

Desenvolvimento de um Modelo para o

School Timetabling Problem

Baseado na Meta-Heurística

Simulated Annealing

por

Camilo José Bornia Poulsen

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Orientadora:

Prof^a Dr^a Denise Lindstrom Bandeira

Porto Alegre

2012

CAMILO JOSÉ BORNIA POULSEN

**Desenvolvimento de um Modelo para o
School Timetabling Problem
Baseado na Meta-Heurística
*Simulated Annealing***

Dissertação apresentada como requisito para
a obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Administração da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^a Dr^a Denise Lindstrom Bandeira

Porto Alegre
2012

CIP - Catalogação na Publicação

Bornia Poulsen, Camilo José
Desenvolvimento de um modelo para o school
timetabling problem baseado na meta-heurística
simulated annealing / Camilo José Bornia Poulsen. --
2012.

140 f.

Orientadora: Denise Lindstrom Bandeira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa
de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, BR-RS,
2012.

1. School timetabling problem. 2. Grade horária.
3. Simulated annealing. 4. Meta-heurística. 5.
Pesquisa operacional. I. Bandeira, Denise Lindstrom,
orient. II. Título.

CAMILO JOSÉ BORNIA POULSEN

**Desenvolvimento de um Modelo para o
School Timetabling Problem
Baseado na Meta-Heurística
*Simulated Annealing***

Dissertação apresentada como requisito para
a obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Administração da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovada em: 17 de fevereiro de 2012.

BANCA EXAMINADORA:

Professora Doutora Luciana Salete Buriol – PPGC/UFRGS

Professor Doutor Denis Borenstein – PPGA/UFRGS

Professor Doutor João Luiz Becker – PPGA/UFRGS

Porto Alegre
2012

*Para minha querida mãe,
CRISTINA ESTHER POULSEN MENDEZ DE BORNIA,
que partiu para outro plano em meio ao meu curso de mestrado.*

AGRADECIMENTOS

Não poderia dar por finalizada esta dissertação sem agradecer às pessoas que me ajudaram de uma forma ou de outra:

- Primeiramente, quero agradecer aos meus pais. Ao meu pai, Masir Bornia, a quem devo o gosto pelo conhecimento, pela ciência e pelo trabalho. Foi com ele que aprendi que a gente não vive para o trabalho, mas que a gente trabalha para viver. À minha mãe, a quem dedico este trabalho, que pelo seu exemplo me ensinou a ser persistente e intransigente em relação a princípios. Graças a ela, nos momentos mais difíceis, tive apoio para estudar, trabalhar e seguir em frente. Tenho certeza que, seja lá onde ela estiver, ela está muito feliz e orgulhosa;
- Ao meu irmão Pablo Martin Bornia Poulsen, que nos últimos tempos tem cuidado do nosso pai e que cuidou da nossa mãe até o último dia da sua vida. A sua presença junto aos nossos pais me deu um pouco de tranquilidade e ajudou a amenizar minha culpa, já que dadas as circunstâncias da vida, moro distante e, por consequência, me fiz ausente;
- Aos colegas de PPGA, William Prigol Lopes e Diego de Oliveira Carlin. Cursamos várias disciplinas juntos, e posso dizer que ambos foram meus companheiros de remo nessa fragata. Realizamos trabalhos conjuntamente, nos apoiamos mutuamente, trocamos experiências e sou muito grato por tudo isso;
- Ao colega de PPGA, Rodrigo Meleu, que também foi orientado pela professora Denise, que me deu alguns “caminhos das pedras”, fundamentalmente, orientações na redação desta dissertação;
- Às bibliotecárias da Escola de Administração, em especial a Tânia Marisa Fraga e Evelin Stahlhoefer Cotta. Desde a fase da redação da proposta, fiquei impressionado com o tempo de resposta rápido às inúmeras solicitações que encaminhei à biblioteca;
- Ao professor Denis Borenstein, por ter me desafiado em várias oportunidades, principalmente em sua disciplina. Seu tom provocador e, por vezes, desdenhador, motivou-me a fazer um trabalho ainda melhor. Muitas abordagens dessa dissertação foram feitas considerando suas ponderações e críticas;
- À minha orientadora, a professora Denise Lindstrom Bandeira, que, por alguma razão, intuitiva talvez, acreditou em mim desde o dia da entrevista de seleção do Mestrado. Tenho convicção que se não fosse por ela, sequer teria a oportunidade de defender minha dissertação nesta Universidade, neste ano e nestas condições. Sou profundamente

grato pela sua forma de orientar: foi prestativa e motivadora, apontou-me o caminho a seguir em várias oportunidades e me deu liberdade para que eu pudesse escolher um tema que fosse, sobretudo, do meu interesse;

- À minha amada filha Cecília que, aos três anos, mesmo sendo ainda incapaz de compreender as razões que fizerem seu pai ficar horas a fio em frente ao notebook sem lhe dar a devida atenção, é a minha maior alegria e, por consequência, é a grande motivação que tenho para superar todo e qualquer obstáculo;
- À minha esposa Carla, que com amor e dedicação me apoiou em todos os momentos, cuidou e brincou com a nossa filha, e, nos momentos certos, refugiou-se na casa da sua mãe para que eu gozasse de um ambiente tranquilo e silencioso em casa. Não raros foram os momentos que ela me indagou “quando terei meu marido de volta?”. Em certas circunstâncias, pela sua angústia e apreensão, pareceria que era ela que estava desenvolvendo a dissertação e não eu. Sua ajuda foi fundamental para que esta pesquisa vivesse realidade e lhe agradeço imensamente por isso.
- A todos meus amigos e parentes que, de uma forma ou outra, torceram por mim.

RESUMO

Todo início de período letivo, gestores de instituições de ensino se deparam com um típico problema: montar as grades horárias das turmas, segundo as demandas de aulas de suas disciplinas e considerando as restrições de disponibilidade horária de todos os envolvidos. Conhecido na literatura como *School Timetabling Problem* (STP), este típico problema de otimização combinatória é reconhecidamente complexo por conta do seu elevado número de variáveis e restrições. Devido à dependência das regras do sistema educacional de cada país, o STP pode ter inúmeras variantes, cada uma com o seu próprio conjunto de particularidades. Este trabalho se propõe a oferecer um modelo para o STP considerando o sistema educacional brasileiro, visando alocar não apenas professores, mas também determinando que disciplina cada professor deve ministrar e alocando os locais de aula. O modelo proposto, baseado na meta-heurística *simulated annealing*, foi concebido para que cada instituição de ensino usuária tenha liberdade para definir a penalidade de cada tipo possível de inconformidade ou restrição, de modo que o algoritmo empregado possa encontrar uma solução com o menor custo possível.

Palavras-chave: *School timetabling problem*. Grade horária. *Simulated annealing*. Meta-heurística. Pesquisa operacional.

ABSTRACT

Every beginning of term, educational institution managers face a typical problem: planning the classes' timetable, according to their lesson demands for each subject, considering, furthermore, the schedule constraints of all actors. Known as *school timetabling problem* (STP), this typical combinatorial optimization problem is remarkably complex due to the high number of variables and constraints. Owing to the rules of each country's educational system, STP can have uncountable variants, each one with their own set of features. This dissertation searches to offer a model to STP considering the Brazilian Educational System, focusing on allocating not only the teachers but also determining which subject each teacher should teach and allocating classrooms, laboratories and the like. The proposed model, based on the *metaheuristic simulated annealing*, was conceived so that each educational institution using this model has the freedom to define which penalty will be applied to each possible kind of noncomformity and constraint, in order for the applied algorithm to find a solution at the lowest cost as possible.

Keywords: *School timetabling problem*. Timetable. *Simulated annealing*. Metaheuristics. Operational search.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definição de "aula"	16
Figura 2 - Definição de "período de aula"	16
Figura 3 - Definição de "grade curricular"	17
Figura 4 - Definição de "grade horária"	17
Figura 5 - Definição de "janela"	18
Figura 6 - Definição de "N-uplas"	19
Figura 7 - Exemplo de <i>swap</i> intraturma	20
Figura 8 - Exemplo de <i>swap</i> interturmas	20
Figura 9 - Algoritmos CPMF e DWTAN	34
Figura 10 - Algoritmo TSDS (<i>tabu search</i>)	35
Figura 11 - Evolução temporal dos algoritmos	37
Figura 12 - Procedimento de inicialização do <i>genetic algorithm</i> (GA)	39
Figura 13 - Operador de seleção do GA	39
Figura 14 - Operador de mutação do GA	40
Figura 15 - Função de avaliação do primeiro modelo de Birbas, Daskaki e Housos	40
Figura 16 - Função de avaliação do segundo modelo de Birbas, Daskaki e Housos	41
Figura 17 - Tempo de execução em função do tamanho da escola (em número de turmas)	41
Figura 18 - Operador de <i>crossover</i> do <i>genetic algorithm</i>	42
Figura 19 - Algoritmo de <i>simulated annealing</i> de Zhang, Liu, M'Hallah e Leung	43
Figura 20 - Processo de modelagem	45
Figura 21 - Fases para resolução de um problema de PO	45
Figura 22 - Diagrama de entidade-relacionamento (DER) do modelo	72
Figura 23 - Relacionamento entre entidades da organização escolar	73
Figura 24 - Dados da tabela de dias da semana	73
Figura 25 - Planilha do Microsoft® Excel geradora de <i>scripts SQL</i>	75
Figura 26 - Ambiente de administração do SGBD	76
Figura 27 - Tela da aplicação	77
Figura 28 - Caixas de texto de exibição de grades horárias do aplicativo	78
Figura 29 - Gráfico "Nº de variáveis nulas" vs "Nº de iterações" do grupo de instâncias "A"	82
Figura 30 - Grades horárias da turma 33C ($c=39$) das instâncias A1, A2 e A3, respectivamente	82
Figura 31 - Demonstração de redução do número de dias com aula	83
Figura 32 - Demonstração de redução do número de janelas	84
Figura 33 - Demonstração de melhoramento ao atendimento às solicitações de N-uplas	84
Figura 34 - Gráfico "Função de avaliação" vs "Nº de iterações" da fase de melhoramento	86
Figura 35 - Evolução da temperatura no <i>simulated annealing</i>	92
Figura 36 - Evolução da função de avaliação do modelo com dados da escola de validação	93
Figura 37 - <i>Swap</i> intraturma expandido	94
Figura 38 - <i>Swap</i> interturmas expandido	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferença entre <i>planning</i> , <i>scheduling</i> e <i>timetabling</i>	24
Quadro 2 - Características de "High School" vs "University"	25
Quadro 3 - Características dos níveis educacionais brasileiros	25
Quadro 4 - Resumo dos trabalhos anteriores	30
Quadro 5 - Algoritmo clássico do <i>simulated annealing</i>	50
Quadro 6 - Aplicações de <i>simulated annealing</i> à otimização combinatória	52
Quadro 7 - Algoritmo global da abordagem proposta	65
Quadro 8 - Fase de construção: algoritmo guloso e randômico.....	66
Quadro 9 - Algoritmo de verificação de viabilidade de uma grade horária.....	68
Quadro 10 - Algoritmo de melhoramento: <i>Simulated Annealing</i>	69
Quadro 11 - Relação entre o Modelo matemático e o modelo relacional de dados	74
Quadro 12 - Relação entre parâmetros do Modelo matemático e modelo relacional de dados	74
Quadro 13 - Relação entre parâmetros do Modelo matemático e campos do modelo relacional	75
Quadro 14 - Valores das penalidades para cálculo da função de avaliação das simulações	80
Quadro 15 - Parâmetros empregados no algoritmo <i>simulated annealing</i>	80
Quadro 16 - Comparativo entre as execuções de cada instância	81
Quadro 17 - Cursos, etapas e turmas oferecidas em 2011 pela escola de validação.....	88
Quadro 18 - Resumo dos dados da escola de validação	89
Quadro 19 - Valores das penalidades para cálculo da função de avaliação da validação	90
Quadro 20 - Valores da função de avaliação da grade horária da escola de validação.....	90
Quadro 21 - Parâmetros empregados no <i>simulated annealing</i> executado nos dados de validação.....	91
Quadro 22 - Comparativo entre os resultados das grades horárias da escola de validação e do modelo	91
Quadro 23 - Procedimento de <i>swap</i> realizado no algoritmo do <i>simulated annealing</i>	95

LISTA DE SIGLAS

BD	Banco de Dados
CG	<i>Column Generation</i>
CLP	<i>Constraint Logic Programming</i>
CPMF	<i>Continuous Potts Mean-Field Annealing Approach</i>
DER	Diagrama de Entidade-Relacionamento
DWTAN	<i>Discrete Winner-Takes-All Neuron Approach</i>
EF8	Ensino fundamental na modalidade de oito anos
EF9	Ensino fundamental na modalidade de nove anos
EM	Ensino médio
IE	Instituição de Ensino
FK	<i>Foreign Key</i> (Chave Estrangeira)
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
MIP	<i>Mixed Integer Programming</i>
NN	<i>Neural Networks</i> (Redes Neurais)
PK	<i>Primary Key</i> (Chave Primária)
PLI	Programação Linear Inteira
PO	Pesquisa Operacional
SA	<i>Simulated Annealing</i>
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SQL	<i>Structured Query Language</i>
STP	<i>School Timetabling Problem</i>
TS	<i>Tabu Search</i>
TT	<i>Timetabling</i>
UTP	<i>University Timetabling Problem</i>
VLSN	<i>Very Large Scale Neighborhood</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Conceitos e terminologias	15
1.2. Justificativa	21
1.3. Objetivos	22
2. REVISÃO TEÓRICA	23
2.1. O problema genérico de <i>timetabling</i>	23
2.2. <i>School timetabling problem</i>	25
2.3. Complexidade	26
2.4. Trabalhos anteriores	28
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1. Método	44
3.1.1. Fase (i) – Definição do problema	45
3.1.2. Fase (ii) – Construção do modelo	46
3.1.3. Fase (iii) – Solução do modelo	46
3.1.4. Fase (iv) – Validação do modelo	46
3.1.5. Fase (v) – Implementação do modelo	47
3.2. Técnicas de resolução do <i>STP</i>	47
3.3. <i>Simulated annealing</i>	49
4. O MODELO PARA O SCHOOL TIMETABBING PROBLEM	53
4.1. Definição do problema	53
4.1.1. Conjuntos de dados	54
4.1.2. Restrições <i>hard</i>	54
4.1.3. Restrições <i>soft</i>	56
4.2. Modelo matemático	57
4.2.1. Parâmetros	57
4.2.2. Variáveis de decisão	59
4.2.3. Função de avaliação	60
4.2.4. Restrições	62
4.3. Modelo heurístico	64
4.3.1. Fase de construção	65
4.3.2. Fase de melhoramento	68
5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO	71
5.1. Armazenamento de dados	71
5.2. Carga de dados	75
5.3. Processamento e exibição de resultados	76
5.4. Execução do modelo (simulação)	78
6. VALIDAÇÃO DO MODELO	87
6.1. Dados da escola de validação	88

6.2.	Grade horária da escola de validação	89
6.3.	Execução do modelo e análise dos resultados	89
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
7.1.	Contribuições.....	98
7.2.	Limitações da pesquisa	99
7.3.	Sugestão de trabalhos futuros	99
8.	REFERÊNCIAS	101
Anexo A	– Formulação do modelo didático em programação linear inteira	105
Anexo B	– Grades horárias das turmas geradas pela fase de construção da instância A1	110
Anexo C	– Grades horárias dos professores geradas pela fase de construção da instância A1	112
Anexo D	– Grades horárias dos locais de aula geradas pela fase de construção da instância A1.....	117
Anexo E	– Grades horárias das turmas geradas pela fase de melhoramento da instância A1	120
Anexo F	– Grades horárias dos professores geradas pela fase de melhoramento da instância A1	122
Anexo G	– Grades horárias dos locais de aula geradas pela fase de melhoramento da instância A1....	126
Anexo H	– Grades horárias das turmas da escola de validação.....	129
Anexo I	– Grades horárias dos professores da escola de validação.....	131
Anexo J	– Grades horárias das turmas geradas pelo modelo para validação	135
Anexo K	– Grades horárias dos professores geradas pelo modelo para validação	137

1. INTRODUÇÃO

Todo início de período letivo, gestores de instituições de ensino – de todos os portes, tipos e níveis – se deparam com um típico problema: montar as grades horárias das turmas, o que pressupõe alocar professores, salas de aulas, laboratórios e quadras esportivas para as turmas de alunos, segundo as demandas de carga horária de suas disciplinas e considerando as restrições de disponibilidade de cada recurso.

Este problema é conhecido na literatura como *school timetabling problem*. De acordo com Cooper e Kingston (1993), o problema básico do *school timetabling* consiste em atribuir horários, professores, alunos e salas de aula para uma coleção de turmas, de tal forma que nenhum participante é obrigado a comparecer a duas aulas simultaneamente. Casos reais podem ser muito grandes, com centenas de participantes e centenas de aulas em uma semana com 40 horários disponíveis e restrições de vários tipos.

Apesar de inexistirem dados oficiais, estima-se que a maioria das instituições de ensino brasileiras não dispõe de uma ferramenta computacional que a auxilie neste processo. Desta forma, dias e até semanas são despendidos nesta tarefa, demandando tempo de profissionais, exigindo exaustivas negociações entre professores com diferentes disponibilidades horárias e preferências de disciplinas. De acordo com Bardadym (1996), a solução manual de um problema de *timetabling* é uma tarefa árdua e normalmente requer vários dias de trabalho. Essa tarefa árdua acaba se transformando num grande quebra-cabeça, num pesado processo de tentativa e erro que, na primeira combinação encontrada, dá-se por solucionado, mesmo que a qualidade da solução seja péssima. Uma solução péssima implica em alunos e professores prejudicados: uma distribuição de carga horária dissonante dos interesses pedagógicos e maçante para professores e alunos, aulas em dias ou horários indesejados, existência de um elevado número de janelas de horários, poucos dias livres para professores, escolha de professores não desejados para turmas, dentre outras tantas situações que geram inconformidade.

A principal dificuldade, apresentada pelo *school timetabling problem*, está no fato de sua natureza combinatória. Analisando sob a ótica de um problema de otimização, o STP, apesar de já ter sido bastante explorado, continua sendo um desafio (MOURA *et al.*, 2004).

Em 2002, a *Metaheuristics Network* organizou uma competição, a *Internacional Timetabling Competition* de métodos de produção automatizada de quadros de horários (METAHEURISTICS, 2011). Os competidores deveriam desenvolver programas para resolver uma versão simplificada do problema de programação de cursos em universidades. O

programa que produzisse a melhor solução em um tempo predeterminado seria o vencedor. Este evento foi um importante marco para a pesquisa nesta área, pois, tradicionalmente, poucos autores realizavam experimentos computacionais comparando diferentes métodos de solução (SANTOS; SOUZA, 2007).

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo para o STP focado na realidade das escolas brasileiras de educação básica, infantil e profissional, podendo ser estendido para instituições de ensino superior que trabalham no regime seriado, a partir de técnicas de pesquisa operacional (PO).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 1, conceitos e terminologias são apresentados, bem como a justificativa e o objetivo deste estudo; no Capítulo 2, é feita uma revisão da literatura, apresentando o problema genérico de *timetabling*, o STP, a complexidade do problema e um apanhado de trabalhos anteriores, encontrados fundamentalmente nos principais periódicos internacionais de PO; no Capítulo 0, são apresentados os procedimentos metodológicos, englobando o método empregado e uma discussão referente às técnicas de solução para o STP, com ênfase especial à meta-heurística *simulated annealing*; no Capítulo 4, é apresentada a definição do problema, seguida do modelo matemático e heurístico; no Capítulo 5, a implementação computacional demonstra como todas as etapas desse processo foram desenvolvidas para que o modelo gere efetivamente grades horárias de boa qualidade; no Capítulo 6, o modelo implementado é validado, mediante a comparação com dados reais de uma escola que forneceu seus dados a esta pesquisa; e, finalmente, no Capítulo 7, as considerações finais são feitas, apresentando-se as contribuições deste trabalho, suas limitações e sugestões de estudos futuros.

1.1. Conceitos e terminologias

Ao longo deste trabalho, conceitos e terminologias são empregados, determinando a necessidade de explaná-los devidamente para melhor compreensão do contexto no qual estão inseridos. Alguns destes termos são consagrados pela literatura ou pelo uso comum; outros são resultados de traduções ou de adaptações feitas pelo próprio autor deste trabalho.

Em uma instituição de ensino, cada aluno cursa uma série, ano ou etapa de um determinado curso. Cada série, ano ou etapa representa um determinado nível do processo contínuo de ensino-aprendizagem e dispõe de um rol de disciplinas que formam a grade curricular. Numa grade curricular, cada disciplina tem um número de aulas semanais. A fim

de organizar os alunos que cursam cada série, a instituição de ensino agrupa os alunos através de turmas. Uma série, ano ou etapa pode ser ofertada por meio de uma ou mais turmas. A quantidade de turmas é determinada por vários fatores: (a) demanda de alunos por determinados turnos; (b) capacidade física da IE; e (c) limitações de ordem pedagógica. Cada disciplina é oferecida aos alunos de uma turma de acordo com a exigência de carga horária expressa na grade curricular da etapa a qual estão vinculados. Cada disciplina é ministrada por um único professor numa determinada turma.

Aula

É uma célula da grade horária, isto é, a intersecção entre um dia da semana e um período de aula em que uma disciplina é ministrada por um professor para uma turma. Na literatura científica, comumente é chamada de *slot*. Na Figura 1, uma intersecção de dia da semana e um período aula é ilustrada, demonstrando o que é uma “aula”.

Grade horária da turma 3B (3º ano Ensino Médio)						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	LP	ART	QUI	HIS	BIO
	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO
	3	FIS	MAT	LP	MAT	ING
	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP
	5	EF	FIL	GEO	EF	SOC
						aula

Figura 1 - Definição de "aula"
Fonte: elaborada pelo autor

Período de aula

É a janela de tempo em que uma aula é ministrada, independentemente do dia da semana. O período de aula tem uma hora de início, uma hora de fim e está dentro de um turno (manhã, tarde ou noite). Na Figura 2, cada linha (1, 2, 3, 4 e 5) representa um período de aula.

Grade horária da turma 3B (3º ano Ensino Médio)						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	LP	ART	QUI	HIS	BIO
	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO
	3	FIS	MAT	LP	MAT	ING
	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP
	5	EF	FIL	GEO	EF	SOC
						período de aula

Figura 2 - Definição de "período de aula"
Fonte: elaborada pelo autor

Grade curricular

Também chamada de matriz curricular, é a relação de disciplinas com as suas respectivas cargas horárias de uma determinada série, ano ou etapa. Na Figura 3 é apresentada a grade curricular do 3º ano do ensino médio de uma instituição de ensino hipotética.

3º ano do Ensino Médio			
	Disciplinas	Carga Horária	
		Semanal	Anual
1	Língua Portuguesa	3	96
2	Matemática	3	96
3	Biologia	3	96
4	Física	3	96
5	Química	3	96
6	História	3	96
7	Geografia	2	64
8	Inglês	1	32
9	Espanhol	1	32
10	Filosofia	1	32
11	Sociologia	1	32
12	Educação Física	1	32
TOTAL		25	800

Figura 3 - Definição de "grade curricular"

Fonte: elaborada pelo autor

Grade horária

É uma matriz em que as linhas são os períodos de aula e as colunas são os dias da semana. É, portanto, onde os recursos “turma”, “professor”, “disciplina” e “local de aula” são alocados. Uma grade horária repete-se semanalmente ao longo do período letivo, conforme apresentado na Figura 4.

Grade horária da turma 3B (3º ano Ensino Médio)						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	LP	ART	QUI	HIS	BIO
	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO
	3	FIS	MAT	LP	MAT	ING
	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP
	5	EF	FIL	GEO	EF	SOC

Figura 4 - Definição de "grade horária"

Fonte: elaborada pelo autor

Turma

É um agrupamento de alunos que cursam uma grade curricular conjuntamente ao longo de um período letivo, cumprindo uma grade horária. Exemplo: Turma 12A, Turma 12B, Turma 22A...

Disciplina

É o componente curricular de uma determinada turma que deve ter um determinado número de aulas a ser ministrado. Exemplo: ensino globalizado, educação física, língua portuguesa, matemática etc.

Janela ou hora-janela

É o período vago entre aulas de um mesmo turno de um determinado professor (SINPRO-RS, 2011). A Figura 5 apresenta uma grade horária hipotética de um determinado professor. O professor em questão tem um total de 3 (três) janelas, sendo duas delas consecutivas (na quarta-feira).

Grade Horária do Prof. Lucas					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
Manhã	1		25B	25C	
	2	25A	25B	25C	
	3	25A		26C	
	4	26A	26B	26C	
	5	26A	26B		
Tarde	6			23A	
	7	24A	24C		
	8	24A	24C		
	9	24B		23B	
	10	24B		23C	
Noite	11				
	12				
	13				
	14				

Figura 5 - Definição de “janela”
Fonte: elaborada pelo autor

Local de aula

É o ambiente físico onde uma determinada aula é ministrada. Pode ser uma sala de aula tradicional, um laboratório específico (de informática, química, física, biologia etc.) ou algum ambiente específico (quadras esportivas, piscinas, bibliotecas etc.).

Local de aula não-compartilhado

É um local de aula exclusivo de uma turma num determinado turno do dia. Normalmente, é uma sala de aula conhecida nos moldes tradicionais.

Local de aula compartilhado

É um local de aula característico para determinados tipos de disciplinas que é utilizado por várias turmas num mesmo turno. Um laboratório de biologia, por exemplo, é um local de aula compartilhado, pois é um recurso que pode ser utilizado por várias turmas.

N-uplas

São aulas ministradas consecutivamente N vezes, num mesmo dia, de uma mesma disciplina para uma determinada turma. Por razões pedagógicas ou até econômico-financeiras, pode-se desejar que uma disciplina seja ministrada em 3-uplas, por exemplo. Na Figura 6, várias N-uplas estão destacadas. Nos 3 (três) primeiros períodos de aula da segunda-feira, a disciplina LP (língua portuguesa) é ministrada em 3-uplas, enquanto as demais destacadas são ministradas em 2-uplas.

Grade horária da turma 3B (3º ano Ensino Médio)						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	LP	ART	QUI	HIS	BIO
	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO
	3	LP	MAT	LP	MAT	ING
	4	FIS	ESP	GEO	MAT	EF
	5	FIS	FIL	GEO	EF	SOC

Figura 6 - Definição de "N-uplas"

Fonte: elaborada pelo autor

Swap

É uma operação que envolve a troca de aulas dentro de uma grade horária. *Swaps* são executados dentro de iterações de algum tipo de meta-heurística que visa melhorar a solução. Neste trabalho, dois tipos de *swaps* são empregados: *swap intraturma* e *swap interturmas*.

Swap Intraturma

É um tipo de *swap* que envolve a troca de horários de aula de duas disciplinas de uma mesma turma. A Figura 7 apresenta uma grade horária antes e depois de um *swap* intraturma: visando melhorar a qualidade da grade horária, duas disciplinas escolhidas randomicamente têm seus horários de aulas trocados, gerando uma nova grade horária. Para esta operação, é fundamental que cada um dos professores esteja disponível no horário da aula do outro professor. Tomando o exemplo da Figura 7, o professor da

disciplina “ART” deverá estar disponível no 3º período da sexta-feira, assim como o professor da disciplina “ING” que deverá estar disponível no 1º período da terça-feira. Estando satisfeitas as duas condições, o *swap* intraturma poderá ser realizado.

Grade horária original						Grade horária após swap						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	LP	ART	QUI	HIS	BIO	1	LP	ING	QUI	HIS	BIO
	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO
	3	FIS	MAT	LP	MAT	ING	3	FIS	MAT	LP	MAT	ART
	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP
	5	EF	FIL	GEO	FF	SOC	5	EF	FIL	GEO	EF	SOC

Figura 7 - Exemplo de *swap* intraturma
Fonte: elaborada pelo autor

Swap Interturmas

É um tipo de *swap* que envolve a troca de aulas entre duas turmas e dois professores que lecionam de forma espelhada. A Figura 8 exemplifica o que isso significa. A grade horária (a) demonstra que o professor “João” leciona para a turma “33A” no 1º período de aula da terça-feira, e para a turma “33B” no 3º período da sexta-feira. Já o professor “Carlos”, conforme mostrado na grade horária (b), tem a situação inversa: no 1º período de terça-feira leciona para a turma “33B”, enquanto no 3º período da sexta-feira ministra aulas para a turma “33A”. Como há um espelhamento entre os horários, um *swap* interturmas pode ser executado sem prejuízo à exigência de número de aulas por disciplina, nem violando as disponibilidades dos professores.

Grade horária do Prof. JOÃO						Grade horária do Prof. CARLOS						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1		33A	31B	33A	31A	1	32A	33B		32A	33C
	2		33B	31C	33B	31B	2	32B	33A		32A	33C
	3		33C	31C	31A	33B	3	32C	33C		32B	33A
	4		31A	33C	31C	33A	4	33B			32B	33B
	5		31B			33C	5	33A			32C	32C

(a) grade horária do Prof. JOÃO antes do swap
(b) grade horária do prof. CARLOS antes do swap

↓

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1		33B	31B	33A	31A
	2		33B	31C	33B	31B
	3		33C	31C	31A	33A
	4		31A	33C	31C	33A
	5		31B			33C

(c) grade horária do prof. JOÃO depois do swap
(d) grade horária do prof. CARLOS depois do swap

Figura 8 - Exemplo de *swap* interturmas
Fonte: elaborada pelo autor

1.2. Justificativa

Alvarez-Valdes, Martin e Tamarit (1996) afirmam que o STP varia de país para país, pois cada sistema educacional tem suas características e regras. Por esta razão, não é incomum encontrar na literatura científica trabalhos que desenvolvem modelos específicos para determinados países. Nas referências bibliográficas deste trabalho podem ser encontrados artigos focados nos sistemas educacionais norte-americano, grego, espanhol, italiano, holandês, australiano, canadense, português e brasileiro.

Adicionalmente, os sistemas educacionais nacionais também sofrem alterações ao longo do tempo, seja por razões evolutivas do próprio mercado, como também por imposições de ordem legal. Nas últimas duas décadas, o mercado educacional brasileiro tem passado por diversas transformações que têm impactado diretamente na alocação de recursos das escolas.

No que tange a alocação do recurso “local de aula”, os avanços da TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) e o barateamento dos ferramentais pedagógicos das mais distintas áreas do saber têm intensificado o uso das salas ambientes nas escolas. Assim, podem-se ter salas de química, física, geografia, história, matemática ou qualquer outra disciplina, e os alunos, não mais os professores, se deslocam entre os locais de aula. Deste modo, o problema do *school timetabling* passa a ter um conjunto de dados a mais do que já foi considerado na maior parte dos trabalhos já realizados até então. Conforme tratado na Seção 2.4, a maior parte dos trabalhos sai da premissa que o “local de aula” está associado a “turma”, tornando desnecessário o tratamento deste recurso. Porém, esta premissa não atende a nova realidade que vem se desenhando na educação brasileira, principalmente nas escolas de excelência pedagógica.

Nos trabalhos vistos até então, principalmente os internacionais, o recurso “professor” possui restrições, porém, analisando-se os anexos com os exemplos apresentados, nota-se que tais restrições não são tão críticas quanto as que temos na realidade brasileira. Em muitos casos analisados, os professores têm vários dias à disposição da escola e os modelos preocupam-se, basicamente, em diminuir ao máximo as janelas e oferecer dias vagos aos professores. Outro objetivo comum, que permeia vários trabalhos pesquisados, é a necessidade de distribuir uniformemente as aulas dos professores, já que o modelo parte do pressuposto que o professor está à disposição da escola em todos os dias da semana possíveis.

A realidade brasileira, no entanto, oferece restrições mais críticas. A explosão do número de escolas, a diversidade de cursos técnicos, a necessidade econômico-financeira dos professores, que se veem obrigados a lecionar em duas ou mais escolas, impactam de forma

positiva o aumento de restrições de disponibilidade horária. A pressão de mercado por mensalidades mais baixas nas escolas particulares exige a construção de grades horárias que otimize ao máximo a alocação de recursos e que atendam as mais distintas restrições de disponibilidade por parte dos professores.

1.3. Objetivos

São objetivos deste trabalho:

a) Geral:

- Propor um modelo para o STP, baseado em PO, que auxilie gestores de instituições de ensino a construírem grades horárias que maximizem suas opções estratégicas e que minimizem seus custos, alocando nos dias da semana e nos períodos de aula de cada turma, professores, locais de aula e disciplinas.

b) Específicos:

- Definir critérios que atribuam pesos para determinadas condições de alocação de recursos, visando construir uma combinação que atenda as opções estratégicas da instituição de ensino (IE);
- Definir critérios que atribuam penalidades para determinadas condições de alocação de recursos, visando construir uma combinação que auxilie a IE a reduzir seus custos;
- Garantir a construção das grades horárias sem violar as disponibilidades dos recursos (professores, locais de aula, disciplinas, turmas, dias da semana e períodos de aula);
- Procurar atender restrições não fundamentais, mas que sejam de interesse da IE, dos alunos e dos professores;
- Desenvolver um modelo para este problema em tempo viável, baseado em heurísticas e meta-heurísticas.

2. REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo visa fundamentar teoricamente este trabalho, a partir de uma detalhada revisão da literatura científica sobre o assunto proposto, bem como das técnicas envolvidas no seu desenvolvimento.

Inicialmente, na Seção 2.1, o problema genérico de *timetabling* (TT) é apresentado, situando-o dentro dos clássicos problemas de pesquisa operacional. Já o *school timetabling problem*, que é um tipo específico dentre os problemas de TT, é abordado na Seção 2.2. A Seção 2.3 traz uma revisão da literatura tratando especificamente da complexidade computacional do problema de STP, que fundamenta o uso de técnicas heurísticas neste trabalho. Os artigos publicados sobre o assunto, pesquisados em periódicos de renome, têm suas análises apresentadas na Seção 2.4.

2.1. O problema genérico de *timetabling*

Timetabling é o nome dado pela literatura da pesquisa operacional para problemas de alocação horária de recursos. De acordo com Burke, Petrovic e Qu (2006), um problema genérico de *timetabling* inclui a programação de um certo número de eventos (exames, cursos, encontros etc.) em um limitado número de períodos de tempo, enquanto satisfaz, tanto quanto possível, o maior número de restrições requeridas.

Este problema tem sido objeto de pesquisa, usando-se inúmeros métodos de solução, desde o final da década de 1950 (TRIPATHY, 1984). De Werra (1997) aponta que este problema continua sendo de enorme interesse, principalmente de especialistas em pesquisa operacional (PO), devido à sua natureza combinatória, pois, para encontrar uma solução ótima ou conveniente, é necessário analisar um grande número de combinações.

Na literatura, vários tipos de problemas de *timetabling* são encontrados: *sports timetabling*, *railway timetabling*, *project scheduling*, *bus scheduling*, *airflight schedules*, *nurse rostering*, *university timetabling*, *school timetabling*, dentre outras inúmeras variantes. Apesar das nomenclaturas distintas, todos esses problemas têm grande similaridade.

Diante de todos esses problemas similares, Bartak e Rudova (2001) apontam as diferenças, classificando-os em três categorias: *planning*, *scheduling* e *timetabling*. Segundo os autores, essas categorias tratam com três entidades – atividades, recursos e tarefas – e o problema central é alocar as atividades aos recursos ou vice-versa.

Bartak (2002) afirma que *planning* e *scheduling* estão intimamente relacionados, porém têm diferenças. Enquanto o *planning* visa encontrar atividades para alcançar algum objetivo, *scheduling* trata de atribuir atividades conhecidas aos recursos disponíveis dentro de janelas de tempo. Muller e Bartak (2003) enquadram o *timetabling* como sendo uma forma de *scheduling*, que objetiva alocar atividades em espaços de tempos de recursos (professores, locais de aula...), respeitando algumas restrições.

A entidade “atividade” é um conceito que se apresenta sob nomenclatura distinta para cada uma das três categorias: “ação” no *planning*, “operação” no *scheduling* e “curso” ou “aula” no *timetabling*. A “atividade” tem relação com uma duração ou com uma janela de tempo em que deve ocorrer.

As atividades são, via de regra, alocadas aos “recursos” que, por sua vez, consomem capacidade. Os recursos podem ser renováveis ou não-renováveis. Uma sala de aula é um exemplo de recurso renovável, pois sua capacidade volta ao nível original assim que a aula (atividade) termina. Já uma caixa de giz é um exemplo de recurso não-renovável. Se houver uso desse recurso, ao terminar uma atividade, o nível não será o mesmo em relação ao seu início. Num STP, um local de aula e um professor, por exemplo, têm capacidade unitária, isto é, somente uma aula pode ocorrer em uma janela de tempo fazendo uso desses recursos.

Já as “tarefas” são agrupamentos de atividades, que permitem estabelecer relações entre atividades, definir regras de precedência e afins. Para que uma atividade seja finalizada, portanto, a realização de tarefas deve seguir um roteiro.

O Quadro 1 tabula as diferenças entre *planning*, *scheduling* e *timetabling* para algumas características:

	<i>Planning</i>	<i>Scheduling</i>	<i>Timetabling</i>
Duração	não	sim	normalmente fixa
Janela de tempo	não	sim	às vezes
Recurso renovável	sim	sim	sim
Recurso não-renovável	sim	sim	não
Restrição de capacidade	sim	sim	frequentemente unitária

Quadro 1 - Diferença entre *planning*, *scheduling* e *timetabling*
Fonte: elaborado pelo autor, baseado em Bartak e Rudova (2001)

Como cada variante do problema de TT tem suas características próprias – razão pela qual o assunto continua a ser pesquisado, apesar das décadas decorridas desde a primeira pesquisa – este trabalho tratará exclusivamente do *School Timetabling Problem* (STP).

2.2. School timetabling problem

Na área educacional, há vários subproblemas de *timetabling*. O trabalho de Carter e Laporte (1996) separou bem as características do TT de cada segmento, conforme apresentado no Quadro 2:

Características	High School (STP)	University (UTP)
Agendamento	- Por turma	- Por aluno
Escolha	- Poucas opções - Grades curriculares rígidas	- Muitas disciplinas eletivas - Grades curriculares flexíveis
Disponibilidade dos professores	- Apertada (carga horária pesada)	- Flexível (carga horária leve)
Locais de aula	- Poucos locais - Mesma capacidade Localização centralizada	- Muitos locais - Variedade de capacidade - Localização descentralizada
Carga horária do estudante	- Pesada (ocupado durante todo o dia)	- Esparsa (várias lacunas de horário)
Restrições	- Sem qualquer tipo de conflito	- Um mínimo de conflitos é aceitável

Quadro 2 - Características de "High School" vs "University"

Fonte: Carter e Laporte (1996)

O Quadro 2 apresenta as características das instituições de ensino norte-americanas, cabendo, portanto, um ajuste à realidade brasileira conforme ilustrado no Quadro 3.

Características	Educação Básica	Ensino Superior	
		Regime Seriado	Regime de Créditos
Agendamento	- Por turma	- Por turma	- Por aluno
Escolha	- Poucas opções - Grades curriculares rígidas	- Poucas opções - Grades curriculares rígidas	- Muitas disciplinas eletivas - Grades curriculares flexíveis
Disponibilidade dos professores	- Apertada (carga horária pesada)	- Flexível (carga horária leve)	- Flexível (carga horária leve)
Locais de aula	- Depende. Há escolas com poucos locais e outras com muitos - Mesma capacidade	- Muitas salas - Variedade de capacidade	- Muitas salas - Variedade de capacidade
Carga horária do estudante	- Pesada (ocupado durante todo um turno)	- Pesada (ocupado durante todo um turno)	- Esparsa (várias lacunas de horário)
Restrições	- Sem qualquer tipo de conflito	- Sem qualquer tipo de conflito, exceto quando o aluno estiver fora de uma turma regular	- Um mínimo de conflitos é aceitável

Quadro 3 - Características dos níveis educacionais brasileiros

Fonte: elaborado pelo autor

A grande diferença entre os dois quadros está centrada no Ensino Superior. No Brasil, há instituições de ensino superior que trabalham sob dois tipos de regimes: (a) de créditos; e

(b) seriado. No regime seriado – que também é chamado de regime de disciplinas – é aquele em que o aluno escolhe livremente as disciplinas que deseja cursar, desde que respeite as diretrizes curriculares. Já no regime seriado, que funciona de forma muito semelhante a uma escola de educação básica, o aluno é “enturmado” e cursa todas as disciplinas segundo o que a instituição oferece. As instituições de ensino superior que trabalham sob o regime seriado têm realidade muito semelhante às escolas de educação básica, no que tange o STP.

Dadas as semelhanças entre o STP e o UTP (*university timetabling problem*), Frangouli, Harmandas e Stamopoulos (1995) tratam de apontar algumas diferenças entre os dois tipos de problemas. Numa universidade, por exemplo, apesar de se desejar minimizar o número de janelas para alunos, aceita-se a sua existência, enquanto numa escola isto é proibido. No entanto, os autores afirmam que independentemente das diferenças, em relação à complexidade, o STP e o UTP apresentam o mesmo grau de dificuldade.

Santos, Ochi e Souza (2004) definem *school timetabling problem* como sendo uma programação semanal de encontros entre professores e turmas de maneira a assegurar que requerimentos e restrições sejam satisfeitos.

2.3. Complexidade

Segundo Elmohamed, Coddington e Fox (1997), o *timetabling* (TT) é um problema combinatório de otimização multidimensional, não-euclidiano, multirrestrito e, consequentemente, muito difícil de ser resolvido. Há dois fatores determinantes que remetem um problema de TT a essa condição: o grande número de entidades e de restrições. Alvarez-Valdes, Crespo e Tamarit (2002) apontam que a grande qualidade de entidades envolvidas nesse processo (turmas, professores, locais de aula etc.) resulta num enorme número de variáveis e restrições. Nesse mesmo sentido, Chand (2002) coloca que parte da dificuldade está associada ao grande número de restrições conflitantes que precisam ser solucionadas.

Turing (1936) mostrou através do problema da parada que existem problemas que não podem ser resolvidos por nenhum computador. Algoritmos que têm entradas de tamanho n e possuem sua eficiência em relação ao tempo de execução pertence a uma função do tipo $O(n^k)$ são chamados de algoritmos de tempo polinomial. Problemas que não podem ser resolvidos em tempo polinomial são chamados de algoritmos de tempo não-polinomial. Problemas resolvidos em tempo polinomial – classe do tipo P – são definidos como tratáveis, enquanto

que aqueles resolvidos em tempo não-polinomiais – classe do tipo NP – são chamados de intratáveis (HOPCROFT; ULLMANN, 1979 *apud* FUX, 2004).

Enquanto a classe do tipo P são problemas de decisão solúveis em tempo polinomial, os problemas de classe NP são “verificáveis” em tempo polinomial (CORMEN *et al.*, 2009). Os problemas *NP-Complete*, que são uma subclasse dos *NP-Hard*, são aqueles que não se conhece uma solução determinística capaz de ser executada em tempo polinomial. Isso significa que um problema *NP-Complete* pode ser reduzido a outro problema *NP-Complete* qualquer. Um problema *NP-Hard* não pertence, necessariamente, à classe NP.

