética – P04	Biologia - F03	Educação Física - Fixo26
3	Sociologia 1º sem - V03	Teoria da Cor - Fixo31	Linguagem e Estética – P04	História - A03	Educação Física - Fixo26
4	Sociologia 1º sem - V03	Teoria da Cor - Fixo31	Língua Portuguesa - M01	História - A03	Física - J02
5	Equipamentos Fotográficos - Fixo08	Fotografia na Web - Fixo17	Língua Espanhola - P04	Imagem Memória e História - E02	Física - J02
6	Equipamentos Fotográficos - Fixo08	Fotografia na Web - Fixo17	Língua Espanhola - P04	Física - J02	Geografia - G02

No QUADRO 17, percebe-se que são aulas de disciplinas diferentes. Em ambos os quadros, a fonte em vermelho indica que é uma aula fixa. Portanto, na quarta-feira as disciplinas de **Linguagem e Estética** e **Língua Espanhola** serão ministradas pelo professor **P04**, sendo que entre elas a turma terá aula com um outro professor devido ao fato das disciplinas serem diferentes.

Para evitar que um professor dê a última aula do período da manhã e a primeira aula do período da tarde do mesmo dia, foram criadas as restrições do conjunto (27). Essas restrições foram necessárias pois o tempo de intervalo entre

os turnos da manhã e da tarde é de apenas 45 minutos, consideravelmente muito pouco tempo para almoçar, especialmente na região central onde está localizada esta instituição. Note no QUADRO 18 como o horário de aulas do professor **H01** na sexta-feira foi distribuído de maneira a deixar a aula do primeiro horário do turno da tarde vaga (com janela), pois no mesmo dia, no turno da manhã, o professor já possui uma aula distribuída na turma ADM1.

QUADRO 18 - QUADRO DE HORÁRIOS DO PROFESSOR H01, TURNOS MANHÃ E TARDE
FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					ADM2	1					
2					ADM2	2					PF3
3						3					PF3
4						4					
5					ADM1	5					
6					ADM1	6					

O conjunto de restrições (28) é necessário para que a quantidade de aulas de um professor não exceda a um máximo de aulas por dia, que é determinado por padrão no máximo 10 aulas para todos os professores. Esse número 10 foi atribuído a todas as posições do parâmetro multidimensional $MaxDia_p$, que foi mantido dessa forma caso houvesse a necessidade de se reduzir ou aumentar a quantidade máxima de aulas por dia de um professor.

O último conjunto de restrições (29) é referente ao atendimento das demandas das turmas. Esse conjunto de restrições garante que seja distribuída o total de aulas do professor p na turma t , pois caso aconteça durante a execução do modelo uma indisponibilidade de distribuir uma determinada aula a um professor p em qualquer horário h e período r , esta aula será designada ao Super Professor, pelo uso da variável inteira $SUPER_{p,t}$, mas com um custo muito alto para a Função Objetivo.

As igualdades do conjunto de restrições (29) garantem então a distribuição das aulas que não foram distribuídas, para o Super Professor, pois este não possui restrições de horários. Desta forma, todas as aulas necessárias do professor p na turma t serão distribuídas, ou para o professor, ou para o seu

“clone” (Super Professor), mas assim haverá uma penalização na Função Objetivo pelo uso do Super Professor.

Todos esses conjuntos de restrições, do (22) ao (29), são utilizados no modelo, independente da Função Objetivo. O conjunto de restrições (36) foi inicialmente proposto, mas após a realização de alguns testes foi retirado desse conjunto de restrições do modelo, pois com o mesmo não foi possível obter solução factível.

$$\sum_h \sum_q \sum_t (x_{p,t,r,d,q} * PAD_{q,h}) \geq SPU_{p,r,d} * \min dia_p \quad \forall p, r, d \quad (36)$$

Este conjunto de restrições estabiliza uma quantidade mínima de aulas por período r para cada professor p , para evitar que um professor se desloque até a instituição para dar apenas uma aula. Para a utilização dessas restrições é determinado um mínimo de 2 aulas por professor, exceto para os professores **J01**, **P01** e **S01** que possuem apenas 1 aula cada para a distribuição. Mas com esse conjunto de restrições a solução do problema utilizava 1 ou mais Super Professor. Em tempo de execução, foi realizada uma pausa no programa para estudo da solução atual e verificando quais indisponibilidades estavam ocorrendo, algumas alterações foram efetuadas na base de dados, nos campos de indisponibilidade. Efetuadas as devidas alterações, o programa foi executado mais uma vez, mas as infactibilidades continuaram acontecendo.

Devido a essa grande quantidade de problemas que foram acontecendo, esse conjunto de restrições foi descartado. Fica a sugestão da possibilidade de inclusão desse conjunto de restrições para trabalhos posteriores.

4.2 FUNÇÕES OBJETIVO UTILIZADAS E RESULTADOS

Para a resolução do problema de distribuição de horários do IFPR, Campus Curitiba, o modelo descrito na seção 4.1 foi utilizado com três funções objetivo diferentes, que substituem a função objetivo (21). A primeira função objetivo tem

por propósito apenas reduzir a quantidade de dias de aulas designados aos professores. A segunda função objetivo é utilizada com uma solução inicial obtida do uso do modelo com a primeira função objetivo, sendo seu foco apenas melhorar a distribuição de aulas dos dias já designados. Por fim, a terceira função objetivo é a união das duas anteriores e tem por propósito reduzir a quantidade de dias de trabalho de todos os professores e melhorar a distribuição das aulas em um mesmo dia já designado. Em seguida, para a o modelo com a última função objetivo, foi acrescentada uma nova restrição com o intuito de melhorar a distribuição das aulas ao longo do dia. Cada função objetivo será explicada nas seções a seguir.

Todos os modelos foram construídos por linguagem de programação VB.NET, assim como a leitura da base de dados e o tratamento inicial das variáveis anterior a construção do modelo. Os modelos criados foram executados no solver CPLEX, em *notebook* com processador *Core i3 2.3GHz*, segunda geração, com 4GB RAM. A solução obtida pelo solver é lida e transcrita na planilha eletrônica também por linguagem de programação VB.NET.

4.2.1 Reduzir dias

$$\min \quad M * \sum_p \sum_t SUPER_{p,t} + \sum_p \sum_r \sum_d SPU_{p,r,d} \quad (37)$$

A função objetivo (37) minimiza a quantidade de dias e períodos de aulas dos professores de todos os professores e minimiza também a utilização do **Super Professor**, que é penalizado seu uso pelo fator multiplicativo M . Como a variável binária $SPU_{p,r,d}$ indica se o professor p dará ou não aula no dia d e período r e não existe nenhum fator multiplicativo para o conjunto de somatório que ela pertence, a função objetivo procura reduzir drasticamente a quantidade de variáveis $SPU_{p,r,d}$ designadas, o que significa reduzir a quantidade de dias e períodos de compromissos dos professores com a instituição.

Após duas horas de execução do modelo com essa função objetivo, o valor obtido foi 177. Com esse valor podemos concluir que nenhum **Super Professor** foi utilizado. Essa solução obtida não é a ótima, mas é uma solução aceitável, tendo em vista que todas as demandas de aulas de todas as turmas foram designadas aos professores, não havendo nenhum conflito de horário. A resposta obtida está listada no Apêndice C.

O QUADRO 19 mostra os horários de disponibilidade do professor **E03**, enquanto que o horário obtido para este professor está listado no QUADRO 20.

QUADRO 19 - DISPONIBILIDADE DO PROFESSOR E03

FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex		Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x		1			x		x
2					x		2			x		x
3					x		3			x		x
4					x		4			x		x
5					x		5			x		x
6					x		6			x		x

Do Apêndice B notamos que o professor **E03** tem no total 12 aulas para serem distribuídas.

QUADRO 20 - DISTRIBUIÇÃO DE HORÁRIO OBTIDO PARA O PROFESSOR E03 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO REDUZIR DIAS

FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex		Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	C1			JD1			1					
2	C1			JD1			2					
3	PEG1			ADM1			3					
4	PEG1			ADM1			4					
5	I1			MEC1			5					
6	I1			MEC1			6					

O valor que esta solução obtida para o professor **E03** acrescenta na função objetivo é 2, isto porque todas as suas aulas estão distribuídas em apenas dois dias, ou seja, $SPU_{26,1,1} = 1$ e $SPU_{26,1,4} = 1$.

Do Apêndice B notamos também que o professor **E02** tem no total 6 aulas para serem distribuídas. Mas do QUADRO 21 tem-se a informação de que esse professor já tem uma aula fixa no quinto horário de quinta-feira no turno da tarde, mas essa aula não interfere nas aulas que precisam ser distribuídas. Como esse professor marcou indisponibilidade em seus dois últimos horários de quinta-feira no turno da manhã, sobram quatro horários no turno da manhã e 5 horários no turno da tarde, deste mesmo dia, para a distribuição das 6 aulas.

QUADRO 21 - INDISPONIBILIDADE DE HORÁRIOS DO PROFESSOR E02

FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex		Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x						1	x				
2	x						2	x				
3	x						3	x				
4	x						4	x				
5	x		x	x			5	x			PF1	
6	x		x	x			6	x				

Mas a resposta obtida para este professor com o modelo de função objetivo de reduzir os dias está listada no QUADRO 22.

QUADRO 22 - DISTRIBUIÇÃO DE HORÁRIO OBTIDO PARA O PROFESSOR E02 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO REDUZIR DIAS

FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex		Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					I3		1					
2					I3		2					
3					C3		3					
4					C3		4					
5					PEG3		5				PF1	
6					PEG3		6					

De fato, para o modelo utilizado, distribuir essas 6 aulas todas na quinta-feira de forma que algumas aulas sejam distribuídas no turno da manhã e outras no turno da tarde é numericamente igual do que a resposta obtida. Isso porque a leitura inicial da aula fixa já determina para o modelo $SPU_{25,2,5} = 1$, e se mais

alguma aula fosse distribuída nesse dia e turno esse valor não se alteraria, mas o limite de aulas possíveis a distribuir nessa condição é 5, ou seja, faltaria ainda no mínimo uma aula para ser distribuída em outro dia e turno, tendo então mais uma variável $SPU_{25,r,d} = 1$

. Com a distribuição obtida no QUADRO 22 temos $SPU_{25,1,6} = 1$ e $SPU_{25,2,5} = 1$, ou seja, essa distribuição é uma das melhores que se pode obter para esse caso.

4.2.2 Melhorar a distribuição

$$\min M * \sum_p \sum_t SUPER_{p,t} + \sum_p \sum_t \sum_r \sum_d \sum_q (x_{p,t,r,d,q} * psx_{p,t,r,d,q}) \quad (38)$$

Esta função objetivo (38) também penaliza a utilização do **Super Professor** pelo uso do fator multiplicativo M no primeiro conjunto de somatórios. No segundo conjunto de somatórios tem-se que cada designação de aula obtida em $x_{p,t,r,d,q}$ está sendo multiplicada por um determinado peso $psx_{p,t,r,d,q}$, conforme explicado na seção 2.2.2.

Para a aplicação do modelo com a função objetivo (38) foi necessário realizar um tratamento na base de dados, pois utilizamos como solução inicial aquela obtida na seção anterior, que consta no apêndice 1. Nesta resposta, é colocado um “Y” em todos os horários do dia e turno em que não foram designadas nenhuma aula QUADRO 23.

QUADRO 23 - TRATAMENTO DA RESPOSTA OBTIDA PARA O PROFESSOR E05 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO REDUZIR DIAS
FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	Y	Y	ADM1	C2	Y	1	Y	Y	Y	Y	Y
2	Y	Y	ADM1	C3	Y	2	Y	Y	Y	Y	Y
3	Y	Y		C3	Y	3	Y	Y	Y	Y	Y
4	Y	Y			Y	4	Y	Y	Y	Y	Y
5	Y	Y			Y	5	Y	Y	Y	Y	Y

6	Y	Y	C2		Y		6	Y	Y	Y	Y	Y
---	---	---	----	--	---	--	---	---	---	---	---	---

Desta forma, os dias de trabalho do professor E05 não mudarão, sendo a finalidade da função objetivo (38) apenas tentar uma nova distribuição com os horários que estão disponíveis no mesmo dia.

Os pesos das distribuições de aula variam do valor 1 até o valor 10. Esses valores são atribuídos para o parâmetro multidimensional $psx_{p,t,r,d,q}$ via código em linguagem de programação VB.NET conforme explicado na seção 2.2.2.

O resultado obtido com a utilização desta função objetivo no modelo, executado no solver CPLEX, foi de 149. Isso significa que algumas alterações no quadro de horários foram obtidas, conforme Apêndice D. O QUADRO 24 mostra o quadro de horários para o exemplo do professor **E05**.

QUADRO 24 - DISTRIBUIÇÃO DE HORÁRIO OBTIDO PARA O PROFESSOR E05 COM O MODELO DE FUNÇÃO OBJETIVO MELHORAR DISTRIBUIÇÃO
 FONTE: O AUTOR (2016)

Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex		Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				C2			1					
2			ADM1	C3			2					
3			ADM1	C3			3					
4			C2				4					
5							5					
6							6					

4.2.3 Reduzir dias e melhorar distribuição

$$\min M * \sum_p \sum_t SUPER_{p,t} + N * \sum_p \sum_r \sum_d SPU_{p,r,d} + \sum_p \sum_t \sum_r \sum_d \sum_q (x_{p,t,r,d,q} * psx_{p,t,r,d,q}) \quad (39)$$

A função objetivo (39) procura reduzir a quantidade de dias de aulas a todos os professores, de modo geral, pois do segundo conjunto de somatórios temos $SPU_{p,r,d}$, uma variável binária que indica se o professor p dará ou não aula no dia d do turno r , independentemente da quantidade de aulas nesse dia e

período. O objetivo é, neste ponto, reduzir essa quantidade de dias e turnos de todos os professores.

A utilização desse dia d e turno r pelo professor p é penalizada pelo parâmetro unidimensional N . Do primeiro conjunto de somatório tem-se o fator multiplicativo M que penaliza a utilização de um **Super Professor**. Destaca-se que M é 10000 vezes maior que N , ou seja, a utilização da variável $SUPER_{p,t}$ indica a inviabilidade da solução.

Do terceiro conjunto de somatórios o objetivo específico é melhorar a distribuição das aulas ao longo do dia, pelo fato de que cada designação de aula indicada em $x_{p,t,r,d,q}$ é multiplicada por um peso $psx_{p,t,r,d,q}$, sendo esses pesos no máximo 10% do valor de N .

De um modo geral, a função objetivo (39) é uma combinação entre as funções objetivo (37) e (38). Mas neste caso, houve uma pequena piora no valor objetivo alcançado, que foi de 18031. Deste valor, 17900 é referente a designação de dias e turnos aos professores pela variável binária $SPU_{p,r,d}$, ou seja, $179 * N$. No caso da resolução do problema com o modelo de função objetivo (37) foi obtido 177. Do valor restante, ou seja, 131, referente a melhoria da distribuição por conta dos pesos $psx_{p,t,r,d,q}$, este resultado foi melhor que o obtido na resolução do problema com o modelo de função objetivo (38), que foi de 149. A causa dessa diferença é por conta de que nesta função objetivo (39) os dias de designação de aulas dos professores não são restritos como em (38), havendo uma maior liberdade para a otimização desses pesos.

A solução do problema de distribuição de horários obtida com o uso deste modelo com essa função objetivo pode ser verificado no Apêndice E.

5 CONCLUSÃO

De fato, a distribuição de horários de professores, ou quadro de horários, é um problema de imensa complexidade. Ao longo do estudo e pesquisa de trabalhos acerca de *school timetabling*, nota-se a preferência em solucionar o problema com o uso de heurísticas e metaheurísticas. Isso se deve ao fato de que, em muitos casos, há a necessidade de se obter a solução em um tempo consideravelmente rápido (por exemplo, no mesmo dia, ou na mesma hora). Portanto, fica inviável de se resolver esse problema à mão, como em muitas escolas são realizadas, principalmente quando a quantidade de professores e turmas aumenta.

As abordagens heurísticas e metaheurísticas em muitos casos são suficientes para se obter uma boa solução em um curto tempo. Mas o foco deste trabalho foi a abordagem por método exato, em Programação Linear Inteira e Binária. Com a evolução da tecnologia, que é capaz de aumentar a cada ano sua velocidade de processamento, tanto se tratando de desenvolvimento de *hardware* como se tratando de melhorias de *software*, o problema de otimização de quadro de horários pode ser resolvido por método exato, mesmo se tratando de problemas com uma quantidade grande de variáveis.

Verificou-se em trabalhos correlatos que nenhuma abordagem havia sido realizada se tratando de distribuição de horários com turmas que possuem aulas no contra turno. Esta foi uma das características que diferenciaram este presente trabalho de outros que já existiam.

Outra particularidade deste trabalho foi a forma de criar restrições que evitassem a distribuição de duas ou mais aulas de um mesmo professor e disciplina a uma mesma turma, com uma ou mais janelas entre as aulas. Em vários trabalhos essa característica é abordada com a criação de uma grande quantidade de restrições. No modelo utilizado neste trabalho, este problema é resolvido com a utilização de padrões de distribuição, que determinam, a partir de uma quantidade de aulas, como será realizada a distribuição dessas aulas do

professor na turma, evitando assim janelas entre as aulas de mesma disciplina na mesma turma.

Foram criados então 21 padrões de distribuição de aulas diferentes, sendo que destes apenas 15 são utilizados definitivamente no modelo. Os padrões que não foram utilizados são os padrões de distribuição de 4 aulas, 5 aulas e 6 aulas. Isto porque no caso aplicado, os professores tinham no máximo 5 aulas em uma mesma turma, mas essas 5 aulas eram forçadas a serem distribuídas em 2 dias, ou seja, 3 aulas em um dia e 2 aulas em outro dia, que são padrões do 12 ao 15 e do 7 ao 11, respectivamente.

Mesmo consciente deste fato, os 21 padrões foram mantidos porque eventualmente poderia acontecer a necessidade de distribuir 4, 5 ou 6 aulas de um professor em uma turma no mesmo dia. A presença desses padrões de distribuição que não foram utilizados não afetavam no desempenho de execução do modelo, pois as variáveis que contavam com esses padrões eram eliminadas do modelo no préprocessamento dos dados.

Como no problema de *school timetabling* os professores elegem um dia de folga, que é o caso mais comum, ou indicam seus horários de indisponibilidade, como é o caso do Instituto Federal do Paraná, Campus Curitiba, em que este trabalho foi aplicado, criam-se restrições de horários, que podem resultar em conflitos de horários, ou seja, obtém-se uma solução infactível. Para conseguir descobrir de uma forma rápida e eficiente quais horários estavam incompatíveis, seja por conta da indisponibilidade do horário do professor ou da turma, foram criadas variáveis que representavam ‘clones’ dos professores, chamadas de **Super Professor**. Quando havia incompatibilidade de horários, o **Super Professor** assumia essa aula na turma, pois ele não tem restrição de horários.