Em relação à classificação de complexidade, de acordo com a literatura científica, os problemas de TT são classificados minimamente como *NP-Hard* e majoritariamente como *NP-Complete*:

- Gotlieb (1962), em seu artigo seminal sobre TT, apresenta o problema como sendo *NP-Complete*.
- Even, Itai e Shamir (1975) corroboram com Gotlieb, apresentando a prova que o problema de TT é *NP-Complete*.
- Cooper e Kingston (1993) afirmam que o TT é facilmente visto como um *covering problem*, sendo, portanto, *NP-Hard*.
- Carter e Laporte (1996) descrevem o problema de TT como sendo *NP-Complete* multidimensional.
- Colorni, Dorigo e Maniezzo (1998) apresentam o STP como sendo *NP-Hard*.
- Schaefer (1999a) diz que o STP é *NP-Complete* e que uma solução exata e viável somente é possível para pequenas instâncias. O autor, em outro trabalho, afirma que a solução deste tipo de problema deve ser por meio de uma abordagem por métodos heurísticos (SCHAERF, 1999b).
- Enzhe e Sung (2002) apontam a grande dificuldade de se encontrar uma solução satisfatória num problema de TT, justamente por ser *NP-Complete*.
- Chand (2002) ressalta que a grande gama de restrições em diferentes ambientes faz do TT um problema *NP-Complete* que oferece dificuldade para se construa uma solução genérica.
- Santos, Ochi e Souza (2004) enquadram o STP como um problema *NP-Hard* para quase todas as suas variantes, justificando o uso de métodos heurísticos para sua resolução.

- Moura *et al.* (2004) afirmam que até o presente momento não se conseguiu construir um sistema geral para busca de soluções do problema de TT com eficiência comprovadamente polinomial, uma vez que o mesmo está incluso na classe dos problemas *NP-Hard*.
- Beligiannis, Moschopoulos e Likothanassis (2009) abordam o STP como um problema *NP-Complete* em sua forma geral, pois a dificuldade em encontrar uma solução aumenta exponencialmente de acordo com o seu tamanho, não sendo possível, portanto, resolvê-lo em tempo polinomial.
- Zhang, Liu e H'Hallah (2010) categorizam o STP como um problema de classe *NP-Complete*. Por essa razão, pesquisadores se concentram em resolver este problema usando meta-heurísticas, como *ant colony*, *genetic algorithm*, *tabu search*, *simulated annealing* e outros.

2.4. Trabalhos anteriores

O *school timetabling problem* (STP) tem sido objeto de estudo há bastante tempo pela comunidade acadêmica. Os primeiros trabalhos iniciaram nos anos 60 do século passado. Uma das primeiras referências foi apresentada por Appleby, Black e Newman (1960) que expuseram técnicas para a construção de soluções para o problema, mediante o uso de computadores, e compararam o problema de TT com outros problemas de agendamento pesquisados na época.

Gotlieb (1962) foi quem apresentou a primeira formulação completa para o STP, declarando que o problema consistia em fixar um conjunto de aulas num determinado período de tempo, atendendo exigências acadêmicas, isto é, o cumprimento da grade curricular. Em cada aula era necessário atender um único grupo de estudantes (turma), exigindo-se o comparecimento de um único professor. Ainda na década de 1960, Lawrie (1969) apresentou um modelo de STP baseado em programação linear inteira (PLI) com o propósito de alocar professores, disciplinas e turmas em uma grade horária semanal. No ano seguinte, De Werra (1970) propôs, para o mesmo problema, um modelo baseado num algoritmo de fluxo de rede.

Gans (1981) focou seus estudos com base na realidade das escolas de educação de nível médio da Holanda, propondo um modelo e um método heurístico de resolução. O autor afirma ser impossível garantir que todas as restrições sejam atendidas, mas que o modelo cobre uma parte substancial delas.

Naturalmente, as pesquisas sobre TT e todas as suas variantes – incluindo-se o STP – avolumaram-se a partir da década de 1990, com a popularização dos computadores pessoais e a elevada evolução tecnológica, que trouxe velocidade de processamento, armazenamento e de desenvolvimento de software.

Abramson (1991) propôs um modelo para o STP usando a meta-heurística *simulated annealing*, pois problemas que contam com um grande número de variáveis e restrições não têm sido bem sucedidos através do uso de programação linear inteira (PLI). No seu modelo, o autor trabalha com os parâmetros “turmas”, “professores”, “locais de aula”, “dias da semana” e “períodos de aula”. Há um artifício empregado pelo autor que visa simplificar o modelo, suprimindo o parâmetro “disciplina”: o modelo pressupõe que os professores de cada disciplina em cada turma já estão previamente selecionados. Exemplificando-se, em vez de informar que uma determinada turma tem três aulas de “história”, informa-se que a turma tem três aulas com o professor “João”, que supostamente é o professor dessa disciplina. Similarmente, o recurso “local de aula” é completamente suprimido do modelo, pois se pressupõe que cada turma tenha um local de aula associado. Como função de avaliação, o autor propõe minimizar o custo da grade horária, que é expresso pelo número de conflitos. Para que se tenha uma solução viável neste caso, é necessário que o custo, ao final do processo, seja zero. Adicionalmente, o autor propõe a incorporação de outros componentes ao custo, como por exemplo, que conduzam o modelo a escolher dias e períodos de aulas preferenciais de professores. Como o número de conflitos está expresso na função de avaliação, o algoritmo guloso e randômico que gera a solução inicial não tem qualquer preocupação em gerar uma grade horária viável, transferindo, portanto, essa responsabilidade à fase de melhoramento, que emprega a meta-heurística *simulated annealing*. O autor não especifica se o tipo de *swap* (ver Seção 1.1) utilizado executa trocas entre duas, três ou mais disciplinas. Para validar o modelo, o autor executou várias instâncias de tamanhos distintos. A maior instância, ilustrada na linha [5] do Quadro 4, foi processada em 14 horas.

O trabalho de Alvarez-Valdes, Martin e Tamarit (1996) considerou a realidade do modelo educacional espanhol. Os parâmetros empregados foram os mesmos de Abramson (1991), inclusive fazendo uso do mesmo artifício que une professores a disciplinas. A fase de construção trabalha com uma função de avaliação que visa, unicamente, minimizar o número de conflitos (colisão de horários de professor ou local de aula numa mesma turma) – logo, a solução somente é considerada viável se o custo final for zero. Porém, na fase de melhoramento, que emprega a meta-heurística *tabu search*, dois novos componentes são agregados à função de avaliação: a compactade (*compactness*) dos horários de aula das

turmas e dos professores. Os autores denominam “compacidade” como sendo a necessidade de se compactar uma grade horária ao máximo, procurando diminuir o número de janelas, tanto de professores como de alunos. No artigo, há um esclarecimento importante em relação ao sistema educacional espanhol: a possibilidade de existência de janelas nas turmas. Logo, o modelo teve ter como objetivo deixar vagos apenas períodos iniciais ou finais para que a IE não ofereça uma grade horária que mantenha alunos na escola sem aula (exceção feita ao intervalo). Isso é algo que não acontece no sistema brasileiro, pois, com raras exceções, a grade horária apresenta exatamente o número de aulas previsto na grade curricular. Finalmente, os autores validaram seus algoritmos em 14 (quatorze) bases de dados de escolas de diferentes portes (apenas a maior instância está apresentada na linha [6] do Quadro 4), afirmando que obtiveram boas soluções. Porém, o trabalho não apresenta o tempo de execução para cada instância.

Autores	Ano	País	Parâmetros				Dimensões				Tempo	Técnica							
			Turmas	Disciplinas	Professores	Locais de aula	Turmas	Professores	Locais de aula	Aulas		MIP	Heurísticas	TS	GA	GRASP	SA	CLP	NN
1 Gotlieb	1962	Canadá	✓				111	93	107	NI	NI	✓	✓						
2 Lawrie	1969	Inglaterra	✓	✓	✓		NI	74		NI	NI								
3 De Werra	1970	Canadá	✓	✓	✓		48	84		NI	50 min*		✓						
4 Gans	1981	Holanda	✓	✓	✓	✓	NI	NI	NI	NI	NI		✓						
5 Abramson	1991	Austrália	✓		✓	✓	101	37	24	3030	14 h					✓			
6 Alvarez-Valdes <i>et al.</i>	1996	Espanha	✓		✓	✓	26	60	NI	1100	NI			✓					
7 Wright	1996	Inglaterra	✓	✓	✓		NI	80		NI	NI			✓					
8 Birbas <i>et al.</i>	1997	Grécia	✓	✓	✓		21	46		721	NI	✓							
9 Colomí <i>et al.</i>	1998	Itália	✓	✓	✓		10	24		300	8 h		✓	✓	✓				
10 Schaeff	1999b	Itália	✓		✓		38	61		1368	4,5 h		✓						
11 Smith <i>et al.</i>	2003	Austrália	✓		✓	✓	8	8	8	240	7,2 min								
12 Valouxis; Housos	2003	Grécia	✓	✓	✓		9	23		315	1 h						✓		
13 Carrasco; Pato	2004	Portugal	✓		✓	✓	92	107	27	626	8,6 min								
14 Santos; Ochi; Souza	2004	Brasil	✓		✓		20	33		500	NI		✓						
15 Moura <i>et al.</i>	2004	Brasil	✓		✓		NI	NI		NI	4 min		✓	✓	✓				
16 Avella <i>et al.</i>	2007	Itália	✓		✓		43	82		1548	20 min					✓			
17 Marte	2007	Alemanha	✓		✓	✓	**	91	NI	1157	NI								
18 Jacobsen <i>et al.</i>	2007	Alemanha	✓		✓	✓	**	91	NI	1157	100 s		✓						
19 Santos; Souza	2007	Brasil	✓		✓		20	33		NI	NI	✓	✓	✓	✓				
20 Belingiannis <i>et al.</i>	2008	Grécia	✓	✓	✓		13	35		455	45 min								
21 Birbas <i>et al.</i>	2008	Grécia	✓	✓	✓		21	48	NI	404	4 min	✓							
22 Belingiannis <i>et al.</i>	2009	Grécia	✓	✓	✓		13	35		455	45 min					✓			
23 Zhang <i>et al.</i>	2010	***	✓	✓	✓		13	35		455	3,5 min						✓		

NI: Não Informado

* 5% não solucionado

** No modelo alemão, alunos - e não turmas - são alocados

*** Os autores são de diversos países. O estudo não aponta o país em que o modelo foi baseado

Quadro 4 - Resumo dos trabalhos anteriores

Fonte: elaborado pelo autor

Wright (1996) também desenvolveu um modelo baseado na meta-heurística *tabu search*, porém baseado no modelo educacional inglês. A rigidez do *UK National Curriculum*

não permite às IE trabalharem com ciclos semanais. Logo, o modelo inglês trabalha com grades horárias quinzenais, com um total de 50 (cinquenta) aulas. Adicionalmente, o autor estruturou uma função de avaliação composta por diversos componentes, denominados de *subcosts*: (a) número de conflitos de horários das turmas; (b) número de conflitos de horários dos professores; (c) número de demandas de professores de um único departamento; (d) número de requisições de salas especiais (ex.: laboratórios) não atendidas; (e) número de aulas duplas não atendidas; e (f) custo por requisitos de padrão de qualidade não atendidos. Neste último item, o autor enumera os requisitos de padrão de qualidade como sendo solicitações essencialmente de cunho didático-pedagógico, como, por exemplo, a necessidade de distribuir uniformemente disciplinas importantes como matemática e inglês ou, ainda, não permitir que tais disciplinas sejam ministradas no último período do dia, em que os alunos provavelmente estejam mais cansados (na Inglaterra, os alunos têm aulas nos dois turnos, o que torna esse cuidado ainda mais importante). O autor tampouco informa o tempo de execução, mas afirma que os resultados foram satisfatórios, apresentando um trecho da carta que recebeu da diretora da escola da cidade de Lancashire que passou a usar o modelo para construir suas grades horárias (WRIGTH, 1996, p.348):

De uma experiência longa e amarga, pude concluir que o início tradicionalmente caótico do ano letivo era inevitável. Você provou que isso pode ser evitado. Eu não havia visto um começo de ano tão leve, e devido ao tamanho da nossa escola e da complexidade do nosso currículo, seus arranjos e configurações, podemos dizer que foi um grande negócio... Você melhorou bastante a qualidade do aprendizado dos nossos alunos e estudantes. (tradução livre do autor)

Carter e Laporte (1996) desenvolveram um trabalho com objetivo de desbrinchar os diferentes tipos de problemas de *timetabling* educacionais, sem qualquer pretensão de propor algum tipo de modelo. Uma ampla explanação sobre os diferentes tipos de problemas de TT voltados para a área educacional é apresentada. Primeiramente, os autores diferenciam as necessidades das *high schools* e das *universities* (ver Quadro 2). Baseados nas características de cada uma, os autores apresentam o *course timetabling*, *class-teacher timetabling*, *student scheduling*, *teacher assignment* e *classroom assignment*.

Birbas, Daskalaki e Housos (1997) promoveram uma abordagem do modelo educacional grego através de PLI. Para tanto, o modelo trabalha com os parâmetros “turmas”, “disciplinas”, “professores”, “dias da semana” e “períodos de aula” e, para cada variável de decisão que os combina, há um custo associado. Desta forma, a função de avaliação visa, tão somente, obter o menor custo possível. As demais exigências são tratadas nas restrições. Além das tradicionais restrições que asseguram que a grade horária seja viável – aquelas que garantem que os recursos não sejam utilizados mais de uma vez no mesmo espaço de tempo –

os autores propuseram restrições que: (a) garantem a distribuição uniformemente das disciplinas ao longo dos dias da semana; e (b) liberam professores de determinados dias e períodos de aula. Para atender a distribuição uniforme das disciplinas ao longo da semana, os autores criaram restrições para disciplinas que possuem até cinco aulas semanais e entre seis e dez aulas semanais. As disciplinas com até cinco aulas têm um somatório de variáveis de decisão para cada dia da semana que não pode ultrapassar o valor “1”. Desta forma, o modelo garante que não seja possível atribuir duas aulas num mesmo dia da semana para uma determinada disciplina. Já as disciplinas de maior carga horária (entre cinco e dez aulas), o modelo oferece duas inequações para cada dia da semana. A primeira inequação força que a disciplina tenha pelo menos uma aula em cada dia. A segunda, por sua vez, garante que a disciplina jamais tenha mais de duas aulas no mesmo dia. Para processar o modelo, os autores utilizam o ILOG CPLEX®, que reconhecidamente é um *solver* robusto.

Colorni, Dorigo e Maniezzo (1998) confrontaram três diferentes técnicas de meta-heurísticas para resolver um modelo de construção de grades horárias, baseado nos recursos clássicos de STP: “turmas”, “disciplinas”, “professores”, “dias da semana” e “períodos de aula”. Sua função de avaliação é o somatório de quatro componentes. O primeiro quantifica as inviabilidades do modelo (colisões de horários e não atendimento à grade curricular). Os três últimos componentes fazem menção, respectivamente, à quantidade de não atendimentos de solicitações de ordem didático-pedagógicas, organizacionais e pessoais (a Seção 4.1 aborda detalhadamente desses tipos de solicitação). Para cada um dos quatro componentes, o modelo apresenta uma penalidade que lhe confere flexibilidade, visando atender instituições de ensino com prioridades distintas. As três meta-heurísticas empregadas neste trabalho foram: (a) *simulated annealing*; (b) *genetic algorithm*; e (c) *tabu search*. Nesse estudo, que foi modelado de acordo com a realidade educacional italiana, o *tabu search* apresentou melhores resultados, seguido pelo *genetic algorithm*.

Schaerf (1999a) promoveu uma ampla revisão sobre as técnicas mais empregadas para resolver problemas de *school timetabling*, *course timetabling* e *examination timetabling*, apresentando uma formulação matemática para resolvê-los. O autor relacionou e explicou as seguintes técnicas: (a) uso de heurísticas gulosas; (b) *reduction to graph coloring*; (c) *network flow techniques*; (d) *genetic algorithm*; (e) *simulated annealing*; (f) *logic programming approach*; (g) *constraint-based approach*; (h) *tabu search*; (i) *combination of methods*; (j) *integer linear programming*; e (k) *rule-based approach*. No mesmo ano, Schaerf (1999b) desenvolveu outro trabalho que ofereceu um modelo de STP para o sistema educacional italiano – ao contrário do anterior que fez uma abordagem puramente teórica do problema.

Sua função de avaliação visa minimizar o custo de cada restrição *soft* não atendida, que é ponderada pela sua respectiva penalidade. O modelo, portanto, tem por objetivo construir uma grade horária viável que penalize: (a) a existência de janelas dos professores; (b) as N-uplas não atendidas; (c) o não atendimento do número mínimo de dias exigidos para que o professor esteja na IE; (d) o não atendimento do número máximo de dias exigidos para que o professor esteja na IE; (e) o não atendimento do número máximo de aulas de uma disciplina num único dia; (f) a atribuição de aulas em dias e períodos de aula indesejados por professores; (g) o não atendimento do número de aulas que cada professor necessita para atividades extraclasse; e (h) mudanças de locais de aula entre dois períodos de aula consecutivos (que ocasiona deslocamento e, por consequência, perda de tempo). Para resolver este modelo, o autor implementou algoritmos baseados na meta-heurística *tabu search*, fazendo uso de critérios de aspiração. O algoritmo proposto atingiu bons resultados após 4,5 horas de processamento computacional.

O estudo de Smith, Abramson e Duke (2003) trouxe uma abordagem diferente das tradicionais: o uso de *neural networks* (NN). Os autores basearam-se num modelo de STP proposto anteriormente por Abramson, propondo-se a comparar os resultados obtidos utilizando NN com as melhores abordagens meta-heurísticas. Caso os resultados fossem ao menos similares, o investimento na implementação de um *hardware* de NN seria justificado. Dentro as diferentes técnicas que empregam NN, os autores optaram pela *Hopfield. Hopfield neural networks* (HOPFIELD, 1982, 1984 *apud* SMITH; ABRAMSON; DUKE, 2003) são uma ferramenta matemática biologicamente inspirada que pode ser usada para resolver problemas de difícil otimização. Sua vantagem em relação às tradicionais técnicas de otimização reside no seu potencial computacional implementado em *hardware*. Ao comparar com uma heurística gulosa e com as meta-heurísticas *simulated annealing* e *tabu search*, os resultados da NN mostraram claramente que essa técnica é capaz de competir eficazmente com o *simulated annealing*, que foi a técnica tradicional que apresentou os melhores resultados.

O trabalho de Valouxis e Housos (2003) considerou as regras de negócios das instituições de ensino da Grécia. Ao trabalharem com os parâmetros “turmas”, “professores”, “disciplinas”, “dias da semana” e “locais de aula”, os autores propuseram uma função de avaliação que permite ao modelo: (a) alocar professores mais convenientes segundo as preferências da IE; (b) minimizar a existência de janelas entre aulas; (c) distribuir uniformemente a carga horária entre os professores; e (d) respeitar a preferência dos professores em lecionar mais cedo ou mais tarde. Para processar o modelo, os autores usaram

a técnica *constraint logic programming* (CLP), que define o espaço de restrições especificando os valores que as variáveis podem assumir simultaneamente. Para resolver um problema por esta técnica, restrições são propagadas a cada iteração, identificando-se valores inviáveis no espaço de soluções.

O trabalho de Carrasco e Pato (2004) explora a aplicação de *neural networks* (NN) baseado em heurísticas para o STP. Considerando o sistema educacional português, os autores propuseram uma função de avaliação que visasse minimizar os custos decorrentes do não atendimento de um conjunto de restrições do tipo *soft*. O número de dias e de turnos de cada professor deve ser minimizado, a fim de permitir que ele possa ter disponibilidade de horários para outras atividades pedagógicas que não impliquem presença física em sala de aula. O modelo também deve penalizar a necessidade de o professor trocar de locais de aula, pois isso pode implicar grandes deslocamentos e gerar atrasos no início das aulas. Definido o modelo, os autores confrontam dois métodos heurísticos baseados em NN: (a) *Continuous Potts Mean-Field Annealing Approach* (CPMF); e (b) *Discrete Winner-Takes-All Neuron Approach* (DWTAN). Os dois algoritmos estão ilustrados na Figura 9:

<pre> START $T_0 = 1$; $MaxIter = 100$; $Iter = 0$ Initialize all neuron states WHILE ($Iter < MaxIter$) DO IF ($NSum^x = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} V_i^2 < 0.9$) THEN Randomly perform one update per neuron of lesson-period sub-network by using equations (13) with T_{iter} IF ($NSum^y = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} V_i^2 < 0.9$) THEN Randomly perform one update per neuron of lesson-room sub-network by using equations (14) with T'_{iter} $Iter = Iter + 1$ $T'_{iter+1} = T'_{iter} \times 0.95$ Discretize all neuron states END </pre>	<pre> START $MaxIter = 1000$; $Iter = 0$; $MaxEconst = 20$; $Econst = 0$ $RandRows = 10$; $EMin = +\infty$ Generate initial discrete states for both neural sub-networks WHILE ($Iter < MaxIter$) DO $StableX = True$; $StableY = True$ FOR $i = 1$ TO L DO WHILE (there exists a row in the lesson-period sub-network to be updated) DO Randomly choose a non-updated row k Update neuron states of row k, V_{kp}^x, using (15) IF (active neuron in row k is changed) THEN $StableX = False$ WHILE (there exists a row in the lesson-room sub-network to be updated) DO Randomly choose a non-updated row k Update neuron states of row k, V_{kr}^y, using (16) IF (active neuron in row k is changed) THEN $StableY = False$ Calculate energy $E(\bar{V}^x, \bar{V}^y)$ IF $E(\bar{V}^x, \bar{V}^y) < EMin$ THEN DO Save best solution; $EMin = E(\bar{V}^x, \bar{V}^y)$; $Econst = 0$ ELSE $Econst = Econst + 1$ IF ($StableX$ AND $StableY$) OR ($Econst > MaxEconst$) THEN DO Reset neurons with non-zero energy costs Randomly choose $RandRows$ rows and active one neuron per row $Econst = 0$ $Iter = Iter + 1$ END </pre>
---	--

Figura 9 - Algoritmos CPMF e DWTAN

Fonte: Carrasco e Pato (2004)

O algoritmo CPMF é uma adaptação da meta-heurística *simulated annealing*. Já o algoritmo DWTAN, depois de construir a solução inicial, entra no *loop* principal e tem as variáveis *StableX* e *StableY* atualizadas. Na sequência, o valor da função de energia é calculado e uma nova solução é salva, caso ela seja melhor do que a atual. Do contrário, a variável contador *Econst* é incrementada em uma unidade. Então, se ambas as redes neurais são estáveis ou o número máximo de iterações sem melhoria da função de energia é excedido,

duas ações ocorrem. Em primeiro lugar, os neurônios com um custo associado à função de energia são desligados e, em segundo lugar, *RandRows* linhas são selecionadas randomicamente, modificando o respectivo estado de neurônios de modo a permitir que algoritmo procure uma nova configuração de rede. A solução final é aquela com o menor valor de energia da função, que corresponde à melhor grade horária possível. De acordo com os autores, o algoritmo DWTAN apresentou melhores resultados do que o CPMF.

Santos, Ochi e Souza (2004) propuseram, considerando a forma de trabalho das escolas brasileiras, um modelo heurístico baseado na meta-heurística *tabu search*, ilustrada na Figura 10:

```

procedure TSDS( $Q, divActivation, iterationsDiv, minTT, maxTT$ )
1:  $Q^* = Q; TabuList = \emptyset;$ 
2:  $noImprovementIterations = 0; iteration = 0;$ 
3: initializeMovementFrequencies();
4: repeat
5:    $\Delta = \infty; iteration++;$ 
6:   for all movement  $m$  such that  $(Q \oplus m) \in \mathcal{N}(Q)$  do
7:      $penalty = 0;$ 
8:     if  $noImprovementIterations \bmod divActivation < iterationsDiv$ 
      and  $iteration \geq divActivation$  then
9:        $penalty = computePenalty(m);$ 
10:    end if
11:    if  $(f(Q) - f(Q \oplus m) + penalty < \Delta$  and  $(m \notin TabuList)$ ) or
         $(f(Q \oplus m) < f(Q^*))$  then
12:       $bestMov = m;$ 
13:       $\Delta = f(Q) - f(Q \oplus m);$ 
14:    end if
15:   end for
16:    $Q = Q \oplus bestMov;$ 
17:   tabuTenure(bestMov) = random(minTT, maxTT);
18:   updateTabuList(bestMov, iteration);
19:   computeMovementFrequency(bestMov);
20:   if  $(f(Q) < f(Q^*))$  then
21:      $Q^* = Q; noImprovementIterations = 0;$ 
22:     initializeMovementFrequencies();
23:   else
24:      $noImprovementIterations++;$ 
25:   end if
26: until termination criterion reached;
end TSDS;

```

Figura 10 - Algoritmo TSDS (*tabu search*)

Fonte: Santos, Ochi e Souza (2004)

A função de avaliação proposta pelos autores visa minimizar o custo associado à violação de cada restrição *soft*. Sob o ponto de vista dos parâmetros, os autores pressupõem que cada disciplina já tem um professor vinculado e que cada turma possui o seu local de aula. Desta forma, o modelo é simplificado, havendo, tão somente, a preocupação de alocar professores em dias da semana e períodos de aula para cada uma das turmas. Além das restrições do tipo *hard* clássicas, os autores adicionaram a exigência de não permitir que uma turma tenha mais de dois períodos consecutivos com um mesmo professor. As restrições do tipo *soft*, que são penalizadas na função de avaliação em caso de violação, são as seguintes: (a) cada professor deve ministrar aulas no menor número possível de dias da semana; (b)

pedidos de aulas duplas devem ser satisfeitos sempre que possível; e (c) as janelas devem ser evitadas. O algoritmo proposto para a meta-heurística *tabu search* (ver Figura 10) utiliza o mesmo conceito de movimento proposto por Schaerf (1999b), que envolve *swap* intraturma (ver Seção 1.1). O critério de aspiração utilizado é definido pelo movimento que perde seu *status tabu* se o algoritmo produz uma melhor solução até o momento (linha [18] da Figura 10). Os autores concluem o estudo afirmando que o algoritmo proposto supera o de *tabu search* híbrido, não apenas em qualidade da solução, como também em desempenho computacional.

Baseado na realidade de escolas brasileiras também, Moura *et al.* (2004) trabalharam num modelo de STP aos moldes de Santos, Ochi e Souza (2004). Adicionalmente, os autores agregaram duas restrições do tipo *soft* ao modelo: (a) a necessidade de distribuir aulas de forma equilibrada durante a semana; e (b) o atendimento às aulas coordenadas, que são aulas que devem ser ministradas nos mesmos horários para turmas distintas. O trabalho está embasado no uso de meta-heurísticas evolutivas (*genetic algorithm*) e de busca local (*tabu search* e GRASP), com a aplicação de técnicas alternativas específicas para obter melhores resultados sobre a instância do problema tratado (*path relinking*). Na Figura 11, a evolução temporal da função de avaliação dos algoritmos utilizados é apresentada. No gráfico (a) da Figura 11, que apresenta a evolução temporal do *genetic algorithm* (GA), percebe-se uma mudança de comportamento de convergência em torno da geração 1.500, com a melhora da qualidade das soluções. O *tabu search* (TS) tem um comportamento oscilatório pelo fato de operar de maneira cíclica, alterando entre as fases de intensificação e diversificação, conforme o gráfico (b) da Figura 11. No gráfico (c) da Figura 11, observa-se o comportamento cíclico típico da meta-heurística GRASP, onde cada iteração é independente, sendo que a melhor solução pode ser obtida em qualquer iteração. O gráfico (d) da Figura 11 apresenta uma evolução típica de um *path relinking* unidirecional entre duas soluções (inicial e final, representadas nos pontos extremos do gráfico). De acordo com esse gráfico, pode-se ver claramente que as soluções mais próximas dos pontos extremos possuem um menor valor de penalidade, mostrando inclusive que foi encontrada uma nova solução de elite, isto é, com melhor qualidade do que as soluções na extremidade (marcada no ponto intermediário do gráfico). Os autores concluem que o GA apresentou grande dificuldade de convergência para o modelo, principalmente em relação às aulas coordenadas, o que é caracterizado pelo tempo elevado de convergência e pela ausência de soluções de excelência. Relaxada essa restrição, o nível de soluções do GA se aproxima dos demais algoritmos. No caso da meta-heurística

GRASP, obteve-se sucesso na solução de todo o conjunto de restrições, sendo que a única diferença entre as soluções obtidas deve-se ao número de restrições *soft* minimizadas.

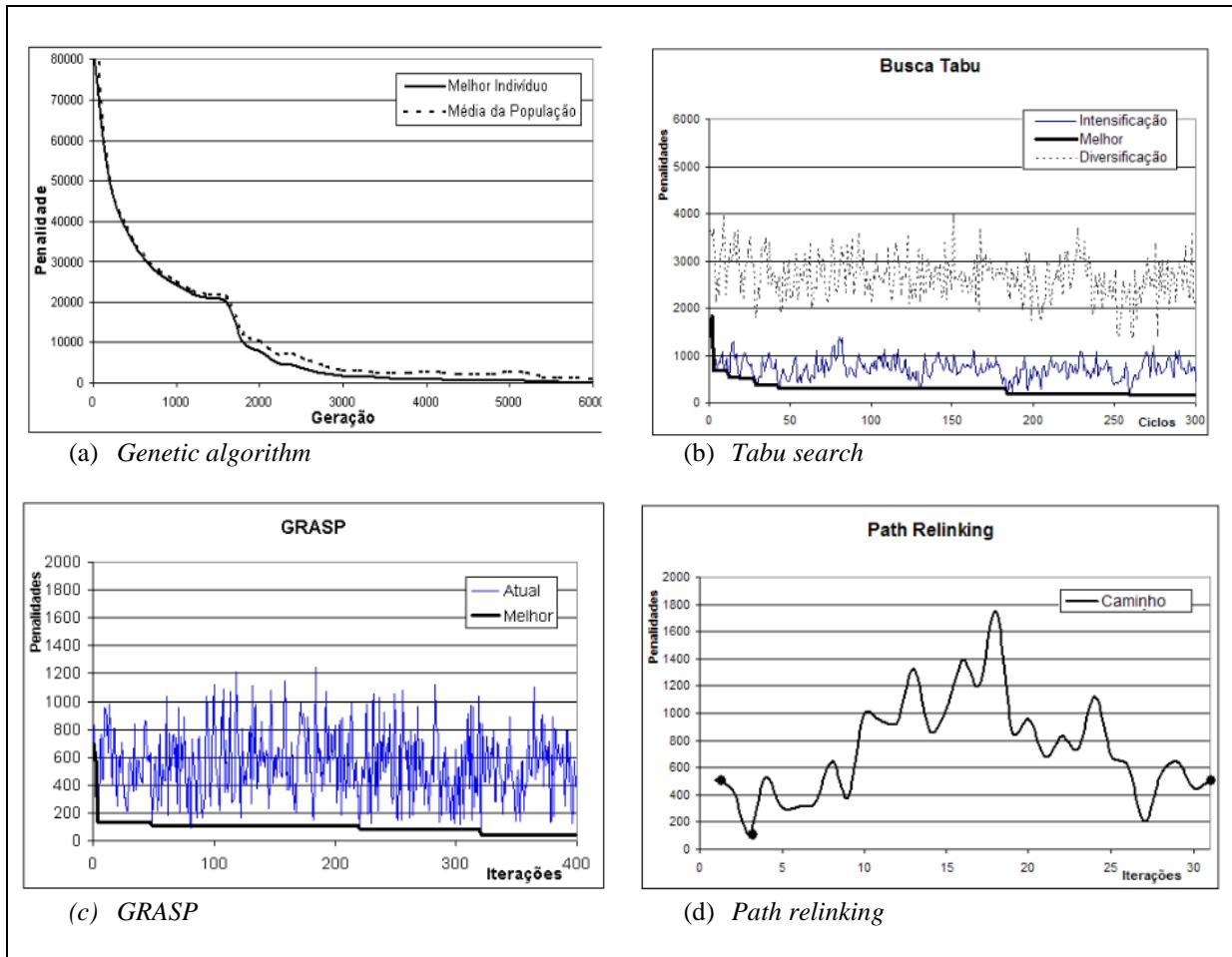


Figura 11 - Evolução temporal dos algoritmos

Fonte: Moura et al. (2004)

A incorporação do *path relinking* à meta-heurística GRASP trouxe uma melhora significativa tanto para a qualidade das soluções como para o tempo de processamento. A meta-heurística também apresentou resultados satisfatórios. Ao contrário do GRASP, a incorporação do *path relinking* ao *tabu search* não trouxe ganhos que justificassem o seu uso.

Avella et al. (2007) desenvolveram um modelo, considerando a realidade das escolas italianas, pressupondo que as disciplinas já possuem professores atribuídos, da mesma forma que as turmas possuem seus locais de aula. Desta forma, o modelo fica restrito à alocação de professores na grade horária de turmas. Além das tradicionais restrições do tipo *hard*, os autores incluíram a obrigatoriedade de o modelo garantir que professores que trabalham em turno integral tenham ao menos um dia letivo livre. A função de avaliação do modelo visa minimizar violações às restrições do tipo *soft*, que são as seguintes: (a) professores podem indicar dias da semana e períodos de aula em que não gostariam de lecionar; (b) ausência de

janelas; (c) atendimento a N-uplas; (d) carga de trabalho equilibrada entre os dias que cada professor leciona; e (e) cada professor deve lecionar no máximo um período de aula, semanalmente, dentre os últimos períodos de cada dia. Os autores usaram a meta-heurística *simulated annealing* (SA), porém, apesar de a técnica ser considerada de melhoramento, tentou-se melhorar ainda mais a solução através do algoritmo de busca local *Very Large Scale Neighborhood* (VLSN) baseado em regras. Segundo os autores, o uso da técnica VLSN melhora o resultado obtido pela meta-heurística SA entre 20 e 30%, justificando plenamente o seu emprego.

Marte (2007) propôs um modelo para o STP baseado no sistema educacional alemão. Para tanto, trabalhou com dados de seis escolas de nível médio e relacionou as seguintes restrições: (a) professores com menos de 17 períodos de aulas na semana necessitam de um dia de folga; (b) alguns professores não estão disponíveis antes das 9h e alguns não estão disponíveis na sexta-feira à tarde; (c) cada professor não pode lecionar mais de seis períodos de aula por dia; (d) os alunos das séries iniciais não têm qualquer tipo de janela de horários; (e) os alunos das séries finais devem ter entre quatro e oito aulas diárias; (f) uma disciplina não pode ter mais do que duas aulas diárias; e (g) nas turmas das séries finais, as requisições de aulas em duplas são obrigatórias. Para processar o modelo, o autor fez uso da mesma técnica empregada por Valoux e Housos (2003): *constraint logic programming* (CLP).

Para exemplificar uma propagação de restrição, suponha-se que se atribuiu o valor “1” para uma aula de “matemática” ministrada pelo professor “João” na turma “5B” no “1º período de aula” de uma “quarta-feira”. Isso autoriza o algoritmo a propagar o valor “0” para todas as variáveis de decisão que usem qualquer um desses recursos (disciplina, professor e turma) no período de aula e dia da semana recém selecionados. Adicionalmente, o autor usa um mecanismo que permite memorizar as aulas que não conseguiu alocar para que, após uma reinicialização do algoritmo, mude a estratégia de busca a fim de atender todas as demandas de aulas.

O autor centrou-se inicialmente em estudar o desempenho do *solver* proposto, usando dados de diferentes escolas. Num segundo momento, realizou testes que demonstram a importância de aprendizagem do algoritmo, através do uso da memória e da reinicialização. Ambas as abordagens de estudo apresentaram resultados satisfatórios.

Jacobsen, Bortfeldt e Gehring (2007) deram continuidade ao trabalho de Marte (2007), assumindo o seu modelo. Porém, a ideia central do trabalho consiste em comparar o desempenho da técnica CLP, empregada por Marte (2007), com a meta-heurística *tabu*

search. Os autores conseguiram soluções no mesmo nível de qualidade com baixíssimo tempo de execução.

No trabalho de Santos e Souza (2007) não há qualquer pretensão de rodar algum modelo em específico, nem comparar técnicas diferentes. O objetivo é formular os diferentes tipos de TT da área educacional, baseados na realidade das escolas brasileiras, e apresentar uma relação de técnicas de solução. Os autores apresentam os algoritmos das seguintes técnicas: (a) heurísticas construtivas; (b) *tabu search*; (c) *simulated annealing*; (d) *genetic algorithm*; e (e) programação linear inteira mista.

Belingiannis *et al.* (2008) formularam um modelo de STP considerando a realidade grega, baseado nos mesmos parâmetros, função de avaliação e restrições do trabalho de Birbas, Daskalaki e Housos (1997). O modelo proposto foi resolvido através de *genetic algorithm* (GA). Para aplicar o GA, o modelo necessita de uma grade horária viável, que é montada através de um algoritmo construtivo, conforme apresentado na Figura 12.

```

For each chromosome do
    For each class do
        For each time period do
            1. Choose a teacher at random.
            2. If the selected teacher has not been assigned all the teaching hours he has to teach, then assign to this
                teacher the selected class for the selected time period. Otherwise go to step 1.
            3. Decrease the “not assigned teaching hours” of this teacher—class pair by one.
            4. If the teacher–class pair defines a co-teaching case or a subclasses case, do the corresponding assignments
                as defined by input data.
        end
    end
end.

```

Figura 12 - Procedimento de inicialização do *genetic algorithm* (GA)
Fonte: Beligiannis *et al.* (2008)

O GA dos autores foi projetado para rodar sob dois operadores genéticos. O primeiro é o operador de seleção, que tem seu pseudocódigo apresentado na Figura 13.

1. Sort the chromosomes of the current population according to their cost values in descending order.
2. Assign to each chromosome the value estimated according to the following formula: $p_i = (1/N)(n^- + (n^+ - n^-)(i - 1)/(N - 1))$, where N is the population size, i is the i th worse chromosome according to the evaluation function, n^+ equals $2 - n^-$ and n^- equals 0.2.
3. Repeat step 4 for as many times as the population size.
4. Create a random number between zero (included) and one (excluded). Find (starting from the chromosome with the smaller cost) the first chromosome such that its cost value is bigger than the value estimated from the multiplication of the cost value of the worse chromosome times this random number.

Figura 13 - Operador de seleção do GA
Fonte: Beligiannis *et al.* (2008)

Este operador, a partir de uma seleção de cromossomos em ordem decrescente de custo, cria uma população intermediária para reprodução. Dentre os dois tipos clássicos de

operador de seleção, os autores, após exaustivos testes, preferiram usar o operador de seleção linear em detrimento do operador mais clássico, que é o de seleção de roleta.

O segundo é o operador de mutação (ver Figura 14) e é responsável por promover operações de *swap* (ver Seção 1.1) para atingir soluções de melhor qualidade. A fim de preservar os melhores cromossomos em cada geração, um esquema simples de elitismo é aplicado. O melhor cromossomo de cada geração é copiado para a próxima, assegurando que ele seja preservado na população atual. Segundo os autores, o GA proposto apresentou melhores resultados quando não houve uso de um operador de *crossover* (o trabalho não apresenta esse operador), pois o seu emprego leva a uma convergência lenta e, por vezes, sequer converge. O estudo, por meio do GA proposto, atingiu resultado com qualidade e eficiência.

1. For each chromosome of the current population run the following steps.
2. For each class of each chromosome run the steps below.
3. Create a random number between 0 and 1.
4. If this random number is less than the “period mutation” probability, then choose at random two different time periods and swap the corresponding teachers.
5. Create another random number between 0 and 1.
6. If this random number is less than the “bad mutation” probability, then choose two different time periods so that the corresponding teachers are the ones with the worst teacher timetable and swap these teachers.

Figura 14 - Operador de mutação do GA

Fonte: Beligiannis *et al.* (2008)

Birbas, Daskalaki e Housos (2008), que também se basearam no sistema educacional grego, propuseram dois modelos para o STP. O primeiro deles apresenta uma diferença em relação ao modelo dos autores Beligiannis *et al.* (2008). O parâmetro “disciplina” foi suprimido, a partir da ideia que cada disciplina já tem o seu professor definido. A função de avaliação, ilustrada na Figura 15, visa, unicamente, minimizar o custo que é atribuído a cada professor i alocado no dia da semana l e no período de aula b .

$$\text{Minimise} \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{b \in \mathcal{B}} c_{i,l,b} x_{i,l,b}.$$

Figura 15 - Função de avaliação do primeiro modelo de Birbas, Daskaki e Housos

Fonte: Birbas, Daskaki e Housos (2008)

Os autores propuseram um *ranking* de preferência para atribuir valores aos coeficientes de custos c : (a) $c=50$ para a primeira preferência de um professor; (b) $c=120$ para a segunda; e (c) $c=200$ para a terceira.

No segundo modelo, o parâmetro “disciplina” foi agregado e um componente de penalidades foi adicionado à função de avaliação para atender restrições do tipo *soft*, conforme ilustrado na Figura 16.

$$\begin{aligned} \text{Minimise} \quad & \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{k \in \mathcal{K}_l} \sum_{m \in \mathcal{M}_{kl}} c_{i,j,k,l,m} x_{i,j,k,l,m} \\ & + \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{(m,k,h_m) \in \mathcal{M}_{\text{cons}}} \sum_{t_m \in \mathcal{P}_{i,m}} a_{i,t_m,k,h_m,m} y_{i,t_m,k,h_m,m} \end{aligned}$$

Figura 16 - Função de avaliação do segundo modelo de Birbas, Daskaki e Housos

Fonte: Birbas, Daskaki e Housos (2008)

Os autores processaram os modelos no ILOG© CPLEX 10.1 e obtiveram sucesso nas instâncias utilizadas. A Figura 17 apresenta o tempo de execução do modelo em função do tamanho da escola, que é medido pelo número de turmas.

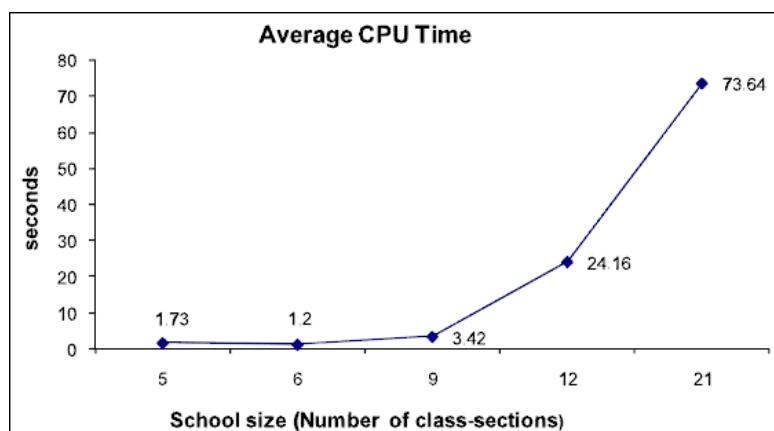


Figura 17 - Tempo de execução em função do tamanho da escola (em número de turmas)

Fonte: Birbas, Daskaki e Housos (2008)

Embora os autores afirmem que foram bem sucedidos ao processarem as instâncias que tinham disponíveis, nota-se que a curva (Figura 17) apresenta um comportamento exponencial crescente. Logo, o tempo de processamento para instâncias com elevado número de turmas tende a ser bastante elevado, podendo não ser viável sob o ponto de vista operacional.

Belingiannis, Moschopoulos e Likothanassis (2009) seguiram a mesma linha do seu trabalho anterior, em que haviam desenvolvido um modelo baseado no sistema educacional grego, empregando *genetic algorithm*. Porém, neste trabalho, os autores alteraram o operador de seleção (antes haviam usado o operador de seleção linear e neste usaram o de roleta) e agregaram um operador de *crossover* (ver Figura 18). Os autores afirmam que o seu modelo gera soluções de boa qualidade de forma rápida.