A não utilização desse **Super Professor** significa sucesso na distribuição dos horários, pois assim tem-se o atendimento total das demandas de cada turma. Como exemplo, em um dos testes executados, observou-se que o melhor valor encontrado na resolução pelo CPLEX estava com o valor muito elevado, conduzindo a conclusão de que ao menos um **Super Professor** havia sido

utilizado. O teste foi pausado e a solução parcial obtida foi gerada e nela constava efetivamente a utilização de uma variável $SUPER_{p,i}$.

Desta forma, foi possível identificar o professor no primeiro parâmetro do índice da variável, e uma análise na base de dados foi realizada. Constatou-se que o professor tinha disponível apenas 10 horários em um mesmo dia para a distribuição de suas 10 aulas. Mas neste teste, o parâmetro multidimensional $MaxDia_p$ estava valendo 8, ou seja, no conjunto de restrições x impedia que fossem distribuídas as 10 aulas do professor no seu único dia disponível. Neste momento, haviam duas soluções para este problema encontrado: ou solicitava para o professor disponibilizar mais alguns horários em outro dia, ou aumentava a quantidade de aulas máximas por dia para 10. Para a solução deste problema, adotamos a segunda opção.

Esta decisão de acrescentar as incompatibilidades de horários à uma variável também torna a abordagem realizada neste trabalho inovadora.

A nova abordagem criada com o uso do método exato para a solução do problema de distribuição de horários atingiu satisfatoriamente os objetivos, pois foi possível obter várias soluções de quadros de horários, diferentemente do que se realizava anteriormente na instituição, em que essa alocação de horários era realizada manualmente. Com o horário pronto, é possível ainda ter descontentamento por conta de alguns professores, mas sugere-se que estes negociem horários uns com os outros e realizem uma troca simples, o que de fato é cultura na instituição.

Sugere-se para trabalhos futuros que seja acrescentada ao modelo restrições de estipulam um número mínimo de aulas por dia por professor. Existem também a possibilidade de acrescentar ao parâmetro multidimensional $MaxDia_p$ a quantidade máxima de aulas que cada professor deseja ter no dia.

Sugere-se também que seja analisada a possibilidade de acrescentar restrições ao modelo para distribuir também as aulas dos cursos Subsequentes, dos turnos da manhã, tarde e noite, e também os horários dos cursos de Graduação do turno da noite, possibilitando que o horário seja resolvido uma

única vez, já que muitos professores que dão aulas nesses cursos também lecionam para o Ensino Médio com Técnico Integrado, foco do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. W. DE S. **Utilização de algoritmos genéticos para montagem de horários acadêmicos com foco na blocagem de horários.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

ALVES, R. H. DE J. **Metaheurísticas Aplicadas ao Problema de Horário Escolar.** [s.l.] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2010.

ANDERSON, H. **School Timetabling in Theory and Practice A comparative study of Simulated Annealing and Tabu Search.** [s.l: s.n.].

ANDRADE, P. R. DE L. Otimização Na Geração De Grade Horária Escolar Através De Um Modelo Matemático E Das Meta-Heurísticas Busca Local E Iterated Local Search. p. 222, 2014.

ANDRADE, P. R. DE L.; SCARPIN, C. T.; STEINER, M. T. A. Geração de grade horária do curso de Engenharia de Produção da UFPR através de programação linear binária. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 1052–1063, 2012.

BARATA, B. M. P. et al. Problema de Alocação de Horários : um Estudo de Caso Utilizando o Software Livre FET. **Revista Eletronica TECCEN**, v. 3, n. 2, p. 13–22, 2010.

BORGES, S. K. **RESOLUÇÃO DE TIMETABLING UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS E EVOLUÇÃO COOPERATIVA.** [s.l.] UFPR, 2003.

BRAZ JÚNIOR, O. D. O. Otimização De Horários Em Instituições De Ensino Superior Através De Algoritmos Genéticos. 2000.

CARVALHO, R. DE. Abordagem heurística para o problema de programação de horários de cursos. p. 119, 2011.

CHONG-KEAT, T.; WIBOWO, A.; NGADIMAN, S. Jurnal Teknologi Full paper. v. 1, p. 153–157, 2015.

CISCON, L. A. et al. O Problema de Geração de Horários: Um Foco na Eliminação de Janelas e Aulas Isoladas. **XXXVII Brazilian Symposium of Operational Research**, 2005.

CISCON, L. A. et al. The School Timetabling Problem: A Focus on Elimination of Open Periods and Isolated Classes. **Hybrid Intelligent Systems, 2006. HIS '06. Sixth International Conference on**, p. 70, 2006.

COLORNI, A. Metaheuristics for High School Timetabling. v. 298, p. 275–298,

1998.

DASKALAKI, S.; BIRBAS, T.; HOUSOS, E. An integer programming formulation for a case study in university timetabling. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 1, p. 117–135, 2004.

FANG, H. Genetic Algorithms in Timetabling and Scheduling. **Doctoral dissertation**, 1994.

FEO, T. A.; RESENDE, M. G. C. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. **Journal of Global Optimization**, v. 6, n. 2, p. 109–133, 1995.

FERREIRA, P. S. et al. Aplicação de Programação Inteira na Distribuição de Encargos Didáticos em Instituições de Ensino. **TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 12, n. 2, p. 135–144, 2011.

FONSECA, G. et al. Técnicas de Busca Local para o Problema da Programação de Horários Escolares. **Anais do SBPO**, p. 1092–1103, 2012.

GÓES, A. R. T. **Otimização Na Distribuição Da Carga Horária De Professores - Método Exato, Método Heurístico, Método Misto E Interface**. Curitiba: Universidade Federal do paraná, 2005.

GÓES, A. R. T.; COSTA, D. M. B.; STEINER, M. T. A. Otimização na programação de horários de professores / turmas : Modelo Matemático , Abordagem Heurística e Método Misto. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 5, n. 1, p. 50–66, 2010.

GREEN, C. D. Chapter 2 The Generalisation and Solving of Timetable Scheduling Problems. 1999.

HAMAWAKI, C. D. L. **Geração Automática de Grade Horária Usando Algoritmos Genéticos : O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU**. [s.l: s.n.].

KOTSKO, E. G. DA S.; STEINER, M. T. A.; MACHADO, A. L. DA F. OTIMIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DA GRADE HORÁRIA ESCOLAR – UMA APLICAÇÃO –. **A pesquisa Operacional e os Recursos Renováveis**, v. XXXV, p. 13, 2003.

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, 2015.

LAWRIE, N. L. An integer linear programming model of a school timetabling problem. n. 1, p. 10, 1969.

MANSOR, Z. et al. **IMPLEMENTATION OF FET APPLICATION IN**

GENERATING A UNIVERSITY COURSE AND EXAMINATION TIMETABLING. Second International Conference on Information Technology and Business Application. **Anais...**2013

MARQUES JÚNIOR, M. F.; PEREIRA, D. R.; SILVA, F. A. DA. APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS NA CONSTRUÇÃO. p. 22–32, 2015.

MOURA, A. et al. Técnicas Metaheurísticas Aplicadas À Construção De Grades Horárias Escolares. **XXXVI SBPO - O Impacto da Pesquisa Operacional nas Novas Tendências Multidisciplinares**, p. 1–12, 2004.

MUGGY, L.; EASTON, T. Generating class schedules within a complex modular environment with application to secondary schools. **Journal of Scheduling**, v. 18, n. 4, p. 369–376, 2015.

NETTO, F. S. Aplicação de Algoritmos Genéticos na Elaboração de Horários Escolares: o estudo do caso Inteliway. **EnANPAD**, 2011.

NGUYEN, V. H.; LUU, T. C.; PHAM, Q. D. Solving the TimeTabling problem at FPT University. 2015.

ODENIYI, O. A. et al. Development of a Modified Simulated Annealing to School Timetabling Problem. **International Journal of Applied Information Systems**, v. 8, n. 2, p. 16–24, 2015.

OLIVEIRA, J. G. DE; VIANNA, D. S.; VIANNA, M. DE F. D. UMA HEURÍSTICA GRASP + VND PARA O PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE HORÁRIO. v. 7, p. 326–335, 2012.

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. A constructive evolutionary approach to school timetabling. **Applications of Evolutionary Computing**, p. 130–139, 2001.

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. An integer programming model for the school timetabling problem. **XIII Congresso Latino-Ibero Americano de Investigaci{ó}n Operativa (CLAIO)**, v. 27, p. 6, 2006.

RODRIGUES, S. et al. Alocando horários de aulas nos cursos de Bacharelado em Sistemas de Informação e Licenciatura em Computação do Campus Universitário Vale do Teles Pires utilizando FET Timetabling – Um estudo de Caso. **Anais ERI-MT**, n. 2010, p. 50–55, 2015.

ROMERO, R.; BUOSI, E.; LOTUFO, A. D. Algoritmo evolutivo para a otimização da grade horária do curso de engenharia elétrica da FEIS-UNESP. 2003.

SANTOS, H. G. **Formulações e Algoritmos para o Problema de Programação de horários em Escolas.** [s.l: s.n.].

SANTOS, H. G. et al. Strong Bounds with Cut and Column Generation for Class-Teacher Timetabling. 2010.

SANTOS, H. G.; SOUZA, M. J. F. Programação de Horários em Instituições Educacionais: Formulações e Algoritmos. p. 2827–2882, 2007.

SEGATTO, E. D. A. et al. Um Algoritmo GRASP com Cadeia de Kempe Aplicado ao Problema de Tabela-horário para Universidades. 2007.

SOUSA, V. N.; MORETTI, A. C.; PODESTÁ, V. A. Programação da grade de horário em escolas de ensino fundamental e médio. p. 399–421, 2008.

SOUZA, M. J. F.; MACULAN, N.; OCHI, L. S. A GRASP-TABU Search Algorithm for Solving School Timetabling Problems. **Maurício G. C. Resende; Jorge Pinho de Sousa. (Org.)**, v. 86, p. 659–672, 2003.

SPINDLER, M. **Uma proposta de solução para problemas horário educacional utilizando busca dispersa e reconexão de caminhos.** [s.l: s.n.].

APÊNDICES

Apêndice A: Horário de disponibilidade dos professores

A01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2					
	3					
	4					
	5			ADM3		
	6			ADM3		

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

A03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x			x
	2	x	x			x
	3	x	x			x
	4	x	x			x
	5	x	x			x
	6	x	x			x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x				x
	2	x				x
	3	x				x
	4	x				x
	5	x				x
	6	x				x

A05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			x		x
	2					x

A02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x		x	x
	2	x	x		x	x
	3	x	x		x	x
	4	x	x		x	x
	5	x	x		x	x
	6	x	x		x	x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x		x	x
	3	x	x		x	x
	4	x	x		x	x
	5	x	x		x	x
	6	x	x	x	x	x

A04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PEG2			x	x
	2	PEG2			x	x
	3				x	x
	4				x	x
	5				x	x
	6				x	x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				x	x
	2				x	x
	3				x	x
	4				x	x
	5				x	x
	6				x	x

A06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					

3					x
4					x
5					x
6					x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				x
2	x				x
3	x				x
4	x				x
5	x		x		x
6	x		x		x

3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

A07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						x
2						x
3						x
4						x
5						x
6						x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x
2					x
3					x
4					x
5					x
6					x

A08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x			
2		x	x			
3		x	x			
4		x	x			
5		x	x			
6		x	x			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x			
2	x	x			
3	x	x			
4	x	x			
5	x	x			
6	x	x			

A09	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	x
2		x	x	x	x	x
3		x				
4		x				
5		x				
6		x	x	x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x

B01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

4	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x

4					
5					
6					

C01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

C02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				x	x	x
2				x	x	x
3				x	x	x
4				x	x	x
5				x	x	x
6				x	x	x

C04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x			
2		x	x			
3		x	x			
4		x	x			
5		x	x			
6		x	x			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			x	x	x
2	PF3		x	x	x
3			x	x	x
4			x	x	x
5			x	x	x
6			x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x			
2	x	x			
3	x	x			
4	x	x			
5	x	x			
6	x	x			

C05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						

C06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x				x
2		x				x
3		x				x

4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

4	x				x
5	x				x
6	x				x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				x
2	x				x
3	x				x
4	x				x
5	x				x
6	x				x

C07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

D01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					

D02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x					
2	x					
3	x					
4	x					
5	x					
6	x					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				
2	x				
3	x				
4	x				

5					
6					

5	x				
6	x				

D03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x	
2					x	
3					x	
4					x	
5					x	
6					x	

D04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				x	
2				x	
3				x	
4				x	
5				x	
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

D05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	
2		x	x	x	x	
3		x	x	x	x	
4		x	x	x	x	
5		x	x	x	x	
6						

E01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x	
2					x	
3					x	
4					x	
5					x	
6					x	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				
2	x				
3	x				
4	x				
5	x				
6	x				

E02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x				
2		x				
3		x				
4		x				

E03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						x
2						x
3						x
4						x

5	x		x	x	
6	x		x	x	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				
2	x				
3	x				
4	x				
5	x			PF1	
6	x				

5					x
6					x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			x		x
2			x		x
3			x		x
4			x		x
5			x		x
6			x		x

E04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

E05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2					C3	
3					C3	
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

F01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD1			
2		JD1			
3					
4					
5	x	x	x	x	x

F02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					

6	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---

6					
---	--	--	--	--	--

F03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x				
	2	x				
	3	x				
	4	x				
	5	x				
	6	x	PEG1			

G01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	4	x	x	x	x	x
	5	x	x	x	x	x
	6	x	x	x	x	x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x				
	2	x				
	3	x				
	4	x				
	5	x				
	6	x				

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				x	x
	2				x	x
	3				x	x
	4				x	x
	5				x	x
	6				x	x

G02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x			
	2	x	x			
	3	x	x			
	4	x	x			
	5	x	x			
	6	x	x			

G03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6		x			

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x			
	2	x	x			
	3	x	x			
	4	x	x			
	5	x	x			
	6	x	x			

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

G04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	4	x	x	x	x	x
	5	x	x	x	x	x

H01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

6	x	x	x	x	x
Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x	x
2		x		x	x
3		x		x	x
4		x		x	x
5		x		x	x
6		x		x	x

6					
Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x			
2	x	x			
3	x	x			
4	x	x			
5	x	x			
6	x	x	x	x	x

I01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PF3				x
	2	PF2				x
	3					x
	4					x
	5					x
	6					x

J01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x		x
	4	x	x	x		x
	5	x	x	x		x
	6	x	x	x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			x		x
2					x
3					x
4					x
5					x
6					x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x

J02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x				
	2	x				
	3	x				
	4	x				
	5	x				
	6	x				

J03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				x	x
	2				x	x
	3	x	x	x	x	x
	4	x	x	x	x	x
	5	x	x	x	x	x
	6	x	x	x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				
2	x				
3	x				
4	x				
5	x				
6	x				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x	x	x
2				x	x
3				x	x
4				x	x
5				x	x
6	x	x	x	x	x

J04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

L02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x				x
2		x				x
3		x				x
4		x				x
5						
6		x	x	x	x	x

L04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ADM1	I1			
2		ADM1	I1	I1		
3				I1		
4						
5		C1				
6		C1				

L01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				x		
2				x		
3				x		
4				x		
5				C2		
6				x		

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				x		
2				x		
3				x		
4				x		
5				x		
6				x		

L03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x		x	
2		x	x		x	
3		x	x	x	x	x
4		x	x	x	x	x
5		x	x	x	x	x
6		x	x	x	x	x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				x		
2				x		
3				x		
4				x		
5				x		
6		x	x	x	x	x

L05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

M01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3						x
4						x
5						x
6						x

M02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x
2					x
3					x
4					x
5	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

M03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x					PG3
2	x					PG3
3	PEG2					
4	PEG2					PG1
5	x				PG3	PG1
6	x				PG3	

M04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x	x			
2	x	x	x			
3	x	x	x			
4	x	x	x			
5	x	x	x			
6	x	x	x			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x				
2	x				
3	x				
4	x				
5	x				x
6	x				x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x		x		
2	x		x		
3	x		x		
4	x		x		
5	x		x		
6	x		x		

M05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			x	x	x
	2			x	x	x
	3			x	x	x
	4			x	x	x
	5			x	x	x
	6			x	x	x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					x
	2					x
	3					x
	4					x
	5					x
	6					x

P01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3			x	x	
	4			x	x	
	5			x	x	
	6			x	x	

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

P03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		x		x	
	2		x		x	
	3		x		x	
	4		x		x	
	5		x		x	
	6		x		x	

M06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3					
	4					
	5					
	6					

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					x
	2					x
	3					x
	4					x
	5					x
	6					x

P02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3					
	4					
	5					
	6					

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

P04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2					
	3					
	4					
	5					
	6	x	x	x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x	
2		x		x	
3		x		x	
4		x		x	
5		x		x	
6		x		x	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		PF3	PF1		
3			PF1		
4					
5		PF2			
6		PF2			

P05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

P06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x	x	x
2		x		x	x	x
3		x		x	x	x
4		x			x	x
5		x			x	x
6		x			x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x		x	x	x
2	x		x	x	x
3	x		x	x	x
4	x		x	x	x
5	x		x	x	x
6	x		x	x	x

R01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	x
2						
3						
4						
5						
6						

R02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6	x	x	x	x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x

R03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

R04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	x
2		x	x	x	x	x
3					x	
4					x	
5					x	
6					x	x

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	x
2		x				
3		x				
4		x				
5		x				
6		x				

S01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			x	x	x	x
2			x	x	x	x
3			x	x	x	x
4			x	x	x	x
5			x	x	x	x
6			x	x	x	x

S02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	x
2						
3						
4						
5						
6						

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x				
2		x				
3		x				
4		x				
5		x				
6		x				

S03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex

S04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x		
2		x		x		
3		x		x		
4		x		x		
5		x		x		
6		x		x		

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex

1					
2					
3					
4					
5					
6					

1		x		x	x
2		x		x	x
3		x		x	x
4		x		x	x
5		x		x	x
6		x		x	x

T01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x		x
2		x		x		x
3						
4						
5						
6						

T02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x	x	x	x	x
2		x	x	x	x	x
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

T03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x	x	x
2		x		x	x	x
3		x		x	x	x
4		x		x	x	x
5		x	PEG1	x	x	x
6		x		x	x	x

T04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x	x
2					x	x
3					x	x
4					x	x
5					x	x
6					x	x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		x		x	
2		x		x	
3		x		x	
4		x		x	
5		x		x	
6		x		x	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				x	x
2				x	x
3				x	x
4				x	x
5				x	x
6				x	x