1. Repeat steps 2 to 3 until the desired number of individuals is obtained.
2. Select randomly two individuals out of the mating pool, namely *individual_1* and *individual_2*.
3. Generate two new individuals (offsprings), namely *new_individual_1* and *new_individual_2*, as follows:
 - (a) For each class run the steps below:
 - (i) Generate a random number between 0 and 1.
 - (ii) If this random number is less than 0.5 then offspring *new_individual_1* inherits the respective class from parent *individual_1* while offspring *new_individual_2* inherits the respective class from parent *individual_2*.
 - (iii) If this random number is greater than 0.5 then offspring *new_individual_1* inherits the respective class from parent *individual_2* while offspring *new_individual_2* inherits the respective class from parent *individual_1*.

Figura 18 - Operador de crossover do genetic algorithm

Fonte: Beligiannis, Moschopoulos e Likothanassis (2009)

Zhang *et al.* (2010) desenvolveram um modelo que trabalha os parâmetros “turma”, “disciplina”, “professor”, “dias da semana” e “período de aula”. O “local de aula” é ignorado, pois pressupõem que é um recurso casado com a “turma”. Adicionalmente às restrições do tipo *hard* comuns a todos os STP, este modelo exige que uma turma não possa ter um período de aula livre, exceto para o último período de aula do dia. No que tange às restrições do tipo *soft*, o modelo deseja que: (a) a carga horária do professor seja balanceada ao longo dos dias da semana; (b) uma disciplina não tenha mais de uma aula no mesmo dia; e (c) o professor não tenha janelas. Para processar o modelo, os autores desenvolveram um algoritmo baseado na meta-heurística *simulated annealing* (SA) com uma nova estrutura de vizinhança estendida (ver Figura 19). O *swap* (ver Seção 1.1) executado dentro do *loop* do SA utiliza o mesmo conceito utilizado por Schaeef (1999b), que é do tipo intraturma. Os autores promoveram comparações de desempenho entre o seu modelo baseado na meta-heurística SA com o GA de Beligiannis *et al.* (2008), com a abordagem de *column generation* (CG) proposta por Papoutsis, Valouxis e Housos (2003 *apud* Zhang *et al.*, 2010) e com o CLP do trabalho de Valouxis e Housos (2003). Nas três comparações, o algoritmo proposto demonstra ser mais eficiente, seguido pelo GA, CLP e CG, nesta ordem.

```

Phase one: Identifying a feasible timetable  $\tau$ 
Initialization Step
  Randomly generate a timetable  $\tau$  that satisfies (H2), (H3') and (H4)
  Compute  $z^h(\tau)$  the number of hard constraints violated by  $\tau$ 
  Set  $k = 1$  and  $T_k = T_0^1$ , where  $k$  and  $T_k$  are the number and temperature of the current plateau, and  $T_0^1$  is a preset initial temperature for phase one
Iterative Step
  While( $z^h(\tau) > 0$  and  $T_k > T^1$ )      //  $T^1$ : threshold temperature for phase one
    Do for  $\ell = 1-L_1$       //  $L_1$ : length of the plateau for phase one
      • Generate a random permutation  $\Pi_C$  of  $C$ 
      • Choose a period  $p_1 \in P$  such that the assignments during  $p_1$ , for any day  $d \in D$ , violate one or more of the hard constraints
      • Choose, randomly, a period  $p_2 \in P \setminus \{p_1\}$ 
        Do for  $i = 1-n_c$ 
          - Swap the assignment for  $p_1$  and  $p_2$  for the  $i$ th class in  $\Pi_C$ , and let  $\tau_N$  be the resulting neighbor
          - Evaluate  $z^h(\tau_N)$ , and compute  $\Delta' = z^h(\tau_N) - z^h(\tau)$ 
          - If  $\Delta' \leq 0$ , set  $z^h(\tau) = z^h(\tau_N)$ 
          - Else, generate a random number  $r$  from the continuous Uniform[0,1]; If  $r < \exp^{-\frac{\Delta'}{T_k}}$ , set  $z^h(\tau) = z^h(\tau_N)$ 
        End Do
      End Do
      Set  $T_{k+1} = \alpha_1 T_k$ , and  $k = k + 1$ .      //  $\alpha_1$ : cooling rate for phase one
  End While
Phase Two: Identifying a (near) optimal timetable
Initialization Step
  Compute  $z(\tau)$  the value of the objective function at  $\tau$ 
  Set  $k = 1$  and  $T_k = T_0^2$ , where  $T_0^2$  is a preset initial temperature for phase two
Iterative Step
  While( $T_k > T^2$ )      //  $T^2$ : threshold temperature for phase two
    Do for  $\ell = 1-L_2$       //  $L_2$ : length of the plateau for phase two
      Generate a random permutation  $\Pi_P$  of  $P$ 
      Set  $p_1$  as the first item in  $\Pi_P$ , and remove it from  $\Pi_P$ 
      While ( $|\Pi_P| \geq 1$ )
        Do for  $j = 1-|\Pi_P|$ 
          • Set  $p_2$  to the  $j$ th item of  $\Pi_P$ 
          • Generate a random permutation  $\Pi_C$  of  $C$ 
            Do for  $i = 1-n_c$ 
              - Swap the assignment for  $p_1$  and  $p_2$  for the  $i$ th class in  $\Pi_C$ , and let  $\tau_N$  be the resulting neighbor
              - If  $z(\tau_N) > 0$ , goto End Do
              - Evaluate  $z(\tau_N)$ , and compute  $\Delta = z(\tau_N) - z(\tau)$ 
              - If  $\Delta \leq 0$ , set  $z(\tau) = z(\tau_N)$ 
              - Else, generate a random number  $r$  from the continuous Uniform[0,1]; if  $r < \exp^{-\frac{\Delta}{T_k}}$ , set  $z(\tau) = z(\tau_N)$ 
            End Do
          End Do
        End While
      End Do
      Set  $T_{k+1} = \alpha_2 T_k$ , and  $k = k + 1$ .      //  $\alpha_2$ : cooling rate for phase two
  End While

```

Figura 19 - Algoritmo de simulated annealing de Zhang, Liu, M'Hallah e Leung
Fonte: Zhang *et al.* (2010)

Os trabalhos analisados nesta seção demonstram que o *school timetabling problem* tem muitas abordagens, tanto sob o ponto de vista de formulação, quanto de técnica, o que faz com que ele seja uma fonte permanente de pesquisas por parte da comunidade científica. O Quadro 4, que apresenta um resumo dos referidos trabalhos, mostra que, nos últimos anos, a solução do STP tem passado pelo uso de alguma meta-heurística, o que motiva este trabalho a seguir numa linha semelhante.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo é dividido em três seções: a Seção 3.1 especifica todas as fases do método empregado pelo estudo; na Seção 3.2, de forma sucinta, aborda-se sobre possíveis técnicas de resolução do STP; e, finalmente, a Seção 3.3 apresenta de forma mais profunda a técnica utilizada neste trabalho, a meta-heurística *simulated annealing*.

3.1. Método

Este trabalho foi desenvolvido com base nos métodos de modelagem de problemas da pesquisa operacional (PO).

Segundo Arenales *et al.* (2007), recentemente a PO tem sido chamada de ciência e tecnologia da decisão. O componente científico está relacionado a ideias e processos para articular e modelar problemas de decisão, determinando os objetivos do tomador de decisão e as restrições sob as quais deve operar. Os autores continuam, relacionando a PO a métodos matemáticos para otimizar sistemas numéricos que resultam quando se usam dados nos modelos. O componente tecnológico está relacionado a ferramentas de *software* e *hardware* para coletar e comunicar dados, e organizar esses dados, usando-os para gerar e otimizar modelos e reportar resultados, ou seja, a PO está se tornando um importante elemento nas metodologias de tecnologia da informação.

Fazer ciência é a capacidade de observar e descrever fenômenos naturais, sociais, econômicos, entre outros, e, portanto, a matemática tem uma importância fundamental na descrição desses fenômenos. A partir da observação de fenômenos, processos ou sistemas – sejam físicos, químicos, biológicos ou econômicos – buscam-se leis que os regem. Essas leis, quando passíveis de ser descritas por relações matemáticas, originam os modelos matemáticos. Os autores definem o termo *modelo* como um objeto abstrato, que procura imitar as principais características de um objeto real para fins de representar o objeto real. Modelo matemático é uma representação simplificada (abstração) do problema real, e deve ser suficientemente detalhado para captar os elementos essenciais do problema, mas suficientemente tratável por métodos de resolução. Um processo simplificado da abordagem de solução de um problema usando a modelagem matemática é ilustrado na Figura 20 (ARENALES *et al.*, 2007).

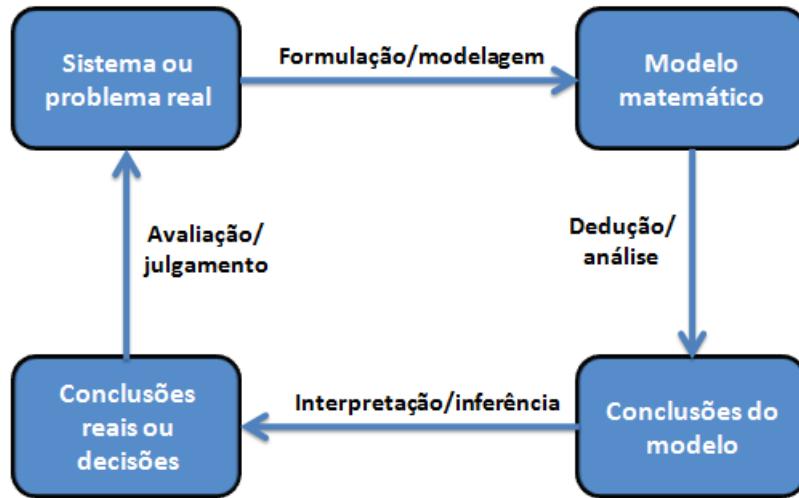


Figura 20 - Processo de modelagem

Fonte: Arenales *et al.* (2007)

Segundo os autores, a abordagem de resolução de um problema por meio de PO envolve várias fases baseadas no diagrama da Figura 20: (i) definição do problema; (ii) construção do modelo; (iii) solução do modelo; (iv) validação do modelo; e (v) implementação da solução, conforme ilustrado na Figura 21.

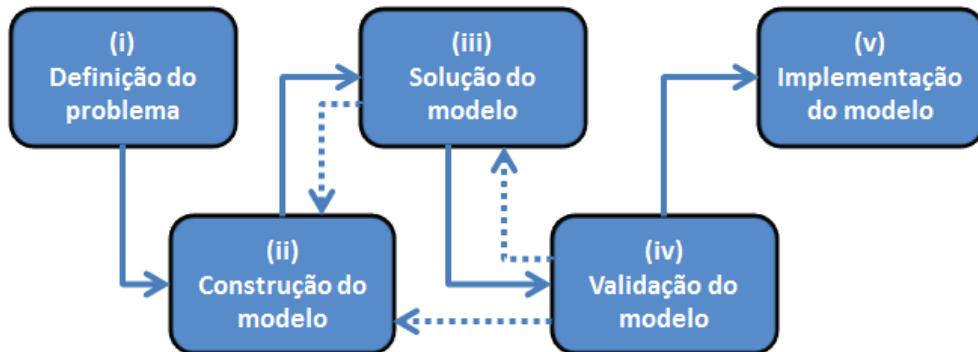


Figura 21 - Fases para resolução de um problema de PO
Fonte: elaborada pelo autor, baseado em Arenales *et al.* (2007)

Para atingir os objetivos propostos por este trabalho, baseado nas fases apresentadas por Arenales *et al.* (2007), descrevem-se os procedimentos metodológicos apresentados a partir da Seção 3.1.1.

3.1.1. Fase (i) – Definição do problema

Nesta fase define-se o escopo do problema em estudo (ARENALES *et al.*, 2007). O problema que este trabalho pretende resolver é o de geração de grades horárias, isto é, alocar os recursos professor, locais de aula, turma e disciplina em dias da semana e períodos de aula,

atendendo restrições dos tipos *hard* e *soft* (devidamente apresentadas nas seções 4.1.2 e 4.1.3). A Seção 4.1 apresenta detalhadamente o escopo do problema objeto deste trabalho.

3.1.2. Fase (ii) – Construção do modelo

Arenales *et al.* (2007) propõem a fase de construção do modelo como sendo a tradução da definição do problema em relações matemáticas ou lógicas de simulação, ou uma combinação delas. O desenvolvimento desta fase neste trabalho está exposto nas seções **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 4.3, que tratam, respectivamente, do modelo matemático e heurístico.

3.1.3. Fase (iii) – Solução do modelo

Após a construção do modelo, Arenales *et al.* (2007) considera a utilização de métodos de solução e algoritmos conhecidos para resolvê-lo, baseado em dados que simule a realidade. Esta fase está contemplada no Capítulo 5, que trata da implementação computacional do modelo, a partir de uma série de instâncias de dados, que representam instituições de ensino de vários portes.

Para implementar o modelo, este trabalho demandará as seguintes subfases:

- (a) Projeto e desenvolvimento de um banco de dados, que suporte todos os conjuntos de dados, parâmetros e as devidas relações;
- (b) Desenvolvimento de um mecanismo que permita a inserção de dados no banco de dados;
- (c) Desenvolvimento de algoritmos, baseados em alguma linguagem de programação, que traduzam os pseudocódigos propostos na fase (ii);
- (d) Desenvolvimento de uma interface de *software* que permita a visualização das grades horárias geradas pelos algoritmos desenvolvidos na subfase (c).

Eventualmente, os resultados obtidos nesta fase podem demandar a necessidade de se retornar à fase anterior para que ajustes sejam promovidos no modelo.

3.1.4. Fase (iv) – Validação do modelo

Na quarta fase, verifica-se se o modelo proposto representa apropriadamente o problema, ou seja, se o modelo prediz adequadamente o comportamento do sistema (ARENALES *et al.*, 2007).

Nesta fase do trabalho, desenvolvida no Capítulo 6, o modelo é validado, mediante a execução com dados reais de uma instituição de ensino, permitindo a comparação entre o seu resultado e a grade horária utilizada na prática, elaborada por outros métodos, seja em qualidade (valor da função de avaliação) ou em tempo de execução.

A exemplo da fase anterior, a fase de validação pode, diante de resultados insatisfatórios, obrigar que se retorne às duas fases anteriores para que ajustes sejam promovidos, seja no modelo – fase (iii) – ou na implementação computacional – fase (iv).

3.1.5. Fase (v) – Implementação do modelo

Esta última fase, segundo Arenales *et al.* (2007), preocupa-se com a implementação da solução na prática, traduzindo os resultados do modelo em decisões. Os resultados obtidos deste estudo serão compilados num relatório final, e terão a pretensão de oferecer um modelo para problema de *school timetabling* para IE que tenham características semelhantes às IEs brasileiras.

3.2. Técnicas de resolução do STP

Segundo Golbarg e Luna (2005), enquanto os problemas lineares contínuos possuem nas técnicas de solução exata, como o simplex, um algoritmo muito eficiente, que permite encontrar a otimalidade, os problemas lineares discretos (ou inteiros), salvo alguns casos particulares, normalmente carecem da mesma sorte. O estudo de Garey e Johnson (1979 *apud* GOLBARG; LUNA, 2005) é um marco para o entendimento dos obstáculos que se interpõem entre uma possível solução teórica para um problema de programação inteira e a sua implementação prática através de instrumentos computacionais da atualidade. De acordo com os autores, o cerne da dificuldade da abordagem exata dos problemas denominados *NP-hard* e *NP-Complete* que, por sinal, são onde o STP está enquadrado, está na explosão combinatória dos métodos enumerativos.

Dada essa realidade, nos últimos anos tem se verificado o surgimento de um significativo conjunto de técnicas e algoritmos computacionalmente muito eficientes, mas que não garantem a solução ótima do problema de programação linear inteira. Esses algoritmos

são denominados de heurísticos. O termo heurística é derivado do grego *heuriskein*, que significa descobrir ou achar. Porém, sob o ponto de vista da pesquisa operacional, o significado dessa palavra vai além da sua raiz etimológica. De acordo com Goldbarg e Luna (2005, p.196):

Uma heurística é uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado razoável, sendo capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada ou, ainda, em muitos casos, ambas, especialmente nas ocasiões em que essa busca parta de uma solução viável próxima ao ótimo.

Muitas técnicas de resolução do *school timetabling problem* baseiam-se em soluções manuais. Soluções desse tipo podem ser consideradas como heurísticas construtivas, pois o seu princípio consiste em alocar aula a aula, até que a grade horária esteja completa. Apesar do princípio aparentemente simples, o elevado número de dados e de situações de restrições, associados aos altos custos de dispor de uma grade horária de péssima qualidade (elevado número de janelas, não atendimento a requisitos pedagógicos e exigência de disponibilidade do professor em muitos dias na semana), tem apontado para a necessidade do desenvolvimento de técnicas que automatizem a construção de grades horárias.

Segundo Carter e Laporte (1996), para resolver o problema de *timetabling* existem centenas de pesquisas e milhares de *softwares* (muitos amadores). Há, ainda, uma vasta variedade de abordagens para resolver este complexo problema combinatório, que ajudam a compreender a sua dificuldade. Diversos pesquisadores do mundo inteiro têm empregado as mais variadas técnicas, considerando suas realidades nacionais, conforme visto na Seção 2.4. Pesquisadores também têm se preocupado não apenas em apresentar técnicas, mas também em apontar tendências para este tipo de problema clássico da pesquisa operacional, como é o caso do trabalho de Burke e Petrovic (2002).

O Quadro 4, apresentado na Seção 2.4, relaciona uma série de trabalhos com a devida técnica empregada. É possível verificar que na amostragem promovida por esse quadro, considerando as últimas duas décadas, as meta-heurísticas *tabu search* (TS), *genetic algorithm* (GA) e *simulated annealing* (SA) são as mais utilizadas pela comunidade acadêmica. Essas técnicas são categorizadas como meta-heurísticas porque são métodos heurísticos que se propõem a resolver de forma genérica problemas de otimização, enquanto uma heurística comum é uma técnica focada em resolver algum tipo específico de problema.

Para este trabalho, escolheu-se o uso da meta-heurística *simulated annealing*, que é descrita detalhadamente na próxima seção (Seção 3.3).

3.3. Simulated annealing

De acordo com Colin (2007), a criação do *simulated annealing* (SA) foi motivada pelo tratamento térmico de materiais (especialmente metais) denominado recozinho (*annealing*). Nesse processo, o metal é aquecido de forma contínua até uma certa temperatura, mantido na temperatura desejada e posteriormente resfriado no forno com decaimento controlado da temperatura. O objetivo do recozimento é alterar a estrutura cristalina do metal com o intuito de melhorar suas características mecânicas e estruturais.

Colin (2007) ainda afirma que a ideia original da técnica apareceu na década de 1950, quando pesquisadores utilizavam a simulação de Monte Carlo para reproduzir o esquema de decaimento de temperatura ocorrido no processo de recozimento. Sabendo que diferentes velocidades de resfriamento levam a diferentes propriedades nos materiais, o objeto de estudo é avaliar a melhor velocidade. Se o metal é refrigerado muito rapidamente, os cristais metálicos terão imperfeições na sua formação, ao passo que, se são resfriados vagarosamente, serão formados cristais de tamanho grande. Além das diferenças estruturais, há diferenças significativas em termos de custos de processo, tendo em vista que o processo mais lento é muito mais custoso porque usa uma grande quantidade de energia.

Até a década de 1980, os princípios do *simulated annealing* ficaram restritos ao âmbito da engenharia metalúrgica, quando então se percebeu que a ideia central poderia ser estendida na solução de problemas matemáticos combinatórios e não-lineares multimodais.

O SA é, portanto, mais um procedimento genérico de solução de problemas do que um algoritmo específico. A sua capacidade de atender diversos tipos de problemas faz com que a técnica seja classificada com *meta-heurística*. A ideia do SA é aceitar, de uma forma controlada, movimentos que pioram a solução corrente. Quanto pior for a solução na vizinhança da solução atual, maior a probabilidade de que um movimento para essa região não seja aceito. À medida que as iterações do método evoluem, a probabilidade de o mesmo movimento ser aceito diminui juntamente com um parâmetro chamado “temperatura”.

O algoritmo clássico do SA, apresentado no Quadro 5, pressupõe que haja uma solução inicial estabelecida. Logo, o propósito da técnica é melhorar a solução vigente – razão pela qual o SA é classificado como uma técnica de melhoramento. A ideia central do algoritmo é perturbar a solução corrente dentro de um laço (*loop*) que se mantém enquanto a temperatura corrente seja maior do que uma temperatura mínima ε . Dentro desse grande laço, há outro, que garante que os movimentos de perturbação sejam executados num determinado

número de vezes. A cada iteração, o custo da nova solução é comparado ao da solução corrente.

```

procedimento Simulated_Annealing_Clássico
    variáveis de entrada:
        s, {solução inicial}
        NroIte, {Nº de iterações na temperatura T}
        α, {taxa de resfriamento}
        T0 {temperatura inicial}

1       T := T0
2       s* := s {melhor solução obtida até então}
3       enquanto (T > ε) faça
4           para i := 1 até NroIte faça
5               Gerar uma nova solução (s'), alterando um movimento
6               Δ = f(s') - f(s) {diferença entre funções objetivo}
7               se (Δ < 0) então
8                   s := s'
9                   se (f(s') < f(s*)) então
10                  s* := s
11                  fim-se
12              senão
13                  x := valor randômico entre [0, 1]
14                  se (x < e-Δ/T) então
15                      s := s'
16                      fim-se
17                  fim-se
18              fim-para
19          T := T × α
20      fim-enquanto
21      retorne s*
22  fim-procedimento
```

Quadro 5 - Algoritmo clássico do simulated annealing
 Fonte: elaborado pelo autor, baseado em Colin (2007)

Caso o custo seja menor, a nova solução é assumida como sendo a corrente. O algoritmo ainda compara a nova solução com a melhor obtida até então. Se a nova for menos custosa que a melhor, esta é assumida como sendo a melhor solução até o momento. Porém, caso a primeira comparação demonstre que a nova solução seja mais onerosa que a solução corrente, o algoritmo sorteia um número fracionário de “0” a “1” e compara com o valor obtido da fórmula $e^{-\Delta/T}$, que é baseado na distribuição de Boltzman. A variável Δ é a diferença de custo entre a nova solução e a corrente, enquanto a variável T é a temperatura atual. Se o

valor sorteado for menor que o valor resultante da fórmula que contém a exponencial, o algoritmo assume a nova solução, mesmo representando uma piora no custo. Do contrário, a solução corrente permanece a mesma e um novo laço é executado. Esse movimento é repetido $NroIte$ vezes, dentro do laço interno. Terminado esse laço, o laço externo é finalizado também, porém, antes, a temperatura corrente T é diminuída a uma taxa de resfriamento α . A taxa de resfriamento naturalmente deve ser um valor menor do que “1” (do contrário, o laço jamais se finalizaria), porém, se for muito baixo, haverá um resfriamento muito rápido, o que não é interessante para o objetivo do algoritmo. Outro detalhe importante a considerar é que à medida que a temperatura T é reduzida, a probabilidade de que o algoritmo admita custos maiores é reduzida. Desta forma, ao passar do tempo, a redução da temperatura traz maior estabilidade ao processo em si.

A estratégia de uso do SA passa, necessariamente, pela correta definição de valores para cada parâmetro. Jonhson *et al.* (1998 *apud* COLIN, 2007) sugere algumas diretrizes para a parametrização do SA:

- O comprimento da simulação deve ser longo e o aumento pode ser feito aumentando-se a taxa de resfriamento α e a temperatura inicial T ;
- Não é necessário se gastar muito tempo a altas temperaturas em que quase todos os movimentos são aceitos;
- Aparentemente não há vantagens em se substituir o processo de refrigeração exponencial por outro como logarítmico ou linear;
- Parece ser melhor realizar uma simulação longa (taxa de resfriamento muito próximo de “1” e elevado número de iterações na temperatura T) do que realizar pequenas curtas simulações (menor taxa de resfriamento e menor número de iterações). Essa observação considera que os tempos em ambos os casos são compatíveis;
- É sempre preferível iniciar com uma boa solução que usa algum conhecimento do que iniciar a busca com uma solução gerada aleatoriamente;
- A parametrização do SA depende não só do problema em questão, mas também do tipo e do tamanho da instância que está sendo considerada.

O Quadro 6 apresenta um resumo de alguns trabalhos baseados em *simulated annealing* e aplicados a problemas de otimização combinatória:

Ano	Autores	Abordando
1982	Kirkpatrick <i>et al.</i>	Trabalho pioneiro
1984	Bonomi e Lutton	Aplicado na solução do PCV
1985	Cerny <i>et al.</i>	Trabalho pioneiro
1986	Lundy e Mess	Estudo de convergência
1986	Bohachevsky <i>et al.</i>	Aplicado à otimização de funções
1986	Mirtra <i>et al.</i>	Estudo de convergência
1987	Wilhelm <i>et al.</i>	Aplicado ao quadrático de alocação
1988	Goldstein e Waterman	Estudo do tamanho da vizinhança
1989	Ingber	Técnicas de melhoria de desempenho
1989	Aarts e Krost	Várias aplicações
1989	Johnson <i>et al.</i>	Estudo algorítmico em várias aplicações
1989	Osman e Potts	Aplicação ao <i>flow shop</i> de permutação
1990	Dueck e Scheuer	Utilização de <i>threshold accepting</i>
1990	Eglese	Várias aplicações
1991	Cheh <i>et al.</i>	Vizinhanças eficientes
1991	Yao	Vizinhanças estendidas
1993	Downsland	Aplicação ao roteamento de veículos
1994	Moccelin	Solução do <i>shop sequencing</i>
1996	Böite e Thonemann	Hibridização com programação genética
1996	Andricioaei <i>et al.</i>	Generalização da abordagem
1996	Desai e Patil	<i>Simulated annealing</i> e busca local
1996	Ingber	<i>Simulated annealing</i> adaptativo
1997	Mavridou e Pardalos	<i>Simulated annealing</i> e algoritmos genéticos
1998	Chiang e Russel	Aplicação do roteamento de veículos
1998	Tracey <i>et al.</i>	Teste de software
1999	Brooke <i>et al.</i>	<i>Quantum annealing</i>
2000	Kliewer e Tshöke	Aplicações na indústria aérea
2000	Locatelli	Condições de convergência
2000	Hamam e Hindi	Distribuição de módulos de programação
2000	Hiroyasu <i>et al.</i>	<i>Simulated annealing</i> em arquitetura paralela
2000	Hindi e Mhlanga	Solução de problema de <i>scheduling</i>
2002	Yarkhan e Dongarra	Solução de problema de <i>scheduling</i>
2003	Serrurier <i>et al.</i>	Solução de programação linear inteira
2003	Schwarzfischer	Solução de problema de <i>scheduling</i>
2003	Gaetan e Yao	Multi-implementação
2003	Wrighton e DeHon	Solução assistida
2004	Neumann e Muncill	Estimação de propriedade oceânicas

Quadro 6 - Aplicações de *simulated annealing* à otimização combinatória

Fonte: Goldbarg e Luna (2005)

4. O MODELO PARA O SCHOOL TIMETABLING PROBLEM

Neste capítulo é apresentada a proposição do modelo de STP deste trabalho. Na Seção 4.1, o problema é definido mediante a apresentação dos seus conjuntos de dados e de suas restrições. A Seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.** explana o modelo matemático, apresentando os parâmetros, as variáveis de decisão e os equacionamentos da função de avaliação e suas restrições. Na Seção 4.3, as fases de construção e melhoramento do modelo heurístico são apresentadas com seus devidos pseudocódigos.

4.1. Definição do problema

Para se propor um modelo de STP é fundamental que se relacione os conjuntos envolvidos, bem como as suas restrições (posteriormente, o trabalho abordará os dois tipos de restrições – *hard* e *soft*). Segundo Santos e Souza (2007), as restrições, independentemente do seu tipo, são bastante dependentes da instituição de ensino e do sistema educacional de cada localidade. Os autores dividem as restrições em 3 (três) classes:

- **Organizacionais:** relativas à instituição de ensino, que tratam da gestão de recursos, bem como do atendimento à legislação presente, como:
 - Alocação de locais de aula: a realização de determinadas aulas exige salas com capacidade especificada ou com algum tipo de recurso específico (laboratórios, quadras esportivas, bibliotecas etc.).
 - Carga horária máxima semanal de professores: por questões de ordem legal, professores podem ter sua carga horária semanal limitada.
 - Número de janelas: a quantidade de janelas para cada professor impacta no salário a pagar.
- **Pedagógicas:** demandas importantes para o bom aproveitamento das aulas, como:
 - Atendimento de N-uplas: em alguns casos, atender ao pedido de aulas em N-uplas pode representar um melhor rendimento pedagógico da turma.

- Limitação de aulas diárias: disciplinas de grande carga horária podem demandar um limite diário de aulas com o objetivo de não deixar a aula muito cansativa.
- Preferência de professores: por razões pedagógicas, a IE pode preferir um determinado professor para lecionar determinada disciplina em detrimento de outro.
- **Pessoais:** solicitadas de acordo com a preferência e necessidade dos professores, como:
 - Indisponibilidade em determinados dias: o professor pode estar indisponível para lecionar em determinados dias.
 - Preferência de dias: o professor, mesmo tendo disponibilidade, pode preferir lecionar em determinado dia em detrimento de outro.

Para este trabalho, o modelo de STP tem os seguintes conjuntos de dados e de restrições, apresentados a partir da Seção 4.1.1.

4.1.1. Conjuntos de dados

Os conjuntos de dados são as entidades envolvidas no processo de construção de uma grade horária. O modelo proposto tem seis conjuntos, conforme apresentado a seguir:

- C = conjunto de turmas de alunos (*Class*)
- S = conjunto de disciplinas (*Subject*)
- T = conjunto de professores (*Teacher*)
- R = conjunto de locais de aula (*Room*)
- D = conjunto de dias da semana (*Day*)
- H = conjunto de períodos de aula (*Hour*)

4.1.2. Restrições *hard*

São restrições que devem ser satisfeitas a qualquer custo. No caso de um STP, não é possível a implementação prática de uma grade horária que não satisfaça tais condições. Se o

problema não consegue satisfazer o conjunto de restrições *hard* significa que o problema em questão é inviável (*infeasible*).

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um modelo de STP que ofereça como resultado grades horárias que atendam obrigatoriamente aos seguintes requisitos:

H1a : Atendimento à grade curricular (geral)

Uma turma c deve ter alocado exatamente o número de aulas previsto para a disciplina s , conforme sua grade curricular.

H1b : Atendimento à grade curricular (em locais compartilhados)

Uma turma c deve ter alocado exatamente o número de aulas em locais compartilhados previsto para a disciplina s , conforme sua grade curricular.

H2 : Exclusividade do recurso professor

Um professor t pode ser alocado apenas uma vez num determinado dia da semana d e período de aula h .

H3 : Exclusividade do recurso turma

Uma turma c pode ser alocada apenas uma vez num determinado dia da semana d e período de aula h .

H4 : Exclusividade do recurso local de aula

Um local de aula r pode ser usado apenas uma vez num determinado dia da semana d e período de aula h .

H5 : Número máximo de aulas semanais de um professor

Um professor t não pode ultrapassar uma determinada quantidade máxima de aulas semanais.

H6 : Disciplina ministrada pelo mesmo professor numa turma

Uma determinada disciplina s deve ser ministrada pelo mesmo professor t em determinada turma c .

4.1.3. Restrições *soft*

Segundo Alvarez-Valdes, Crespo e Tamarit (2002), restrições do tipo *soft* são aquelas que, quanto mais forem respeitadas, melhor será a grade horária. São restrições, portanto, que podem ser violadas, mas que devem ser satisfeitas ao máximo.

Assim sendo, restrições *soft* não são do tipo que pode ser expresso num conjunto de restrições do modelo matemático. Elas são expressas dentro da função de avaliação, que comporta uma parcela para cada restrição desse tipo. Quanto menos atender determinada restrição *soft*, maior fica o valor da função de avaliação, significando um prejuízo aos objetivos do modelo. A importância de determinada restrição *soft* para o modelo é feita pela imposição de uma penalidade, que nada mais é do que uma constante que multiplica a parcela correspondente. No caso do modelo proposto neste trabalho, que apresenta uma função de avaliação que visa minimizar o custo de determinada grade horária, quanto maior a penalidade, maior é a importância da respectiva restrição *soft*.

O modelo deste trabalho apresenta as seguintes restrições do tipo *soft*:

S1 : Atendimento da preferência de professor da disciplina

Por razões do âmbito da IE, uma disciplina s deve ser preferencialmente ministrada por determinados professores.

S2 : Atendimento da preferência de disciplina do professor

Por razões pessoais, um professor t pode preferir ministrar determinadas disciplinas. Cabe à IE determinar se o modelo deve considerar ou não esta demanda.

S3 : Menor número possível de dias do professor na IE

O modelo deve alocar os professores de modo que eles ministrem suas disciplinas no menor número possível de dias na semana.

S4 : Menor número possível de janelas

O modelo deve alocar os professores de modo que eles tenham o menor número possível de janelas (ver Seção 1.1).

S5 : Menor número possível de não atendimento às solicitações de N-uplas

O modelo deve atender ao máximo às solicitações de N-uplas (ver Seção 1.1) para cada disciplina s em cada turma c

S6 : Menor número possível de não atendimento aos limites diários de aulas

O modelo deve respeitar ao máximo o limite diário de aulas que uma disciplina s pode ser ministrada numa turma t .

4.2. Modelo matemático

Arenales *et al.* (2007) propõem a fase de construção do modelo como sendo a tradução da definição do problema em relações matemáticas ou lógicas de simulação, ou uma combinação delas.

A partir da definição do problema proposto na Seção 4.1, o Modelo matemático é apresentado a partir da descrição dos seus parâmetros, variáveis de decisão, função de avaliação e restrições. No Anexo A é apresentado o modelo didático da formulação em PLI, aplicada a um exemplo prático.

4.2.1. Parâmetros

Os parâmetros são valores fixos, responsáveis por traduzirem para o modelo a forma de relacionamento entre os conjuntos de dados, além de definirem os valores dos requerimentos e das restrições.

$$CDH_c^{dh} = \begin{cases} 1, & \text{se a turma } c \text{ tem aula no dia } d \text{ e período de aula } h \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{P1})$$

$$CSR_{cs}^r = \begin{cases} 1, & \text{se a turma } c \text{ pode ter a disciplina } s \text{ ministrada no} \\ & \text{local de aula } r \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{P2})$$

$$\begin{aligned}
& \text{número máximo de aulas diárias (*Daily Meeting*)} \\
DM_s &= \text{permitido para a disciplina } s, \\
& \forall s \in S, DM_s = \{1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P3}$$

$$\begin{aligned}
M_s &= \text{número de aulas semanais (*Meeting*) da disciplina } s, \\
& \forall s \in S, M_s = \{1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P4}$$

$$\begin{aligned}
Mmax_t &= \text{número máximo de aulas semanais do professor } t, \\
& \forall t \in T, Mmax_t = \{1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P5}$$

$$\begin{aligned}
& \text{número de aulas semanais da disciplina } s \text{ em locais de} \\
MRS_s &= \text{aula compartilhados (*Meeting Room Shared*)} \\
& \forall s \in S, MRS_s = \{1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P6}$$

$$\begin{aligned}
PST_t^s &= \text{peso da preferência da disciplina } s \text{ pelo professor } t, \\
& \forall t \in T, \forall s \in S, PST_t^s = \{0, 1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P7}$$

$$\begin{aligned}
PTS_s^t &= \text{peso da preferência do professor } t \text{ pela disciplina } s, \\
& \forall s \in S, \forall t \in T, PTS_s^t = \{0, 1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P8}$$

$$RDH_r^{dh} = \begin{cases} 1, & \text{se o local de aula } r \text{ pode ter aula no dia } d \text{ e} \\ & \text{período de aula } h \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \tag{P9}$$

$$\begin{aligned}
& \text{número de requisições de N-uplas} \\
RNT_s &= (\textit{Request for N-Tuples}) \text{ da disciplina } s, \\
& \forall s \in S, RNT_s = \{1, 2, \dots, n\}
\end{aligned} \tag{P10}$$

$$SR_r = \begin{cases} 1, & \text{se o local de aula } r \text{ é um local de aula} \\ & \text{compartilhado (*Shared Room*)} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \tag{P11}$$

$$TC_t^c = \begin{cases} 1, & \text{se o professor } t \text{ pode ministrar aulas na turma } c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \tag{P12}$$

$$TDH_t^{dh} = \begin{cases} 1, & \text{se o professor } t \text{ pode ter aula no dia } d \text{ e período} \\ & \text{de aula } h \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \tag{P13}$$

$$TS_t^s = \begin{cases} 1, & \text{se o professor } t \text{ pode ministrar a disciplina } s \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{P14})$$

penalidade que indica a importância em atender a

$$\alpha = \text{preferência das disciplinas na alocação dos professores,} \quad (\text{P15})$$

$$\alpha = \{0, 1, 2, \dots, n\}$$

penalidade que indica a importância em atender a

$$\beta = \text{preferência do professores na alocação das disciplinas,} \quad (\text{P16})$$

$$\beta = \{0, 1, 2, \dots, n\}$$

penalidade que indica a importância dos professores

$$\delta = \text{estarem alocados no menor número de dias possível,} \quad (\text{P17})$$

$$\delta = \{0, 1, 2, \dots, n\}$$

penalidade que indica a importância dos professores

$$\rho = \text{terem o menor número possível de janelas,} \quad (\text{P18})$$

$$\rho = \{0, 1, 2, \dots, n\}$$

penalidade que indica a importância em atender as

$$\sigma = \text{demandas de N-uplas,} \quad (\text{P19})$$

$$\sigma = \{0, 1, 2, \dots, n\}$$

penalidade que indica a importância em atender os

$$\psi = \text{limites diários de aula de uma disciplina} \quad (\text{P20})$$

$$\psi = \{0, 1, 2, \dots, n\}$$

4.2.2. Variáveis de decisão

As variáveis de decisão são as incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo. No caso do STP, os valores das variáveis de decisão apontam as grades horárias resultantes e o valor da função de avaliação.

$$D_t = \begin{array}{l} \text{número de dias em que o professor } t \text{ ministra aulas na} \\ \text{semana, } \forall t \in T, D_t = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\} \end{array} \quad (\text{V1})$$

$$M_{cstrdh} = \begin{cases} 1, & \text{se a turma } c \text{ tem aula da disciplina } s \text{ ministrada} \\ & \text{pelo professor } t \text{ no local de aula } r \text{ no dia da} \\ & \text{semana } d \text{ no período de aula } h \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{V2})$$

$$\begin{aligned} & \text{número de N-uplas não atendidas da disciplina } s \\ U_c^s &= \begin{array}{l} \text{na turma } c, \\ \forall c \in C, \forall s \in S, U_c^s = \{0, 1, 2, \dots, n\} \end{array} \end{aligned} \quad (\text{V3})$$

$$\begin{aligned} & \text{número de janelas do professor } t \\ W_t &= \begin{array}{l} \text{na turma } c, \\ \forall t \in T, W_t = \{0, 1, 2, \dots, n\} \end{array} \end{aligned} \quad (\text{V4})$$

$$\begin{aligned} & \text{número de aulas excedidas do limite diário da disciplina } s \\ N_c^s &= \begin{array}{l} \text{na turma } c, \\ \forall c \in C, \forall s \in S, N_c^s = \{0, 1, 2, \dots, n\} \end{array} \end{aligned} \quad (\text{V5})$$

4.2.3. Função de avaliação

A função de avaliação é a função matemática que define a qualidade da solução obtida, em função dos valores das variáveis de decisão. A função de avaliação do modelo proposto neste trabalho é do tipo minimizante. Logo, a redução do valor da função de avaliação significa um aumento de qualidade da grade horária.

A expressão da função de avaliação deste modelo é dada por:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar} \\ Z &= M + D + W + U + N \end{aligned} \quad (\text{O1})$$

onde:

$$M = \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} [(\alpha \cdot PST_t^s + \beta \cdot PTS_s^t) \cdot K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh}] \quad (\text{O2})$$

$$K_{cstrdh} = CDH_c^{dh} \cdot CSR_{cs}^r \cdot RDH_r^{dh} \cdot TDH_t^{dh} \cdot TC_t^c \cdot TS_t^s \quad (\text{O3})$$

$$D = \delta \sum_{t \in T} D_t \quad (\text{O4})$$

$$W = \rho \sum_{t \in T} W_t \quad (\text{O5})$$

$$U = \sigma \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} U_c^s \quad (\text{O6})$$

$$N = \varphi \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} N_c^s \quad (\text{O7})$$

A função de avaliação Z proposta (O1) visa minimizar o custo total da grade horária. Cada fator da função de avaliação tem uma penalidade, que traduz a importância de minimizar o custo da restrição *soft* associada.

O fator M (O2) tem 2 (dois) componentes com uma penalidade associada a cada um deles, que visam atender às restrições *soft* $S1$ e $S2$. O primeiro componente representa o somatório das preferências de professores de cada disciplina (P7). Já o segundo componente é o somatório das preferências de disciplinas de cada professor (P8). O fator M (O2) contém K_{cstrdh} (O3), que é o resultado do produto dos parâmetros (P1), (P2), (P9), (P12), (P13) e (P14), que são variáveis binárias (“0” ou “1”). O objetivo de K_{cstrdh} (O3) é eliminar do Modelo matemático todas as variáveis de decisão M_{cstrdh} que não atendam às condições de restrições impostas por esses parâmetros.

O fator D (O4) representa o somatório de todos os dias em que cada professor está alocado na escola, visando atender à restrição *soft* $S3$. À medida que um determinado professor t tem reduzido o número de dias em que ministra aulas, a função de avaliação Z (O1) é melhorada. A penalidade δ (P17) indica a importância do modelo em atender da melhor forma possível a restrição $S3$.

Para atender a restrição *soft* $S4$, a parcela W (O5) da função de avaliação Z (O1) indica a quantidade de janelas na grade horária resultante do modelo. A importância em atender esta restrição é mensurada pelo valor da penalidade ρ (P18).

A restrição *soft* $S5$ é atendida pela parcela U (O6), que indica a quantidade de N-uplas não atendidas pelo resultado do modelo. A penalidade σ (P19) é responsável por dimensionar a importância dessa restrição. O parâmetro RNT_s (P10) informa qual é a requisição de N-uplas para cada disciplina. Quando uma disciplina não demanda N-upla alguma, o parâmetro

RNT_s (P10) deve ser igual a “1”. Caso a demanda seja de aulas duplas (2-uplas), o valor do parâmetro RNT_s deve ser igual a “2” e assim sucessivamente.

As aulas excedidas em relação ao limite diário de uma determinada disciplina s numa turma c (restrição *soft S6*) tem seu custo expresso pela parcela N (O7) e são penalizadas por ψ (P20). O limite diário de cada disciplina é informado pelo parâmetro DM_s (P3).

4.2.4. Restrições

Cada restrição do tipo *hard* é atendida pelo modelo com os seguintes equacionamentos:

Restrição *H1a*

$$\sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh} = M_s \quad \forall c \in C, \forall s \in S \quad (\text{C1a})$$

A equação (C1a) garante o atendimento à grade curricular em cada turma c por cada disciplina s , conforme exige a restrição *H1a*. Exemplificando, se a turma $c=4$ deve ter 3 aulas da disciplina $s=8$, a soma de todos os $K \cdot M_{48trdh}$ deve ser rigorosamente igual a 3 ($M_8 = 3$). O fator K_{cstrdh} (O3), que possui um valor binário, é responsável por excluir do modelo as variáveis M_{cstrdh} (V2) que representam quaisquer tipos de indisponibilidade de recurso.