V01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
-----	-------	-----	-----	-----	-----	-----

V02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
-----	-------	-----	-----	-----	-----	-----

1	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x
3	x	x			
4	x	x			
5	x	x			
6	x	x			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	x	x			
2	x	x			
3	x	x			
4	x	x			
5	x	x			
6	x	x			

1	x	x	x	x	x
2					x
3					x
4					x
5					x
6					x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x
2					x
3					x
4					x
5					x
6					x

V03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x			x
	2	x	x			x
	3	x	x			x
	4	x	x			x
	5	x	x			x
	6	x	x			x

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					x
2					x
3					x
4					x
5					x
6					x

W01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x

W02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					

2					
3					
4					
5					
6					

Apêndice B: Quadro resumo: quantidade de aulas professor x turma

		A	A	A	C	C	C	E	E	E	I	I	I	J	J	J	M	M	M	P	P	P	P	P	P	TOTAL
		D	D	D	O	O	O	L	L	L	N	N	N	O	O	O	E	E	E	E	E	E	F	F	F	DE
		M	M	M	N	N	N	E	E	E	F	F	F	G	G	G	C	C	C	G	G	G	F	F	F	AULAS
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	DO
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	PROFES
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	SOR
1	A01	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	8
2	A02	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	10
3	A03	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4
4	A04	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8
5	A05	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
6	A06	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	9
7	A07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8
8	A08	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	13
9	A09	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	12
10	B01	3	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
11	C01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
12	C02	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	9
13	C03	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
14	C04	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
15	C05	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
16	C06	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
17	C07	0	0	0	0	2	2	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	14
18	C08	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
19	D01	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	14
20	D02	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8
21	D03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	12
22	D04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
23	D05	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
24	E01	0	2	0	3	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
25	E02	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6
26	E03	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	12
27	E04	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
28	E05	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
29	F01	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	15
30	F02	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	12
31	F03	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	8
32	G01	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9
33	G02	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	10

34	G03	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	8				
35	G04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	0	9			
36	H01	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6				
37	I01	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	7		
38	J01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
39	J02	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	2	12		
40	J03	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	14	
41	J04	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	
42	L01	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	8	
43	L02	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	11	
44	L03	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	14	
45	L04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
46	L05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
47	M01	0	0	2	0	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	16		
48	M02	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
49	M03	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
50	M04	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	9	
51	M05	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	
52	M06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
53	P01	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
54	P02	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
55	P03	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	16	
56	P04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	
57	P05	0	2	0	2	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	16	
58	P06	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
59	R01	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	12	
60	R02	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
61	R03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	4
62	R04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
63	S01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
64	S02	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
65	S03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5	
66	S04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	6	
67	T01	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
68	T02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
69	T03	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	
70	T04	0	2	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	14	
71	V01	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	10	
72	V02	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	8	
73	V03	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	
74	W01	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	8	

75	WO 2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	6
AULAS A DISTRIBUI R		2 7	2 8	2 8	3 1	3 2	2 7	2 2	2 2	2 0	2 4	2 2	2 1	2 2	2 2	2 1	2 5	2 2	2 2	2 3	2 4	2 4	2 2	2 2	2 0	
AULAS FIXAS		6	4	3	4	3	3	1 0	1 6	1 8	1 1	1 5	1 1	1 6	2 3	1 7	1 0	1 7	1 2	1 2	1 3	1 1	1 3	1 3	9	
TOTAL AULAS DAS TURMAS		3 3	3 2	3 1	3 5	3 5	3 0	3 2	3 8	3 8	3 5	3 7	3 2	3 8	4 5	3 8	3 5	3 9	3 4	3 5	3 7	3 5	3 5	3 5	2 9	

Apêndice C: Quadro de horário dos professores obtido utilizando o modelo de Função Objetivo Reduzir Dias (37)

A01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3				ADM2		
4				ADM2		
5				ADM3		
6				ADM3		

A02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				C3		
2				C3		
3				PEG3		
4				PEG3		
5				PEG2		
6				PEG2		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	JD2	JD2			
2					
3	PF2				
4	PF2				
5					
6	ELE2	ELE2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2			PEG1		
3			PEG1		
4			MEC3		
5			MEC3		
6					

A03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

A04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		PEG2				
2		PEG2				
3		ADM1				
4		PF1				
5		PF1	JD1			
6			ADM1			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				PF1	
2				PF1	
3					
4					
5				ELE1	
6				ELE1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	ELE1				
2	ELE1				
3					
4					
5					
6	JD1				

A05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	I1				
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

A06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				ADM2	
	2	PF1			ADM2	
	3	PF1				
	4	ADM2			JD1	
	5				JD1	
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ELE1		ELE1	
2				ELE1	
3				I1	
4				I1	
5		JD1			
6		JD1		JD1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					PF1
2					
3					
4					
5					
6					JD1

A07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			I3		
	2			I3		
	3					

A08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				PEG2	
	2				PEG2	
	3				ELE2	

4					
5			PEG3		
6			PEG3		

4				ELE2	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	JD3				
2	JD3				
3					
4					
5	PF3				
6	PF3				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD2	MEC2
2				JD2	MEC2
3					MEC1
4				MEC1	MEC1
5					
6				PF2	PF2

A09	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3			PEG2	C3	PEG2	ADM3
4			ELE3	PF2	MEC3	ADM3
5			ELE3	PF2	MEC3	C3
6						

B01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				C2		C1
2						C1
3				C1		C2
4				C1		C2
5				C1		ADM1
6				ADM1		ADM1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

C02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				PEG3	
	2				MEC3	
	3	PEG3			MEC3	
	4	PEG3				
	5	ELE1				
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					JD1
2					JD1
3					
4					
5					MEC1
6					MEC1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					ELE1
5					ELE1
6					MEC3

C03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM2	C3			
	2	ADM2	C3			
	3	C2				

C04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					C2
	2					C2
	3			C2		

4	C2				
5	ADM3	ADM3			
6					

4			C2		
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	PF3				
3					
4					
5					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					

6					
---	--	--	--	--	--

6					
---	--	--	--	--	--

C05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		C1			
	4					
	5		ADM1			
	6					

C06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5				C2	
	6				C2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	I3				
	2	I3				
	3	C3				
	4	C3				
	5	C2				
	6	C2				

C08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C1	
	2				C1	
	3				ADM2	
	4				ADM2	
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ELE2			ELE3
2		ELE2			
3		MEC2			MEC3
4		ELE3			
5					
6		MEC3			MEC2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		C1			
3		C1			
4					
5					
6					

D01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		I2			
	2		MEC2			
	3		MEC2			
	4		C2			
	5		C2			
	6					

D02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		I3			
	2		I3			
	3					
	4		PEG3			
	5		PEG3			
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ELE2		
2			ADM2	I2	
3			ADM2	PF2	
4				ELE2	
5					PF2
6				JD2	JD2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ELE3		
2			ELE3		
3			JD3		
4			JD3		
5					
6					

D03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			I1		PEG1
	2					
	3					I1
	4			PEG2		I1
	5			PEG1		PEG2
	6			PEG1		PEG2

D04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I2
	2					I2
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	JD2				
6	JD2	JD2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

D05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					ADM3
	2					ADM3
	3					
	4					
	5					
	6					

E01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		C2			ADM2
	2					ADM2
	3					C1
	4		C1			C1
	5					C2
	6		I2			I2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3		JD3			
4		JD3			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

E02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I3
	2					I3
	3					C3
	4					C3
	5					PEG3
	6					PEG3

E03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C1			JD1	
	2	C1			JD1	
	3	PEG1			ADM1	
	4	PEG1			ADM1	
	5	I1			MEC1	
	6	I1			MEC1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

4					
5				PF1	
6					

4					
5					
6					

E04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					C3
	2					C3
	3					
	4					
	5					
	6					

E05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM1	C2	
	2			ADM1	C3	
	3				C3	
	4					
	5					
	6			C2		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

F01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		PEG1	JD1	PEG1	
	2		PEG1	JD1		
	3				MEC1	
	4			ADM1	C1	
	5			ADM1	C1	
	6					

F02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C2	MEC2			
	2	MEC2	I2			
	3	JD2	I2			
	4	JD2	ELE2			
	5	ADM2	ELE2			
	6	ADM2	C2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD1			
2	MEC1	JD1			
3	MEC1	JD1			
4	ADM1	C1			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

F03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM1			
	2		ADM1			
	3		PEG1			

G01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					

4		PEG1			
5					
6		PEG1			

4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3				PF1	
4				PF1	
5				MEC1	
6				MEC1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD3	PF3		
2		JD3	PF3		
3	PF3				
4					
5	JD3	ELE3			
6		ELE3	ELE3		

G02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			PEG1		
	2			PEG1		
	3			JD1		
	4					
	5					
	6					

G03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				ADM3	
	2				ADM3	
	3					
	4				C3	
	5				C3	
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			PF1		MEC1
2					MEC1
3					JD1
4					PF1
5					
6			ELE1		ELE1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					MEC3
2					MEC3
3					
4					
5					PF3
6					PF3

G04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

H01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						ADM1
2						ADM1
3						ADM2
4						ADM2
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	PF2		PF2		
2			PF2		
3			MEC2		
4	MEC1				
5	MEC2		MEC1		
6	MEC2		MEC1		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					PF3
2					PF3
3					
4					
5					
6					

I01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		PF3		PF2		
2		PF2		C2		
3		ADM2		PEG2		
4						
5		MEC2		I2		
6		PEG3				

J01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4					ADM3	
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

J02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM3	ADM1	
	2			ADM3	ADM1	

3				ADM1		
4						
5						
6						

J03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		PEG2	I2		
	2		PEG2	I2		

3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD3	
2				JD3	
3					PF3
4					
5				PF3	PF1
6				PF1	PF1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	ELE2	C2	MEC2		
3	MEC2	C2	PF2		
4	JD2	JD2	PF2		
5		ELE2			
6					

J04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2		ELE3			
	3		ELE3			
	4					
	5		C3			
	6		C3			

L01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I1
	2					I1
	3					PEG2
	4					PEG2
	5			C2		C1
	6					C1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3	MEC3				
4	MEC3				
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	ADM1				
3	ADM1				
4					
5					
6					

L02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PF1			I3	
	2	I1			PEG1	
	3				JD1	
	4	ELE1			MEC1	
	5	JD2			ELE2	
	6	ADM1			C1	

L03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM2		PEG2
	2			ADM2		PEG2
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		MEC2		PF2	
2		MEC2		PF2	
3		ELE2		C2	
4		ELE2		C2	
5		JD2		JD2	
6					

L04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM1	I1			
	2	ADM1	I1	I1		
	3			I1		

L05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	I1				
	4	I1				

4					
5	C1				
6	C1				

5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	MEC1				
6	MEC1				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

M01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3			I1	I3		
4			I1	I3		
5			I3			
6			ADM3			

M02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	PF1		ELE1		
2	PF1		ADM3	I1	
3	ELE1			PF3	
4	ELE1		PF1	PF3	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					ELE2
5					ELE2
6					ELE2

M03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				I2	PG3
	2				I2	PG3
	3	PEG2				
	4	PEG2				PG1
	5				PG3	PG1
	6				PG3	C2

M04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2				PEG3	
	3				PEG1	PEG3
	4				PEG1	
	5				I3	I3
	6					PEG1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				C2	
3				JD2	
4				JD2	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					ELE3
3					ELE3
4					
5					
6					

M05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PEG1				
	2	PEG1				
	3					
	4	ADM1				
	5	ADM1				
	6					

M06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					I2
	4					I2
	5				I2	
	6				I2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					

3					
---	--	--	--	--	--

3					
---	--	--	--	--	--

4					
5					
6					

4					
5					
6					

P01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C3	
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

P02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		C3			
	4		C3			
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

P03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C3				
	2	ELE3		PEG3		
	3	I3		ADM3		
	4	I3		ADM3		
	5	PEG3				
	6			C3		

P04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	MEC3				
2					
3	JD3		MEC3		
4	JD3		ELE3		
5			PF3		
6			PF3		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		PF3	PF1		
3			PF1		
4					
5		PF2	PF1		
6		PF2	PF1		

P05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			PEG3	I1	
	2		ELE2	PF2	I3	
	3		ELE2	PF2	C1	
	4		PEG2	I1	PEG2	
	5			I3	ADM2	
	6		PEG3	C1	ADM2	

P06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM2			
	2		ADM2			
	3		ADM1			
	4		ADM1			
	5		C1			
	6		C1			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

R01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2		PEG3		ELE2	
	3		PEG3		C2	

R02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		C1			
	2		C1			
	3		JD1			
	4		JD1			

4		MEC2		C2	
5		MEC2		PEG1	
6				PEG1	

5		I1			
6		I1			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	ELE2				
2	JD2				
3	JD2				
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		ELE1			
3		ELE1			
4					
5					
6					

R03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

R04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				PEG2	
3				PEG2	
4				PF2	
5				PF2	
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

S01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6				ADM3	

S02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		MEC1			
2					
3				ELE1	
4		JD1	MEC1	ELE1	
5		C1		I1	
6		C1	JD1	I1	

S03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					

S04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					

2					
3					
4					
5					
6					

2					
3					
4					
5		PEG2			
6		PEG2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3		PEG3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			JD2		
2			JD2		
3					

4		PEG3			
5		JD3			JD3
6		JD3			

4					
5			PF2		
6			PF2		

T01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3		ADM3		I2		I3
4		ADM3		I2		I3
5		C3		C3		I2
6		C3		I3		ADM3

T02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3			MEC1		
4					
5					
6			PEG1		

T03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ADM3			
2			ADM3			
3			ADM2			
4			ADM2			
5			PEG1			
6						

T04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ADM3				
2		ADM3				
3			ADM3			
4		ELE3	ADM3			
5		ELE3	ADM2			
6			ADM2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	MEC3				
6	MEC3				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			MEC3		
2			MEC3		
3			PF3		
4			PF3		
5			JD3		
6			JD3		

V01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3					PEG3	
4					PEG3	
5					ADM3	ADM3
6					C3	C3

V02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2		C2			C2	
3		MEC2			I2	
4		MEC2			I2	
5					PEG2	
6					PEG2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				PF3	
3					
4					PF3
5				JD3	
6				JD3	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

V03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				C1		
2				C1		
3						

W01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						

4					
5			I1		
6			I1		

4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3	PF1				
4	PF1				
5	ELE1				
6	ELE1				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	MEC1		MEC2	ELE3	
2	MEC3		MEC1	MEC3	
3			ELE3		
4	MEC2				
5					
6					

W02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	C3				
	3	ELE3				
	4					
	5					
	6	ADM3				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				MEC3	
2					
3				JD3	
4					
5					
6				PF3	

Apêndice D: Quadro de horário dos professores obtido utilizando o modelo de Função Objetivo Melhorar Distribuição (38)

A01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3			ADM2		
	4			ADM2		
	5			ADM3		
	6			ADM3		

A02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			C3		
	2			C3		
	3			PEG3		
	4			PEG3		
	5			PEG2		
	6			PEG2		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	JD2	JD2			
2					
3	PF2				
4	PF2				
5					
6	ELE2	ELE2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2			PEG1		
3			PEG1		
4			MEC3		
5			MEC3		
6					

A03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

A04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PEG2				
	2	PEG2	ADM1			
	3	ADM1				
	4	PF1				
	5	PF1	JD1			
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3				PF1	
4				PF1	
5				ELE1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	ELE1				
2	ELE1				
3					
4					
5					

6				ELE1	
---	--	--	--	------	--

6	JD1				
---	-----	--	--	--	--

A05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	I1				
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

A06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				ADM2	
	2	PF1			ADM2	
	3	PF1			JD1	
	4	ADM2			JD1	
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ELE1		ELE1	
2				ELE1	
3				I1	
4				I1	
5		JD1			
6		JD1		JD1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					PF1
2					
3					
4					
5					
6					JD1

A07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			PEG3		
	2			PEG3		
	3					
	4					
	5			I3		
	6			I3		

A08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				PEG2	
	2				PEG2	
	3					
	4				ELE2	
	5				ELE2	
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	JD3				
2	JD3				
3					
4					
5	PF3				
6	PF3				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD2	MEC2
2				JD2	MEC2
3					MEC1
4				PF2	MEC1
5					
6				MEC1	PF2

A09	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		PEG2	C3	PEG2	ADM3
	4		ELE3	PF2	MEC3	ADM3
	5		ELE3	PF2	MEC3	C3
	6					

B01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM1		C2
	2					C2
	3			C1		C1
	4			C1		C1
	5			C1		ADM1
	6			C2		ADM1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					

C02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2				MEC3	
	3	PEG3			MEC3	

4					
5					
6					

4	PEG3			PEG3	
5	ELE1				
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					JD1
2					JD1
3					
4					
5					MEC1
6					MEC1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					ELE1
5					ELE1
6					MEC3

C03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM2	C3			
	2	ADM2	C3			
	3	C2				

C04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			C2		
	2			C2		
	3					

4	C2				
5		ADM3			
6	ADM3				

4					C2
5					C2
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	PF3				
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM1			
	2					
	3					
	4					
	5					
	6		C1			

C06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5				C2	
	6				C2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	I3				
	2	I3				
	3	C3				
	4	C3				
	5	C2				
	6	C2				

C08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C1	
	2				C1	
	3				ADM2	
	4				ADM2	
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ELE2			ELE3
2		ELE2			
3		MEC2			MEC3
4		ELE3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		C1			
3		C1			
4					

5					
6		MEC3			MEC2

5					
6					

D01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		I2			
	2		MEC2			
	3		MEC2			
	4		C2			
	5		C2			
	6					

D02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		I3			
	2		I3			
	3					
	4					
	5		PEG3			
	6		PEG3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ELE2		
2			ADM2	I2	
3			ADM2	PF2	
4				ELE2	
5					PF2
6				JD2	JD2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ELE3		
2			ELE3		
3			JD3		
4			JD3		
5					
6					

D03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			I1		I1
	2					I1
	3			PEG2		PEG2
	4					PEG2
	5			PEG1		
	6			PEG1		PEG1

D04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I2
	2					I2
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	JD2				
6	JD2	JD2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

D05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					ADM3
	2					ADM3
	3					
	4					
	5					
	6					

E01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		C2			ADM2
	2					ADM2
	3					C2
	4					I2
	5		C1			C1
	6		I2			C1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3		JD3			
4		JD3			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

E02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I3
	2					I3
	3					C3
	4					C3
	5					PEG3
	6					PEG3

E03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C1			JD1	
	2	C1			JD1	
	3	PEG1			ADM1	
	4	PEG1			ADM1	
	5	I1			MEC1	
	6	I1			MEC1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