Restrição *H1b*

$$\sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} K_{cstrdh} \cdot SR_r \cdot M_{cstrdh} = MRS_s \quad \forall c \in C, \forall s \in S \quad (\text{C1b})$$

A equação (C1b) também garante o atendimento à grade curricular em cada turma c por cada disciplina s , porém restrito às aulas em locais compartilhados, conforme exige a restrição *H1b*. Exemplificando, se a turma $c=4$ deve ter uma aula da disciplina $s=8$ em local compartilhado, a soma de todos os $K \cdot SR_r \cdot M_{48trdh}$ deve ser rigorosamente igual a 3 ($MRS_8 = 3$). A introdução do parâmetro binário SR_r (P11) é fundamental para que sejam considerados apenas os locais de aula compartilhados.

Restrição H2

$$\sum_{c \in C} \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh} \leq 1 \quad \forall t \in T, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (C2)$$

A restrição *H2* é suportada pela inequação C2, que garante que o somatório de todas as variáveis de decisão M_{cstrdh} (V2) para um mesmo professor t , num determinado dia da semana d e período de aula h não seja superior a “1”. Qualquer valor superior a “1”, indicaria que o professor t está alocado mais de uma vez para o mesmo dia da semana d e período de aula h , o que fisicamente é impossível e, portanto, indica a violação à restrição de exclusividade do recurso professor (*H2*).

Restrição H3

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh} \leq 1 \quad \forall c \in C, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (C3)$$

Dentro da mesma ideia da inequação (C2), a restrição *H3* é suportada por (C3). Ao limitar o somatório de M_{cstrdh} (V2) em no máximo “1” para cada turma c , num determinado dia da semana d e período de aula h , o modelo assegura que nenhuma turma seja alocada mais de uma vez numa mesma aula.

Restrição H4

$$\sum_{c \in C} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh} \leq 1 \quad \forall r \in R, \forall d \in D, \forall h \in H \quad (C4)$$

De forma similar às duas inequações anteriores, a (C4) suporta a restrição *H4* conferindo exclusividade do uso do recurso local de aula r , ou seja, ao garantir que o somatório de M_{cstrdh} (V2) não supere o valor de “1”, o modelo respeita o limite físico de alocar no máximo uma aula para cada local de aula.

Restrição H5

$$\sum_{c \in C} \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh} \leq Mmax_t \quad \forall t \in T \quad (C5)$$

A restrição *H5*, que permite ao modelo assegurar que nenhum professor t tenha seu número máximo de aulas semanais $Mmax_t$ (P5) superado, é suportada pela inequação (C5). Esta inequação consiste no somatório de todas as variáveis de decisão M_{cstrdh} (V2) para um determinado professor t não ultrapassar o valor de $Mmax_t$ (P5).

Restrição H6

$$K_{cstrdh} \cdot M_{cstrdh} + K_{c's't'r'd'h'} \cdot M_{c's't'r'd'h'} \leq 1 \quad \begin{aligned} & \forall c, c' \in C, c = c', \\ & \forall s, s' \in S, s = s' \\ & \forall t, t' \in T, t \neq t', \\ & \forall r, r' \in R, \\ & \forall d, d' \in D, \\ & \forall h, h' \in H \end{aligned} \quad (C6)$$

A inequação (C6) confere ao modelo a garantia que uma determinada disciplina s numa turma c seja ministrada pelo mesmo professor t . Essa exigência pedagógica, expressa pela restrição *H6*, é uma prática comum nas escolas brasileiras. Para garantir isso, a soma de duas variáveis de decisão M_{cstrdh} (V2) de dois professores t diferentes, que tenham a mesma turma c , a mesma disciplina s , para todo e qualquer dia da semana d , período de aula h e local de aula r deve ser menor igual a “1”. Caso o valor seja igual a “2”, nitidamente a restrição é violada, pois significaria que dois professores diferentes estariam lecionando a mesma disciplina s numa mesma turma c .

4.3. Modelo heurístico

Considerando as definições do problema (ver Seção 4.1) e as dimensões reais que um STP pode apresentar numa escola de tamanho médio ou grande, o modelo proposto por este trabalho, necessariamente, passa pelo uso de heurísticas.

O Quadro 7 apresenta o algoritmo da abordagem proposta por este trabalho:

```

procedimento Modelo_Proposto
1   executa procedimento Guloso_Randômico {fase de construção}
2   executa procedimento Simulated_Annealing {fase de melhoramento}
3   fim-procedimento

```

Quadro 7 - Algoritmo global da abordagem proposta

Fonte: elaborado pelo autor

O modelo proposto consiste, essencialmente, na execução de duas fases. Na primeira, explicada na Seção 4.3.1, chamada de “fase de construção”, um algoritmo guloso e randômico é executado com o propósito de se compor uma solução inicial viável. Já na segunda, apresentada na Seção 4.3.2, denominada “fase de melhoramento”, um algoritmo baseado na meta-heurística *simulated annealing* é disparado visando melhorar o resultado obtido pela fase de construção.

4.3.1. Fase de construção

Esta fase consiste na execução de um algoritmo guloso e randômico. Um algoritmo é considerado guloso ou ganancioso quando ele busca uma escolha que lhe parece a melhor naquele momento. Porém, quando um algoritmo busca aleatoriamente uma escolha dentro do espaço de soluções possíveis, diz-se que é randômico. Um algoritmo que reúne as duas características – guloso e randômico – é aquele que busca aleatoriamente uma solução dentre as melhores possíveis naquele momento.

Neste trabalho, desenvolveu-se o algoritmo apresentado no Quadro 8:

```

procedimento Guloso_Randômico
1   continua := verdadeiro
2   m := todas as possíveis variáveis  $M_{cstrdh}$  de valor nulo
3   i := 0 {zera variável de encerramento}
4   enquanto (continua = verdadeiro) faça
5     m* := variáveis  $M_{cstrdh}$  de m que possuem a melhor preferência de
           professor por parte da disciplina e a preferência de
           disciplina por parte do professor
6     Selecionar aleatoriamente uma variável  $M_{cstrdh}$  do conjunto m*
7     c* := valor do parâmetro c da variável  $M_{cstrdh}$  selecionada
8     s* := valor do parâmetro s da variável  $M_{cstrdh}$  selecionada
9     t* := valor do parâmetro t da variável  $M_{cstrdh}$  selecionada
10    j := valor do parâmetro  $M_s$  (P4) {número de aulas semanais de s*}
11    k := valor do parâmetro  $MRS_s$  (P6) para s = s* {nº de aulas}

```

```

    semanais em locais de aula compartilhados de s*}
12   m* := variáveis do conjunto m* para c = c*, s = s* e t = t*
13   n* := Selecionar aleatoriamente k variáveis  $M_{cstrdh}$  do conjunto
        m* em que r tenham  $SR_r=1$  (P11) {que garante que r seja um
        local compartilhado} e (j-k) variáveis que tenham  $SR_r=0$  {que
        garante que r seja um local não compartilhado}
14   se (conjunto n* tem j elementos) então
15     Atribuir o valor "1" cada variável do conjunto n*
16     Atribuir valor "0" para aquelas variáveis que não podem mais
        ser utilizadas por conta da atribuição da linha [19]
17   inviável := retorno do procedimento
        Testa_Grade_Horária_Inviável
18   se (inviável = verdadeiro) então
19     Desfaz a execução das linhas [15] e [16]
20     i := i + 1 {incrementa variável de encerramento}
21   senão
22     i := 0 {zera variável de encerramento}
23   fim-se
24   senão
25     i := i + 1 {incrementa variável de encerramento}
26   fim-se
27   se (i > 25) então
28     Desfaz últimas 10 execuções das linhas [15] e [16] bem
        sucedidas
29     i := 0
30   fim-se
31   se (grade horária está completa) então
32     continua := falso
33   senão
34     m := todas as possíveis variáveis  $M_{cstrdh}$  de valor nulo
35   fim-se
36   fim-enquanto
37 fim-procedimento

```

Quadro 8 - Fase de construção: algoritmo guloso e randômico

Fonte: elaborado pelo autor

A ideia do algoritmo está centrada em buscar uma variável, dentre todas as candidatas, que ofereça a menor contribuição possível para a função de avaliação Z (O1). Para tanto, seleciona-se aleatoriamente uma variável dentre todas aquelas que possui o menor valor de $\alpha.PST_t^s + \beta.PTS_s^t$ (penalidade de (O2)). Ao selecionar esta variável (linha [5] do Quadro 8), identifica-se o valor da sua turma c , a disciplina s e o professor t . Conhecendo-se a disciplina

s , é possível carregar nas variáveis auxiliares j e k os valores do número total de aulas (M_s) e do número de aulas em locais compartilhado (MRS_s), respectivamente.

Em posse de j e k , o algoritmo faz duas buscas:

- k variáveis que sejam da turma c , da disciplina s e do professor t selecionados anteriormente que possuam o local de aula r que satisfaça a condição $SR_r = 1$ (parâmetro (P11), valor “1” para locais compartilhados e “0” para locais não compartilhados).
- $(j-k)$ variáveis que sejam da turma c , da disciplina s e do professor t selecionados anteriormente que possuam o local de aula r que satisfaça a condição $SR_r = 0$ (parâmetro (P11), valor “1” para locais compartilhados e “0” para locais não compartilhados).

Caso a busca dessas j variáveis ($j = k + j - k$) for bem sucedida, o algoritmo atribui “1” para as respectivas variáveis de decisão. Após, testa a viabilidade da grade horária obtida até o presente momento, através do procedimento “Testa_Grade_Horária_Inviável”, apresentado no Quadro 9.

```

procedimento Testa_Grade_Horária_Inviável
    variável de entrada:
        s {grade horária a analisar}
    variável de saída:
        retorno {"verdadeiro" para grade horária inviável e "falso" c.c.}
1     retorno := falso;
2     t := aulas de turmas não alocadas sem candidatos
3     se (t não é vazio) então
4         retorno := verdadeiro
5     senão
6         t := aulas de disciplinas não alocadas sem candidatos
7         se (t não é vazio) então
8             retorno := verdadeiro
9         senão
10        t := aulas de turmas que estão alocadas mais de uma vez
11        se (t não é vazio) então
12            retorno := verdadeiro
13        senão
14            t := turmas que têm disciplinas com mais aulas do que o
               previsto na grade curricular
15            se (t não é vazio) então
16                retorno := verdadeiro

```

```

17      fim-se
18      fim-se
19      fim-se
20      fim-se
21      Resultado do procedimento := retorno
22  fim-procedimento

```

Quadro 9 - Algoritmo de verificação de viabilidade de uma grade horária

Fonte: elaborado pelo autor

Este procedimento retorna “verdadeiro” caso a inviabilidade da grade horária, a partir das últimas atribuições de valores, seja detectada. Este procedimento é que garante que o algoritmo Guloso_Randômico não corra o risco de ficar preso a soluções inviáveis.

Se a inviabilidade for verificada, o algoritmo desfaz as atribuições de “1” e “0” recém-executadas (linhas [15] e [16] do Quadro 8).

Adicionalmente, há uma variável que conta a quantidade de vezes seguidas em que o modelo gera grades horárias inviáveis. Quando o limite de 25 for ultrapassado, o algoritmo zera o contador e desfaz as últimas 10 atribuições de aulas em turmas, disciplinas e professores diferentes. O objetivo disso é evitar que o algoritmo fique “encurralado” a partir das últimas seleções de aula. Os valores de 25 e 10 foram escolhidos, pois, após exaustivos testes práticos com o algoritmo, processando diversos modelos, verificou-se que tais valores são suficientes para o modelo sair do encurrallamento e seguir o seu processamento até encontrar uma solução viável.

Antes de terminar o laço, o algoritmo verifica se a grade horária está completa. Caso esteja, o procedimento é encerrado.

4.3.2. Fase de melhoramento

A partir de uma solução viável, isto é, de uma grade horária completa e que não infringe nenhuma restrição do tipo *hard*, o modelo está apto a executar a fase de melhoramento.

Esta fase está baseada na meta-heurística *Simulated Annealing*, que neste modelo foi implementada da forma apresentada no Quadro 10.

```

procedimento Simulated_Annealing
    variáveis de entrada:
        s, {solução inicial}
        NroIte, {Nº de iterações na temperatura T}

```

```

1    $\alpha$ , {taxa de resfriamento}
2    $T_0$  {temperatura inicial}
3    $T := T_0$ 
4    $s^* := s$  {melhor solução obtida até então}
5   enquanto ( $T > 1$ ) faça
6       para  $i := 1$  até NroIte faça
7           Gerar uma grade horária ( $s'$ ) mediante a execução de um swap
8            $\Delta = f(s') - f(s)$  {diferença entre funções objetivo}
9           se ( $\Delta < 0$ ) então
10           $s := s'$ 
11          se ( $f(s') < f(s^*)$ ) então
12           $s^* := s$ 
13          fim-se
14      senão
15           $x :=$  valor randômico entre [0, 1]
16          se ( $x < e^{-\Delta/T}$ ) então
17               $s := s'$ 
18          fim-se
19      fim-se
20  fim-enquanto
21  retorne  $s^*$ 
22 fim-procedimento

```

Quadro 10 - Algoritmo de melhoramento: *Simulated Annealing*

Fonte: elaborado pelo autor

A ideia deste algoritmo consiste em perturbar o espaço de soluções, mesmo que haja prejuízo à função de avaliação. O algoritmo inicia atribuindo-se uma alta temperatura a T e salvando-se a atual como sendo a melhor. A partir daí, dá-se início a um laço, que é mantido enquanto a temperatura T for superior a “1”. Ao final de cada laço, a temperatura T é reduzida, mediante a multiplicação de um fator α , que tem um valor entre “0,8” e “0,95”, o que garante a redução de T . Para cada temperatura T , um novo laço com um número fixo de iterações ($NroIte$) é executado. A cada iteração, uma nova solução é gerada a partir de um movimento de *swap* (ver Seção 1.1). Como isso, espera-se que alguma restrição *soft* seja melhor atendida (ou mais de uma), o que significa reduzir o valor da função de avaliação Z , que é de natureza minimizante.

Se a solução gerada após a troca for viável, o algoritmo verifica se a função de avaliação Z da nova solução é melhor do que a imediatamente anterior. Se for melhor, o

modelo assume a nova solução como sendo a solução corrente, desprezando a anterior. O algoritmo ainda compara o valor da nova função de avaliação com o valor da melhor solução encontrada até então, que está armazenada em s^* .

Caso o valor da função de avaliação Z tenha piorado (isto é, aumentado), o algoritmo atribui aleatoriamente a x um valor entre “0” e “1” e compara com $e^{-\Delta T}$. Se o valor de x for menor do que o valor resultante da exponencial, o modelo assume essa solução, sem se importar com a piora do valor de Z . Este aspecto é que permite a essa meta-heurística escapar de locais ótimos, explorando um espaço maior de soluções, justamente para tentar encontrar uma solução melhor (a Seção 3.3 aborda detalhadamente a técnica).

Quando a temperatura T for menor do que “1”, o laço principal termina e o algoritmo retorna a melhor solução encontrada durante todo o processo.

5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO

Definidos o Modelo matemático e os algoritmos que comportam a abordagem heurística, deu-se início à sua implementação computacional. Para armazenar os diferentes conjuntos de dados e seus parâmetros, utilizou-se como sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) o *Microsoft® SQL Server 2008*, conforme apresentado na Seção 5.1. A Seção 5.2 trata da carga de dados no SGBD, que se deu mediante a execução de *scripts* SQL desenvolvidos no *Microsoft® Excel 2010*. Na Seção 5.3, a interface desenvolvida em *Borland® Delphi Enterprise 7.0*, responsável pelo processamento dos algoritmos e por exibir os resultados finais é devidamente apresentada.

5.1. Armazenamento de dados

Para dispor de um ambiente que permita facilitar o processamento do modelo e a análise dos resultados de vários conjuntos de dados e parâmetros, construiu-se um banco de dados. O banco de dados (BD), desenvolvido na plataforma do SGBD *Microsoft® SQL Server 2008*, conta com um conjunto de 16 tabelas com integridade referencial, e tem seu diagrama de entidade-relacionamento (DER) apresentado na Figura 22. O princípio de integridade referencial, essencial para proteger a integridade dos dados, estabelece que o valor de uma chave estrangeira (FK) tem de existir na tabela onde esta chave é primária (PK).

Para fins de organização, cada tabela tem no seu nome um prefixo de três letras que servirá para identificar os campos nativos da própria tabela. A primeira tabela é a “ESCEscola”, que permite o cadastramento de várias escolas que serão processadas pelo modelo. Sua chave primária (PK), responsável por identificar a unicidade do registro, é o campo “ESCCodigo”. Um determinado “ESCCodigo” pode ter n grades horárias associadas, que estão expressas na tabela “GRHGradeHoraria” e que tem o campo “GRHCodigo” como PK. Desta forma, uma escola pode ter várias grades horárias vinculadas, como, por exemplo, “Grade Horária 2011” e “Grade Horária 2012”. Uma determinada combinação “ESCCodigo+GRHCodigo” (escola e grade horária) tem a sua organização escolar expressa pelas tabelas “CURCurso”, “ETPCodigo”, “DISDisciplina” e “TURTurma”.

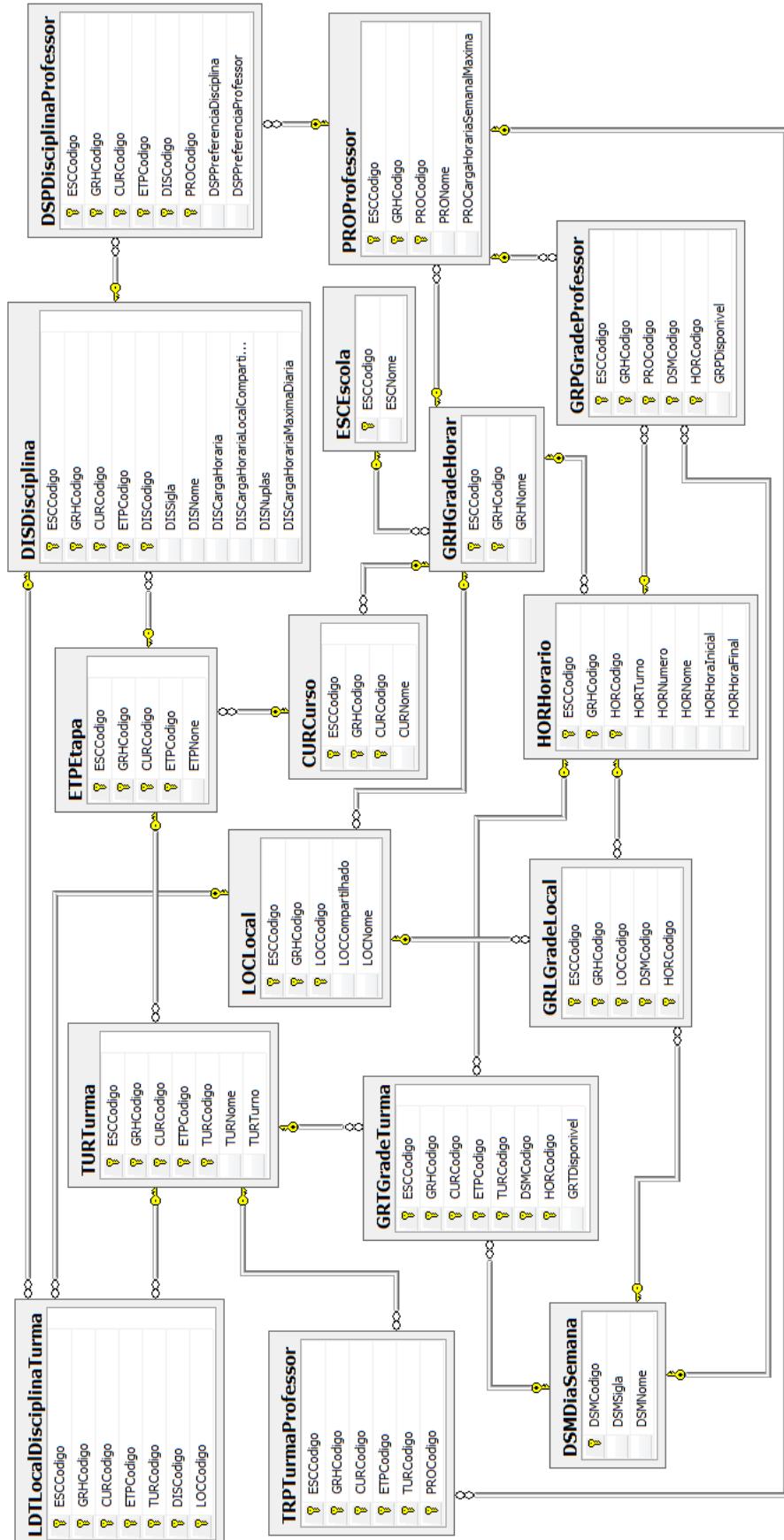
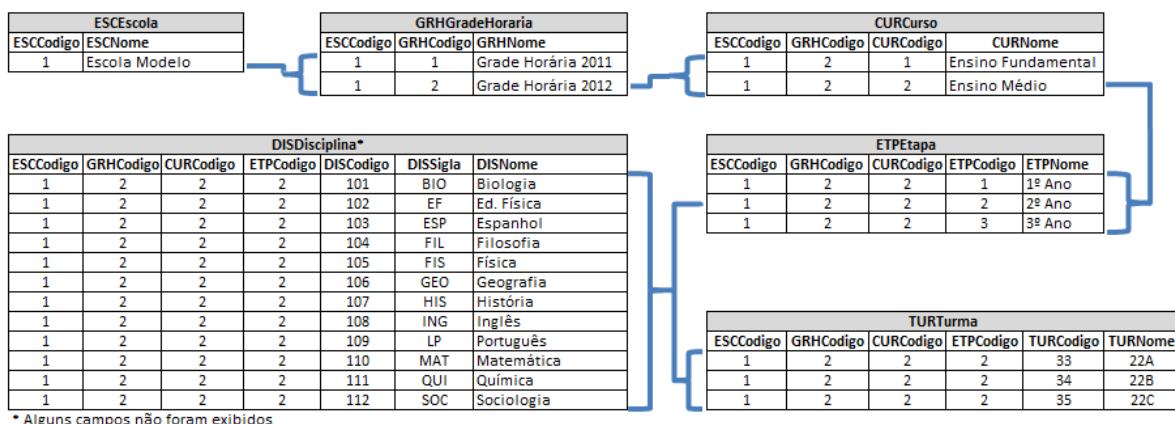


Figura 22 - Diagrama de entidade-relacionamento (DER) do modelo
Fonte: elaborada pelo autor

A tabela “CURCurso” registra os cursos oferecidos por determinada grade horária de uma escola. Cada curso, identificado pela PK “CURCodigo”, tem n séries, anos ou etapas. No DER em questão, adotou-se a nomenclatura “etapa”, que é um termo mais genérico. As etapas são armazenadas na tabela “ETPEtapa” e identificadas pela PK “ETPCodigo”. Cada etapa possui uma grade curricular associada (ver Seção 1.1) que possui um rol de disciplinas. Estas disciplinas estão vinculadas por meio da tabela “DISDisciplina”. Cada etapa também tem turmas associadas, devidamente armazenadas na tabela “TURTurma” e identificadas pela PK “TURCodigo”. A Figura 23 ilustra o relacionamento entre as tabelas que contemplam a organização escolar.



* Alguns campos não foram exibidos

Figura 23 - Relacionamento entre entidades da organização escolar
Fonte: elaborada pelo autor

O DER apresenta uma tabela específica para armazenar os dias da semana. Como os dias da semana são uma convenção indiscutível, esta tabela não é herdeira de nenhuma outra, sendo, portanto, utilizada por todas as grades horárias. Os dados contidos nesta tabela estão expressos na Figura 24.

DSMDiaSemana		
DSMCodigo	DSMSigla	DSMNome
1	SEG	Segunda-feira
2	TER	Terça-feira
3	QUA	Quarta-feira
4	QUI	Quinta-feira
5	SEX	Sexta-feira
6	SAB	Sábado

Figura 24 - Dados da tabela de dias da semana
Fonte: elaborada pelo autor

Cada grade horária, identificada pelo campo “GRHCodigo”, tem os seus professores, locais de aula e horários. Esses parâmetros são expressos, respectivamente, no modelo relacional pelas tabelas “PROProfessor”, “LOCLocal” e “HORHorario” (ver Figura 22).

Desta forma, os conjuntos do Modelo matemático, expressos na Seção 4.1.1, estão relacionados com o modelo relacional de dados conforme apresentado no Quadro 11.

Modelo matemático		Modelo relacional de dados	
Conjuntos	Descrição	Tabela	PK
C	turmas de alunos (<i>Class</i>)	TURTurma	TURCodigo
S	disciplinas (<i>Subject</i>)	DISDisciplina	DISCodigo
T	professores (<i>Teacher</i>)	PROProfessor	PROCodigo
R	locais de aula (<i>Room</i>)	LOCLocal	LOCCodigo
D	dias da semana (<i>Day</i>)	DSMDiaSemana	DSMCodigo
H	períodos de aula (<i>Hour</i>)	HORHorario	HORCodigo

Quadro 11 - Relação entre o Modelo matemático e o modelo relacional de dados

Fonte: elaborado pelo autor

As demais tabelas têm a finalidade de relacionar os conjuntos, conforme mostrado no Quadro 12. A existência de um registro em uma dessas tabelas indica que o valor do parâmetro é igual a “1” para os conjuntos que compõem as chaves estrangeiras (FK).

Parâmetro	Tabela	Descrição
CDH_c^{dh}	GRTGradeTurma	Relaciona os dias da semana DSMCodigo e períodos de aula HORCodigo que uma turma TURCodigo tem aula
CSR_{cs}^r	LDTLocalDisciplinaTurma	Relaciona os locais de aula LOCCodigo da disciplina DISCodigo para a turma TURCodigo
RDH_r^{dh}	GRLGradeLocal	Relaciona os dias da semana DSMCodigo e períodos de aula HORCodigo que recebe uma aula
TDH_t^{dh}	GRPGradeProfessor	Relaciona os dias da semana DSMCodigo e períodos de aula HORCodigo que um professor PROCodigo tem disponível para ministrar aulas
TC_t^c	TRTTurmaProfessor	Relaciona os professores PROCodigo candidatos a ministrarem aulas na turma TURCodigo
TS_t^s	DSPDisciplinaProfessor	Relaciona as disciplinas DISCodigo que o professor PROCodigo está habilitado a ministrar

Quadro 12 - Relação entre parâmetros do Modelo matemático e modelo relacional de dados

Fonte: elaborado pelo autor

Os demais parâmetros do Modelo matemático são representados por campos específicos das tabelas, conforme ilustrado no Quadro 13:

Parâmetro	Tabela	Campo
DM_s	DISDisciplina	DISNuplas
M_s	DISDisciplina	DISCargaHoraria
$Mmax_t$	PROProfessor	PROCargaHorariaSemanalMaxima
MRS_s	DISDisciplina	DISCargaHorariaLocalCompartilhado
PST_t^s	DSPDisciplinaProfessor	DSPPreferenciaDisciplina
PTS_s^t	DSPDisciplinaProfessor	DSPPreferenciaProfessor
RNT_s	DISDisciplina	DISCargaHorariaMaximaDiaria
SR_r	LOCLocal	LOCCompartilhado

Quadro 13 - Relação entre parâmetros do Modelo matemático e campos do modelo relacional

Fonte: elaborado pelo autor

5.2. Carga de dados

A partir do desenho e criação do banco de dados, desenvolveu-se uma planilha (ver Figura 25) no Microsoft® Excel 2010 que gera um conjunto de *script SQL (Structured Query Language)*, responsável por promover a carga de dados nas tabelas.

Figura 25 - Planilha do Microsoft® Excel geradora de scripts SQL

Fonte: elaborada pelo autor

A planilha exibida na Figura 25 permite o lançamento dos dados dos conjuntos e parâmetros de uma determinada grade horária, e monta, de forma automática, a relação de scripts SQL que devem ser executados no SGBD para que os dados sejam carregados no BD.

A Figura 26 apresenta o ambiente de administração do SGBD, o *Microsoft® SQL Server Management Studio*, que permite o processamento dos *scripts* SQL gerados na planilha desenvolvida em *Microsoft® Excel 2010*.

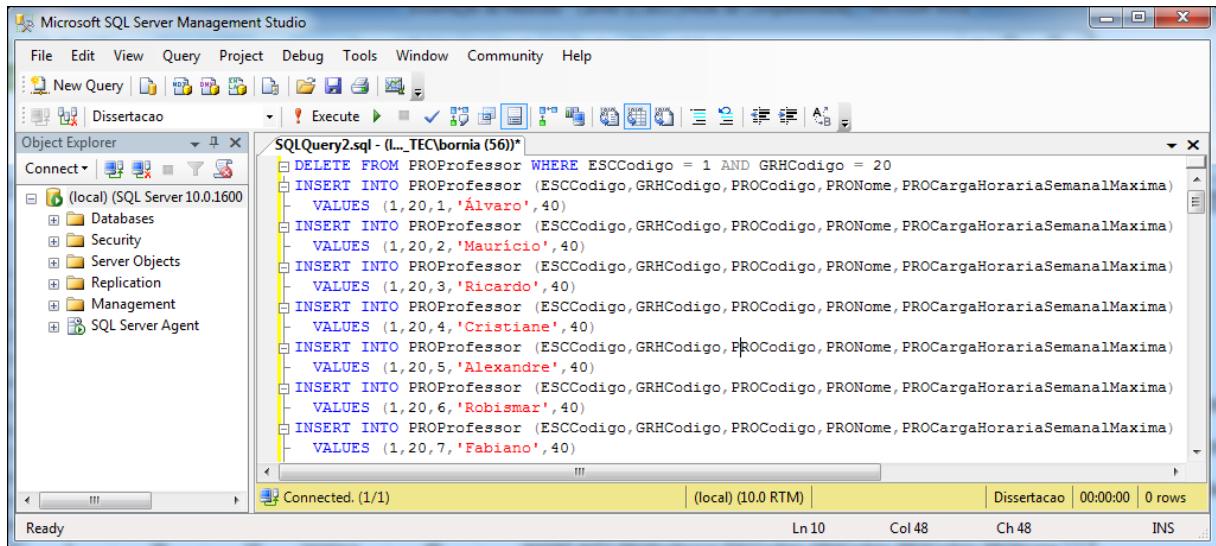


Figura 26 - Ambiente de administração do SGBD
Fonte: elaborada pelo autor

Este trabalho não contemplou o desenvolvimento de uma interface visualmente mais amigável, essencialmente por duas razões:

- O objetivo deste trabalho é desenvolver um Modelo matemático e heurístico e não propriamente desenvolver um sistema.
- O uso de *scripts* SQL, gerados pelo *Microsoft® Excel*, permite uma manipulação de dados mais ágil, apropriada para este estudo que trabalha com um considerável volume de dados.

5.3. Processamento e exibição de resultados

Para processar os algoritmos propostos no modelo heurístico (os pseudocódigos estão na Seção 4.3), desenvolveu-se um aplicativo na plataforma do *Borland® Delphi Enterprise 7.0* (baseado na linguagem de programação *Object Pascal*), combinada com a linguagem *Transact-SQL*, que é um dialeto da linguagem SQL, que trabalha sob a plataforma do *Microsoft® SQL Server 2008*. No ambiente do *Borland® Delphi*, programou-se uma interface

de saída, a fim de permitir a visualização do resultado das grades horárias geradas. A tela da aplicação pode ser vista na Figura 27.

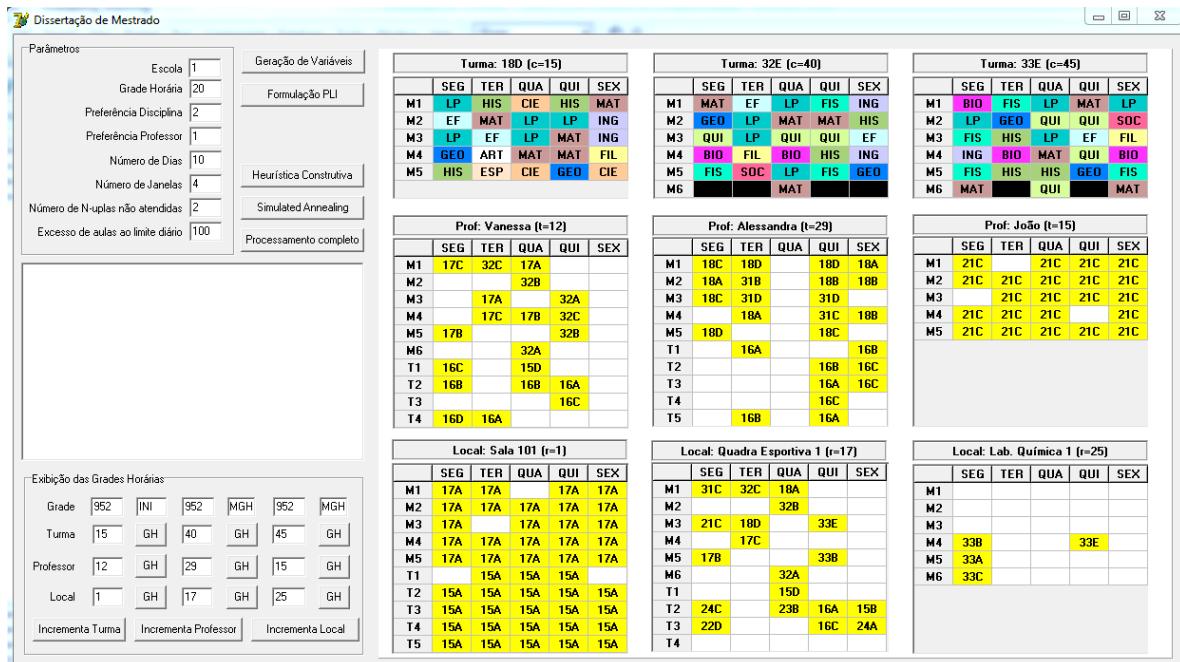


Figura 27 - Tela da aplicação
Fonte: elaborada pelo autor

No canto superior esquerdo, os dois primeiros parâmetros permitem selecionar, respectivamente, a escola e a grade horária que o usuário do aplicativo deseja operar. Os demais parâmetros são as penalidades (ver Seção 4.2.1) que serão fundamentais para o cálculo da função de avaliação.

Ao lado dos parâmetros, há cinco botões. Cada um dos botões é responsável pelas respectivas ações:

- (1) Geração das variáveis
- (2) Geração da formulação em programação linear inteira (PLI)
- (3) Processamento da fase construtiva (heurística gulosa e randômica)
- (4) Processamento da fase de melhoramento (meta-heurística *simulated annealing*)
- (5) Processamento das fases (3) e (4) sequencialmente

Na área central, à esquerda, há uma área destinada à exibição dos *logs* das operações promovidas pelas ações contidas nos botões. A formulação em PLI e os tempos das operações são mostrados nessa área.

À esquerda há um conjunto de nove *grids* que exibem os resultados dos processamentos. Os três primeiros apresentam as turmas com a alocação de disciplinas. Os três subsequentes exibem os professores com a alocação de turmas. Já, os três últimos mostram os locais de aula com a alocação de turmas. Os dados a ser exibidos nesses *grids* são

escolhidos nas caixas de textos disponíveis no canto inferior esquerdo na seção “Exibição das Grades Horárias”, conforme ilustrado na Figura 28. Nas caixas de texto do código da grade horária (campo “GRHCódigo”), o aplicativo identifica qual grade horária o aplicativo deve exibir. Na caixa de texto do tipo da grade horária, o aplicativo seleciona a grade horária resultante da fase de construção do modelo (tipo = “INI”) ou da fase de melhoramento (tipo = “MGH”). Nas demais caixas de texto, o aplicativo identifica, respectivamente, a turma, o professor e o local de aula que terão suas grades horárias exibidas nos *grids*. Já os botões com a descrição “GH” têm por objetivo exibir a grade horária da entidade indicada na caixa de texto à esquerda (turma, professor ou local de aula), da grade horária indicada na caixa de texto do topo da coluna anterior e do tipo indicado na caixa de texto do topo da sua própria coluna.

Código da grade horária	Tipo da grade horária			Código da turma
Grade	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="INI"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="MGH"/>
Turma	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="GH"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="GH"/>
Professor	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="GH"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="GH"/>
Local	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="GH"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="GH"/>
<input type="button" value="Incrementa Turma"/> <input type="button" value="Incrementa Professor"/> <input type="button" value="Incrementa Local"/>				

Código do professor →
 Código do local de aula →
 Botão de exibição da grade horária da turma →
 Botão de exibição da grade horária do professor →
 Botão de exibição da grade horária do local de aula →

Figura 28 - Caixas de texto de exibição de grades horárias do aplicativo
Fonte: elaborada pelo autor

Os botões “Incrementa Turma”, “Incrementa Professor” e “Incrementa Local” têm a finalidade de incrementar em três unidades os valores contidos nas respectivas caixas de texto (turma, professor e turma) e exibir automaticamente as três grades horárias correspondentes.

5.4. Execução do modelo (simulação)

Para verificar a consistência do modelo, foram criadas três instâncias de dados. Cada uma das instâncias representa hipoteticamente dados de instituições de ensino de diferentes portes:

- Instância A – dados de uma IE de grande porte
- Instância B – dados de uma IE de médio porte
- Instância C – dados de uma IE de pequeno porte

Todas as instâncias foram criadas a partir de valores realistas, embora não representem necessariamente dados de alguma instituição de ensino específica. Os dados da instância A, que podem ser acessados em BORNIA POULSEN (2012a), representam uma instituição de ensino (IE) de grande porte com 70 professores, 32 locais de aula, 42 turmas, distribuídas em quatro cursos (educação infantil, ensino fundamental, ensino médio e educação de jovens e adultos) e três turnos (manhã, tarde e noite), com uma média de três turmas por etapa, perfazendo um total de 1.035 aulas semanais. Os dados da instância B, disponíveis em BORNIA POULSEN (2012b), representam uma IE de porte médio e contam com 58 professores, 26 locais de aula, 58 turmas, distribuídas em três cursos (educação infantil, ensino fundamental e ensino médio) e dois turnos (manhã e tarde), com duas turmas por etapas, que resultam num total de 700 aulas semanais. Finalmente, os dados da instância C (BORNIA POULSEN, 2012c) simulam uma IE de pequeno porte com 54 professores, 14 turmas, 20 locais de aula, contando com os mesmos cursos e turnos da instância B, porém com apenas uma turma por etapa, totalizando 350 aulas semanais.

Como cada novo processamento de uma mesma instância tende a gerar resultados diferentes de outra – afinal, todas as fases do modelo possuem forte componente randômico – para fins de verificação, cada instância contou com três execuções. Desta forma, este trabalho denominará cada instância de dados e uma determinada execução como simplesmente “instância”. Assim sendo, a execução do modelo será feita nas instâncias A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 e C3. O computador utilizado foi um notebook com *processador Intel Core i5™*, com 4GB de memória RAM e sistema operacional *Microsoft® Windows 7*.

O grupo de instâncias “A” – que representa dados de uma IE de grande porte – tem 42 turmas ($c = 42$), 70 professores ($t = 70$) e 32 locais de aulas ($r = 32$). Neste grupo, a turma que tem o maior número de disciplina tem 12 ($s=12$). As aulas estão distribuídas em cinco dias da semana ($d = 5$) e em 14 períodos de aula ($h = 14$) ao longo de três turnos. A rigor, esses valores representariam um total de 790.027.200 variáveis para este grupo de instâncias ($42 \times 70 \times 32 \times 12 \times 5 \times 14$). No entanto, o modelo promove um processo de refinamento, retirando do modelo as variáveis que apresentam algum tipo de inviabilidade. Isso está devidamente expresso no Modelo matemático através do fator da função de avaliação K_{cstrah} ($O3$), conforme apresentado na Seção 4.2.3. Desta forma, o grupo de instâncias “A” fica com um total de 42.263 variáveis, que representa uma redução de 99,95% em relação ao número bruto de variáveis.

Para fins de cálculo da função de avaliação Z ($O1$), a execução do modelo nas nove instâncias considerou as seguintes penalidades (ver Seção 4.2.1):

$\alpha = 2$	(preferência da disciplina por um professor)
$\beta = 1$	(preferência do professor por uma disciplina)
$\delta = 10$	(número de dias em que professores vão à IE)
$\rho = 4$	(número de janelas de professores)
$\sigma = 2$	(número de N-uplas não atendidas)
$\varphi = 100$	(número de aulas que excedem ao limite máximo diário)

Quadro 14 - Valores das penalidades para cálculo da função de avaliação das simulações
Fonte: dados da pesquisa

A fase de melhoramento, que utiliza o algoritmo proposto com a meta-heurística *simulated annealing* (SA), foi executada com os parâmetros de entrada apresentados no Quadro 15:

NroIte = 10	(nº de iterações na temperatura T)
$\alpha = 0,85$	(taxa de resfriamento)
$T_0 = 5.000$	(temperatura inicial)

Quadro 15 - Parâmetros empregados no algoritmo *simulated annealing*
Fonte: dados da pesquisa

O Quadro 16 apresenta todas as informações referentes às instâncias e às execuções de cada uma das fases. O tamanho de cada grupo de instâncias está exposto no item “Dimensões do modelo”. Além da apresentação do número de elementos de cada um dos conjuntos principais (turmas, professores, locais de aula e aulas), também é mostrado o número de variáveis de decisões obtido após o processo de refinamento. Os itens “Fase de construção” e “Fase de melhoramento” mostram os resultados de cada componente da função de avaliação (ver Seção 4.2.3), bem como os seus valores finais, além do tempo de processamento da execução. No item “Modelo completo” é apresentado o tempo de execução do modelo completo, que é obtido através da soma dos tempos de processamento de cada uma das fases (construção e melhoramento).

Pode-se observar que dentro de um mesmo grupo de instâncias, apesar dos dados serem rigorosamente os mesmos, os resultados obtidos, seja dos componentes da função de avaliação ou referentes aos tempos de processamento, foram completamente diferentes. Isso se deve ao componente randômico dos algoritmos das duas fases.