4					
5				PF1	
6					

4					
5					
6					

E04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					C3
	2					C3
	3					
	4					
	5					
	6					

E05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C2	
	2			ADM1	C3	
	3			ADM1	C3	
	4			C2		
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					

6					
---	--	--	--	--	--

6					
---	--	--	--	--	--

F01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD1	PEG1	
2				JD1		
3			PEG1		MEC1	
4			PEG1	ADM1	C1	
5				ADM1	C1	
6						

F02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		C2	MEC2			
2		MEC2	I2			
3		JD2	I2			
4		JD2	ELE2			
5		ADM2	ELE2			
6		ADM2	C2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD1			
2	ADM1	JD1			
3	MEC1	JD1			
4	MEC1	C1			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

F03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			PEG1			
2			PEG1			
3			ADM1			
4			ADM1			
5						
6			PEG1			

G01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				PF1	
2				PF1	
3					
4				MEC1	
5				MEC1	
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD3			
2		JD3			
3	PF3		ELE3		
4					
5	JD3	ELE3	PF3		
6		ELE3	PF3		

G02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			PEG1		
	2			PEG1		
	3			JD1		
	4					
	5					
	6					

G03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				ADM3	
	2				ADM3	
	3					
	4					
	5				C3	
	6				C3	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			PF1		MEC1
2					MEC1
3					JD1
4					PF1
5					
6			ELE1		ELE1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					MEC3
2					MEC3
3					
4					
5					PF3
6					PF3

G04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					

H01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					ADM1
	2					ADM1
	3					ADM2
	4					ADM2

4					
5					
6					

5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	PF2		PF2		
2	MEC1		PF2		
3			MEC2		
4					
5	MEC2		MEC1		
6	MEC2		MEC1		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					PF3
3					PF3
4					
5					
6					

I01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PF3		PF2		
	2	PF2				
	3	ADM2		C2		
	4			PEG2		
	5	MEC2		I2		
	6			PEG3		

J01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4				ADM3	
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

J02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM3	ADM1	
	2			ADM3	ADM1	

3						
4						
5						
6				ADM1		

J03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		PEG2	I2		
	2		PEG2	I2		

3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD3	PF3
2				JD3	
3					
4					
5				PF3	PF1
6				PF1	PF1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	ELE2	C2	MEC2		
3	MEC2	C2	PF2		
4	JD2	JD2	PF2		
5		ELE2			
6					

J04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2		ELE3			
	3		ELE3			
	4					
	5		C3			
	6		C3			

L01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					C1
	2					C1
	3					I1
	4					I1
	5			C2		PEG2
	6					PEG2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	MEC3				
2	MEC3				
3					
4					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3	ADM1				
4	ADM1				

5					
6					

5					
6					

L02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PF1			I3	
	2	I1			PEG1	
	3				ELE2	
	4	ELE1			MEC1	
	5	JD2			JD1	
	6	ADM1			C1	

L03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM2		PEG2
	2			ADM2		PEG2
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		MEC2		PF2	
2		MEC2		PF2	
3		ELE2		C2	
4		ELE2		C2	
5		JD2		JD2	
6					

L04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM1	I1			
	2	ADM1	I1	I1		
	3			I1		
	4					
	5	C1				
	6	C1				

L05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	I1				
	4	I1				
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5	MEC1				
6	MEC1				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

M01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		I1	I3		
	4		I1	I3		
	5		I3			
	6		ADM3			

M02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	PF1		ELE1		
2	PF1		ADM3	I1	
3	ELE1			PF3	
4	ELE1		PF1	PF3	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					ELE2
5					ELE2
6					ELE2

M03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				I2	PG3
	2				I2	PG3
	3	PEG2				
	4	PEG2				PG1
	5				PG3	PG1
	6				PG3	C2

M04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				PEG3	PEG1
	2				PEG3	
	3				PEG1	I3
	4				PEG1	
	5				I3	
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				C2	
3				JD2	
4				JD2	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					ELE3
3					ELE3
4					
5					
6					

M05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PEG1				
	2	PEG1				
	3					
	4	ADM1				
	5	ADM1				
	6					

M06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5				I2	I2
	6				I2	I2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					

3					
4					
5					

3					
4					
5					

6					
---	--	--	--	--	--

6					
---	--	--	--	--	--

P01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C3	
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

P02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		C3			
	4		C3			
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

P03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C3				
	2	C3		I3		
	3	ELE3		ADM3		
	4	I3		ADM3		
	5	PEG3				
	6	PEG3				

P04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			PF3		
2			PF3		
3	JD3				
4	JD3				
5	MEC3				
6	MEC3		ELE3		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		PF3	PF1		
3			PF1		
4					
5		PF2	PF1		
6		PF2	PF1		

P05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			I3	I1	
	2		ELE2	PF2	I3	
	3		ELE2	PF2	C1	
	4		PEG3	I1	PEG2	
	5			PEG3	ADM2	
	6		PEG2	C1	ADM2	

P06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM2			
	2		ADM2			
	3		C1			
	4		C1			
	5		ADM1			
	6		ADM1			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

R01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2		PEG3		ELE2	
	3		PEG3		C2	
	4		MEC2		C2	

R02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		C1			
	2		C1			
	3		JD1			
	4		JD1			
	5		I1			

5		MEC2		PEG1	
6				PEG1	

6		I1			
---	--	----	--	--	--

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	ELE2				
2	JD2				
3	JD2				
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		ELE1			
3		ELE1			
4					
5					
6					

R03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

R04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				PEG2	
3				PEG2	
4					
5				PF2	
6				PF2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

S01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6				ADM3	

S02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		MEC1			
2					
3				ELE1	
4		JD1	MEC1	ELE1	
5		C1		I1	
6		C1	JD1	I1	

S03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					

S04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					

2					
3					
4					
5					
6					

2					
3					
4		PEG2			
5		PEG2			
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3		PEG3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			JD2		
2			JD2		
3					

4		PEG3			
5		JD3			JD3
6		JD3			

4					
5			PF2		
6			PF2		

T01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	I3		I2		I2
	4	ADM3		I2		I3
	5	ADM3		C3		I3
	6	C3		C3		ADM3

T02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3			MEC1		
4					
5					
6			PEG1		

T03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM3			
	2		ADM3			
	3		ADM2			
	4		ADM2			
	5		PEG1			
	6					

T04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	ADM3				
	3	ADM3	ADM3			
	4	ELE3	ADM3			
	5	ELE3	ADM2			
	6		ADM2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3	MEC3				
4	MEC3				
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			MEC3		
2			MEC3		
3			PF3		
4			PF3		
5			JD3		
6			JD3		

V01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3				PEG3	PEG3
	4				C3	
	5				ADM3	ADM3
	6					C3

V02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	C2			C2	
	3	MEC2			I2	
	4	MEC2			I2	
	5				PEG2	
	6				PEG2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				PF3	
3					
4					PF3
5				JD3	
6				JD3	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

V03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			C1		
	2			C1		
	3					
	4					
	5			I1		

W01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

6			I1		
---	--	--	----	--	--

6					
---	--	--	--	--	--

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3	PF1				
4	PF1				
5	ELE1				
6	ELE1				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	MEC1		MEC2	ELE3	
2			MEC1	MEC3	
3			MEC3		
4	MEC2		ELE3		
5					
6					

W02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM3				
	2	ELE3				
	3					
	4					
	5	C3				
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				MEC3	
2					
3				JD3	
4					
5					
6				PF3	

Apêndice E: Quadro de horário dos professores obtido utilizando o modelo de Função Objetivo Reduzir Dias e Melhorar distribuição (39)

A01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2				PF2		
3				ADM2		
4				ADM2		
5				ADM3		
6				ADM3		

A02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				C3		
2				C3		
3				PEG3		
4				PEG3		
5				PEG2		
6				PEG2		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	ELE2				
2					
3					
4					ELE2
5					PF2
6	JD2				JD2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2			PEG1		
3			PEG1		
4			MEC3		
5			MEC3		
6					

A03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

A04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		PEG2				
2		PEG2				
3		PF1				
4		PF1				
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				PF1	
2				PF1	
3					
4					
5				ELE1	
6				ELE1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	ELE1				
2	ELE1				
3	ADM1				
4	ADM1				
5					
6	JD1		JD1		

A05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	I1				
	2	I1				
	3					
	4	ELE1				
	5					
	6					

A06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PF1			ADM2	
	2	PF1			ADM2	
	3					
	4	ADM2			JD1	
	5				JD1	
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		ELE1			
2		ELE1		I1	
3					
4					
5		JD1			
6		JD1		JD1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					PF1
2					
3					
4					
5					
6					JD1

A07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	I3				
	2	I3				
	3					

A08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				PEG2	
	2				PEG2	
	3				MEC1	

4					
5	PEG3				
6	PEG3				

4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			PF3		
2			PF3		
3			JD3		
4			JD3		
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD2	MEC2
2				JD2	MEC2
3				PF2	MEC1
4				PF2	MEC1
5					ELE2
6					ELE2

A09	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		PEG2	C3	PEG2	C3
	4		ELE3	PF2	MEC3	ADM3
	5		ELE3	PF2	MEC3	ADM3
	6					

B01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C1	ADM1
	2				C1	ADM1
	3				C1	C1
	4				ADM1	C1
	5				C2	C2
	6					C2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

C02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				PEG3	
	2				MEC3	
	3	PEG3			MEC3	
	4	PEG3				
	5	ELE1				
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					JD1
2					JD1
3					
4					
5					MEC1
6					MEC1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					ELE1
5					ELE1
6					MEC3