Dimensões do modelo	A1	A2	A3	Média	B1	B2	B3	Média	C1	C2	C3	Média
Turmas	42	42	42	42	28	28	28	28	14	14	14	14
Professores	70	70	70	70	58	58	58	58	54	54	54	54
Locais de aula	32	32	32	32	26	26	26	26	20	20	20	20
Aulas	1.035	1.035	1.035	1.035	700	700	700	700	350	350	350	350
Variáveis	42.263	42.263	42.263	42.263	27.955	27.955	27.955	27.955	13.965	13.965	13.965	13.965
Fase de construção												
PST	106	112	125	114	24	27	26	26	15	4	8	9
PTS	77	84	104	88	22	25	24	24	15	4	6	8
D	244	245	242	244	219	220	221	220	165	165	165	165
W	173	180	164	172	158	141	148	149	85	72	75	77
U	143	142	139	141	83	91	88	87	44	40	45	43
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	3.707	3.762	3.708	3.726	3.058	3.025	3.054	3.046	2.123	2.030	2.062	2.072
Tempo (minutos)	28,7	29,7	27,4	28,6	13,7	12,7	12,2	12,9	4,3	4,0	3,6	4,0
Fase de melhoramento												
PST	106	112	125	114	24	27	26	26	15	4	8	9
PTS	77	84	104	88	22	25	24	24	15	4	6	8
D	234	233	237	235	203	206	208	206	135	145	146	142
W	129	144	122	132	84	86	68	79	39	35	32	35
U	130	119	110	120	72	82	72	75	25	23	25	24
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	3.405	3.452	3.432	3.430	2.580	2.647	2.572	2.600	1.601	1.648	1.660	1.636
Tempo (minutos)	188,5	188,1	189,0	188,5	114,1	114,3	118,2	115,5	57,9	58,6	77,5	64,7
Modelo completo												
Tempo (minutos)	217,2	217,8	216,4	217,1	127,8	127,0	130,4	128,4	62,2	62,6	81,1	68,6

PST (somatório das preferências das disciplinas pelos professores); PTS (somatório das preferências dos professores pelas disciplinas);

D (somatório de dias de professores presentes na IE); W (somatório de janelas de todos os professores);

U (somatório de todas N-uplas não atendidas); e N (somatório de todos as aulas que excedem o limite máximo diário da disciplina na turma)

Z (valor da função de avaliação = 2.PST + PTS + 10.D + 4.W + 2.U + 100.N)

Quadro 16 - Comparativo entre as execuções de cada instância

Fonte: dados da pesquisa

Isso pode ser verificado observando-se a evolução do número de variáveis de decisão nulas em relação ao número de iterações do algoritmo. Na fase de construção, o algoritmo parte com todas as variáveis de decisão nulas, isto é, cada variável não recebe nem o valor “1”, nem o valor “0”. À medida que o algoritmo é processado e sucessivas iterações são executadas, variáveis recebem algum valor booleano, seja “1” ou “0”. Caso o algoritmo fique “encurralado” (ver Seção 4.3.1), variáveis podem ser anuladas novamente. A evolução do número de variáveis de decisão nulas em relação ao número de iterações das três instâncias do grupo A (A1, A2 e A3) é mostrado no gráfico (a) da Figura 29. Pode-se constatar que o comportamento da curva de cada uma das três instâncias é bastante semelhante. No entanto, ampliando-se duas regiões do gráfico (a), pode-se verificar que, apesar do comportamento semelhante, as três instâncias apresentam pequenas diferenças. No gráfico (b), que apresenta o comportamento entre as iterações 450 e 570, a diferença entre as instâncias é bastante perceptível. O gráfico (c), que exibe o final do processo iterativo do algoritmo, mostra que o número de iterações necessárias para cada instância é diferente. As instâncias A1, A2 e A3

necessitaram, respectivamente, 1.167, 1.214 e 1.171 iterações para que todas as suas variáveis de decisão tivessem valores atribuídos. No final deste processo, o número de variáveis com valor “1” atribuído deve ser exatamente o número de aulas, que no caso do grupo de instâncias “A” é de 1.035, conforme apontado no Quadro 16. Por consequência, o número de variáveis com valor “0” atribuído deve ser a diferença entre o número de variáveis e de aulas, que para o grupo de instâncias “A” é de 41.228 (=42.263-1.035).

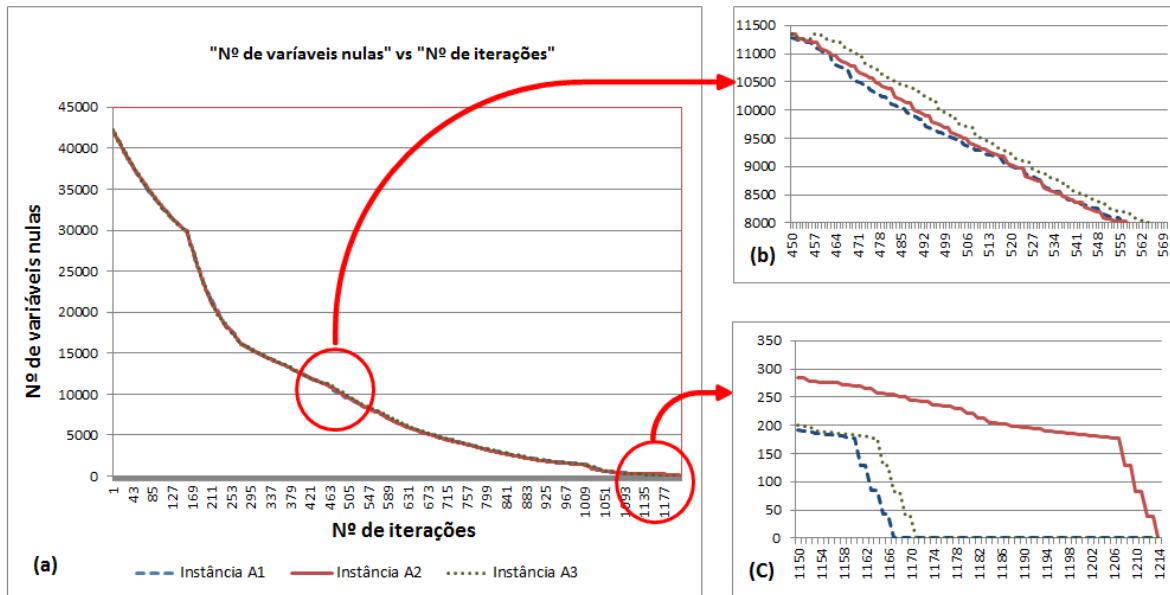


Figura 29 - Gráfico "Nº de variáveis nulas" vs "Nº de iterações" do grupo de instâncias "A"
Fonte: dados da pesquisa

Adicionalmente, pode-se constatar o resultado diferente entre as três instâncias, observando-se o resultado do modelo. A Figura 30 apresenta as grades horárias, nitidamente diferentes, resultantes da fase de construção para cada uma das três instâncias do grupo “A”:

Turma: 33C (c=39)						Turma: 33C (c=39)						Turma: 33C (c=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	SOC	FIS	ESP	QUI	LP	M1	EF	LP	HIS	BIO	LP	M1	FIS	BIO	BIO	GEO	FIS
M2	HIS	HIS	LP	GEO	BIO	M2	FIL	BIO	QUI	ING	LP	M2	LP	SOC	FIS	ESP	LP
M3	QUI	EF	HIS	QUI	MAT	M3	FIS	MAT	BIO	QUI	MAT	M3	QUI	EF	LP	QUI	BIO
M4	LP	MAT	BIO	FIS	GEO	M4	QUI	HIS	MAT	FIS	HIS	M4	FIL	MAT	HIS	QUI	GEO
M5	FIL	MAT	ING	FIS	BIO	M5	FIS	GEO	ESP	SOC	GEO	M5	HIS	ING	MAT	MAT	HIS

Figura 30 - Grades horárias da turma 33C (c=39) das instâncias A1, A2 e A3, respectivamente
Fonte: dados da pesquisa

As grades horárias resultantes do processamento da fase de construção da instância A1, sob o ponto de vista da turma, do professor e do local de aula, constam, respectivamente, nos Anexo B, Anexo C e Anexo D.

Na fase de melhoramento, que utilizou o algoritmo da meta-heurística *simulated annealing* (ver Quadro 10), constatou-se que o propósito de redução do valor da função a

objetivo (que é do tipo minimizante) foi atingido. Isso é verificado através da redução do número de violações às restrições do tipo *soft*, conforme apresentado no Quadro 16. Os resultados da instância A1 são apresentados nos Anexo E, Anexo F e Anexo **G** (grades horárias das turmas, professores e locais de aula, respectivamente).

Importante observar que nas grades horárias das turmas e dos professores, há uma perceptível melhoria de qualidade após a fase de melhoramento. Porém, nas grades horárias dos locais de aula, essa percepção pode não ser possível, pois não há qualquer tipo de restrição *soft* que vise melhorar o resultado sob o ponto de vista desse conjunto (local de aula).

É possível analisar o comportamento do modelo sob o ponto de vista da restrição *soft* atendida no componente *D* (O4) da função de avaliação *Z* (O1) (ver Seção 4.2.3), que penaliza o total de dias que cada professor deve lecionar na IE semanalmente, observando-se a Figura 31, que exibe as grades horárias de um determinado professor (Prof^a. Isabel, $t = 49$), antes e depois da fase de melhoramento. A grade horária (a), resultante da fase de construção tão somente, exige a presença desse professor em quatro dias da semana na IE, enquanto a grade (b), que foi gerada após a finalização da fase de melhoramento, exige apenas três. Deve-se apontar, ainda, que a redução do componente *D* (O4), observada em cada uma das nove instâncias é pequeno sob o ponto de vista percentual. No entanto, o componente *D* (O4) parte de um valor mínimo sendo impossível reduzi-lo, pois, para mesmo que cada professor seja alocado no menor número possível de dias, este número se manterá alto.

(a) Antes da fase de melhoramento					(b) Depois da fase de melhoramento				
Prof: Isabel (t=49)					Prof: Isabel (t=49)				
	SEG	TER	QUA	QUI		SEG	TER	QUA	QUI
M1			27A		27B			27A	
M2								27B	
M3									
M4			27C						
M5									27C
T1		24A					24C		24B
T2					24B		24C		24A
T3	24C	24B			24A		24A		
T4	24C								
T5							24B		

Figura 31 - Demonstração de redução do número de dias com aula
Fonte: dados da pesquisa

De forma análoga, a Figura 32 permite analisar como o modelo atende à restrição *soft*, que é expressa pela parcela W (O5) da função de avaliação Z (O1) e que penaliza a existência de janelas (ver Seção 1.1), através das grades horárias de um determinado professor (por exemplo, Prof. Vinicius, $t=10$), antes e após a fase de melhoramento. A grade horária (a), que

foi gerada após o processamento da fase de construção, apresenta cinco janelas (ver Seção 1.1), enquanto a grade horária (b), que resultou do processamento da fase de melhoramento, apresenta apenas uma, o que demonstra que, para este professor ao menos, o algoritmo do *simulated annealing* melhorou a grade horária. Na Figura 32, as janelas das grades horárias de cada uma das fases estão destacadas, ilustrando de forma visual a redução de lacunas entre as aulas de um mesmo turno.

(a) Antes da fase de melhoramento						(b) Depois da fase de melhoramento					
Prof: Vinícius (t=10)						Prof: Vinícius (t=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		28B			32C			32C			28B
M2	32C		28B	32A	28B			28B	32A	32C	
M3		32A	32B				32A	28B	32B	32A	
M4		32A	28B	32B	32B		32B	32B	28B	32B	32A
M5	32A	28B	32C	32B	32C		32C	32C	28B		

Figura 32 - Demonstração de redução do número de janelas
Fonte: dados da pesquisa

Em relação ao componente U (O6), que pune a função de avaliação Z (O1) pelo não atendimento às solicitações de N-Uplas (ver Seção 1.1), a Figura 33 demonstra a grade horária que resultou após o processamento da fase de melhoramento que passou a atender uma quantidade maior de N-uplas em relação ao resultado da fase anterior.

Turma: 24B (c=17)						Turma: 24B (c=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	CIE	CIE	LP	EF	MAT	T1	LP	ING	LP	GEO	ART
T2	LP	EF	ING	HIS	ART	T2	LP	HIS	MAT	GEO	MAT
T3	CIE	ART	HIS	GEO	MAT	T3	CIE	CIE	HIS	MAT	MAT
T4	MAT	LP	LP	MAT	LP	T4	LP	LP	LP	MAT	EF
T5	LP	LP	GEO	MAT	MAT	T5	CIE	LP	ART	EF	MAT

Figura 33 - Demonstração de melhoramento ao atendimento às solicitações de N-uplas
Fonte: dados da pesquisa

Observa-se, ainda, que o componente N (O7), responsável por aumentar o custo da função de avaliação Z (O1), toda vez que o modelo gera uma grade horária que não atende o limite diário de aulas de uma disciplina s numa turma c , tem custo zerado ao final do processamento de todas as instâncias. Isso é explicado pelo alto custo da penalidade φ (P20), que propositalmente foi definido com um valor muito maior do que as demais (ver Quadro

14). Originalmente, na primeira versão desenvolvida pelo autor, a função de avaliação Z (O1) não continha o componente N (O7). O cuidado para que o modelo não gerasse uma grade horária que excedesse ao limite diário de aulas de uma disciplina s em uma turma c era tratado mediante uma restrição do tipo *hard*. Porém, o autor transformou a então restrição *hard* em *soft* para que o algoritmo do *simulated annealing* (SA) pudesse perturbar ainda mais a função de avaliação Z (O1), já que, após um movimento de *swap*, a grade horária deve permanecer viável. Nas primeiras simulações, observou-se que eram necessários muitos movimentos de *swap* para que a grade horária assumisse uma nova configuração sem violar a exigência de não ultrapassar o limite diário de aulas de uma disciplina s em uma turma c . A transformação dessa exigência em uma restrição *soft*, que acarretou na criação do componente N (O7), permitiu que o algoritmo do SA fosse processado com maior fluidez e, por consequência, com maior êxito também. Porém, como esse é um tipo de restrição que originalmente é do tipo *hard*, o autor propôs a imposição de uma penalidade demasiadamente alta, como forma de o modelo privilegiar a fuga desse custo, mesmo que em detrimento das possíveis economias geradas pelos demais componentes da função de avaliação Z (O1).

A Figura 34 apresenta um gráfico de “Evolução do valor da função de avaliação” vs “Nº de iterações” para cada grupo de instâncias (“A”, “B” e “C”). As nove instâncias testadas têm comportamento semelhante. À medida que o número de iterações avança, o valor da função de avaliação é perturbado, podendo inclusive crescer – como é previsto pela metaheurística *simulated annealing* – porém há uma clara tendência decrescente. Linhas de tendências foram agregadas às curvas com o intuito de demonstrar que o propósito de reduzir o valor da função de avaliação é atingido pelo algoritmo da fase de melhoramento.

As grandes oscilações são explicadas justamente pelo componente N (O7), que tem um alto valor de penalidade (custo). Se em um movimento de *swap*, o modelo exceder uma aula em relação do limite diário de apenas uma disciplina s em uma turma c , já é suficiente para que haja uma oscilação de 100 unidades no custo total, enquanto o aumento de uma aula para apenas um professor t acarreta na oscilação de dez unidades tão somente.

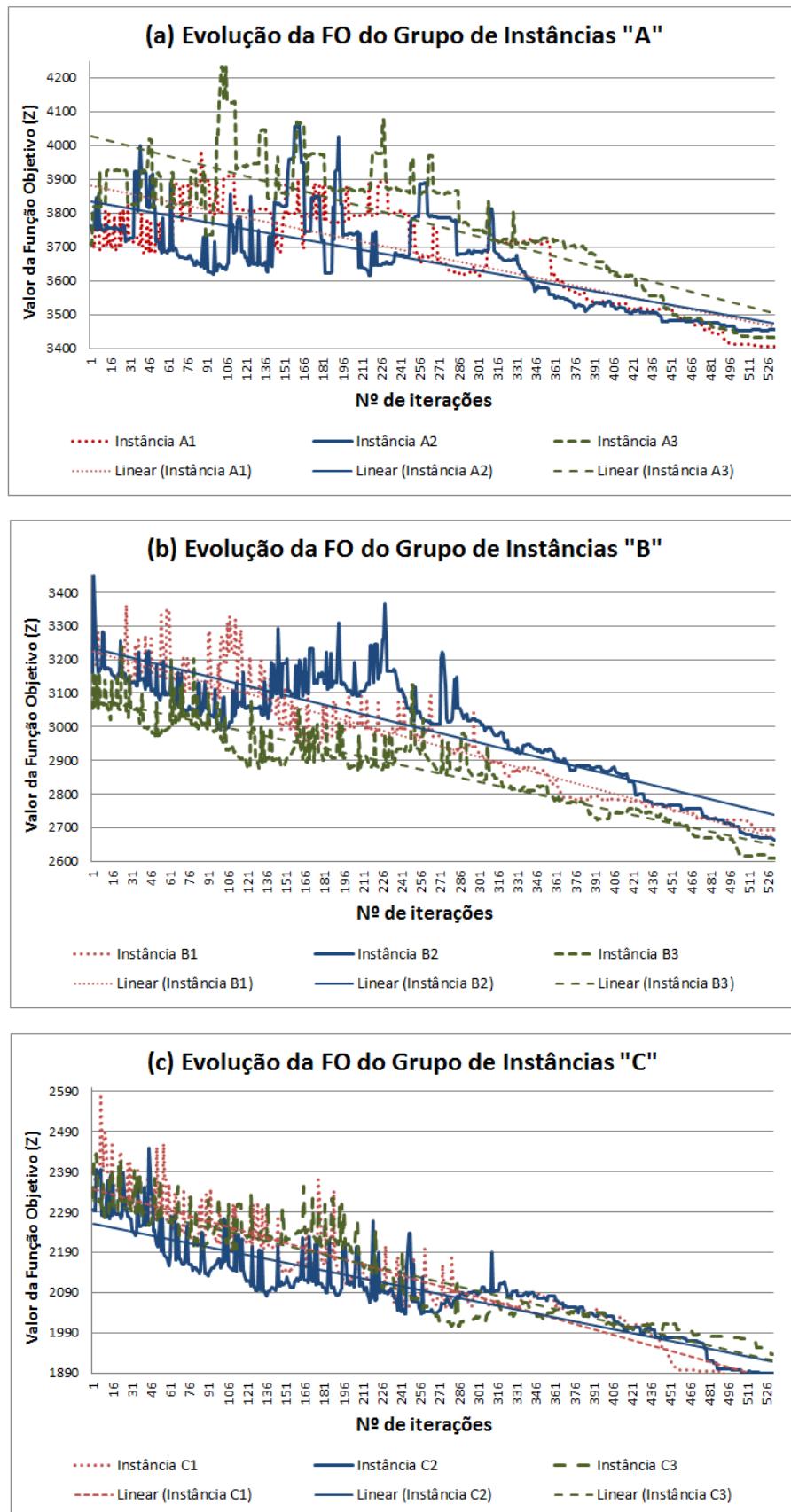


Figura 34 - Gráfico "Função de avaliação" vs "Nº de iterações" da fase de melhoramento
Fonte: dados da pesquisa

6. VALIDAÇÃO DO MODELO

Borenstein e Becker (2001) apontam que os conceitos de verificação, validação e valoração são confundidos com bastante frequência. Os autores afirmam que os três termos são distintos e intercambiáveis:

- Verificação é o processo de se refere ao desenvolvimento correto de um sistema de software;
- Validação é o processo responsável por definir se o comportamento do modelo representa o sistema do mundo real num problema específico;
- Valoração é processo de avaliar o valor total de um sistema de software.

Para os dois autores, a validação de um software é considerada uma etapa fundamental para tornar sistemas informatizados mais eficientes e científicos, além de ser uma missão difícil porque trata com a modelagem, análise e valoração do processo de tomada de decisões, sobretudo, considerando que o passado não é uma boa variável para prever o futuro. O objetivo da validação é, portanto, estabelecer o nível de credibilidade do sistema informatizado para suportar o processo de tomada de decisão. A validação envolve três dimensões:

- (1) validação conceitual, que assegura que o modelo conceitual seja pertinente à problemática que se deseja resolver;
- (2) verificação, que demonstra até que ponto um modelo é fiel à sua concepção e se é válido;
- (3) legitimidade, que assegura se o modelo, dentro do seu escopo, é satisfatório e tem precisão compatível com a aplicação satisfatória do modelo.

Desta forma, para validar o modelo proposto neste trabalho, tomou-se os dados de uma instituição de ensino de grande porte para processar o modelo proposto neste trabalho (chamada de “escola de validação”). Os resultados obtidos, comparados à grade horária que foi utilizada no ano letivo de 2011, permite aferir a validade do modelo.

6.1. Dados da escola de validação

A instituição de ensino que forneceu sua grade horária para este trabalho fica situada numa cidade de porte médio da região Sul do Brasil, e oferece cursos de ensino fundamental e médio. Devido à Lei N° 11.274/2006 (MEC, 2012), que instituiu o ensino fundamental de nove anos (EF9), a escola passou a oferecer esta modalidade a partir do ano de 2007. Deste modo, no ano de 2011, a escola ofereceu os cinco anos iniciais do ensino fundamental da modalidade de nove anos (EF9), as quatro últimas séries da modalidade de oito anos (EF8) e os três anos do ensino médio (EM), conforme apresentado no Quadro 17.

Cursos	Etapas	Turmas
Ensino fundamental (nove anos)	1º ano	21A, 21B, 21C, 21D
	2º ano	22A, 22B, 22C, 22D
	3º ano	23A, 23B, 23C
	4º ano	24A, 24B, 24C
	5º ano	25A, 25B
Ensino fundamental (oito anos)	5ª série	15A, 15B, 15C, 15D
	6ª série	16A, 16B, 16C, 16D
	7ª série	17A, 17B, 17C
	8ª série	18A, 18B, 18C, 18D
Ensino médio	1º ano	31A, 31B, 31C, 31D
	2º ano	32A, 32B, 32C, 32D, 32E
	3º ano	33A, 33B, 33C, 33D, 33E

Quadro 17 - Cursos, etapas e turmas oferecidas em 2011 pela escola de validação

Fonte: dados da pesquisa

As turmas do EF9 são ministradas no turno da tarde, exceto a turma 21D que é ministrada no turno da manhã. As turmas da 5ª e 6ª séries do EF8 são todas ministradas no turno da tarde, enquanto as turmas da 7ª e 8ª séries são ministradas do turno da manhã, conjuntamente com as turmas de todos os anos do EM. Cada turno é dividido em cinco períodos de aula, porém o EM tem a seguinte particularidade: os 1º e 2º anos têm um sexto período na quarta-feira, enquanto o 3º ano tem na segunda, na quarta e na sexta-feira.

A escola ainda conta com um total de 66 professores e 35 locais de aula, sendo 12 deles compartilhados. Para preservar a identidade dos professores e o sigilo da fonte, o nome dos professores foram substituídos pelos mesmos nomes utilizados nas nove instâncias empregadas no Capítulo 5. No Quadro 18 é apresentado um resumo que dá a dimensão dos

dados da escola de validação. Os dados completos dessa escola podem ser acessados em BORNIA POULSEN (2012d).

Dados da escola de validação	
Turmas	45
Professores	62
Locais de aula	34
Aulas	1.149
Variáveis	12.967

Quadro 18 - Resumo dos dados da escola de validação
Fonte: dados da pesquisa

6.2. Grade horária da escola de validação

A grade horária da escola de validação, utilizada no ano letivo de 2011, foi construída manualmente, por uma equipe de três pessoas. Uma das pessoas foi responsável pela construção em si e as outras duas ficaram incumbidas de negociar as disponibilidades com os professores. Este trabalho demandou exaustivas horas de trabalho e foi finalizado após três semanas do seu início. As grades horárias completas de cada turma e de cada professor constam nos Anexo H e Anexo I, respectivamente.

6.3. Execução do modelo e análise dos resultados

Antes de processar o modelo para gerar uma nova grade horária, calculou-se a função de avaliação Z (O1) da grade horária da escola de validação produzida manualmente para o ano letivo de 2011. Para fins de cálculo da função de avaliação, utilizaram-se os valores de penalidades expressos no Quadro 19.

Há diferença de valores em relação aos valores utilizados nas nove instâncias de simulação. Primeiramente, os valores de α (P15) e β (P16) estão zerados, pois nesta escola os professores já são definidos nas disciplinas de cada turma. Segundo informações da escola, o atributo mais importante é o número de vezes que o professor deve comparecer à escola. Portanto, o modelo deve diminuir ao máximo o valor de D (O4), razão pela qual o parâmetro δ (P17) tem o valor mais alto – exceção feita a φ (P20), que originalmente era uma restrição *hard*.

$\alpha = 0$	(preferência da disciplina por um professor)
$\beta = 0$	(preferência do professor por uma disciplina)
$\delta = 10$	(número de dias em que professores vão à IE)
$\rho = 5$	(número de janelas de professores)
$\sigma = 1$	(número de N-uplas não atendidas)
$\varphi = 100$	(número de aulas que excedem ao limite máximo diário)

Quadro 19 - Valores das penalidades para cálculo da função de avaliação da validação
Fonte: dados da pesquisa

A segunda maior preocupação de quem constrói a grade horária é diminuir ao máximo as janelas de professores (ver Seção 1.1). Por essa razão, o parâmetro ρ (P18) equivale à metade da penalidade do parâmetro δ (P17). E, finalmente, o atendimento às solicitações de N-uplas também é um ponto a considerar, porém não se deve hesitar em abrir mão deste quesito em detrimenos dos outros. Por essa razão, o parâmetro σ (P19) vale 1/5 do custo imposto pelo parâmetro ρ (P18).

O Quadro 20 exibe os valores de cada componente resultante do cálculo da função de avaliação Z (O1), bem como seu valor total. Com base nesses números, o modelo será comparado a fim de validá-lo.

$Z = 2.994$	(valor da função de avaliação)
$D = 246$	(número de dias em que professores vão à IE)
$W = 43$	(número de janelas de professores)
$U = 219$	(número de N-uplas não atendidas)
$N = 0$	(número de aulas que excedem ao limite máximo diário)

Quadro 20 - Valores da função de avaliação da grade horária da escola de validação
Fonte: dados da pesquisa

Em posse dos dados da escola de validação (BORNIA POULSEN, 2012d), executou-se o modelo, a partir do processamento do algoritmo global, que compreende as fases de construção e melhoramento. Nesta última fase, o algoritmo da meta-heurística *simulated annealing* foi executado com os parâmetros apresentados no Quadro 21:

NroIte = 10	(nº de iterações na temperatura T)
α = 0,95	(taxa de resfriamento)
T_0 = 10.000	(temperatura inicial)

Quadro 21 - Parâmetros empregados no *simulated annealing* executado nos dados de validação

Fonte: dados da pesquisa

O Quadro 22 exibe o comparativo entre a grade horária da escola de validação e as grades horárias resultantes da execução completa do modelo:

	D	W	U	N	Z
Escola de validação	246	43	219	0	2.894
Modelo					
Fase de construção	243	130	288	0	3.368
Fase de melhoramento	244	42	209	0	2.859

D : somatório de dias de professores presentes na IE

W : somatório de janelas de todos os professores

U : somatório de todas N-uplas não atendidas

N : somatório de todos as aulas que excedem o limite máximo diário da disciplina na turma

Z : valor da função objetivo = 10.D + 5.W + U + 100.N

Quadro 22 - Comparativo entre os resultados das grades horárias da escola de validação e do modelo

Fonte: dados da pesquisa

O modelo resultou numa grade horária de melhor qualidade em comparação à utilizada na escola no ano de 2011. Em relação ao número de dias em que os professores devem comparecer à escola, restrição *soft S3* e fator D (O4), e ao número de janelas, restrição *soft S4* e fator W (O5), o modelo reduziu em apenas uma unidade se comparado à grade horária da escola de validação. Porém, a redução foi mais significativa, observando-se sob o ponto de vista do não atendimento às N-uplas – restrição *soft S5* e fator U (O6) – pois o modelo atendeu 10 solicitações de N-uplas a mais em relação à grade horária da escola de validação.

Enquanto a fase de construção foi processada em 42,5 minutos, a fase de melhoramento necessitou de 6h22min. Comparada à fase de simulação, em que nove instâncias de dados hipotéticos foram processadas (ver Seção 5.4), nitidamente o tempo de execução foi muito superior. Isso se deve aos parâmetros de entrada do algoritmo *simulated annealing*, que, nesta fase, recebeu uma taxa de resfriamento de 0,95 e uma temperatura inicial de 10.000. Os valores foram majorados, pois os dados de validação apresentam condições de restrições muito mais severas. Isso pode ser verificado ao comparar os dados do grupo de instâncias “A” empregado na fase de simulação com os da escola de validação. Os dados da escola de validação possuem um número maior de turmas (45 contra 42) e de aulas a

alocar (1.145 contra 1.035). Porém, em contrapartida, possui menos professores (62 contra 70) e apenas 31% das variáveis (12.967 contra 42.263). Isso demonstra claramente que as disponibilidades dos professores, fundamentalmente, são muito menores, o que demanda um maior esforço computacional de qualquer tipo de algoritmo que se proponha a encontrar uma solução de qualidade.

A partir da temperatura inicial (10.000) e da taxa de resfriamento (0,95) propostas, a evolução da temperatura do algoritmo *simulated annealing* permite um total de 1.800 iterações. O comportamento da temperatura ao longo das iterações é apresentado na Figura 35:

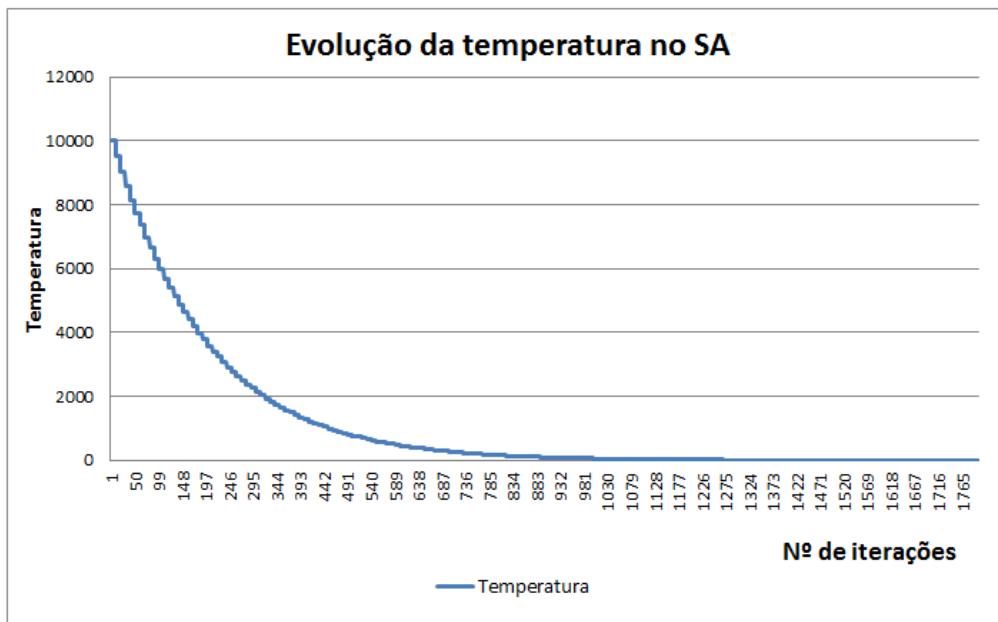


Figura 35 - Evolução da temperatura no *simulated annealing*
Fonte: dados da pesquisa

Durante as 1.800 iterações, a função de avaliação é perturbada pelo algoritmo do *simulated annealing* (SA). Conforme visto nas Seções 3.3 e 5.4, à medida que o algoritmo obtém custos mais baixos (menores valores na função de avaliação), tais valores são assumidos como o valor corrente. No entanto, se o custo for mais alto, o valor é assumido de acordo com a probabilidade calculada a partir da distribuição de Boltzman (ver Seção 3.3). Ao final do processo, a solução resultante é aquela que apresentou o valor mais baixo ao longo de todo processo iterativo.

A Figura 36 apresenta a evolução da função de avaliação durante o processamento de todo o algoritmo do SA:

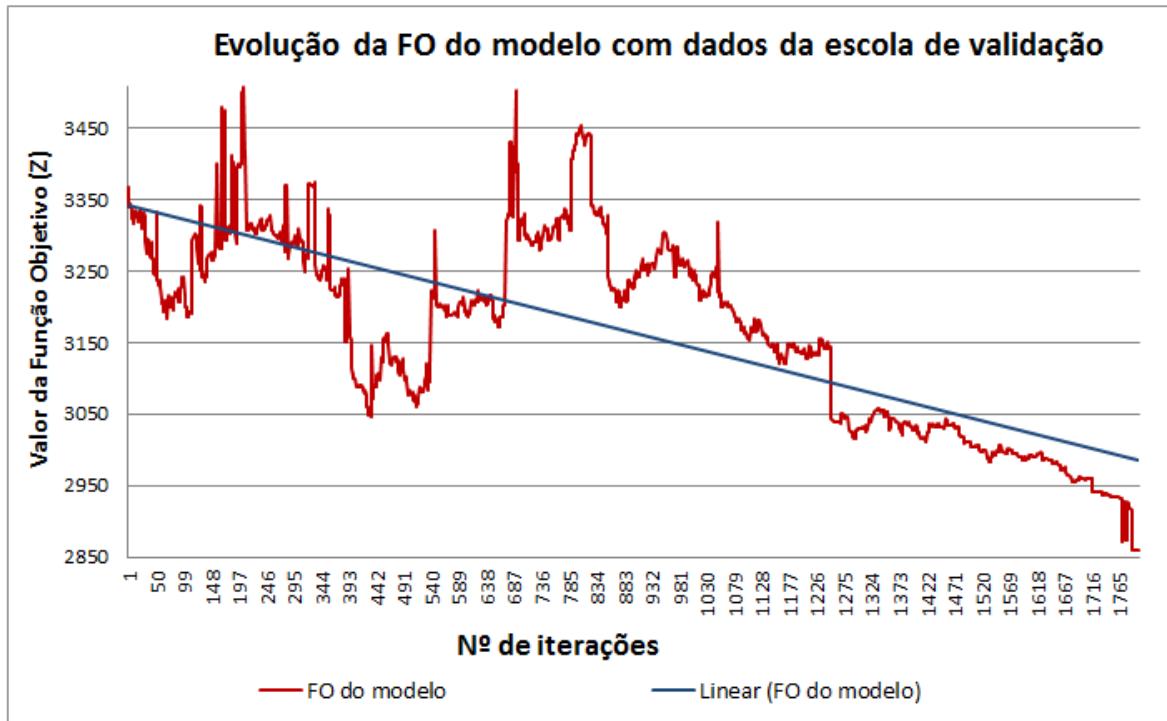


Figura 36 - Evolução da função de avaliação do modelo com dados da escola de validação
Fonte: dados da pesquisa

Um aspecto interessante, que mereceu bastante atenção nesta fase da pesquisa, foi a necessidade de revisar as técnicas empregadas de *swap*. Originalmente, o movimento de *swap* utilizado nos algoritmos era única e exclusivamente da modalidade intraturma (ver Seção 1.1). Apesar desse tipo de *swap* ter apresentado bons resultados na fase de simulação (ver Seção 5.4), ao ser processado com dados da escola de validação, os resultados foram pífios. O modelo durante centenas de laços do algoritmo *simulated annealing* sequer apresentava variações no valor da função de avaliação Z (O1).

Depurando o algoritmo, pôde-se perceber que isso ocorria por conta do elevado grau de compacidade dos dados da escola da validação. Os dados obtidos da escola, na verdade, apresentam os dias em que cada professor foi designado para lecionar no ano letivo de 2011 conforme a sua disponibilidade. Na prática, seguramente isso não ocorreu. Exemplificando, um determinado professor deve ter oferecido três dias da semana para lecionar, e na grade horária final pode ter ficado com apenas dois dias. O fato é que esse terceiro dia que não foi utilizado não está à disposição desta pesquisa. Desta forma, os dados disponíveis dão muito menos possibilidades de operações de *swaps* do tipo intraturma, já que neste tipo de movimento é necessário contar com horários livres por parte dos professores.

A solução inicialmente adotada foi o desenvolvimento de um novo movimento de *swap*: o interturmas (ver Seção 1.1). Este tipo de movimento pressupõe a troca entre aulas de

professores de horários que estão ocupados. Logo, a ideia consiste em alternar, de forma randômica, os dois tipos de *swaps*.

Após inúmeros processamentos, apesar do algoritmo do *simulated annealing* apresentar diminuição no custo, isto é, no valor da função de avaliação Z (O1), em relação aos valores obtidos na fase de construção, ainda assim, o modelo não conseguia atingir valores ao menos comparáveis com o custo da grade horária da escola de validação. Para tanto, a estratégia adotada tratou de expandir os dois tipos de *swaps*.

Primeiramente, expandiu-se o *swap* intraturma. O *swap* intraturma, concebido originalmente, alterna duas aulas entre dois professores, numa mesma turma. Porém, o horário de destino de cada professor, que está ocupado pelo outro, deve estar liberado para ele mesmo. A expansão proposta dispensa a necessidade de haver uma compatibilidade direta entre dois professores. A Figura 37 ilustra o *swap* intraturma expandido, que propõe movimento de troca entre n professores dentro de uma mesma turma. O professor da disciplina “ART” deve ter disponibilidade no 5º período de aula da segunda-feira, enquanto o professor que está alocado nesse horário, que ministra a disciplina “EF”, deve estar disponível no 5º período da quarta-feira. E assim sucessivamente, até que um professor ocupe a primeira aula desalocada, que no caso do exemplo é o que ministra a disciplina “ART” no 1º período de aula da terça-feira.

Grade horária original						Grade horária após swap expandido						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	LP	ART	QUI	HIS	BIO	1	LP	ING	QUI	HIS	BIO
	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO	2	LP	MAT	QUI	HIS	BIO
	3	FIS	MAT	LP	MAT	ING	3	FIS	MAT	LP	MAT	GEO
	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP	4	FIS	ESP	GEO	MAT	LP
	5	EF	FIL	GEO	EF	SOC	5	ART	FIL	EF	EF	SOC

Figura 37 - Swap intraturma expandido
Fonte: elaborada pelo autor

De forma equivalente, tratou-se de expandir o *swap* interturmas também. Na concepção original, este tipo de movimento alterna um par de aulas ministradas por dois professores em duas turmas diferentes (ver Seção 1.1). A expansão proposta permite que o movimento seja feito entre três professores em duas turmas diferentes, como ilustrado na Figura 38.

Antes do swap

Grade horária do Prof. JOÃO					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
Manhã	1	33A	31B	33A	31A
	2	33B	31C	33B	31B
	3	33C	31C	31A	33B
	4	31A	33C	31C	33A
	5	31B			33C

Grade horária do Prof. CARLOS						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	32A	33B		32A	33A
	2	32B	33A		32A	33C
	3	32C	33C		32B	33C
	4	33B			32B	33B
	5	33A			32C	32C

Grade horária da Profº JOANA						
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	31A			31B	31B
	2	31A			31C	33A
	3	31B			31C	33A
	4	33C			33C	
	5	33B			33B	

(a) grade horária do Prof. JOÃO antes do swap (b) grade horária do prof. CARLOS antes do swap (c) grade horária da profº JOANA antes do swap

Depois do swap

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
Manhã	1	33B	31B	33A	31A
	2	33B	31C	33B	31B
	3	33C	31C	31A	33A
	4	31A	33C	31C	33A
	5	31B			33C

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	32A	33A		32A	33A
	2	32B	33A		32A	33C
	3	32C	33C		32B	33C
	4	33B			32B	33B
	5	33B			32C	32C

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Manhã	1	31A			31B	31B
	2	31A			31C	33A
	3	31B			31C	33B
	4	33C			33C	
	5	33A			33B	

(d) grade horária do prof. JOÃO depois do swap (e) grade horária do prof. CARLOS depois do swap (f) grade horária da profº JOANA depois do swap

Figura 38 - Swap interturmas expandido
Fonte: elaborada pelo autor

As duas estratégias adotadas permitiram ao modelo realizar um maior número de movimentos, oferecendo um maior grau de perturbação da função de avaliação Z (O1) pelo algoritmo do *simulated annealing*. Deste modo, o modelo proposto conseguiu um maior grau de liberdade para procurar uma solução de custo reduzido e obteve resultados compatíveis, sob o ponto de vista da função de avaliação, com o da grade horária utilizada no ano letivo de 2011 pela escola da validação.

O Quadro 23 ilustra de que forma o procedimento de *swap* foi implementado no algoritmo do *simulated annealing* (ver linha [5] do algoritmo apresentado no Quadro 10).

```

procedimento Swap
1   i := valor inteiro randômico entre 1 e 10
2   Executar swap intraturma expandido
3   se (i < 6) então
4       Executar swap interturmas
5   senão
6       Executar swap interturmas expandido
7   fim-se
8   fim-procedimento

```

Quadro 23 - Procedimento de swap realizado no algoritmo do simulated annealing
Fonte: elaborado pelo autor

Esta alteração resultou no reprocessamento das nove instâncias de simulação. Portanto, os dados apresentados no Quadro 16 e discutidos ao longo da Seção 5.3 foram obtidos a partir do processamento do modelo considerando o novo procedimento de *swap*. Os

novos resultados se apresentaram entre 10% e 20% melhores (isto é, menos custosos) do que os anteriores.

Considerando, portanto, os resultados obtidos nesta fase, acredita-se que o modelo está devidamente validado, pois atingiu um custo menor se comparado à grade horária empregada pela escola em 2011, que foi resultado de três semanas de trabalho árduo e que foi considerada de excelente qualidade pela própria instituição. As grades horárias resultantes do processamento completo do modelo aos dados fornecidos pela escola de validação constam, respectivamente, nos Anexo J e Anexo K .

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *school timetabling problema* (STP), dado a quantidade de variáveis e restrições, é um problema extremamente complexo, conforme visto na Seção 2.3. Sua natureza combinatória impede que possa ser resolvido através de programação linear inteira, salvo instâncias muito pequenas. Deste modo, o STP necessita de uma abordagem heurística, o que é plenamente atendido pela modelagem apresentada neste trabalho.

Esta pesquisa propôs o desenvolvimento do problema a partir da abordagem de Gans (1981), que formulou o STP englobando seis conjuntos de dados diferentes: turmas (T), disciplinas (S), professores (T), locais de aula (R), dias de semana (D) e períodos de aula (H). No entanto, o autor afirma em seu artigo não ser possível atender todas as restrições. Os trabalhos pesquisados que se sucederam (ver Seção 2.4) lidam com no máximo cinco conjuntos. A maioria dos estudos abstrai o conjunto local de aula (R), pressupondo que cada turma c está associada a um local de aula r . Outro artifício presente na maioria desses trabalho é a supressão do conjunto disciplina (S), já que tais modelos simplesmente consideraram que cada disciplina s de uma determinada turma c tem um professor t associado. Desta forma, em vez de o modelo considerar que a disciplina de matemática necessita de quatro aulas na turma 15C, considera-se que o professor Marcelo, que supostamente é o professor de matemática dessa turma, necessita de tais aulas. Contudo, um número considerável de trabalhos analisados considerou esses dois artifícios combinados (supressão do local de aula e da disciplina), simplificando ainda mais seus respectivos modelos. Isso tudo contribuiu ainda mais para elevar o grau de dificuldade de resolução da abordagem deste trabalho, que não propôs qualquer tipo de artifício de supressão de conjunto de dados. Por essa razão, a prioridade deste trabalho ficou centrada na obtenção de uma solução que atendesse a todas as restrições, colocando o tempo de execução num segundo plano. Isso não quer dizer que o tempo de execução foi ignorado, porém o objetivo em relação a este item ficou limitado a certo número de horas (menor do que dez), que, se comparado ao processo manual, é muito mais eficiente.

O modelo proposto é passível de ser aplicado tanto em instituições de ensino (IE) públicas quanto privadas, porém ele é potencialmente aplicável nas privadas. A composição da função de avaliação, que procura reduzir o número de janelas e o número de dias em que cada professor necessita ir à escola, é típica de instituições particulares. No entanto, a preocupação em atender ao máximo às solicitações de N-uplas e de não ultrapassar o limite

diário de aulas de uma disciplina numa turma atendem aos dois tipos de IE sem qualquer objeção.

No modelo desenvolvido neste trabalho, foi possível incorporar recomendações de vários autores pesquisados (ver Seção 2.4). Uma recomendação – dada de forma implícita – que viabilizou um melhor desempenho do algoritmo do *simulated annealing* foi a de transformar uma determinada restrição do tipo *hard* em *soft*. Desta forma, o modelo “afrouxou” uma restrição que não aceita qualquer tipo de violação, adotando uma restrição que aceita minimamente alguma violação para que o modelo permitisse mais movimentos de perturbação da solução, justamente com o propósito de encontrar uma combinação que atenda melhor à função de avaliação (isto é, que tenha menor custo).