C03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM3	C3			
	2	ADM3	C3			
	3	C2				

C04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C2	C2
	2				C2	C2
	3					

4	C2				
5	ADM2				
6	ADM2				

4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	PF3				
3					
4					
5					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					

6					
---	--	--	--	--	--

6					
---	--	--	--	--	--

C05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C1				
	2					
	3					
	4	ADM1				
	5					
	6					

C06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			C2		
	2			C2		
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

C07	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				I3	
	2				I3	
	3				C2	
	4				ELE2	
	5				C3	
	6				C3	

C08	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					C1
	2					C1
	3			C1		ADM2
	4			C1		ADM2
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		MEC2			ELE3
2		C2			
3		ELE2			MEC3
4		ELE3			
5					
6		MEC3			MEC2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

D01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		MEC2			
	2		MEC2			
	3		I2			
	4		C2			
	5		C2			
	6					

D02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					I3
	4					I3
	5					PEG3
	6					PEG3

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ELE2		
2			ADM2	I2	
3	JD2		ADM2		
4	JD2				
5			PF2		
6	ELE2		PF2		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			ELE3		
2			ELE3		
3					
4					
5			JD3		
6			JD3		

D03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	PEG1		I1		PEG1
	2					
	3	JD2		PEG2		I1
	4					I1
	5					PEG2
	6			PEG1		PEG2

D04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I2
	2					I2
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5		JD2			
6		JD2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

D05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					ADM3
	2					ADM3
	3					
	4					
	5					
	6					

E01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		C2			ADM2
	2					ADM2
	3		C1			I2
	4					C2
	5					C1
	6		I2			C1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3		JD3			
4		JD3			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

E02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		I3			
	2		I3			
	3		C3			
	4		C3			
	5		PEG3			
	6		PEG3			

E03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		PEG1		JD1	
	2		PEG1			
	3		I1		ADM1	
	4		I1			
	5		JD1		C1	
	6		ADM1		C1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					

4					
5				PF1	
6					

4					
5	MEC1				
6	MEC1				

E04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					C3
	6					C3

E05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM1		
	2			ADM1	C3	
	3			C2	C3	
	4			C2		
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

F01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			JD1	PEG1	
	2			JD1	PEG1	
	3			ADM1	JD1	
	4			ADM1	C1	
	5			PEG1	MEC1	
	6			C1	MEC1	

F02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		I2			
	2		I2			
	3		MEC2			
	4		MEC2			
	5		ADM2			
	6		ADM2			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD1			
2	ADM1	JD1			
3	MEC1				
4		C1			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				C2	
3				C2	
4				ELE2	
5				JD2	
6		ELE2		JD2	

F03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM1			
	2		ADM1			
	3		PEG1			

G01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					

4		PEG1			
5					
6		PEG1			

4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3				PF1	
4				PF1	
5				MEC1	
6				MEC1	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD3			
2		JD3			
3	PF3				
4			PF3		
5	JD3	ELE3	PF3		
6		ELE3	ELE3		

G02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			PEG1		
	2			PEG1		
	3			JD1		
	4					
	5					
	6					

G03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					C3
	2					C3
	3					
	4					
	5					
	6					ADM3

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			PF1		MEC1
2					MEC1
3					JD1
4					PF1
5					
6			ELE1		ELE1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			MEC3	MEC3	
2			ADM3		
3					
4					
5				PF3	
6			PF3		

G04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4						
5						
6						

H01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					ADM1	
2					ADM1	
3					ADM2	
4					ADM2	
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	PF2		PF2		
2			PF2		
3			MEC2		
4	MEC1				
5	MEC2		MEC1		
6	MEC2		MEC1		

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					PF3
4					PF3
5					
6					

I01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		PF3		PEG3		
2		PF2				
3		ADM2		PF2		
4				PEG2		
5		MEC2		I2		
6				C2		

J01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1						
2						
3						
4					ADM3	
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

J02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM3		
	2			ADM3		

3						
4						
5			ADM1	ADM1		
6				ADM1		

J03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C2	PEG2	I2		
	2	C2	PEG2	I2		

3						
4						
5						
6						

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1				JD3	PF3
2				JD3	PF3
3					
4					
5					PF1
6				PF1	PF1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2	ELE2	MEC2			
3	PF2	MEC2			
4	PF2	JD2			
5	JD2	ELE2			
6					

J04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	ELE3				
	3	ELE3				
	4					
	5	C3				
	6	C3				

L01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I1
	2					I1
	3					PEG2
	4					PEG2
	5			C2		ADM1
	6					ADM1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2			MEC3		
3			MEC3		
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		C1			
3		C1			
4					
5					
6					

L02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	C1			JD1	
	3	ADM1				
	4	PEG1			MEC1	
	5	PF1			I3	
	6	I1				

L03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			ADM2		PEG2
	2			ADM2		PEG2
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		JD2			
2					
3		ELE1			
4		ELE2			
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	JD2	ELE2		PF2	
2	JD2	ELE2		PF2	
3	MEC2	C2			
4	MEC2			C2	
5					
6					

L04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM1	I1			
	2	ADM1	I1	I1		
	3			I1		

L05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	I1				
	4	I1				

4					
5	C1				
6	C1				

5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3			MEC1		
4			MEC1		
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

M01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	I3	ADM3			
	4	I3	ADM3			
	5	I1	I3			
	6					

M02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3		ELE2			
	4		ELE2			
	5		ELE2			
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	PF1		ELE1		
2	PF1			PF3	
3	ELE1		PF3	I1	
4	ELE1		PF1	I1	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

M03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				I2	PG3
	2				I2	PG3
	3	PEG2				C2
	4	PEG2			C2	PG1
	5				PG3	PG1
	6				PG3	

M04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					I3
	2				PEG3	I3
	3					PEG3
	4					
	5				PEG1	
	6				PEG1	PEG1

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3				JD2	
4				JD2	
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					ELE3
3					ELE3
4					
5					
6					

M05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	PEG1				
	3	PEG1				
	4					
	5	ADM1				
	6	ADM1				

M06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					I2
	5				I2	I2
	6				I2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					

3					
---	--	--	--	--	--

3					
---	--	--	--	--	--

4					
5					
6					

4					
5					
6					

P01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				C3	
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

P02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5		C3			
	6		C3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

P03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	C3		I3		
	2	C3		I3		
	3			ADM3		
	4	ELE3		ADM3		
	5	ELE3		PEG3		
	6			PEG3		

P04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	JD3				
2	JD3				
3					
4					
5	MEC3				PF3
6	MEC3				PF3

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2		PF3	PF1		
3			PF1		
4					
5		PF2	PF1		
6		PF2	PF1		

P05	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			PF2	I1	
	2		PEG3	PEG3	ELE2	
	3			I3	ELE2	
	4		C1	I3	PEG2	
	5			C1	ADM2	
	6		PEG2	I1	ADM2	

P06	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM2			
	2		ADM2			
	3		ADM1			
	4		ADM1			
	5		C1			
	6		C1			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					PF2

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

R01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2	MEC2	ELE2			
	3		PEG3		PEG1	

R02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		C1			
	2		C1			
	3		JD1			
	4		JD1			

4	JD2	PEG3		PEG1	
5	JD2	MEC2		ELE2	
6		C2		C2	

5		I1			
6		I1			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3				ELE1	
4				ELE1	
5					
6					

R03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

R04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2				PEG2	
3				PEG2	
4					
5				PF2	
6				PF2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

S01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2				ADM3	
	3					
	4					
	5					
	6					

S02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1		MEC1		ELE1	
2				ELE1	
3		JD1			
4		JD1		MEC1	
5		C1		I1	
6		C1		I1	

S03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					

S04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					

2					
3					
4					
5					
6					

2					
3					
4		PEG2			
5		PEG2			
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3		PEG3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1			JD2		
2			JD2		
3			PF2		

4		PEG3			
5		JD3			JD3
6		JD3			

4			PF2		
5					
6					

T01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	C3		I2		ADM3
	4	C3		I2		C3
	5	ADM3		I3		I3
	6	ADM3		I3		I2

T02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2			MEC1		
3					
4					
5					
6			PEG1		

T03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1		ADM3			
	2		ADM3			
	3		ADM2			
	4		ADM2			
	5		PEG1			
	6					

T04	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	ADM2				
	2	ADM2	ELE3			
	3	ADM3	ELE3			
	4	ADM3				
	5		ADM3			
	6		ADM3			

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					MEC3
2					MEC3
3					
4					
5					
6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	MEC3				
2	MEC3				
3	JD3				
4	JD3				
5	PF3				
6	PF3				

V01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3				PEG3	
	4				PEG3	
	5			C3	ADM3	
	6			C3	ADM3	

V02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3	MEC2			I2	
	4	MEC2			I2	
	5	C2			PEG2	
	6	C2			PEG2	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3				PF3	
4				PF3	
5				JD3	
6				JD3	

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3					
4					
5					
6					

V03	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1			C1		
	2			C1		
	3					
	4			I1		
	5			I1		
	6					

W01	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1					
2					
3	PF1				
4	PF1				

Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	MEC1		MEC2		
2	MEC1		MEC2		
3	MEC3		ELE3		
4	MEC3		ELE3		

5	ELE1				
6	ELE1				

5					
6					

W02	Manhã	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				ADM3	
	2					
	3					
	4				C3	
	5					
	6					

	Tarde	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1				ELE3	
	2				MEC3	
	3				JD3	
	4					
	5					
	6				PF3	