Ao final da fase de validação, que submeteu o modelo a dados reais de uma instituição de ensino de grande porte – portanto, com uma enorme quantidade de variáveis e restrições – pôde-se constatar que as grades horárias geradas foram de qualidade similar àquele gerada pela escola, que nitidamente é de ótima qualidade. Acredita-se, portanto, haver atingido os objetivos propostos neste trabalho.

7.1. Contribuições

Apesar do enquadramento do STP como um problema *NP-Complete* ou, na melhor das hipóteses, um *NP-Hard*, o modelo mostrou-se viável em termos práticos, mesmo considerando o elevadíssimo número de variáveis, restrições e um grande número de conjuntos de dados (seis). Sob esse aspecto, este trabalho busca contribuir para os estudos do STP ao apresentar um modelo que considera todos os conjuntos possíveis, à medida que a maioria dos trabalhos analisados utiliza um ou dois conjuntos a menos. No entanto, nada impede que o usuário do modelo promova simplificações, como unir os conjuntos professores e disciplinas ou turmas e locais de aula.

O modelo proposto ainda mostra-se bastante flexível ao permitir que o seu usuário – uma instituição de ensino qualquer – possa determinar as penalidades de cada aspecto indesejado (restrições do tipo *soft*). O modelo ainda atende plenamente restrições de ordem pedagógica, organizacional e pessoal, conforme explanado na Seção 4.1.

7.2. Limitações da pesquisa

Mesmo o modelo sendo capaz de construir grades horárias de boa qualidade, seria desejável que o seu desempenho fosse melhor (tempo de execução). O autor escolheu desenvolver na plataforma do *Borland® Delphi 7* e do *Microsoft® SQL Server 2008* em virtude da sua familiaridade com tais ambiente, porém, sob o ponto de vista teórico, o modelo apresentaria melhores desempenhos se fosse programado numa linguagem de mais baixo nível, como o *C* e as suas variantes (*C++* e *C#*). Como os dados foram sempre tratados em nível de banco de dados (armazenados fisicamente a cada operação), talvez houvesse um melhor desempenho se fossem tratados por meio de alocação dinâmica de variáveis.

O modelo ainda apresenta limitação para instituições de ensino (IE) que priorizam a distribuição uniforme de horários por parte dos professores (escolas públicas podem ter interesse nesse tipo de distribuição). O modelo tende, justamente, a procurar o contrário, à medida que dispõe de uma penalidade na função de avaliação que pune o número excessivo de dias que cada professor deve comparecer à IE. A rigor, ao zerar essa penalidade, o modelo ignora essa requisição, porém, mesmo assim, não procura a distribuição uniforme.

7.3. Sugestão de trabalhos futuros

Seguindo na linha das limitações da pesquisa, mencionadas na seção anterior, trabalhos futuros poderiam centrar-se na supressão desses aspectos limitantes. O uso de uma linguagem que permita trabalhar com alocação dinâmica de variáveis (*C*, *C++* ou *C#*) provavelmente permitiria o modelo ter desempenho muito melhore do que apresentado neste trabalho.

A adição de uma parcela à função de avaliação, que penalize uma má distribuição de horários de cada professor, permitiria ao modelo atender instituições de ensino que privilegiasssem este critério. Com isso, o modelo apresentaria duas restrições conflitantes, porém, o usuário do modelo poderia ignorar a restrição indesejada simplesmente zerar a sua penalidade.

Muitos dos trabalhos analisados tomaram como base estudos anteriores e aplicaram variações da técnica original ou até técnicas diferentes. Neste mesmo sentido, futuros estudos poderiam, ainda, confrontar outras técnicas de solução com a empregada neste trabalho. Tais técnicas poderiam estar no campo das meta-heurísticas, como *tabu search*, *genetic algorithm*

ou GRASP, ou, ainda, utilizar técnicas de inteligência artificial, como *neural networks*, por exemplo.

Finalmente, julga-se ser possível estender os estudos de pesquisa a problemas de *timetabling* semelhantes, como, por exemplo, o *university timetabling problem* (UTP).

8. REFERÊNCIAS

- ABRAMSON, D. Constructing school timetables using simulated annealing: sequential and parallel algorithms. **Management Science**, v.37, p.98-113, 1991.
- ALVAREZ-VALDES, R.; CRESPO, E.; TAMARIT, J. M. Design and implementation of a course scheduling system using tabu search. **Journal of the Operational Research Society**, v.137, p.512-523, 2002.
- ALVAREZ-VALDES, R.; MARTIN, G.; TAMARIT, J. M. Constructing good solutions for the spanish school timetabling problem. **Journal of the Operational Research Society**, v.47, p.1203-1215, 1996.
- APPLEBY, J. S.; BLACK, D. v.; NEWMAN, E. A. Techniques for producing school timetabling on a computer and their application to other scheduling problems. **The Computer Journal**, v.3, p.237-245, 1960.
- ARENALES, Marcos Nereu; ARMENTANO, Vinícius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- AVELLA, Pasquale; D'AURIA, Bernardo; SALERNO, Saverio; VASIL'EV, Igor. A computational study of local search algorithms for Italian high-school timetabling. **Journal of Heuristics**, v.13, p.543-556, 2007.
- BARDADYM, V. A. Computer-Aided school and university timetabling: the new wave. Practice and theory of automated timetabling. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). **Lectures Notes in Computer Science**, n.1408. Berlin: Springer-Verlag, 1996, p.22-45.
- BARTAK, R. On modeling planning and scheduling problems with time and resources. IN: **Proceedings of the twentieth workshop of the UK planning and scheduling special interest group (Plansig 2002)**. Edinburgh (UK): Old College, University of Edinburgh, p.87-98, 2002.
- BARTAK, R.; RUDOVA, H. Integrated modeling for planning, scheduling, and timetabling problems. IN: **Proceedings of the twentieth workshop of the UK planning and scheduling special interest group (Plansig 2001)**. Edinburgh (UK): Old College, University of Edinburgh, p.19-31, 2001.
- BELINGIANNIS, Grigoris N.; MOSCHOPoulos, Charalampos N.; KAPERONIS, Georgios P.; LIKOTHANASSIS, Spiridon D. Applying evolutionary computation to the school timetabling problem: the greek case. **Computer & Operations Research**, v.35, p.1265-1280, 2008.
- BELIGIANNIS, Grigoris N.; MOSCHOPoulos, Charalampos N.; LIKOTHANASSIS, Spiridon D. A genetic algorithm approach to school timetabling. **Journal of Operational Research Society**, v.60, p.23-42, 2009.
- BIRBAS, T.; DASKALAKI, S.; HOUSOS, E. Timetabling for greek high schools. **Journal of Operational Research Society**, v.48, p.1191-1200, 1997.

BIRBAS, T.; DASKALAKI, S.; HOUSOS, E. School timetabling for quality student and teacher schedules. **Journal of Scheduling**, v.12, p.177-197, 2008.

BORENSTEIN, Denis; BECKER, João Luiz. Validating Decision Support Systems. In: James Williams; Allen Kent. (Org.). **Encyclopedia of microcomputers**. New York: Marcel Dekker, 2001, v.26, p.323-341.

BORNIA POULSEN, Camilo José. **Dados da instância A – escola de grande porte**. Disponível em: <http://www.4shared.com/zip/xcih5M5D/timetabling_borniapoulsen_2012.html>. Acesso em: 17 jan. 2012.

BORNIA POULSEN, Camilo José. **Dados da instância B – escola de médio porte**. Disponível em: http://www.4shared.com/zip/uHMSE-cx/timetabling_borniapoulsen_2012.html. Acesso em: 17 jan. 2012.

BORNIA POULSEN, Camilo José. **Dados da instância C – escola de pequeno porte**. Disponível em: <http://www.4shared.com/zip/903GUcaB/timetabling_borniapoulsen_2012.html> . Acesso em: 17 jan. 2012.

BORNIA POULSEN, Camilo José. **Dados da escola de validação**. Disponível em: <http://www.4shared.com/zip/fGmY2xeT/timetabling_borniapoulsen_2012.html>. Acesso em: 03 fev. 2012.

BURKE, Edmund K.; PETROVIC, Sanja. Recent research directions in automated timetabling. **European Journal of Operational Research**, v.140, p.266-280, 2002.

BURKE, Edmund K.; PETROVIC, Sanja; QU, Rong. Case-based heuristic selection for timetabling problems. **Journal of Scheduling**, v.9, p.115-132, 2006.

CARRASCO, M.P.; PATO, M.V. A comparison of discrete and continuous neural network approaches to solve the class/teacher timetabling problem. **European Journal or Operational Research**, v.153, p.65-79, 2004.

CARTER, Michel W; LAPORTE, Gilbert. Recent developments in practical course timetabling. Practice and theory of automated timetabling. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). **Lectures Notes in Computer Science**, n.1408. Berlin: Springer-Verlag, 1996, p.3-19.

CHAND, A. A heuristic approach to constraint optimization in timetabling. **South Pacific Journal of Natural Science**, v.20, p.64-67, 2002.

COLIN, Emerson Carlos. **Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

COLORNI, Alberto; DORIGO, Marco; MANIEZZO, Vittorio. Metaheuristics for high school timetabling. **Computation Optimization and Applications**, v.9, p.275-298. 1998.

COOPER, T; KINGSTON, J. The solution of real instances of the timetabling problems. **The Computer Journal**, v.36, p.645-653, 1993.

CORMEN, Thomas H.; LEISERSON, Charles E.; RIVEST, Ronald L.; STEIN, Clifford. **Introduction to Algorithms, 3rd edition.** The MIT Press, 2009.

DE WERRA, D. **Construction of school timetables by flow methods.** Working paper. Waterloo Univ.(Ontario). Dept. of Management Sciences, WP-14, 1970.

DE WERRA, D. The combinatorics of timetabling. **European Journal of Operational Research**, v.96, p.504-513, 1997.

ELMOHAMED, M.A.S.; CODDINGTON, P.; FOX, G.A comparison of annealing techniques for academic course scheduling. **Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 1996)**, p.92-114, 1997.

ENZHE, Y.; SUNG, K. A genetic algorithm for a university weekly courses timetabling problem. **International Transactions in Operational Research**, v.9, p.703-717, 2002.

EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A. On the complexity of time table and multi-commodity flow problems. In: **Proceeding SFCS'75 Proceedings of the 16th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, IEEE Computer Society**, p.184-193, 1975.

FRANGOULI, H.; HARMANDAS, V.; STAMAPOULOS, P. UTSE: Construction of optimum timetabling for university courses: a CLP based approach. In: **Proceedings of the Third International Conference on the Practical Applications of PROLOG**, p.225-243, 1995.

FUX, Jacques. **Análise de Algoritmos SAT para Resolução de Problemas Multivalorados.** 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação, UFMG. Belo Horizonte, MG, 2004.

GANS, O. B. A computer timetabling system for secondary schools in the Netherlands. **European Journal of Operational Research**, v.7, n.1, p.175-182, 1981.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOTLIEB, Calvin. The construction of class-teacher timetabling. **Proceeding of the IFIP Congress**, p.73-77, 1962.

JACOBSEN, F.; BORTFELDT A.; GEHRING H. Timetabling at German Secondary Schools: Tabu Search versus Constraint Programming. **Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2006)**, p.439-442, 2007.

LAWRIE, N. L. An integer linear programming model of a school timetabling problem. **The Computer Journal**, v.12, n.4, p.307-316, 1969.

MARTE, Michael. Towards constraint-based school timetabling. **Annals of Operations Research**, v.155, n.1, p.207-225, 2007.

MEC. **Lei Nº 11.274, de 6 de fevereiro de 2006.** Disponível em : http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11274.htm#art3. Acesso em: 22 jan. 2012.

METAHEURISTICS. **Metaheuristics network web site.** Disponível em: <<http://www.metaheuristics.net>>. Acesso em: 28 dez. 2011.

MOURA, Arnaldo; SCARAFICCI, Rafael; SILVEIRA, Rafael; SANTOS, Volnei dos. Técnicas meta-heurísticas aplicadas à construção de grades horárias escolares. **XXXVI SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa**, v.1, p.1-20, São João Del Rey, MG, Brasil, 2004.

MULLER, T.; BARTAK, R. Interactive timetabling: concepts, techniques, and practical results. **Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2002)**, p.34-52, 2003.

SANTOS, Haroldo G; OCHI, Luiz S; SOUZA, Marcone J.F. An efficient tabu search heuristic for school timetabling problem. In **Proceedings of WEA**, 2004, p.468-481.

SANTOS, Haroldo; SOUZA, Marcone J.F. Programação de horários em instituições educacionais: formulações e algoritmos. **XXXIX SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, v.1, p.2827-2882, Fortaleza, CE, Brasil, 2007.

SCHAERF, Andrea. A survey of automated timetabling. **Artificial Intelligence Review**. v.6, p.87-127, 1999a.

SCHAERF, Andrea. Local search techniques for large high school timetabling problems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v.29, p.368-377, 1999b.

SINPRO-RS. **Convenção coletiva de trabalho 2011/2011 – SINPRO/RS e SINDEPARS/RS.** Disponível em: <<http://www.sinprors.org.br/convocoessindepars.asp>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

SMITH, Kate A.; ABRAMSON, David; DUKE, David. Hopfield neural network for timetabling: formulations, methods, and comparative results. **Computer & Industrial Engineering**, v.44, p.283-305, 2003.

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

TURING, Alan M. On computable numbers, with an application to the entscheidungproblem. **Preceeding of the London Mathematical Society**, v.42, 1936.

VALOUXIS, Christos; HOUSOS, Efthymios. Constraint programming approach for school timetabling. **Computer & Operations Research**, v.30, p.1555-1572, 2003.

WRIGHT, Mike. School timetabling using heuristic search. **Journal of the Operational Research Society**, v.47, p.347-357, 1996.

ZHANG, Defu; LIU, Yongkai; H'HALLAH, Rym; LEUNG, Stephen. A simulated annealing with a new neighborhood structure based algorithm for a high school timetabling problems. **European Journal of Operational Research**, v.203, p.550-558, 2010.

Anexo A – Formulação do modelo didático em programação linear inteira

Para fins de demonstração e para que não fique demasiadamente extenso, a formulação apresentada neste anexo é um modelo didático que considera apenas as turmas 27A e 27B da instância A (BORNIA POULSEN, 2012a). Adicionalmente, para cada grupo de restrições, apresentou-se a primeiras e últimas formulações, suprimindo-se as intermediárias. Devido ao excessivo número de parâmetros contemplados pela variável de decisão M , cada variável foi recodificada com uma numeração sequencial. A tabela que relaciona a nova recodificação com os parâmetros de turma (c), disciplina (s), professor (t), local de aula (r), dia da semana (d) e período de aula (h) é apresentada ao final da formulação em PLI a seguir.

/ SUJEITO A */*

```
/* Restrição Cla */
```

/ CH da disciplina ART(s=56) da turma 27A (c=25) */*

C1a001:

/ CH da disciplina CIE(s=57) da turma 27A (c=25) */*

c1a002:

• • •

•

• • •

/* CH da disciplina LP($s=64$) da turma 27B ($c=26$) */
C1a019:

Clad9:
M239+M23

INT

M001, M002, M003, M004, M005, M006, M007, M008, M009, M010, M011, M012, M013, M014, M015, M016, M017, M018, M019, M020, M021, M022, M023, M024, M025, M026, M027, M028, M029, M030, M031, M032, M033, M034, M035, M036, M037, M038, M039, M040, M041, M042, M043, M044, M045, M046, M047, M048, M049, M050, M051, M052, M053, M054, M055, M056, M057, M058, M059, M060, M061, M062, M063, M064, M065, M066, M067, M068, M069, M070, M071, M072, M073, M074, M075, M076, M077, M078, M079, M080, M081, M082, M083, M084, M085, M086, M087, M088, M089, M090, M091, M092, M093, M094, M095, M096, M097, M098, M099, M100, M101, M102, M103, M104, M105, M106, M107, M108, M109, M110, M111, M112, M113, M114, M115, M116, M117, M118, M119, M120, M121, M122, M123, M124, M125, M126, M127, M128, M129, M130, M131, M132, M133, M134, M135, M136, M137, M138, M139, M140, M141, M142, M143, M144, M145, M146, M147, M148, M149, M150, M151, M152, M153, M154, M155, M156, M157, M158, M159, M160, M161, M162, M163, M164, M165, M166, M167, M168, M169, M170, M171, M172, M173, M174, M175, M176, M177, M178, M179, M180, M181, M182, M183, M184, M185, M186, M187, M188, M189, M190, M191, M192, M193, M194, M195, M196, M197, M198, M199, M200, M201, M202, M203, M204, M205, M206, M207, M208, M209, M210, M211, M212, M213, M214, M215, M216, M217, M218, M219, M220, M221, M222, M223, M224, M225, M226, M227, M228, M229, M230, M231, M232, M233, M234, M235, M236, M237, M238, M239, M240, M241, M242, M243, M244, M245, M246, M247, M248, M249, M250, M251, M252, M253, M254, M255, M256, M257, M258, M259, M260, M261, M262, M263, M264, M265, M266, M267, M268, M269, M270, M271, M272, M273, M274, M275, M276, M277, M278, M279, M280, M281, M282, M283, M284, M285, M286, M287, M289, M290, M291, M292, M293, M294, M295, M296, M297, M298, M299, M300, M301, M302, M303, M304, M305, M306, M307, M308, M309, M310, M311, M312, M313, M314, M315, M316, M317, M318, M319, M320, M321, M322, M323, M324, M325, M326, M327, M328, M329, M330, M331, M332, M333, M334, M335, M336, M337, M338, M339, M340, M341, M342, M343, M344, M345, M346, M347, M348, M349, M350, M351, M352, M353, M354, M355, M356, M357, M358, M359, M360, M361, M362, M363, M364, M365, M366, M367, M368, M369, M370, M371, M372, M373, M374, M375, M376, M377, M378, M379, M380, M381, M382, M383, M384, M385, M386, M387, M388, M389, M390, M391, M392, M393, M394, M395, M396, M397, M398, M399, M400, M401, M402, M403, M404, M405, M406, M407, M408, M409, M410, M411, M412, M413, M414, M415, M416, M417, M418, M419, M420, M421, M422, M423, M424, M425, M426, M427, M428, M429, M430, M431, M432, M433, M434, M435, M436, M437, M438, M439, M440, M441, M442, M443, M444, M445, M446, M447, M448, M449, M450, M451, M452, M453, M454, M455, M456, M457, M458, M459, M460, M461, M462, M463, M464, M465, M466, M467, M468, M469, M470;

/ Nova codificação das variáveis de decisão */*

M000 = M(c,s,t,r,d,h)	M079 = M(25, 59, 42, 5, 2, 3)	M158 = M(25, 61, 37, 5, 4, 1)
M001 = M(25, 58, 3, 17, 1, 1)	M080 = M(25, 60, 43, 5, 2, 3)	M159 = M(25, 63, 40, 5, 4, 1)
M002 = M(25, 57, 8, 5, 1, 1)	M081 = M(25, 56, 49, 5, 2, 3)	M160 = M(25, 60, 43, 5, 4, 1)
M003 = M(25, 57, 8, 15, 1, 1)	M082 = M(25, 58, 3, 17, 2, 4)	M161 = M(25, 58, 3, 17, 4, 2)
M004 = M(25, 64, 12, 5, 1, 1)	M083 = M(25, 57, 8, 5, 2, 4)	M162 = M(25, 57, 8, 5, 4, 2)
M005 = M(25, 65, 28, 5, 1, 1)	M084 = M(25, 57, 8, 15, 2, 4)	M163 = M(25, 57, 8, 15, 4, 2)
M006 = M(25, 62, 36, 5, 1, 1)	M085 = M(25, 64, 12, 5, 2, 4)	M164 = M(25, 64, 12, 5, 4, 2)
M007 = M(25, 59, 42, 5, 1, 1)	M086 = M(25, 65, 28, 5, 2, 4)	M165 = M(25, 65, 28, 5, 4, 2)
M008 = M(25, 60, 43, 5, 1, 1)	M087 = M(25, 65, 31, 5, 2, 4)	M166 = M(25, 65, 31, 5, 4, 2)
M009 = M(25, 56, 49, 5, 1, 1)	M088 = M(25, 62, 36, 5, 2, 4)	M167 = M(25, 62, 36, 5, 4, 2)
M010 = M(25, 58, 3, 17, 1, 2)	M089 = M(25, 61, 37, 5, 2, 4)	M168 = M(25, 61, 37, 5, 4, 2)
M011 = M(25, 57, 8, 5, 1, 2)	M090 = M(25, 63, 40, 5, 2, 4)	M169 = M(25, 63, 40, 5, 4, 2)
M012 = M(25, 57, 8, 15, 1, 2)	M091 = M(25, 59, 42, 5, 2, 4)	M170 = M(25, 60, 43, 5, 4, 2)
M013 = M(25, 64, 12, 5, 1, 2)	M092 = M(25, 60, 43, 5, 2, 4)	M171 = M(25, 58, 3, 17, 4, 3)
M014 = M(25, 65, 28, 5, 1, 2)	M093 = M(25, 56, 49, 5, 2, 4)	M172 = M(25, 57, 8, 5, 4, 3)
M015 = M(25, 62, 36, 5, 1, 2)	M094 = M(25, 58, 3, 17, 2, 5)	M173 = M(25, 57, 8, 15, 4, 3)
M016 = M(25, 59, 42, 5, 1, 2)	M095 = M(25, 57, 8, 5, 2, 5)	M174 = M(25, 64, 12, 5, 4, 3)
M017 = M(25, 60, 43, 5, 1, 2)	M096 = M(25, 57, 8, 15, 2, 5)	M175 = M(25, 65, 28, 5, 4, 3)
M018 = M(25, 56, 49, 5, 1, 2)	M097 = M(25, 64, 12, 5, 2, 5)	M176 = M(25, 65, 31, 5, 4, 3)
M019 = M(25, 58, 3, 17, 1, 3)	M098 = M(25, 65, 28, 5, 2, 5)	M177 = M(25, 62, 36, 5, 4, 3)
M020 = M(25, 57, 8, 5, 1, 3)	M099 = M(25, 65, 31, 5, 2, 5)	M178 = M(25, 61, 37, 5, 4, 3)
M021 = M(25, 57, 8, 15, 1, 3)	M100 = M(25, 62, 36, 5, 2, 5)	M179 = M(25, 63, 40, 5, 4, 3)
M022 = M(25, 64, 12, 5, 1, 3)	M101 = M(25, 61, 37, 5, 2, 5)	M180 = M(25, 60, 43, 5, 4, 3)
M023 = M(25, 65, 28, 5, 1, 3)	M102 = M(25, 63, 40, 5, 2, 5)	M181 = M(25, 58, 3, 17, 4, 4)
M024 = M(25, 62, 36, 5, 1, 3)	M103 = M(25, 59, 42, 5, 2, 5)	M182 = M(25, 57, 8, 5, 4, 4)
M025 = M(25, 59, 42, 5, 1, 3)	M104 = M(25, 60, 43, 5, 2, 5)	M183 = M(25, 57, 8, 15, 4, 4)
M026 = M(25, 60, 43, 5, 1, 3)	M105 = M(25, 56, 49, 5, 2, 5)	M184 = M(25, 64, 12, 5, 4, 4)
M027 = M(25, 56, 49, 5, 1, 3)	M106 = M(25, 58, 3, 17, 3, 1)	M185 = M(25, 65, 28, 5, 4, 4)
M028 = M(25, 58, 3, 17, 1, 4)	M107 = M(25, 57, 8, 5, 3, 1)	M186 = M(25, 65, 31, 5, 4, 4)
M029 = M(25, 57, 8, 15, 1, 4)	M108 = M(25, 57, 8, 15, 3, 1)	M187 = M(25, 62, 36, 5, 4, 4)
M030 = M(25, 55, 57, 18, 1, 4)	M109 = M(25, 64, 12, 5, 3, 1)	M188 = M(25, 61, 37, 5, 4, 4)
M031 = M(25, 64, 12, 5, 1, 4)	M110 = M(25, 65, 28, 5, 3, 1)	M189 = M(25, 63, 40, 5, 4, 4)
M032 = M(25, 65, 28, 5, 1, 4)	M111 = M(25, 62, 36, 5, 3, 1)	M190 = M(25, 60, 43, 5, 4, 4)
M033 = M(25, 62, 36, 5, 1, 4)	M112 = M(25, 63, 40, 5, 3, 1)	M191 = M(25, 58, 3, 17, 4, 5)
M034 = M(25, 59, 42, 5, 1, 4)	M113 = M(25, 59, 42, 5, 3, 1)	M192 = M(25, 57, 8, 5, 4, 5)
M035 = M(25, 60, 43, 5, 1, 4)	M114 = M(25, 56, 49, 5, 3, 1)	M193 = M(25, 57, 8, 15, 4, 5)
M036 = M(25, 56, 49, 5, 1, 4)	M115 = M(25, 58, 3, 17, 3, 2)	M194 = M(25, 64, 12, 5, 4, 5)
M037 = M(25, 58, 3, 17, 1, 5)	M116 = M(25, 57, 8, 5, 3, 2)	M195 = M(25, 65, 28, 5, 4, 5)
M038 = M(25, 57, 8, 5, 1, 5)	M117 = M(25, 57, 8, 15, 3, 2)	M196 = M(25, 65, 31, 5, 4, 5)
M039 = M(25, 57, 8, 15, 1, 5)	M118 = M(25, 64, 12, 5, 3, 2)	M197 = M(25, 62, 36, 5, 4, 5)
M040 = M(25, 64, 12, 5, 1, 5)	M119 = M(25, 65, 28, 5, 3, 2)	M198 = M(25, 61, 37, 5, 4, 5)
M041 = M(25, 65, 28, 5, 1, 5)	M120 = M(25, 62, 36, 5, 3, 2)	M199 = M(25, 63, 40, 5, 4, 5)
M042 = M(25, 62, 36, 5, 1, 5)	M121 = M(25, 63, 40, 5, 3, 2)	M200 = M(25, 60, 43, 5, 4, 5)
M043 = M(25, 59, 42, 5, 1, 5)	M122 = M(25, 59, 42, 5, 3, 2)	M201 = M(25, 64, 12, 5, 5, 1)
M044 = M(25, 60, 43, 5, 1, 5)	M123 = M(25, 56, 49, 5, 3, 2)	M202 = M(25, 65, 28, 5, 5, 1)
M045 = M(25, 56, 49, 5, 1, 5)	M124 = M(25, 58, 3, 17, 3, 3)	M203 = M(25, 62, 36, 5, 5, 1)
M046 = M(25, 58, 3, 17, 2, 1)	M125 = M(25, 57, 8, 5, 3, 3)	M204 = M(25, 61, 37, 5, 5, 1)
M047 = M(25, 57, 8, 15, 2, 1)	M126 = M(25, 57, 8, 15, 3, 3)	M205 = M(25, 63, 40, 5, 5, 1)
M048 = M(25, 57, 8, 15, 2, 1)	M127 = M(25, 64, 12, 5, 3, 3)	M206 = M(25, 60, 43, 5, 5, 1)
M049 = M(25, 64, 12, 5, 2, 1)	M128 = M(25, 65, 28, 5, 3, 3)	M207 = M(25, 56, 49, 5, 5, 1)
M050 = M(25, 65, 28, 5, 2, 1)	M129 = M(25, 62, 36, 5, 3, 3)	M208 = M(25, 64, 12, 5, 5, 2)
M051 = M(25, 65, 31, 5, 2, 1)	M130 = M(25, 63, 40, 5, 3, 3)	M209 = M(25, 65, 28, 5, 5, 2)
M052 = M(25, 62, 36, 5, 2, 1)	M131 = M(25, 59, 42, 5, 3, 3)	M210 = M(25, 62, 36, 5, 5, 2)
M053 = M(25, 61, 37, 5, 2, 1)	M132 = M(25, 56, 49, 5, 3, 3)	M211 = M(25, 61, 37, 5, 5, 2)
M054 = M(25, 63, 40, 5, 2, 1)	M133 = M(25, 58, 3, 17, 3, 4)	M212 = M(25, 63, 40, 5, 5, 2)
M055 = M(25, 59, 42, 5, 2, 1)	M134 = M(25, 57, 8, 5, 3, 4)	M213 = M(25, 60, 43, 5, 5, 2)
M056 = M(25, 60, 43, 5, 2, 1)	M135 = M(25, 57, 8, 15, 3, 4)	M214 = M(25, 56, 49, 5, 5, 2)
M057 = M(25, 56, 49, 5, 2, 1)	M136 = M(25, 64, 12, 5, 3, 4)	M215 = M(25, 64, 12, 5, 5, 3)
M058 = M(25, 58, 3, 17, 2, 2)	M137 = M(25, 65, 28, 5, 3, 4)	M216 = M(25, 65, 28, 5, 5, 3)
M059 = M(25, 57, 8, 5, 2, 2)	M138 = M(25, 62, 36, 5, 3, 4)	M217 = M(25, 62, 36, 5, 5, 3)
M060 = M(25, 57, 8, 15, 2, 2)	M139 = M(25, 63, 40, 5, 3, 4)	M218 = M(25, 61, 37, 5, 5, 3)
M061 = M(25, 64, 12, 5, 2, 2)	M140 = M(25, 59, 42, 5, 3, 4)	M219 = M(25, 63, 40, 5, 5, 3)
M062 = M(25, 65, 28, 5, 2, 2)	M141 = M(25, 56, 49, 5, 3, 4)	M220 = M(25, 60, 43, 5, 5, 3)
M063 = M(25, 65, 31, 5, 2, 2)	M142 = M(25, 58, 3, 17, 3, 5)	M221 = M(25, 56, 49, 5, 5, 3)
M064 = M(25, 62, 36, 5, 2, 2)	M143 = M(25, 57, 8, 5, 3, 5)	M222 = M(25, 64, 12, 5, 5, 4)
M065 = M(25, 61, 37, 5, 2, 2)	M144 = M(25, 57, 8, 15, 3, 5)	M223 = M(25, 65, 28, 5, 5, 4)
M066 = M(25, 63, 40, 5, 2, 2)	M145 = M(25, 64, 12, 5, 3, 5)	M224 = M(25, 62, 36, 5, 5, 4)
M067 = M(25, 59, 42, 5, 2, 2)	M146 = M(25, 65, 28, 5, 3, 5)	M225 = M(25, 61, 37, 5, 5, 4)
M068 = M(25, 60, 43, 5, 2, 2)	M147 = M(25, 62, 36, 5, 3, 5)	M226 = M(25, 63, 40, 5, 5, 4)
M069 = M(25, 56, 49, 5, 2, 2)	M148 = M(25, 63, 40, 5, 3, 5)	M227 = M(25, 60, 43, 5, 5, 4)
M070 = M(25, 58, 3, 17, 2, 3)	M149 = M(25, 59, 42, 5, 3, 5)	M228 = M(25, 56, 49, 5, 5, 4)
M071 = M(25, 57, 8, 5, 2, 3)	M150 = M(25, 56, 49, 5, 3, 5)	M229 = M(25, 64, 12, 5, 5, 5)
M072 = M(25, 57, 8, 15, 2, 3)	M151 = M(25, 58, 3, 17, 4, 1)	M230 = M(25, 65, 28, 5, 5, 5)
M073 = M(25, 64, 12, 5, 2, 3)	M152 = M(25, 57, 8, 15, 4, 1)	M231 = M(25, 62, 36, 5, 5, 5)
M074 = M(25, 65, 28, 5, 2, 3)	M153 = M(25, 57, 8, 15, 4, 1)	M232 = M(25, 61, 37, 5, 5, 5)
M075 = M(25, 65, 31, 5, 2, 3)	M154 = M(25, 64, 12, 5, 4, 1)	M233 = M(25, 63, 40, 5, 5, 5)
M076 = M(25, 62, 36, 5, 2, 3)	M155 = M(25, 65, 28, 5, 4, 1)	M234 = M(25, 60, 43, 5, 5, 5)
M077 = M(25, 61, 37, 5, 2, 3)	M156 = M(25, 65, 31, 5, 4, 1)	M235 = M(25, 56, 49, 5, 5, 5)
M078 = M(25, 63, 40, 5, 2, 3)	M157 = M(25, 62, 36, 5, 4, 1)	M236 = M(26, 58, 3, 17, 1, 1)

M237 = M(26,57,8,6,1,1)
 M238 = M(26,57,8,15,1,1)
 M239 = M(26,64,12,6,1,1)
 M240 = M(26,65,28,6,1,1)
 M241 = M(26,62,36,6,1,1)
 M242 = M(26,59,42,6,1,1)
 M243 = M(26,60,43,6,1,1)
 M244 = M(26,56,49,6,1,1)
 M245 = M(26,58,3,17,1,2)
 M246 = M(26,57,8,6,1,2)
 M247 = M(26,57,8,15,1,2)
 M248 = M(26,64,12,6,1,2)
 M249 = M(26,65,28,6,1,2)
 M250 = M(26,62,36,6,1,2)
 M251 = M(26,59,42,6,1,2)
 M252 = M(26,60,43,6,1,2)
 M253 = M(26,56,49,6,1,2)
 M254 = M(26,58,3,17,1,3)
 M255 = M(26,57,8,15,1,3)
 M256 = M(26,57,8,15,1,3)
 M257 = M(26,64,12,6,1,3)
 M258 = M(26,65,28,6,1,3)
 M259 = M(26,62,36,6,1,3)
 M260 = M(26,59,42,6,1,3)
 M261 = M(26,60,43,6,1,3)
 M262 = M(26,56,49,6,1,3)
 M263 = M(26,58,3,17,1,4)
 M264 = M(26,57,8,6,1,4)
 M265 = M(26,57,8,15,1,4)
 M266 = M(26,64,12,6,1,4)
 M267 = M(26,65,28,6,1,4)
 M268 = M(26,62,36,6,1,4)
 M269 = M(26,59,42,6,1,4)
 M270 = M(26,60,43,6,1,4)
 M271 = M(26,56,49,6,1,4)
 M272 = M(26,58,3,17,1,5)
 M273 = M(26,57,8,6,1,5)
 M274 = M(26,57,8,15,1,5)
 M275 = M(26,64,12,6,1,5)
 M276 = M(26,65,28,6,1,5)
 M277 = M(26,62,36,6,1,5)
 M278 = M(26,59,42,6,1,5)
 M279 = M(26,60,43,6,1,5)
 M280 = M(26,56,49,6,1,5)
 M281 = M(26,58,3,17,2,1)
 M282 = M(26,57,8,6,2,1)
 M283 = M(26,57,8,15,2,1)
 M284 = M(26,64,12,6,2,1)
 M285 = M(26,65,28,6,2,1)
 M286 = M(26,65,31,6,2,1)
 M287 = M(26,62,36,6,2,1)
 M288 = M(26,61,37,6,2,1)
 M289 = M(26,63,40,6,2,1)
 M290 = M(26,59,42,6,2,1)
 M291 = M(26,60,43,6,2,1)
 M292 = M(26,56,49,6,2,1)
 M293 = M(26,58,3,17,2,2)
 M294 = M(26,57,8,6,2,2)
 M295 = M(26,57,8,15,2,2)
 M296 = M(26,64,12,6,2,2)
 M297 = M(26,65,28,6,2,2)
 M298 = M(26,65,31,6,2,2)
 M299 = M(26,62,36,6,2,2)
 M300 = M(26,61,37,6,2,2)
 M301 = M(26,63,40,6,2,2)
 M302 = M(26,59,42,6,2,2)
 M303 = M(26,60,43,6,2,2)
 M304 = M(26,56,49,6,2,2)
 M305 = M(26,58,3,17,2,3)
 M306 = M(26,57,8,6,2,3)
 M307 = M(26,57,8,15,2,3)
 M308 = M(26,64,12,6,2,3)
 M309 = M(26,65,28,6,2,3)
 M310 = M(26,65,31,6,2,3)
 M311 = M(26,62,36,6,2,3)
 M312 = M(26,61,37,6,2,3)
 M313 = M(26,63,40,6,2,3)
 M314 = M(26,59,42,6,2,3)

M315 = M(26,60,43,6,2,3)
 M316 = M(26,56,49,6,2,3)
 M317 = M(26,58,3,17,2,4)
 M318 = M(26,57,8,6,2,4)
 M319 = M(26,57,8,15,2,4)
 M320 = M(26,64,12,6,2,4)
 M321 = M(26,65,28,6,2,4)
 M322 = M(26,65,31,6,2,4)
 M323 = M(26,62,36,6,2,4)
 M324 = M(26,61,37,6,2,4)
 M325 = M(26,63,40,6,2,4)
 M326 = M(26,59,42,6,2,4)
 M327 = M(26,60,43,6,2,4)
 M328 = M(26,56,49,6,2,4)
 M329 = M(26,58,3,17,2,5)
 M330 = M(26,57,8,6,2,5)
 M331 = M(26,57,8,15,2,5)
 M332 = M(26,64,12,6,2,5)
 M333 = M(26,65,28,6,2,5)
 M334 = M(26,65,31,6,2,5)
 M335 = M(26,62,36,6,2,5)
 M336 = M(26,61,37,6,2,5)
 M337 = M(26,63,40,6,2,5)
 M338 = M(26,59,42,6,2,5)
 M339 = M(26,60,43,6,2,5)
 M340 = M(26,56,49,6,2,5)
 M341 = M(26,58,3,17,3,1)
 M342 = M(26,57,8,6,3,1)
 M343 = M(26,57,8,15,3,1)
 M344 = M(26,64,12,6,3,1)
 M345 = M(26,65,28,6,3,1)
 M346 = M(26,62,36,6,3,1)
 M347 = M(26,63,40,6,3,1)
 M348 = M(26,59,42,6,3,1)
 M349 = M(26,56,49,6,3,1)
 M350 = M(26,58,3,17,3,2)
 M351 = M(26,57,8,6,3,2)
 M352 = M(26,57,8,15,3,2)
 M353 = M(26,64,12,6,3,2)
 M354 = M(26,65,28,6,3,2)
 M355 = M(26,62,36,6,3,2)
 M356 = M(26,63,40,6,3,2)
 M357 = M(26,59,42,6,3,2)
 M358 = M(26,56,49,6,3,2)
 M359 = M(26,58,3,17,3,3)
 M360 = M(26,57,8,6,3,3)
 M361 = M(26,57,8,15,3,3)
 M362 = M(26,64,12,6,3,3)
 M363 = M(26,65,28,6,3,3)
 M364 = M(26,62,36,6,3,3)
 M365 = M(26,63,40,6,3,3)
 M366 = M(26,59,42,6,3,3)
 M367 = M(26,56,49,6,3,3)
 M368 = M(26,58,3,17,3,4)
 M369 = M(26,57,8,6,3,4)
 M370 = M(26,57,8,15,3,4)
 M371 = M(26,64,12,6,3,4)
 M372 = M(26,65,28,6,3,4)
 M373 = M(26,62,36,6,3,4)
 M374 = M(26,63,40,6,3,4)
 M375 = M(26,59,42,6,3,4)
 M376 = M(26,56,49,6,3,4)
 M377 = M(26,58,3,17,3,5)
 M378 = M(26,57,8,6,3,5)
 M379 = M(26,57,8,15,3,5)
 M380 = M(26,64,12,6,3,5)
 M381 = M(26,65,28,6,3,5)
 M382 = M(26,62,36,6,3,5)
 M383 = M(26,63,40,6,3,5)
 M384 = M(26,59,42,6,3,5)
 M385 = M(26,56,49,6,3,5)
 M386 = M(26,58,3,17,4,1)
 M387 = M(26,57,8,6,4,1)
 M388 = M(26,57,8,15,4,1)
 M389 = M(26,64,12,6,4,1)
 M390 = M(26,65,28,6,4,1)
 M391 = M(26,65,31,6,4,1)
 M392 = M(26,62,36,6,4,1)

Anexo B – Grades horárias das turmas geradas pela fase de construção da instância A1

Turma: M1A (c=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M5	GLO	GLO	EF	GLO	GLO

Turma: M1B (c=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T5	GLO	EF	GLO	GLO	GLO

Turma: M2A (c=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M5	EF	GLO	ING	GLO	GLO

Turma: M2B (c=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	ING	GLO	EF	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO

Turma: PA (c=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	ING	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	EF	GLO	GLO	GLO
T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO

Turma: PB (c=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	EF	GLO	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	ING
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO

Turma: 21A (c=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	EF	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T5	EF	ING	GLO	GLO	GLO

Turma: 21B (c=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	EF	ING	GLO	EF	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO

Turma: 21C (c=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T2	GLO	ING	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	EF	GLO	EF	GLO	GLO
T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO

Turma: 22A (c=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	CIE	CIE	HIS	HIS	LP
T2	LP	LP	MAT	GEO	ART
T3	MAT	EF	LP	MAT	LP
T4	MAT	ART	EF	CIE	LP
T5	LP	MAT	ING	GEO	MAT

Turma: 22B (c=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	LP	LP	LP	EF
T2	MAT	ING	GEO	LP	MAT
T3	HIS	LP	ART	ART	CIE
T4	LP	CIE	CIE	LP	MAT
T5	MAT	EF	MAT	HIS	GEO

Turma: 22C (c=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	MAT	MAT	MAT	CIE
T2	ART	HIS	HIS	MAT	LP
T3	LP	GEO	CIE	LP	MAT
T4	GEO	ING	MAT	EF	ART
T5	EF	LP	CIE	LP	LP

Turma: 23A (c=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	MAT	ART	MAT	HIS
T2	LP	CIE	LP	HIS	GEO
T3	ART	CIE	EF	LP	LP
T4	GEO	LP	CIE	LP	ING
T5	MAT	MAT	MAT	EF	MAT

Turma: 23B (c=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	ART	MAT	LP	GEO
T2	GEO	LP	MAT	CIE	HIS
T3	EF	ING	LP	EF	MAT
T4	LP	CIE	LP	MAT	MAT
T5	ART	LP	CIE	LP	HIS

Turma: 23C (c=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GEO	LP	LP	ART	MAT
T2	MAT	EF	EF	LP	LP
T3	MAT	ART	HIS	MAT	ING
T4	MAT	GEO	CIE	CIE	CIE
T5	LP	HIS	LP	MAT	LP

Turma: 24A (c=16)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	ART	MAT	LP	LP
T2	MAT	CIE	CIE	LP	LP
T3	LP	ING	GEO	LP	LP
T4	LP	EF	EF	MAT	LP
T5	CIE	LP	CIE	LP	LP

Turma: 24B (c=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	CIE	CIE	LP	EF	MAT
T2	LP	EF	ING	HIS	ART
T3	CIE	ART	HIS	GEO	MAT
T4	MAT	LP	LP	MAT	LP
T5	LP	LP	GEO	MAT	MAT

Turma: 24C (c=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	EF	ING	HIS	LP	GEO
T2	LP	HIS	MAT	MAT	MAT
T3	ART	CIE	MAT	LP	LP
T4	ART	LP	MAT	GEO	LP
T5	MAT	CIE	EF	LP	CIE

<table border="

Turma: 26A (c=22)						Turma: 26B (c=23)						Turma: 26C (c=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	HIS	HIS	MAT	GEO	MAT	M1	LP	GEO	LP	HIS	MAT	M1	MAT	EF	MAT	LP	LP
M2	LP	LP	CIE	EF	EF	M2	MAT	EF	ART	LP	LP	M2	CIE	ART	MAT	HIS	CIE
M3	ING	MAT	MAT	ART	ING	M3	ESP	MAT	MAT	MAT	EF	M3	MAT	LP	CIE	LP	GEO
M4	HIS	LP	CIE	LP	CIE	M4	ING	CIE	ING	HIS	LP	M4	LP	ART	MAT	ING	HIS
M5	LP	GEO	ESP	MAT	ART	M5	CIE	HIS	CIE	ART	GEO	M5	ING	GEO	ESP	HIS	EF

Turma: 27A (c=25)						Turma: 27B (c=26)						Turma: 27C (c=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GEO	LP	ART	LP	ESP	M1	CIE	GEO	HIS	MAT	ART	M1	HIS	CIE	ESP	MAT	LP
M2	HIS	EF	CIE	CIE	MAT	M2	LP	MAT	EF	MAT	GEO	M2	CIE	LP	ING	EF	GEO
M3	CIE	HIS	HIS	EF	MAT	M3	HIS	LP	ING	LP	LP	M3	LP	ING	EF	FIL	GEO
M4	LP	MAT	ING	MAT	ING	M4	EF	MAT	ESP	CIE	FIL	M4	MAT	CIE	ART	LP	HIS
M5	LP	LP	GEO	FIL	MAT	M5	HIS	MAT	LP	CIE	ING	M5	MAT	MAT	MAT	LP	HIS

Turma: 28A (c=28)						Turma: 28B (c=29)						Turma: 28C (c=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	LP	LP	MAT	ING	GEO	M1	CIE	LP	EF	MAT	HIS	M1	MAT	MAT	GEO	EF	CIE
M2	ING	MAT	HIS	LP	ART	M2	HIS	ESP	LP	GEO	LP	M2	CIE	CIE	MAT	ING	LP
M3	HIS	CIE	HIS	CIE	LP	M3	MAT	ING	ING	EF	FIL	M3	LP	ESP	MAT	HIS	HIS
M4	FIL	MAT	GEO	EF	EF	M4	MAT	HIS	LP	GEO	CIE	M4	ART	GEO	EF	MAT	LP
M5	MAT	MAT	ESP	CIE	LP	M5	ART	LP	MAT	MAT	CIE	M5	HIS	LP	FIL	LP	ING

Turma: 31A (c=31)						Turma: 31B (c=32)						Turma: 31C (c=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	HIS	EF	MAT	SOC	ESP	M1	FIS	HIS	BIO	EF	MAT	M1	BIO	BIO	QUI	LP	FIS
M2	FIL	BIO	BIO	QUI	LP	M2	ART	ING	MAT	QUI	MAT	M2	EF	FIS	QUI	GEO	SOC
M3	HIS	LP	FIS	MAT	QUI	M3	FIS	BIO	QUI	FIS	ESP	M3	LP	HIS	MAT	ING	ART
M4	FIS	GEO	ART	EF	FIS	M4	FIL	LP	BIO	SOC	LP	M4	HIS	EF	LP	QUI	MAT
M5	LP	ING	BIO	QUI	MAT	M5	GEO	EF	QUI	LP	HIS	M5	FIL	BIO	FIS	MAT	ESP

Turma: 32A (c=34)						Turma: 32B (c=35)						Turma: 32C (c=36)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	SOC	ESP	BIO	FIS	QUI	M1	GEO	FIS	QUI	GEO	EF	M1	EF	ING	MAT	HIS	LP
M2	QUI	MAT	EF	LP	QUI	M2	MAT	QUI	ING	FIL	FIS	M2	LP	GEO	MAT	BIO	MAT
M3	EF	LP	MAT	GEO	FIS	M3	FIS	MAT	LP	BIO	MAT	M3	BIO	EF	ESP	QUI	QUI
M4	FIS	LP	BIO	ING	FIL	M4	QUI	HIS	SOC	LP	LP	M4	MAT	FIS	FIL	FIS	QUI
M5	LP	MAT	GEO	MAT	HIS	M5	BIO	ESP	EF	LP	MAT	M5	FIS	SOC	LP	GEO	LP

Turma: 33A (c=37)						Turma: 33B (c=38)						Turma: 33C (c=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	EF	MAT	FIS	GEO	MAT	M1	QUI	LP	BIO	MAT	HIS	M1	SOC	FIS	ESP	QUI	LP
M2	LP	LP	QUI	LP	HIS	M2	QUI	GEO	HIS	ESP	SOC	M2	HIS	HIS	LP	GEO	BIO
M3	ESP	FIS	BIO	ING	FIS	M3	EF	MAT	LP	GEO	HIS	M3	QUI	EF	HIS	QUI	MAT
M4	QUI	HIS	HIS	BIO	MAT	M4	FIL	FIS	FIS	LP	BIO	M4	LP	MAT	BIO	FIS	GEO
M5	QUI	FIL	BIO	GEO	SOC	M5	FIS	BIO	MAT	QUI	ING	M5	FIL	MAT	ING	FIS	BIO

Turma: 41A (c=40)						Turma: 41B (c=41)						Turma: 41C (c=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
N1	BIO	LP	FIS	QUI	GEO	N1	LP	FIS	LP	ING	MAT	N1	MAT	GEO	MAT	ING	FIS
N2	HIS	HIS	LP	MAT	LP	N2	MAT	ING	QUI	FIS	HIS	N2	QUI	LP	BIO	LP	QUI
N3	LP	BIO	QUI	ING	ING	N3	BIO	LP	LP	GEO	MAT	N3	MAT	HIS	FIS	MAT	HIS
N4	MAT	FIS	MAT	MAT	GEO	N4	QUI	BIO	HIS	GEO	MAT	N4	BIO	LP	ING	GEO	LP

Anexo C – Grades horárias dos professores geradas pela fase de construção da instância A1

Prof: Álvaro (t=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B	33C	33A		31C
M2		31C			
M3	31B	33A	31A	31B	33A
M4	31A	33B	33B	33C	31A
M5	33B		31C	33C	
N1		41B	41A		41C
N2				41B	
N3			41C		
N4		41A			

Prof: Maurício (t=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28B	32B		32A	28C
M2	28C	28C			32B
M3	32B	28A		28A	32A
M4	32A	32C		32C	28B
M5	32C			28A	28B
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Ricardo (t=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33A	31A			31B
M2	31C	27A	27B	27C	
M3	33B	33C	27C	27A	
M4	27B	31C			31A
M5		31B	M1A		
T1	21B	25C	21A	21B	
T2	25A	23C	23C	25A	
T3	23B	25B	23A	23B	
T4	21C	PA	21C	25C	
T5	21A	M1B	25B	23A	

Prof: Cristiane (t=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32C	26C	28B	28C	32B
M2		26B	32A	26A	26A
M3	32A	32C		28B	26B
M4			28C	28A	28A
M5	M2A		32B		26C
T1	24C	PB		24B	22B
T2		24B			
T3		22A		M2B	
T4		24A	22A	22C	24A
T5	22C	22B	24C		

Prof: Alexandre (t=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31C	31C	31B		
M2		31A	31A		
M3		31B			
M4			31B		
M5		31C	31A		
N1	41A				
N2			41C		
N3	41B	41A			
N4	41C	41B			

Prof: Robismar (t=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			32A		
M2					32C
M3	32C				32B
M4				32A	
M5	32B				
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Fabiano (t=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2	26C		26A		26C
M3			26C		
M4		26B	26A		26A
M5	26B		26B		
T1	24B	24B			22C
T2		24A	24A		
T3	24B	24C	22C		22B
T4		22B	22B		
T5	24A	24C	22C		24C

Prof: Lucas (t=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27B	27C			
M2	27C		27A	27A	
M3	27A				
M4		27C		27B	
M5				27B	
T1	22A	22A	25A	25B	
T2	25B	23A		23B	
T3	25C	23A	25A	25C	
T4		23B	23A	22A	
T5	25B	25C	23B	25A	

Prof: Arthur (t=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33B		31C 33C
M2	33A	33A	33C	33A	31A
M3	31C	31A	33B		
M4	33C	31B	31C	33B	31B
M5	31A				31B
N1	41B	41A	41B		
N2		41C	41A	41C	41A
N3	41A	41B	41B		
N4		41C			41C

Prof: Vinícius (t=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		28B			32C
M2	32C		28B	32A	28B
M3		32A	32B		
M4		32A	28B	32B	32B
M5	32A	28B	32C	32B	32C
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Greice (t=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28A	28A		26C	26C
M2	26A	26A		28A	28C
M3	28C	26C		26C	28A
M4	26C	26A		26A	28C
M5	26A	28C		28C	28A
T1	24C				24A
T2				24A	24A
T3	24A	24C		24C	24C
T4	24A	24C			24C
T5		24A		24C	24A

Prof: Vanessa (t=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26B	27A	26B	27A	27C
M2	27B	27C	27B	26B	26B
M3	27C	27B			27B
M4	27A				27C 26B
M5	27A	27A			27C
T1	25B	25A	25B	25C	25C
T2		25A	25C	25B	
T3	25B		25C	25B	25A
T4	25A	25C	25A	25B	25B
T5	25C	25A	25C	25C	25A

Prof: Leandro (t=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	23A	23C	23C	23B	
T2	23A	23B	23A	23C	23C
T3			23B	23A	23A
T4	23B	23A	23B	23A	
T5	23C	23B	23C	23B	23C

Prof: Roberto (t=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33B			33C	
M2	33B		33A	31B	
M3	33C		31B	33C	
M4	33A				
M5	33A		31B	33B	
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: João (t=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			32B		32A
M2	32A	32B			32A
M3				32C	32C
M4	32B				32C
M5					
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Rafael (t=16)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			26A		26A
M2					
M3		26A	26A		
M4					
M5				26A	
T1	22B	22C	22C	22C	
T2	22B		22A	22C	22B
T3	22A			22A	22C
T4	22A		22C		22B
T5	22B	22A	22B		22A

Prof: Bárbara (t=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	22C	22B	22B	22B	22A
T2	22A	22A		22B	22C
T3	22C	22B	22A	22C	22A
T4	22B			22B	22A
T5	22A	22C		22C	22C

Prof: Flávia (t=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M2	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M3	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M4	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M5	M1A	M1A		M1A	M1A

Prof: Daniel (t=19)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33A	32C		33A
M2	32B	32A	32C		32C
M3		32B	32A		32B
M4	32C				33A
M5		32A		32A	32B
T1	23B	23A	23B	23A	23C
T2	23C		23B		
T3	23C			23C	23B
T4	23C			23B	23B
T5	23A	23A	23A	23C	23A

Prof: Diego (t=20)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	24A		24A	24A	24B
T2	24A		24C	24C	24C
T3			24C	24A	24B
T4	24B		24C	24B	
T5	24C		24A	24B	24B

Prof: William (t=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	25C	25B	25C	25A	
T2	25C		25B		25A
T3		25A	25B		25B
T4	25B	25A	25C		25C
T5	25A	25A	25C	25B	

Prof: Denise (t=22)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T2	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T3	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T4	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T5	M1B		M1B	M1B	M1B

Prof: Adriano (t=23)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			31A	33B	31B
M2			31B		31B
M3		33B	31C	31A	33C
M4		33C			31C
M5		33C	33B	31C	31A

Prof: Tamara (t=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M2	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M3	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M4	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M5		M2A		M2A	M2A

Prof: Karen (t=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T2	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T3	M2B		M2B		M2B
T4	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T5	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B

Prof. Tatiana [t=26]				
	SEG	TER	QUA	QUI
T1	PA	PA		PA
T2	PA	PA	PA	PA
T3	PA	PA	PA	PA
T4	PA		PA	PA
T5	PA	PA	PA	PA

Prof: Pablo (t=27)				
	SEG	TER	QUA	QUI
M1	28C	28C	28A	28B
M2		28A	28C	
M3	28B		28C	
M4	28B	28A		28C
M5	28A	28A	28B	28B

Prof: Ignacio (t=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26C		26C	27C	26B
M2	26B		26C		27A
M3	26C	26B	26B	26B	27A
M4	27C	27A	26C	27A	
M5	27C	27C	27C		27A

Prof: Alessandra (t=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	PB		PB	PB	PB
T2	PB	PB		PB	PB
T3	PB	PB	PB	PB	PB
T4	PB	PB	PB	PB	PB
T5	PB	PB	PB	PB	PB

Prof: Cristina (t=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	21A	21A		21A	21A
T2	21A	21A	21A	21A	21A
T3	21A	21A	21A	21A	21A
T4	21A	21A	21A	21A	21A
T5			21A	21A	21A

Prof: Moacir (t=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				27B	
M2		27B		27B	
M3					
M4		27B			
M5		27B			

Prof: Ivone (t=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1				21B	21B
T2	21B	21B	21B	21B	21B
T3	21B	21B	21B	21B	21B
T4	21B	21B	21B	21B	21B
T5	21B	21B	21B	21B	21B

Prof: Bruno (t=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31A	31B			33B
M2	33C	33C	33B		33A
M3	31A	31C	33C		33B
M4	31C	33A	33A		
M5					31B

Prof: Carla (t=34)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	21C	21C	21C	21C	21C
T2	21C		21C	21C	21C
T3	21C	21C	21C	21C	21C
T4		21C		21C	21C
T5	21C	21C	21C	21C	21C

Prof: Alice (t=35)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26A	26A		26B	28B
M2	29B		28A	26C	
M3	28A		28A	28C	28C
M4	26A	28B		26B	26C
M5	28C	26B		26C	32A
T1			22A	22A	
T2		22C	22C	24B	25B
T3	22B		24B		
T4	25C		24A	24A	
T5		25B		22B	25C

Prof: Salete (t=36)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27C		27B	32C	
M2	27A				
M3	27B	27A	27A		
M4		32B			27C
M5	27B				27C
T1			24C		23A
T2		24C	25A	23A	23B
T3			23C		
T4					25A
T5		23C			23B

Prof: Elias (t=37)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		27B		33A	
M2	33B		33C	27B	
M3			33B	26C	
M4	31A			33C	
M5	26C		33A		
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Lúcia (t=38)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		26B	28C	26A	28A
M2	32C			28B	27C
M3				32A	27C
M4	28C	28A	28B		
M5	26A	32A	32C	26B	
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Luciano (t=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		32C		28A	
M2	28A			32B	28C
M3	26A	28B	28B	33A	26A
M4	26B			26B	26C
M5	26C		M2A		28C
T1	24C				
T2	22B	24B			PB
T3	M2B				
T4	22C				
T5			22A		

Prof: Énio (t=40)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2	31B	27C			
M3	27C	27B	31C		
M4		27A	32A	27A	
M5	31A	33C		27B	
T1	21B	PA		25A	
T2	21C		25C		
T3	23B			23C	
T4	25B			23A	
T5	21A				

Prof: Raquel (t=41)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31A	
M2					
M3				31B	
M4					
M5		26C		31C	

Prof: Simone (t=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A		27C		
M2					
M3	26B			32C	
M4				27B	
M5	32B		26A		

Prof: Cássio (t=43)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31A	
M2				31C	
M3			27C		
M4	33B		31B	27B	
M5	33C	33A		27A	
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Marcos (t=44)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33C				
M2	31A			32B	33B
M3				28B	
M4	28A		32C		32A
M5	31C		28C		33A
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Vanderlei (t=45)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A				
M2					
M3					
M4	31B			32B	
M5					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Teresinha (t=46)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Isabel (t=49)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			27A	27B	
M2					
M3					
M4			27C		
M5					
T1		24A			
T2				24B	
T3	24C	24B			24A
T4	24C				
T5					

Prof: Renata (t=50)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Aline (t=51)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32B				32B
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	23C				23B
T2	23B	25C			22A 23A
T3	25A	25C			
T4	23A	23C	25B	25A	
T5				22A	25B

Prof: Samara (t=52)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27A				
M2				31C	
M3					
M4					
M5	31B		27A		
T1				24C	
T2			22B		
T3		22C	24A	24B	
T4	22C			24C	
T5			24B	24A	22B

Prof: Maria (t=53)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	25A				25B
T2		25B			25C
T3				25A	25C
T4					
T5					

Prof: Patrícia (t=54)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				33B	
M2					33C
M3				33A	
M4				33C	33A 33B
M5		33B	33A		33C
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Sandra (t=55)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1					
T2					
T3					
T4		23C	23C	23C	
T5					

Prof: Eliana (t=56)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Sabrina (t=57)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				33C	27A
M2			28B		33B
M3	33A	28C			
M4					
M5				28A	
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Jéssica (t=58)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1			24B		
T2	24B				
T3					
T4		24B	24B		24B
T5	24B	24B			

Prof: Adão (t=59)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Henrique (t=60)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					33B
T1					
T2					
T3				24A	
T4					
T5					

Prof: Marcelo (t=61)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
T1			24B		
T2	24B				
T3					
T4		24B	24B		24B
T5	24B	24B			

Prof: Cecília (t=62)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31C	
M2			31C	31A	
M3					31A
M4				31C	
M5				31A	
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Rita (t=63)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
N1					
N2					
N3					
N4					

Prof: Ellen (t=64)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Michele (t=65)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Caroline (t=66)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Amanda (t=67)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Eduardo (t=68)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Pedro (t=69)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Ana (t=70)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Anexo D – Grades horárias dos locais de aula geradas pela fase de construção da instância A1

Local: Sala 101 (r=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M2	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M3	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M4	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M5	M1A	M1A		M1A	M1A
T1	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T2	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T3	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T4	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T5	M1B		M1B	M1B	M1B

Local: Sala 102 (r=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M2	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M3	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M4	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M5		M2A	M2A	M2A	M2A
T1	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T2	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T3	M2B	M2B	M2B		M2B
T4	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T5	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B

Local: Sala 103 (r=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26A	26A	26A	26A	26A
M2	26A	26A	26A		
M3	26A	26A	26A	26A	26A
M4	26A	26A	26A	26A	26A
M5	26A	26A	26A	26A	26A
T1	PA	PA	PA	PA	PA
T2	PA	PA	PA	PA	PA
T3	PA	PA	PA	PA	PA
T4	PA		PA	PA	PA
T5	PA	PA	PA	PA	PA

Local: Sala 104 (r=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26B	26B	26B	26B	26B
M2	26B		26B	26B	26B
M3	26B	26B	26B	26B	
M4	26B	26B	26B	26B	26B
M5	26B	26B	26B	26B	26B
T1	PB		PB	PB	PB
T2	PB	PB	PB	PB	PB
T3	PB	PB	PB	PB	PB
T4	PB	PB	PB	PB	PB
T5		PB	PB	PB	PB

Local: Sala 105 (r=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27A	27A	27A	27A	27A
M2	27A		27A		27A
M3	27A	27A	27A		27A
M4	27A	27A	27A	27A	27A
M5	27A	27A	27A	27A	27A
T1	21A	21A		21A	21A
T2	21A	21A	21A	21A	21A
T3	21A	21A	21A	21A	21A
T4	21A		21A	21A	21A
T5		21A	21A	21A	21A

Local: Sala 106 (r=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27B	27B	27B	27B	27B
M2	27B			27B	27B
M3	27B	27B	27B	27B	27B
M4		27B	27B	27B	27B
M5	27B	27B	27B		27B
T1		21B	21B		21B
T2	21B	21B	21B		21B
T3	21B	21B	21B	21B	21B
T4	21B	21B	21B	21B	21B
T5	21B	21B	21B	21B	21B

Local: Sala 107 (r=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28A	28A	28A	28A	28A
M2	28A	28A	28A	28A	28A
M3	28A	28A	28A		28A
M4	28A	28A	28A		
M5	28A	28A	28A	28A	28A
T1	22A	22A	22A	22A	22A
T2	22A	22A	22A	22A	22A
T3	22A		22A	22A	22A
T4	22A	22A		22A	22A
T5	22A	22A	22A	22A	22A

Local: Sala 201 (r=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28B	28B		28B	28B
M2	28B	28B	28B	28B	28B
M3	28B	28B	28B		28B
M4	28B	28B	28B	28B	28B
M5	28B	28B	28B		28B
T1	22B	22B	22B		22B
T2	22B	22B	22B	22B	22B
T3	22B	22B	22B	22B	22B
T4	22B	22B	22B	22B	22B
T5	22B		22B	22B	22B

Local: Sala 202 (r=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31A			31A	31A
M2	31A	31A		31A	31A
M3	31A	31A	31A		31A
M4		31A	31A		31A
M5	31A	31A	31A	31A	31A
T1	23A	23A	23A	23A	23A
T2	23A	23A	23A	23A	23A
T3	23A	23A		23A	23A
T4	23A	23A	23A	23A	23A
T5	23A	23A	23A		23A

Local: Sala 203 (r=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B	31B			31B
M2	31B	31B	31B	31B	31B
M3		31B		31B	31B
M4	31B		31B	31B	31B
M5	31B		31B	31B	31B
T1	23B	23B	23B	23B	23B
T2	23B	23B	23B	23B	23B
T3		23B	23B		23B
T4	23B	23B	23B	23B	23B
T5	23B	23B	23B	23B	23B

Local: Sala 204 (r=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A	32A	32A	32A	32A
M2	32A	32A		32A	
M3			32A	32A	
M4	32A	32A		32A	32A
M5	32A	32A	32A	32A	32A
T1	24A	24A	24A	24A	24A
T2	24A	24A	24A	24A	24A
T3	24A	24A	24A	24A	24A
T4	24A		24A	24A	
T5	24A	24A	24A	24A	24A

Local: Sala 205 (r=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32B	32B	32B	32B	
M2	32B	32B	32B	32B	32B
M3		32B	32B	32B	32B
M4	32B	32B	32B		32B
M5	32B			32B	32B
T1	24B	24B	24B		24B
T2	24B		24B	24B	24B
T3	24B	24B	24B	24B	24B
T4	24B	24B	24B	24B	24B
T5	24B	24B	24B	24B	24B

Local: Sala 206 (r=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33A	33A	33A	33A
M2		33A	33A	33A	33A
M3	33A	33A	33A	33A	
M4		33A	33A		33A
M5	33A	33A	33A	33A	33A
T1	25A	25A	25A	25A	25A
T2		25A	25A		25A
T3	25A	25A	25A	25A	25A
T4	25A	25A	25A	25A	25A
T5	25A	25A	25A	25A	25A

Local: Sala 207 (r=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33B	33B	33B
M2	33B	33B	33B	33B	33B
M3		33B	33B	33B	33B
M4	33B	33B		33B	
M5	33B	33B	33B	33B	33B
T1	25B	25B	25B	25B	25B
T2	25B	25B	25B	25B	25B
T3	25B		25B	25B	25B
T4	25B	25B	25B	25B	25B
T5	25B	25B		25B	25B

Local: Lab. Biologia 1 (r=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		27C			
M2				31A	32C
M3					
M4				32A	
M5	32B				27B 33C

Local: Lab. Biologia 2 (r=16)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		31C	31B		
M2	28C			27A	
M3			28A		
M4			33A	33B	
M5				28B	

Local: Quadra Esportiva 1 (r=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2		27A	27B		
M3	32A				
M4		31C		28A	
M5			32B		26C
T1	21B				22B
T2			23C		
T3				23B	
T4					
T5		M1B			

Local: Quadra Esportiva 2 (r=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32C	31A	28B		32B
M2				32A	
M3					
M4					28A
M5					
T1					
T2					
T3			25B		
T4	24A		22A	22C	
T5			25B	23A	

Local: Quadra Esportiva 3 (r=19)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2			27C	26A	
M3	33C				
M4					
M5	31B				
T1	PB		21B		
T2	24B		25A		
T3		23A	M2B		
T4				24A	
T5	21A	22B			

Local: Quadra Esportiva 4 (r=20)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31B	
M2		26B			
M3				28B	
M4			28C	31A	
M5	M2A				
T1		25C			
T2		23C			
T3					
T4	21C	PA	21C	25C	
T5			24C		

Local: Quadra Esportiva 5 (r=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33A	26C		28C	
M2	31C				26A
M3	33B	32C	27C	27A	26B
M4	27B				
M5			M1A		
T1	24C		21A	24B	
T2	25A				
T3	23B	22A			
T4					
T5	22C				

Local: Lab. Física 1 (r=22)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33C			
M2					
M3	32B			33A	
M4	32C				
M5					

Local: Lab. Física 2 (r=23)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31C	
M2					
M3	31B				32A
M4	31A		33B		
M5					

Local: Espaço de Leitura (r=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33B		33C
M2	33A				
M3			32A		
M4			31B	31C	32B
M5	31A				32C
T1					
T2					21B
T3					
T4				21A	
T5	PB	21C			

Local: Lab. Química 1 (r=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2				32A	
M3	33C			31A	
M4	33A			32C	
M5					

Local: Lab. Química 2 (r=26)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33B				
M2					
M3			31B		
M4	32B			31C	
M5					

Local: Sala 301 (r=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26C		26C	26C	26C
M2	26C	26C	26C	26C	26C
M3	26C	26C	26C	26C	26C
M4	26C	26C	26C	26C	26C
M5	26C	26C	26C	26C	
T1					22C
T2	22C				
T3			22C		
T4					22C
T5			22C		
N1	41A	41A	41A	41A	41A
N2	41A	41A	41A	41A	41A
N3	41A	41A	41A	41A	41A
N4	41A	41A	41A	41A	41A

Local: Sala 302 (r=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27C		27C	27C	27C
M2	27C	27C	27C		27C
M3	27C	27C		27C	27C
M4	27C	27C	27C	27C	27C
M5	27C	27C	27C	27C	27C
T1	22C	22C	22C	22C	
T2		22C	22C	22C	22C
T3	22C	22C		22C	22C
T4	22C	22C	22C		
T5		22C		22C	22C
N1	41B	41B	41B	41B	41B
N2	41B	41B	41B	41B	41B
N3	41B	41B	41B	41B	41B
N4	41B	41B	41B	41B	41B

Local: Sala 303 (r=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28C	28C	28C		28C
M2		28C	28C	28C	28C
M3	28C	28C	28C	28C	28C
M4	28C	28C		28C	28C
M5	28C	28C	28C	28C	28C
T1	23C	23C	23C	23C	23C
T2	23C			23C	23C
T3	23C	23C	23C	23C	23C
T4	23C	23C	23C	23C	23C
T5	23C	23C	23C	23C	23C
N1	41C	41C	41C	41C	41C
N2	41C	41C	41C	41C	41C
N3	41C	41C	41C	41C	41C
N4	41C	41C	41C	41C	41C

Local: Sala 304 (r=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31C			31C	31C
M2			31C	31C	31C
M3	31C	31C	31C	31C	31C
M4	31C				31C
M5	31C	31C	31C	31C	31C
T1	24C	24C	24C	24C	24C
T2	24C	24C	24C	24C	24C
T3	24C	24C	24C	24C	24C
T4	24C	24C	24C	24C	24C
T5	24C	24C		24C	24C

Local: Sala 305 (r=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		32C	32C	32C	32C
M2	32C	32C	32C		32C
M3	32C		32C	32C	32C
M4	32C		32C	32C	
M5	32C	32C	32C	32C	
T1	25C		25C	25C	25C
T2	25C	25C	25C	25C	25C
T3	25C	25C	25C	25C	25C
T4	25C	25C	25C		25C
T5	25C	25C	25C	25C	25C

Local: Sala 306 (r=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33C			33C	33C
M2	33C	33C	33C	33C	33C
M3			33C	33C	33C
M4	33C	33C	33C	33C	33C
M5	33C	33C	33C	33C	
T1	21C	21C	21C	21C	21C
T2	21C	21C	21C	21C	21C
T3	21C	21C	21C	21C	21C
T4		21C		21C	21C
T5	21C		21C	21C	21C

Anexo E – Grades horárias das turmas geradas pela fase de melhoramento da instância A1

Turma: M1A (c=1)						Turma: M1B (c=2)						Turma: M2A (c=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M5	GLO	GLO	EF	GLO	GLO	T5	GLO	EF	GLO	GLO	GLO	M5	EF	GLO	ING	GLO	GLO
Turma: M2B (c=4)						Turma: PA (c=5)						Turma: PB (c=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T1	GLO	GLO	ING	GLO	GLO	T1	GLO	EF	GLO	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	GLO	GLO	GLO	GLO	ING
T3	GLO	ING	GLO	EF	GLO	T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T4	GLO	EF	GLO	GLO	GLO	T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
Turma: 21A (c=7)						Turma: 21B (c=8)						Turma: 21C (c=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	GLO	GLO	EF	GLO	GLO	T1	EF	ING	GLO	EF	GLO	T1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	GLO	ING	GLO	GLO	GLO
T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T4	EF	GLO	EF	GLO	GLO
T5	EF	ING	GLO	GLO	GLO	T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
Turma: 22A (c=10)						Turma: 22B (c=11)						Turma: 22C (c=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	CIE	CIE	MAT	ART	LP	T1	HIS	LP	HIS	MAT	EF	T1	LP	MAT	GEO	LP	CIE
T2	LP	EF	MAT	HIS	MAT	T2	CIE	LP	GEO	MAT	LP	T2	ART	ART	LP	LP	EF
T3	LP	MAT	LP	CIE	MAT	T3	GEO	ART	MAT	LP	CIE	T3	MAT	EF	CIE	MAT	ING
T4	ING	LP	LP	GEO	ART	T4	MAT	ING	CIE	EF	LP	T4	LP	MAT	GEO	MAT	HIS
T5	HIS	LP	MAT	GEO	EF	T5	MAT	MAT	ART	LP	LP	T5	LP	CIE	LP	HIS	MAT
Turma: 23A (c=13)						Turma: 23B (c=14)						Turma: 23C (c=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	LP	MAT	ART	ING	T1	MAT	ART	LP	MAT	GEO	T1	GEO	MAT	ART	LP	MAT
T2	LP	GEO	LP	CIE	HIS	T2	CIE	LP	EF	LP	GEO	T2	MAT	EF	MAT	HIS	LP
T3	ART	CIE	EF	EF	MAT	T3	EF	ING	HIS	LP	LP	T3	MAT	ART	LP	MAT	ING
T4	GEO	CIE	LP	LP	HIS	T4	MAT	LP	CIE	MAT	MAT	T4	LP	GEO	CIE	CIE	CIE
T5	MAT	MAT	MAT	LP	MAT	T5	ART	LP	CIE	MAT	HIS	T5	LP	HIS	LP	EF	LP
Turma: 24A (c=16)						Turma: 24B (c=17)						Turma: 24C (c=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	CIE	LP	MAT	LP	MAT	T1	LP	ING	LP	GEO	ART	T1	MAT	ART	EF	HIS	LP
T2	LP	CIE	EF	LP	ART	T2	LP	HIS	MAT	GEO	MAT	T2	MAT	ART	CIE	MAT	LP
T3	MAT	ART	MAT	GEO	EF	T3	CIE	CIE	HIS	MAT	MAT	T3	LP	LP	ING	LP	HIS
T4	LP	CIE	HIS	HIS	MAT	T4	LP	LP	LP	MAT	EF	T4	MAT	LP	MAT	GEO	CIE
T5	MAT	ING	GEO	LP	LP	T5	CIE	LP	ART	EF	MAT	T5	EF	LP	MAT	GEO	CIE
Turma: 25A (c=19)						Turma: 25B (c=20)						Turma: 25C (c=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	ART	MAT	CIE	MAT	HIS	T1	MAT	LP	MAT	CIE	LP	T1	LP	EF	LP	LP	ART
T2	GEO	CIE	HIS	EF	ART	T2	MAT	ART	LP	ING	MAT	T2	EF	LP	MAT	LP	HIS
T3	LP	EF	LP	LP	MAT	T3	GEO	GEO	CIE	ART	LP	T3	CIE	MAT	MAT	HIS	ART
T4	LP	LP	MAT	LP	ING	T4	HIS	MAT	LP	EF	LP	T4	MAT	ING	GEO	CIE	MAT
T5	MAT	CIE	LP	MAT	GEO	T5	LP	MAT	EF	CIE	HIS	T5	CIE	GEO	MAT	LP	LP

Turma: 26A (c=22)						Turma: 26B (c=23)						Turma: 26C (c=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	CIE	CIE	ART	LP	MAT	M1	LP	GEO	LP	HIS	MAT	M1	MAT	LP	MAT	ING	LP
M2	ING	LP	CIE	EF	LP	M2	ESP	EF	MAT	LP	LP	M2	CIE	ART	ART	HIS	EF
M3	ESP	GEO	MAT	ART	LP	M3	ING	MAT	CIE	MAT	EF	M3	MAT	EF	MAT	LP	GEO
M4	EF	GEO	ING	MAT	HIS	M4	ING	ART	MAT	HIS	LP	M4	HIS	ING	CIE	ESP	LP
M5	HIS	LP	HIS	MAT	MAT	M5	CIE	HIS	CIE	ART	GEO	M5	LP	GEO	MAT	HIS	CIE

Turma: 27A (c=25)						Turma: 27B (c=26)						Turma: 27C (c=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	ESP	HIS	ART	ING	GEO	M1	FIL	GEO	CIE	MAT	LP	M1	ESP	EF	HIS	LP	HIS
M2	HIS	MAT	LP	ING	MAT	M2	LP	MAT	ART	MAT	GEO	M2	MAT	LP	CIE	FIL	GEO
M3	LP	GEO	LP	FIL	HIS	M3	HIS	LP	EF	EF	LP	M3	CIE	HIS	ING	LP	GEO
M4	CIE	EF	CIE	MAT	MAT	M4	LP	MAT	ING	CIE	HIS	M4	MAT	MAT	EF	LP	ING
M5	EF	CIE	LP	LP	MAT	M5	HIS	MAT	ESP	CIE	ING	M5	LP	MAT	CIE	MAT	ART

Turma: 28A (c=28)						Turma: 28B (c=29)						Turma: 28C (c=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	MAT	MAT	HIS	EF	GEO	M1	CIE	ING	EF	MAT	LP	M1	LP	EF	GEO	GEO	HIS
M2	MAT	CIE	ESP	LP	CIE	M2	CIE	HIS	LP	GEO	HIS	M2	LP	MAT	ING	MAT	ART
M3	LP	HIS	ING	ING	ART	M3	HIS	LP	ART	MAT	FIL	M3	MAT	LP	HIS	CIE	HIS
M4	LP	HIS	EF	LP	GEO	M4	MAT	MAT	LP	GEO	EF	M4	CIE	LP	ESP	MAT	FIL
M5	MAT	MAT	FIL	CIE	LP	M5	ESP	ING	LP	MAT	CIE	M5	ING	CIE	MAT	LP	EF

Turma: 31A (c=31)						Turma: 31B (c=32)						Turma: 31C (c=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	HIS	HIS	QUI	MAT	FIS	M1	LP	BIO	GEO	LP	ING	M1	FIS	LP	BIO	EF	ESP
M2	FIL	LP	BIO	FIS	ESP	M2	FIL	BIO	HIS	MAT	MAT	M2	HIS	EF	QUI	QUI	FIS
M3	BIO	SOC	MAT	ING	MAT	M3	QUI	FIS	QUI	FIS	ESP	M3	SOC	BIO	QUI	MAT	ART
M4	EF	GEO	BIO	EF	FIS	M4	SOC	FIS	QUI	LP	HIS	M4	HIS	BIO	LP	GEO	LP
M5	LP	LP	QUI	QUI	ART	M5	BIO	EF	ART	EF	MAT	M5	FIL	ING	MAT	MAT	FIS

Turma: 32A (c=34)						Turma: 32B (c=35)						Turma: 32C (c=36)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	SOC	FIS	BIO	FIS	QUI	M1	HIS	ESP	MAT	GEO	FIS	M1	BIO	QUI	LP	HIS	EF
M2	EF	ESP	GEO	LP	ING	M2	QUI	ING	MAT	FIS	MAT	M2	MAT	MAT	EF	BIO	LP
M3	LP	MAT	MAT	LP	MAT	M3	FIL	QUI	LP	BIO	FIS	M3	QUI	ING	ESP	GEO	QUI
M4	QUI	EF	FIL	QUI	LP	M4	LP	LP	BIO	LP	GEO	M4	FIL	FIS	MAT	FIS	FIS
M5	FIS	MAT	BIO	GEO	HIS	M5	SOC	EF	EF	QUI	MAT	M5	LP	LP	GEO	MAT	SOC

Turma: 33A (c=37)						Turma: 33B (c=38)						Turma: 33C (c=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	EF	MAT	FIS	BIO	ING	M1	QUI	FIS	ESP	QUI	HIS	M1	SOC	BIO	MAT	FIS	GEO
M2	QUI	HIS	LP	GEO	HIS	M2	FIS	GEO	MAT	LP	SOC	M2	EF	FIL	QUI	QUI	BIO
M3	ESP	BIO	LP	LP	FIS	M3	EF	ING	BIO	GEO	HIS	M3	HIS	MAT	HIS	QUI	LP
M4	FIS	HIS	BIO	MAT	MAT	M4	QUI	MAT	MAT	FIS	BIO	M4	LP	LP	HIS	ESP	GEO
M5	QUI	FIL	BIO	QUI	SOC	M5	FIL	HIS	LP	BIO	LP	M5	FIS	MAT	ING	FIS	BIO

Turma: 41A (c=40)						Turma: 41B (c=41)						Turma: 41C (c=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
N1	BIO	FIS	FIS	QUI	MAT	N1	MAT	LP	MAT	ING	FIS	N1	LP	GEO	LP	ING	GEO
N2	QUI	LP	LP	LP	HIS	N2	MAT	ING	QUI	MAT	LP	N2	HIS	HIS	BIO	FIS	QUI
N3	MAT	HIS	LP	ING	ING	N3	BIO	LP	QUI	GEO	HIS	N3	LP	BIO	FIS	MAT	MAT
N4	MAT	BIO	MAT	GEO	GEO	N4	BIO	FIS	HIS	GEO	LP	N4	QUI	LP	ING	MAT	MAT

Anexo F – Grades horárias dos professores geradas pela fase de melhoramento da instância A1

Prof: Álvaro (t=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31C	33B	33A	33C	31A
M2	33B			31A	31C
M3		31B		31B	33A
M4	33A	31B		33B	31A
M5	33C			33C	31C
N1		41A	41A		41B
N2				41C	
N3			41C		
N4		41B			

Prof: Maurício (t=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28B	32A		32A	32B
M2	28B	28A		32B	28A
M3				28C	32B
M4	28C	32C		32C	32C
M5	32A	28C		28A	28B

Prof: Ricardo (t=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33A	27C		31C	
M2	33C	31C			
M3	33B			27B	27B
M4	31A	27A	27C	31A	
M5	27A	31B	M1A	31B	
T1	21B	25C	21A	21B	
T2	25C	23C	23B	25A	
T3	23B	25A	23A	23A	
T4	21C	PA	21C	25B	
T5	21A	M1B	25B	23C	

Prof: Cristiane (t=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		28C	28B	28A	32C
M2	32A	26B	32C	26A	26C
M3		26C			26B
M4	26A	32A	28A		28B
M5	M2A	32B	32B		28C
T1		PB	24C		22B
T2	22A	24A			22C
T3	22C		M2B	24A	
T4			22B	24B	
T5	24C			24B	22A

Prof: Alexandre (t=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		31B	31C		
M2		31B	31A		
M3	31A	31C			
M4		31C	31A		
M5	31B				
N1	41A				
N2			41C		
N3	41B	41C			
N4	41B	41A			

Prof: Robismar (t=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32C		32A		
M2				32C	
M3				32B	
M4			32B		
M5			32A		

Prof: Fabiano (t=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26A	26A			
M2	26C		26A		
M3			26B		
M4			26C		
M5	26B		26B		26C
T1	24A				22C
T2	22B	24A	24C		
T3	24B	24B	22C		22B
T4		24A	22B		24C
T5	24B	22C			24C

Prof: Lucas (t=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			27B		
M2			27C		
M3	27C				
M4	27A		27A	27B	
M5		27A	27C	27B	
T1	22A	22A	25A	25B	
T2	23B	25A		23A	
T3	25C	23A	25B	22A	
T4		23A	23B	25C	
T5	25C	25A	23B	25B	

Prof: Arthur (t=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B	31C		31B	
M2		31A	33A	33B	
M3			33A	33A	33C
M4	33C	33C	31C	31B	31C
M5	31A	31A	33B		33B
N1	41C	41B	41C		
N2		41A	41A	41A	41B
N3	41C	41B	41A		
N4		41C			41B

Prof: Vinícius (t=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			32C		28B
M2			28B	32A	32C
M3	32A	28B	32B	32A	
M4	32B	32B	28B	32B	32A
M5	32C	32C	28B		

Prof: Greice (t=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28C	26C		26A	26C
M2	28C	26A		28A	26A
M3	28A	28C		26C	26A
M4	28A	28C		28A	26C
M5	26C	26A		28C	28A
T1		24A		24A	24C
T2	24A			24A	24C
T3	24C	24C		24C	
T4	24A	24C			
T5		24C		24A	24A

Prof: Vanessa (t=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26B		26B	27C	27B
M2	27B	27C	27A	26B	26B
M3	27A	27B	27A	27C	27B
M4	27B			27C	26B
M5	27C			27A	27A
T1	25C	25B	25C	25C	25B
T2		25C	25B	25C	
T3	25A			25A	25B
T4	25A	25A	25B	25A	25B
T5	25B		25A	25C	25C

Prof: Leandro (t=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	23A	23A	23B	23C	
T2	23A	23B	23A	23B	23C
T3			23C	23B	23B
T4	23C	23B	23A	23A	
T5	23C	23B	23C	23A	23C

Prof: Roberto (t=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33B			33B	
M2	33A		33C	33C	
M3	31B		31B	33C	
M4	33B		31B		
M5	33A			33A	

Prof: João (t=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				32A	
M2	32B				
M3	32C	32B			32C
M4	32A			32A	
M5				32B	

Prof: Rafael (t=16)						Prof: Bárbara (t=17)						Prof: Flávia (t=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					26A	T1	22C	22B	22C	22A		M1	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M2						T2	22A	22B	22C	22C	22B	M2	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M3			26A			T3	22A		22A	22B		M3	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M4			26A			T4	22C	22A	22A		22B	M4	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M5			26A	26A		T5	22C	22A	22C	22B	22B	M5	M1A	M1A		M1A	M1A
T1	22C	22A	22B														
T2		22A	22B	22A													
T3	22C	22A	22B	22C	22A												
T4	22B	22C		22C													
T5	22B	22B	22A		22C												
Prof: Daniel (t=19)						Prof: Diego (t=20)						Prof: William (t=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33A	32B			T1	24C		24A		24A	T1	25B	25A	25B	25A	
M2	32C	32C	32B		32B	T2	24C		24B	24C	24B	T2	25B		25C		25B
M3	32A	32A		32A		T3	24A		24A	24B	24B	T3		25C	25C		25A
M4		32C	33A	33A		T4	24C		24C	24B	24A	T4	25C	25B	25A		25C
M5	32A		32C	32B		T5	24A		24C		24B	T5	25A	25B	25C	25A	
T1	23B	23C	23A	23B	23C	N1	41B		41B		41A						
T2	23C		23C			N2	41B			41B							
T3	23C			23C	23A	N3	41A			41C	41C						
T4	23B			23B	23B	N4	41A		41A	41C	41C						
T5	23A	23A	23A	23B	23A												
Prof: Denise (t=22)						Prof: Adriano (t=23)						Prof: Tamara (t=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B	M1		33C	31A			M1	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
T2	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B	M2		33B	31B	31B		M2	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
T3	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B	M3	33C	31A	31C	31A		M3	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
T4	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B	M4	33B	33B			M4	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A	
T5	M1B		M1B	M1B	M1B	M5	33C	31C	31C	31B		M5	M2A		M2A	M2A	M2A
Prof: Karen (t=25)						Prof: Tatiana (t=26)						Prof: Pablo (t=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B	T1	PA	PA		PA	PA	T1	28A	28A		28B	
T2	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B	T2	PA	PA	PA	PA	PA	T2	28A	28C		28C	
T3	M2B		M2B		M2B	T3	PA	PA	PA	PA	PA	T3	28C			28B	
T4	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B	T4	PA		PA	PA	PA	T4	28B	28B		28C	
T5	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B	T5	PA	PA	PA	PA	PA	T5	28A	28A	28C	28B	
Prof: Ignacio (t=28)						Prof: Alessandra (t=29)						Prof: Cristina (t=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26C		26C		26B	T1	PB		PB	PB	PB	T1	21A	21A		21A	21A
M2	27C	27A	26B		27A	T2	PB	PB	PB	PB		T2	21A	21A	21A	21A	21A
M3	26C	26B	26C	26B		T3	PB	PB	PB	PB	PB	T3	21A	21A	21A	21A	21A
M4	27C	27C	26B	27A	27A	T4	PB	PB	PB	PB	PB	T4	21A	21A	21A	21A	21A
M5	27C	26C	27C	27C	27A	T5	PB	PB	PB	PB	PB	T5		21A	21A	21A	
Prof: Moacir (t=31)						Prof: Ivone (t=32)						Prof: Bruno (t=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				27B		T1		21B		21B		M1	31A	31A		33B	
M2		27B		27B		T2	21B	21B	21B	21B	21B	M2	31C	33A	31B		33A
M3						T3	21B	21B	21B	21B	21B	M3	33C		33C		33B
M4		27B				T4	21B	21B	21B	21B	21B	M4	31C	33A	33C		31B
M5		27B				T5	21B	21B	21B	21B	21B	M5		33B			
												N1					
												N2	41C	41C			41A
												N3		41A			41B
												N4			41B		

Prof: Carla (t=34)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	21C	21C	21C	21C	21C
T2	21C		21C	21C	21C
T3	21C	21C	21C	21C	21C
T4		21C		21C	21C
T5	21C	21C	21C	21C	21C

Prof: Alice (t=35)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			28A	26B	28C
M2		28B		26C	28B
M3	28B	28A	28C		28C
M4	26C	28A		26B	26A
M5	26A	26B	26A	26C	32A
T1	22B		22B		
T2		24B		22A	25C
T3			24B	25C	
T4	25B		24A	24A	22C
T5	22A			22C	25B

Prof: Salete (t=36)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32B	27A	27C	32C	27C
M2	27A				
M3	27B	27C			27A
M4					27B
M5	27B				
T1				24C	25A
T2				25A	23C
T3				23B	24C
T4					23A
T5		23C			23B

Prof: Elias (t=37)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		27B		33A	33C
M2		33B		33A	27B
M3				33B	26C
M4	31A				33C
M5	26C				
N1	41C				
N2					
N3					
N4			41A	41A	

Prof: Lúcia (t=38)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		26B	28C	28C	28A
M2			32A	28B	27C
M3	26A			32C	27C
M4	26A			28B	28A
M5			32C	32A	26B
N1					
N2					
N3				41B	
N4				41B	

Prof: Luciano (t=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		28B		26C	33A
M2	26A	32B	28C		
M3	26B	32C	28A	28A	
M4	26B	26C	26A		
M5	28C	28B	M2A		
T1		24B			
T2					PB
T3		M2B	24C		22C
T4	22A	22B			
T5					

Prof: Énio (t=40)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				27A	31B
M2				27A	32A
M3		27C	31A		
M4		27B			27C
M5	31C	33C			27B
T1	21B	PA			23A
T2	21C		25B		
T3	23B				23C
T4	25C				25A
T5	21A				

Prof: Raquel (t=41)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					31C
M2					31A
M3					31B
M4				26C	
M5					

Prof: Simone (t=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27C	32B			
M2	26B	32A			
M3	26A			32C	
M4					
M5				27B	

Prof: Cássio (t=43)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27B				
M2		33C		27C	
M3	31C	31A		27A	
M4	31B				
M5	33B	33A			
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Prof: Marcos (t=44)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33C				
M2	31A				33B
M3	32B				28B
M4	32C		32A		28C
M5	31C		28A		33A
T1				22A	
T2	22C	22C			
T3	22B				
T4				22A	
T5		22B			

Prof: Vanderlei (t=45)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A				
M2	31B				
M3					
M4					
M5	32B				32C
T1					
T2					
T3	23A	23C			
T4					
T5	23B				

Prof: Rosane (t=48)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				26A	
M2			26C	26C	
M3					26A
M4		26B			31C
M5				31B	26B
T1	23B	23C	23A	23A	
T2					
T3					
T4					
T5	23B				

Prof: Isabel (t=49)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			27A		
M2			27B		
M3					
M4					
M5				27C	
T1	24C			24B	
T2	24C			24A	
T3	24A				
T4					
T5		24B			

Prof: Renata (t=50)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Aline (t=51)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					32B
M2					
M3					
M4					32B
M5					
T1	23C				23B
T2	25A	23A			23B
T3	25B	25B			
T4	23A	23C	25C	22A	
T5		25C		22A	25A

Prof: Samara (t=52)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			31B	27A	
M2					
M3	27A				
M4				31C	
M5					
T1		22C	24B		
T2		22B	24B		
T3	22B			24A	
T4		22C	24C		
T5		24A	24C		

Prof: Maria (t=53)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	25A				25C
T2		25B			25A
T3				25B	25C
T4					
T5					
N1				41A	
N2	41A		41B		41C
N3			41B		
N4	41C				

Prof: Patrícia (t=54)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33C			
M2					33C
M3	33A		33B		
M4			33A		33B
M5		33A	33B	33C	

Prof: Sandra (t=55)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1					
T2					
T3					
T4		23C	23C	23C	
T5					

Prof: Eliana (t=56)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Sabrina (t=57)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27A			33B	
M2				28A	
M3	33A				
M4				28C	33C
M5	28B				

Prof: Jéssica (t=58)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Adão (t=59)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Henrique (t=60)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3				33B	
M4					
M5					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5				24A	

Prof: Marcelo (t=61)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	24B		24B		
T2	24B				
T3					
T4	24B	24B	24B		
T5	24B				

Prof: Cecília (t=62)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			31A		
M2			31C	31C	
M3			31C		
M4					
M5			31A	31A	

Prof: Rita (t=63)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Ellen (t=64)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Michele (t=65)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Caroline (t=66)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Prof: Amanda (t=67)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

Anexo G – Grades horárias dos locais de aula geradas pela fase de melhoramento da instância A1

Local: Sala 101 (r=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M2	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M3	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M4	M1A	M1A	M1A	M1A	M1A
M5	M1A	M1A		M1A	M1A
T1	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T2	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T3	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T4	M1B	M1B	M1B	M1B	M1B
T5	M1B		M1B	M1B	M1B

Local: Sala 102 (r=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M2	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M3	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M4	M2A	M2A	M2A	M2A	M2A
M5		M2A	M2A	M2A	M2A
T1	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T2	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T3	M2B	M2B	M2B		M2B
T4	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B
T5	M2B	M2B	M2B	M2B	M2B

Local: Sala 103 (r=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26A	26A	26A	26A	26A
M2	26A	26A	26A		26A
M3	26A	26A	26A	26A	26A
M4		26A	26A	26A	26A
M5	26A	26A	26A	26A	26A
T1	PA	PA	PA	PA	PA
T2	PA	PA	PA	PA	PA
T3	PA	PA	PA	PA	PA
T4	PA		PA	PA	PA
T5	PA	PA	PA	PA	PA

Local: Sala 104 (r=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26B	26B	26B	26B	26B
M2	26B		26B	26B	26B
M3	26B	26B	26B	26B	
M4	26B	26B	26B	26B	26B
M5	26B	26B	26B	26B	26B
T1	PB		PB	PB	PB
T2	PB	PB	PB	PB	PB
T3	PB	PB	PB	PB	PB
T4	PB	PB	PB	PB	PB
T5	PB	PB	PB	PB	PB

Local: Sala 105 (r=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27A	27A	27A	27A	27A
M2	27A	27A	27A	27A	27A
M3	27A	27A	27A	27A	27A
M4	27A		27A	27A	27A
M5		27A	27A	27A	27A
T1	21A	21A		21A	21A
T2	21A	21A	21A	21A	21A
T3	21A	21A	21A	21A	21A
T4	21A		21A	21A	21A
T5		21A	21A	21A	21A

Local: Sala 106 (r=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27B	27B	27B	27B	27B
M2	27B	27B	27B	27B	27B
M3	27B	27B			27B
M4	27B	27B	27B	27B	27B
M5	27B	27B	27B		27B
T1		21B	21B		21B
T2	21B	21B	21B		21B
T3	21B	21B	21B	21B	21B
T4	21B	21B	21B	21B	21B
T5	21B	21B	21B	21B	21B

Local: Sala 107 (r=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28A	28A	28A		28A
M2	28A	28A	28A	28A	
M3	28A	28A	28A	28A	28A
M4	28A	28A		28A	28A
M5	28A	28A	28A	28A	28A
T1	22A	22A	22A	22A	22A
T2	22A		22A	22A	22A
T3	22A	22A	22A	22A	22A
T4	22A	22A	22A	22A	22A
T5	22A	22A	22A	22A	

Local: Sala 201 (r=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28B	28B		28B	28B
M2	28B	28B	28B	28B	28B
M3	28B	28B	28B	28B	28B
M4	28B	28B	28B		28B
M5	28B	28B	28B	28B	
T1	22B	22B	22B	22B	
T2	22B	22B	22B	22B	22B
T3	22B	22B	22B	22B	22B
T4	22B	22B	22B		22B
T5	22B	22B	22B	22B	22B

Local: Sala 202 (r=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31A	31A	31A	31A	31A
M2	31A	31A			31A
M3	31A	31A	31A	31A	31A
M4		31A	31A		31A
M5		31A		31A	31A
T1	23A	23A	23A	23A	23A
T2	23A	23A	23A	23A	23A
T3	23A	23A			23A
T4	23A	23A	23A	23A	23A
T5	23A	23A	23A	23A	23A

Local: Sala 203 (r=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B	31B	31B		31B
M2	31B	31B	31B	31B	31B
M3		31B	31B		31B
M4	31B	31B	31B	31B	31B
M5		31B		31B	
T1	23B	23B	23B	23B	23B
T2	23B	23B		23B	23B
T3		23B	23B	23B	23B
T4	23B	23B	23B	23B	23B
T5	23B	23B	23B	23B	23B

Local: Sala 204 (r=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A			32A	32A
M2		32A	32A	32A	32A
M3	32A	32A	32A	32A	32A
M4			32A	32A	
M5	32A	32A	32A	32A	32A
T1	24A	24A	24A	24A	24A
T2	24A	24A		24A	24A
T3	24A	24A	24A	24A	
T4	24A	24A	24A	24A	24A
T5	24A	24A	24A	24A	24A

Local: Sala 205 (r=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32B	32B	32B	32B	32B
M2	32B	32B	32B		32B
M3	32B	32B	32B	32B	32B
M4	32B	32B			32B
M5	32B				32B
T1	24B	24B	24B	24B	24B
T2	24B	24B	24B	24B	24B
T3	24B	24B	24B	24B	24B
T4	24B	24B	24B	24B	
T5	24B	24B	24B	24B	24B

Local: Sala 206 (r=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33A		33A	33A
M2		33A	33A	33A	33A
M3	33A		33A		33A
M4	33A	33A	33A	33A	33A
M5	33A	33A	33A	33A	33A
T1	25A	25A	25A	25A	25A
T2	25A	25A	25A		25A
T3	25A		25A	25A	25A
T4	25A	25A	25A	25A	25A
T5	25A	25A	25A	25A	25A

Local: Sala 207 (r=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33B	33B	33B
M2	33B	33B	33B		33B
M3		33B	33B	33B	33B
M4	33B	33B	33B	33B	
M5	33B	33B	33B	33B	33B
T1	25B	25B	25B	25B	25B
T2	25B	25B	25B	25B	25B
T3	25B	25B	25B	25B	25B
T4	25B	25B	25B		25B
T5	25B	25B		25B	25B

Local: Lab. Biologia 1 (r=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				32A	
M2				31A	32C
M3	27C				
M4				32B	
M5					27B 33C

Local: Lab. Biologia 2 (r=16)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2				28A	
M3	31C				
M4	28C			33B	
M5	31B	27A			28B

Local: Quadra Esportiva 1 (r=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31C	
M2	32A				26C
M3			27B		
M4		27A	28A		
M5			32B		
T1	21B				
T2			23B		
T3					
T4				22B	
T5		M1B		23C	

Local: Quadra Esportiva 2 (r=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				28B	28A
M2				32C	
M3					
M4	31A	32A			
M5		32B			
T1					
T2					22C
T3				23A	24A
T4					25B
T5				25B	22A

Local: Quadra Esportiva 3 (r=19)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		27C			
M2	33C				
M3					
M4	26A				
M5	31B				
T1	PB		21B	22B	
T2		24A			
T3	25A		M2B		
T4				24B	
T5	21A				

Local: Quadra Esportiva 4 (r=20)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2		26B			
M3					
M4				31A	28B
M5	M2A			31B	28C
T1		25C	24C		
T2	25C	23C			
T3					
T4	21C	PA	21C		
T5					

Local: Quadra Esportiva 5 (r=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33A	28C			32C
M2		31C			26A
M3	33B	26C			27B 26B
M4					27C
M5	27A			M1A	
T1				21A	
T2					22A
T3	23B	22C			
T4					
T5	24C				24B

Local: Lab. Física 1 (r=22)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33A	33C	
M2				32B	
M3					
M4				32C	
M5					

Local: Lab. Física 2 (r=23)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A				
M2				31A	
M3				31B	
M4					
M5					31C

Local: Espaço de Leitura (r=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		31C		31B	
M2					33B 32C
M3					33A
M4			33C		32B 32A
M5	31A				
T1					
T2					21B
T3					
T4				21A	
T5	PB	21C			

Local: Lab. Química 1 (r=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2	33A			33C	
M3	32C				
M4	32A				
M5			31A		

Local: Lab. Química 2 (r=26)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33B				
M2					
M3	31B		31C		
M4					
M5				32B	

Local: Sala 301 (r=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	26C	26C	26C	26C	26C
M2	26C	26C	26C	26C	
M3	26C		26C	26C	26C
M4	26C	26C	26C	26C	26C
M5	26C	26C	26C	26C	26C
T1					22C
T2	22C	22C			
T3					22C
T4					
T5		22C			

Local: Sala 302 (r=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	27C		27C	27C	27C
M2	27C	27C	27C	27C	27C
M3		27C	27C	27C	27C
M4	27C	27C		27C	27C
M5	27C	27C	27C	27C	27C
T1	22C	22C	22C	22C	
T2			22C	22C	
T3	22C			22C	22C
T4	22C	22C	22C	22C	22C
T5	22C		22C	22C	22C
N1	41B	41B	41B	41B	41B
N2	41B	41B	41B	41B	41B
N3	41B	41B	41B	41B	41B
N4	41B	41B	41B	41B	41B

Local: Sala 303 (r=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	28C		28C	28C	28C
M2	28C	28C	28C	28C	28C
M3	28C	28C	28C	28C	28C
M4		28C	28C	28C	28C
M5	28C	28C	28C	28C	
T1	23C	23C	23C	23C	23C
T2	23C		23C	23C	23C
T3	23C	23C	23C	23C	23C
T4	23C	23C	23C	23C	23C
T5	23C	23C	23C		23C
N1	41C	41C	41C	41C	41C
N2	41C	41C	41C	41C	41C
N3	41C	41C	41C	41C	41C
N4	41C	41C	41C	41C	41C

Local: Sala 304 (r=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31C		31C		31C
M2	31C		31C	31C	31C
M3	31C				31C
M4	31C	31C	31C	31C	31C
M5	31C	31C	31C	31C	
T1	24C	24C		24C	24C
T2	24C	24C	24C	24C	24C
T3	24C	24C	24C	24C	24C
T4	24C	24C	24C	24C	24C
T5		24C	24C	24C	24C

Local: Sala 305 (r=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32C	32C	32C	32C	
M2	32C	32C			
M3		32C	32C	32C	32C
M4	32C	32C	32C	32C	
M5	32C	32C	32C	32C	32C
T1	25C		25C	25C	25C
T2		25C	25C	25C	25C
T3	25C	25C	25C	25C	25C
T4	25C	25C	25C	25C	25C
T5	25C	25C	25C	25C	25C

Local: Sala 306 (r=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33C	33C	33C		33C
M2		33C	33C		33C
M3	33C	33C	33C	33C	33C
M4	33C		33C	33C	33C
M5	33C	33C	33C	33C	
T1	21C	21C	21C	21C	21C
T2	21C	21C	21C	21C	21C
T3	21C	21C	21C	21C	21C
T4		21C		21C	21C
T5	21C		21C	21C	21C

Anexo H – Grades horárias das turmas da escola de validação

Turma: 15A (c=1)						Turma: 15B (c=2)						Turma: 15C (c=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	MAT	HIS	CIE	ESP	T1	HIS	GEO	LP	LP	MAT	T1	GEO	LP	MAT	GEO	ART
T2	GEO	CIE	LP	LP	ART	T2	MAT	HIS	MAT	ART	ING	T2	ING	LP	CIE	MAT	ESP
T3	GEO	CIE	LP	ING	ING	T3	MAT	LP	HIS	LP	EF	T3	HIS	HIS	CIE	MAT	ART
T4	MAT	HIS	MAT	ART	MAT	T4	GEO	CIE	CIE	ING	ART	T4	LP	MAT	HIS	LP	EF
T5	HIS	LP	EF	MAT	EF	T5	LP	MAT	CIE	EF	ESP	T5	EF	CIE	LP	ING	MAT
Turma: 15D (c=4)						Turma: 16A (c=5)						Turma: 16B (c=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	ING	CIE	CIE	EF	ING	T1	MAT	LP	ART	MAT	CIE	T1	HIS	EF	ING	MAT	LP
T2	LP	GEO	HIS	CIE	MAT	T2	CIE	MAT	GEO	HIS	HIS	T2	LP	LP	CIE	MAT	LP
T3	LP	EF	MAT	ART	MAT	T3	CIE	MAT	ING	EF	ESP	T3	LP	ESP	ART	HIS	MAT
T4	HIS	LP	LP	MAT	ESP	T4	LP	EF	ING	HIS	LP	T4	ING	MAT	GEO	EF	CIE
T5	MAT	HIS	GEO	LP	ART	T5	LP	GEO	MAT	ART	LP	T5	GEO	MAT	ART	HIS	CIE
Turma: 16C (c=7)						Turma: 16D (c=8)						Turma: 17A (c=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	MAT	GEO	HIS	HIS	T1	CIE	HIS	CIE	LP	MAT	T1	MAT	MAT	CIE	MAT	LP
T2	LP	MAT	ART	EF	CIE	T2	HIS	EF	ING	LP	MAT	T2	GEO	HIS	CIE	MAT	LP
T3	ING	GEO	LP	LP	HIS	T3	LP	MAT	GEO	MAT	CIE	T3	CIE	EF	LP	ART	FIL
T4	CIE	ESP	ART	LP	MAT	T4	LP	GEO	LP	MAT	ART	T4	LP	ESP	EF	HIS	ING
T5	CIE	EF	ING	MAT	MAT	T5	ING	ESP	HIS	EF	ART	T5	LP	MAT	ING	HIS	GEO
Turma: 17B (c=10)						Turma: 17C (c=11)						Turma: 17A (c=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	LP	EF	LP	HIS	CIE	M1	GEO	LP	LP	LP	ING	M1	MAT	MAT	CIE	MAT	LP
M2	LP	MAT	LP	ING	CIE	M2	MAT	LP	LP	HIS	GEO	M2	ING	LP	CIE	MAT	LP
M3	GEO	HIS	EF	MAT	LP	M3	MAT	MAT	ING	HIS	CIE	M3	EF	LP	ART	FIL	
M4	MAT	HIS	ING	MAT	GEO	M4	EF	MAT	CIE	ART	CIE	M4	LP	ESP	EF	HIS	ING
M5	MAT	ESP	CIE	ART	FIL	M5	FIL	HIS	EF	MAT	ESP	M5	LP	MAT	ING	HIS	GEO
Turma: 18B (c=13)						Turma: 18C (c=14)						Turma: 18A (c=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	LP	ESP	CIE	MAT	GEO	M1	EF	HIS	LP	LP	LP	M1	MAT	MAT	MAT	GEO	FIL
M2	LP	HIS	ING	MAT	HIS	M2	HIS	ESP	LP	ART	LP	M2	EF	MAT	MAT	HIS	ING
M3	FIL	HIS	LP	ING	LP	M3	MAT	MAT	EF	GEO	CIE	M3	LP	ESP	CIE	LP	HIS
M4	EF	MAT	EF	GEO	CIE	M4	MAT	HIS	CIE	ING	MAT	M4	GEO	ART	MAT	MAT	LP
M5	MAT	ART	MAT	LP	CIE	M5	GEO	FIL	CIE	MAT	ING	M5	LP	CIE	EF	ING	LP
Turma: 21A (c=16)						Turma: 21B (c=17)						Turma: 18D (c=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M1	HIS	MAT	ING	ING	CIE
M2	GLO	EF	GLO	GLO	GLO	M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M2	FIL	MAT	EF	LP	CIE
M3	GLO	GLO	GLO	GLO	ING	M3	GLO	GLO	GLO	GLO	EF	M3	LP	ESP	CIE	LP	HIS
M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M4	GLO	GLO	CIE	ING	MAT	M4	GEO	ART	MAT	MAT	LP
M5	GLO	GLO	GLO	GLO	EF	M5	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M5	EF	HIS	LP	GEO	MAT
Turma: 21D (c=19)						Turma: 22A (c=20)						Turma: 21C (c=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	EF	GLO	GLO	GLO	GLO	T1	EF	CIE	HIS	ING	GEO	M1	GLO	EF	GLO	GLO	GLO
M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	LP	CIE	HIS	LP	GEO	M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M3	GLO	GLO	GLO	GLO	ING	T3	LP	LP	CIE	EF	LP	M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T4	MAT	LP	MAT	MAT	ART	M4	GLO	GLO	GLO	GLO	EF
M5	GLO	GLO	GLO	GLO	EF	T5	MAT	LP	MAT	MAT	ART	M5	GLO	GLO	GLO	GLO	ING
Turma: 22C (c=22)						Turma: 22D (c=23)						Turma: 22B (c=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	CIE	HIS	MAT	GEO	T1	CIE	MAT	HIS	MAT	LP	T1	EF	GEO	ING	CIE	MAT
T2	LP	CIE	HIS	MAT	GEO	T2	CIE	MAT	HIS	MAT	MAT	T2	LP	GEO	LP	CIE	LP
T3	EF	LP	CIE	ING	LP	T3	LP	CIE	LP	EF	EF	T3	LP	LP	CIE	LP	LP
T4	MAT	LP	MAT	EF	ART	T4	LP	LP	ART	LP	GEO	T4	MAT	LP	MAT	MAT	ART
T5	MAT	LP	MAT	LP	ART	T5	MAT	LP	ART	ING	GEO	T5	MAT	LP	MAT	MAT	ART

Turma: 23B (c=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	GEO	EF	CIE	MAT
T2	LP	GEO	ING	CIE	LP
T3	MAT	MAT	LP	CIE	LP
T4	EF	MAT	LP	HIS	ART
T5	MAT	MAT	LP	HIS	ART

Turma: 23C (c=26)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	GEO	LP	CIE	MAT
T2	LP	GEO	EF	CIE	LP
T3	MAT	MAT	ING	CIE	LP
T4	MAT	MAT	LP	HIS	ART
T5	EF	MAT	LP	HIS	ART

Turma: 24A (c=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	HIS	MAT	EF	CIE
T2	MAT	HIS	MAT	LP	CIE
T3	LP	LP	LP	LP	CIE
T4	ART	EF	LP	MAT	GEO
T5	ART	ING	LP	MAT	GEO

Turma: 24B (c=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	HIS	MAT	LP	CIE
T2	MAT	HIS	MAT	LP	CIE
T3	LP	ING	LP	MAT	CIE
T4	ART	LP	LP	EF	GEO
T5	ART	EF	LP	MAT	GEO

Turma: 24C (c=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	HIS	MAT	LP	CIE
T2	MAT	HIS	MAT	LP	CIE
T3	LP	EF	LP	EF	CIE
T4	ART	ING	LP	MAT	GEO
T5	ART	LP	LP	MAT	GEO

Turma: 25A (c=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	MAT	LP	CIE	EF
T2	EF	MAT	LP	HIS	LP
T3	ING	LP	LP	HIS	LP
T4	CIE	ART	MAT	GEO	MAT
T5	CIE	ART	MAT	GEO	MAT

Turma: 25B (c=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	ING	MAT	LP	CIE	LP
T2	LP	MAT	LP	HIS	EF
T3	EF	LP	LP	HIS	LP
T4	CIE	ART	MAT	GEO	MAT
T5	CIE	ART	MAT	GEO	MAT

Turma: 31A (c=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	MAT	QUI	FIS	SOC	EF
M2	FIS	LP	BIO	QUI	BIO
M3	GEO	LP	MAT	QUI	FIS
M4	FIL	ING	ART	EF	HIS
M5	BIO	ING	GEO	MAT	HIS
M6			LP		

Turma: 31B (c=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	FIS	ING	FIL	HIS	HIS
M2	MAT	ING	GEO	BIO	FIS
M3	BIO	GEO	LP	SOC	BIO
M4	QUI	LP	MAT	QUI	EF
M5	QUI	LP	ART	EF	MAT
M6			FIS		

Turma: 31C (c=34)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	QUI	LP	BIO	BIO	FIS
M2	BIO	SOC	FIS	EF	FIL
M3	MAT	QUI	GEO	FIS	ING
M4	HIS	GEO	LP	MAT	ING
M5	HIS	MAT	LP	QUI	EF
M6			ART		

Turma: 31D (c=35)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	BIO	SOC	LP	QUI	BIO
M2	QUI	BIO	FIL	FIS	EF
M3	LP	MAT	ART	EF	MAT
M4	ING	ING	GEO	HIS	FIS
M5	LP	GEO	FIS	HIS	QUI
M6			MAT		

Turma: 32A (c=36)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	LP	LP	FIS	LP	QUI
M2	GEO	EF	FIS	MAT	MAT
M3	HIS	ING	HIS	LP	FIS
M4	BIO	MAT	QUI	ING	BIO
M5	EF	FIL	MAT	SOC	GEO
M6			QUI		

Turma: 32B (c=37)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	HIS	ING	MAT	ING	MAT
M2	QUI	BIO	EF	LP	GEO
M3	FIS	LP	SOC	MAT	QUI
M4	GEO	BIO	LP	FIS	QUI
M5	MAT	EF	HIS	LP	FIS
M6			FIL		

Turma: 32C (c=38)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	FIS	BIO	EF	MAT	HIS
M2	LP	LP	MAT	FIS	QUI
M3	ING	SOC	LP	FIS	GEO
M4	MAT	EF	FIL	QUI	MAT
M5	GEO	QUI	LP	ING	BIO
M6			HIS		

Turma: 32D (c=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GEO	HIS	BIO	FIS	MAT
M2	HIS	QUI	LP	FIL	MAT
M3	QUI	ING	MAT	MAT	EF
M4	LP	QUI	FIS	LP	GEO
M5	FIS	BIO	SOC	EF	ING
M6			LP		

Turma: 32E (c=40)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	QUI	EF	MAT	EF	GEO
M2	BIO	LP	MAT	QUI	LP
M3	GEO	HIS	FIS	ING	MAT
M4	FIS	SOC	LP	FIL	HIS
M5	ING	MAT	BIO	FIS	QUI
M6			LP		

Turma: 33A (c=41)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	QUI	GEO	QUI	GEO	BIO
M2	MAT	FIL	QUI	ING	HIS
M3	MAT	BIO	LP	SOC	FIS
M4	FIS	MAT	FIS	EF	LP
M5	HIS	LP	LP	HIS	FIS
M6	QUI	MAT	QUI	MAT	BIO

Turma: 33B (c=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	FIS	BIO	FIS	SOC	LP
M2	QUI	GEO	LP	EF	FIS
M3	QUI	LP	BIO	GEO	HIS
M4	HIS	LP	QUI	HIS	MAT
M5	BIO	MAT			

Anexo I – Grades horárias dos professores da escola de validação

Prof: Álvaro (t=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22B	22B	22B		22B
T2		22B	22B		22B
T3	22B	22B	22B	22B	22B
T4	22B	22B	22B	22B	22B
T5	22B	22B	22B	22B	22B

Prof: Maurício (t=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1		25B	25B	25B	25B
T2	25B	25B	25B	25B	
T3		25B	25B	25B	25B
T4	25B	25B	25B	25B	25B
T5	25B	25B	25B	25B	25B

Prof: Ricardo (t=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22D	22D	22D	22D	22D
T2	22D	22D	22D	22D	22D
T3	22D	22D	22D		
T4	22D	22D	22D	22D	22D
T5	22D	22D	22D		22D

Prof: Cristiane (t=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		32B		32B	
M2		33D		33A	
M3	32C	32A		32E	
M4	31D	31D		32A	
M5	32E	33C		32C	33E
M6					33B

Prof: Alexandre (t=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	17B		17B		17A
M2	17B		17B		17A
M3			17A		17B
M4	17A				
M5	17A				

Prof: Robismar (t=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21D				
M2					
M3					
M4					
M5					21D
T1					
T2					
T3					22D
T4					
T5					

Prof: Fabiano (t=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	24A	24A	24A		24A
T2	24A	24A	24A	24A	24A
T3	24A	24A	24A	24A	24A
T4	24A		24A	24A	24A
T5	24A		24A	24A	24A

Prof: Lucas (t=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	16D		16D		16A
T2	16A		16B		16C
T3	16A				16D
T4	16C				16B
T5	16C				16B

Prof: Arthur (t=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33A	33D	33A
M2	33C	33B	31B	33D	
M3	31A	31B	31C	33B	
M4		31C	31D	33E	
M5		31D	31A	33C	
M6				33E	

Prof: Vinícius (t=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31A		32B	32C	32B
M2	31B		32C	32A	32A
M3	31C	31D	31A	32B	31D
M4	32C	32A	31B	31C	32C
M5	32B	31C	32A	31A	31B
M6			31D		

Prof: Greice (t=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	16A	15A	15C	16A	15B
T2	15B	16A	15B	15C	15D
T3	15B	16A	15D	15C	15D
T4	15A	15C	15A	15D	15A
T5	15D	15B	16A	15A	15C

Prof: Vanessa (t=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		17B	32C		
M2			32A	32B	
M3				17A	17B
M4	17C	32C	17A		
M5	32A	32B	17C		
M6					
T1		16B			15D
T2		16D			16C
T3		15D			16A
T4		16A			16B
T5	16C				16D

Prof: Leandro (t=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B				
M2	31B				
M3	32D			31C	
M4	31A			31C	
M5	31A				32D

Prof: Roberto (t=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1			16A		15C
T2			16C	15B	15A
T3			16B	15D	15C
T4			16C	15A	15B
T5			16B	16A	15D

Prof: João (t=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21C			21C	21C
M2	21C	21C	21C	21C	21C
M3	21C	21C	21C	21C	21C
M4	21C	21C	21C	21C	
M5	21C	21C	21C	21C	

Prof: Rafael (t=16)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				17B	
M2	17A			17C	
M3	17B			17C	
M4	17B			17A	
M5	17C			17A	

Prof: Bárbara (t=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	23C	23C	23C	23C	23C
T2	23C	23C		23C	23C
T3	23C	23C		23C	23C
T4	23C	23C	23C	23C	23C
T5	23C	23C	23C	23C	23C

Prof: Flávia (t=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

<tbl_r cells="6" ix="4" maxcspan="1" maxrspan="1" usedcols="6

Prof: Daniel (t=19)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22A			22B	
T2	22B				
T3	22C			22A	
T4				22C	
T5					

Prof: Diego (t=20)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	25A	25A	25A	25A	
T2		25A	25A	25A	25A
T3		25A	25A	25A	25A
T4	25A	25A	25A	25A	25A
T5	25A	25A	25A	25A	25A

Prof: William (t=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			21D	21D	21D
M2	21D	21D	21D	21D	21D
M3	21D	21D	21D	21D	
M4	21D	21D	21D	21D	21D
M5	21D	21D	21D	21D	

Prof: Denise (t=22)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31A	
M2			31C	31D	
M3			31D		
M4			31A	31B	
M5			31B	31C	
M6					
T1					
T2					
T3			15B		
T4				15C	
T5	15C		15A	15B	15A

Prof: Adriano (t=23)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		31D		31A	
M2		31C		32D	
M3		32C	32B	31B	
M4		32E	32C	32E	
M5		32A	32D	32A	
M6			32B		

Prof: Tamara (t=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	15C	15B	16C	15C	
T2	15A	15D	16A		
T3	15A	16C	16D		
T4	15B	16D	16B		
T5	16B	16A	15D		

Prof: Karen (t=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33A		33A		
M2	33B		33A		
M3	33B		33C		
M4	33C		33B		
M5	33C		33B		
M6	33A		33C		

Prof: Tatiana (t=26)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33C	33B	32D		33A
M2	32E	32B	33E		33D
M3	33E	33A	33B		33E
M4		32B	33D		
M5	33B	32D	32E		33C
M6	33C		33D		33A

Prof: Pablo (t=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33D	33D	31B	33B	18A
M2	18D	33A	31D	33E	31C
M3	18B	33C		33A	17A
M4	31A	33E		33C	
M5	17C	18C		33B	17B
M6					

Prof: Ignacio (t=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33E			33E	
M2	33E			33E	
M3	33D			33D	
M4	33D			33D	
M5					
M6					
T1		16A		16B	
T2	16B	16B		16B	
T3	16B				
T4	16A			16A	
T5	16A			16A	

Prof: Alessandra (t=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18D	18C		31B	31B
M2	18C	18B		18A	18B
M3	18A	18B		18A	18D
M4	31C	18C		31D	31A
M5	31C	18D		31D	31A
T1	16B			16C	16C
T2				16A	16A
T3				16B	16C
T4				16A	
T5				16B	

Prof: Cristina (t=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		33C	33C		33B
M2		32E	33B		32E
M3		33B	33A		33C
M4		33B	32E		33A
M5		33A	33A		
M6			32E		33C

Prof: Moacir (t=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3		31D			
M4		31A			
M5		31B			
M6		31C			
T1					
T2					
T3					
T4			16D		
T5			16D		

Prof: Ivone (t=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32B	32D	33E	33E	32C
M2	32D	33E	33D	33C	33A
M3	32A	32E	32A	33D	33B
M4	33B	33C	33C	33B	32E
M5	33A	33D	32B	33A	
M6			32C		

Prof: Bruno (t=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22C	22C	22C	22C	22C
T2	22C	22C	22C	22C	22C
T3		22C	22C		22C
T4	22C	22C	22C		22C
T5	22C	22C	22C	22C	22C

Prof: Carla (t=34)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1		22A	22A		22A
T2	22A	22A	22A	22A	22A
T3	22A	22A	22A		22A
T4	22A	22A	22A	22A	22A
T5	22A	22A	22A	22A	22A

Prof: Alice (t=35)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A				

Prof: Elias (t=37)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		18D	32E	18B	32D
M2		18D	32E	18B	32D
M3	18C	18C	32D	32D	32E
M4	18C	18B	18D	18D	18C
M5	18B	32E	18B	18C	18D
M6					

Prof: Lúcia (t=38)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21A	21A	21A	21A	21A
M2	21A		21A	21A	21A
M3	21A	21A	21A	21A	
M4	21A	21A	21A	21A	21A
M5	21A	21A	21A	21A	

Prof: Luciano (t=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			18B		
M2			18C		
M3			18D		
M4			17A		18A
M5			17B		17C
T1					15A
T2					15C
T3			16B		16A
T4			16C		15D
T5			16D		15B

Prof: Énio (t=40)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31C	31A	17A	31D	17B
M2	31D		17A	31A	17B
M3	17A	31C	18A	31A	17C
M4	31B	18A	17C	31B	17C
M5	31B	18A	17B	31C	31D
M6					

Prof: Raquel (t=41)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	15A	15C	15B	15B	
T2	15D	15C	15A	15A	
T3	15D	15B	15A	15B	
T4	15C	15D	15D	15C	
T5	15B	15A	15C	15D	

Prof: Simone (t=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				18B	18D
M2					18D
M3				18D	18C
M4				18C	18B
M5				18C	18B

Prof: Marcos (t=44)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32C		32A	33C	33C
M2	33A	33C	32A	32C	33C
M3	33A	33E	33D	32C	32A
M4	33A	33E	33D	33B	
M5	33D	33B	33E	33D	33B
M6	33B		33A		33E
T1		16C		16B	16D
T2		16C		16B	16D
T3		16D		16D	16B
T4		16B		16D	16C
T5		16B		16C	16C

Prof: Vanderlei (t=45)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	17C			18A	18B
M2	17A				17C
M3	17B			18C	18A
M4	18D			18B	17B
M5	18C			18D	17A

Prof: Teresinha (t=46)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18B			18C	18C
M2	18B			18C	18D
M3	18D			18B	18D
M4	18A			18A	18A
M5	18A			18D	18A

Prof: Renata (t=50)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	24B	24B	24B	24B	24B
T2	24B	24B	24B	24B	24B
T3	24B		24B	24B	24B
T4	24B	24B	24B		24B
T5	24B		24B	24B	24B

Prof: Aline (t=51)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1		23A		23A	23A
T2	23A	23A	23A	23A	23A
T3	23A	23A		23A	23A
T4	23A	23A	23A	23A	23A
T5	23A	23A	23A	23A	23A

Prof: Samara (t=52)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B		31A	32D	31C
M2	31A			31C	31B
M3	32B			32E	31C
M4	32E			32D	32B
M5	32D			31D	32E
M6				31B	

Prof: Maria (t=53)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			18D	18D	17C
M2			18B	17B	18A
M3			17C	18B	21D
M4			17B	18C	17A
M5			17A	18A	18C
T1	15D		16B		15D
T2	15C		16D		15B
T3	16C		16A	15A	15A
T4	16B		16A	15B	
T5	16D		16C	15C	

Prof: Patrícia (t=54)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18C	21C			
M2	18A	21A	18D		
M3			18C		21B
M4	18B		18B		21C
M5	18D		18A		21A
T1	23A		23B	24A	25A
T2	25A		23C		25B
T3	25B	24C	23A	24C	
T4	23B	24A		24B	
T5	23C	24B			

Prof: Sandra (t=55)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					21A
M4					21B
M5					21C
T1	25B			23A	22A
T2				23B	22B
T3	25A	24B	23C	22C	
T4		24C			
T5		24A			22D

Prof: Eliana (t=56)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18A	18A	18A		
M2		18A	18A		
M3					
M4					
M5					

Prof: Sabrina (t=57)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2				18C	
M3		18A		17A	
M4		18D		17C	
M5		18B		17B	
T1	15B	16D	15A		
T2	16D	15B	15D		
T3	15C	15C	15B		
T4	15D	15A	15C		
T5	15A	15D	16D		

Prof: Jéssica (t=58)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			17C	17C	17C
M2			17C	17C	
M3					
M4					
M5					
T1	16C				16D
T2	16C				16D
T3	16D			16C	16C
T4	16D			16D	16C
T5					

Prof: Adão (t=59)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31D	32C	31C	31C	31D
M2	31C	31D	31A	31B	31A
M3	31B				31B
M4	32A				32A
M5	31A				32C
M6					
T1		15D	15D	15A	
T2		15A	15C	15D	
T3		15A	15C		
T4		15B	15B		
T5		15C	15B		

Prof: Henrique (t=60)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	23B	23B		23B	23B
T2	23B	23B		23B	23B
T3	23B	23B	23B	23B	23B
T4		23B	23B	23B	23B
T5	23B	23B	23B	23B	23B

Prof: Marcelo (t=61)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21B	21B	21B	21B	21B
M2	21B	21B	21B	21B	21B
M3	21B	21B	21B	21B	
M4	21B	21B			21B
M5	21B	21B	21B	21B	21B

Prof: Cecília (t=62)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	17A	17A		17A	
M2	17C	17B		17A	
M3	17C	17C		17B	
M4	17B	17C		17B	
M5	17B	17A		17C	

Prof: Rita (t=63)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33B		33B		33D
M2	33D		33C		33B
M3	33C		33E		33A
M4	33A	33D	33A		33C
M5	33E	33E	33C		33A
M6	33E		33B		33D

Anexo J – Grades horárias das turmas geradas pelo modelo para validação

Turma: 15A (c=1)						Turma: 15B (c=2)						Turma: 15C (c=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	HIS	MAT	ING	LP	CIE	T1	MAT	HIS	MAT	EF	ING	T1	CIE	LP	LP	HIS	ART
T2	HIS	MAT	GEO	EF	CIE	T2	CIE	ESP	ART	LP	ART	T2	ING	HIS	LP	GEO	ESP
T3	LP	LP	GEO	LP	CIE	T3	MAT	GEO	CIE	HIS	ING	T3	CIE	MAT	LP	MAT	EF
T4	MAT	HIS	MAT	ART	ESP	T4	LP	LP	LP	CIE	MAT	T4	ING	GEO	HIS	MAT	EF
T5	ING	MAT	EF	LP	ART	T5	MAT	LP	GEO	HIS	EF	T5	LP	CIE	ART	MAT	MAT
Turma: 15D (c=4)						Turma: 16A (c=5)						Turma: 16B (c=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	GEO	CIE	ING	MAT	T1	ING	LP	CIE	MAT	ESP	T1	CIE	HIS	ART	MAT	CIE
T2	LP	LP	EF	MAT	MAT	T2	MAT	EF	MAT	ART	HIS	T2	MAT	LP	ING	MAT	CIE
T3	HIS	ESP	MAT	CIE	MAT	T3	ING	EF	LP	GEO	CIE	T3	MAT	LP	ART	MAT	HIS
T4	HIS	EF	ART	LP	ART	T4	HIS	MAT	LP	GEO	CIE	T4	GEO	LP	EF	EF	ING
T5	HIS	GEO	LP	CIE	ING	T5	HIS	LP	MAT	ART	LP	T5	LP	ESP	LP	GEO	HIS
Turma: 16C (c=7)						Turma: 16D (c=8)						Turma: 17A (c=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	EF	MAT	ART	HIS	T1	LP	LP	LP	GEO	MAT	T1	MAT	EF	LP	CIE	ESP
T2	GEO	HIS	CIE	LP	MAT	T2	CIE	LP	MAT	ING	ART	T2	LP	MAT	CIE	FIL	LP
T3	CIE	LP	ING	ART	ESP	T3	GEO	HIS	EF	LP	MAT	T3	GEO	HIS	EF	MAT	LP
T4	CIE	LP	GEO	LP	HIS	T4	EF	ESP	ING	HIS	MAT	T4	ING	HIS	LP	MAT	CIE
T5	EF	MAT	ING	LP	MAT	T5	CIE	HIS	ART	MAT	CIE	T5	GEO	HIS	ART	MAT	ING
Turma: 17B (c=10)						Turma: 17C (c=11)						Turma: 17A (c=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	LP	MAT	CIE	MAT	LP	M1	EF	HIS	LP	LP	ING	M1	MAT	EF	LP	CIE	ESP
M2	ING	HIS	LP	HIS	ESP	M2	MAT	ESP	LP	MAT	ING	M2	LP	MAT	CIE	FIL	LP
M3	MAT	MAT	LP	EF	FIL	M3	CIE	CIE	LP	HIS	GEO	M3	GEO	HIS	EF	MAT	LP
M4	GEO	ART	EF	CIE	GEO	M4	MAT	MAT	ART	HIS	FIL	M4	ING	HIS	LP	MAT	CIE
M5	ING	MAT	LP	HIS	CIE	M5	CIE	HIS	ART	MAT	CIE	M5	GEO	HIS	ART	MAT	ING
Turma: 18B (c=13)						Turma: 18C (c=14)						Turma: 18A (c=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GEO	ESP	MAT	GEO	LP	M1	HIS	MAT	LP	ING	EF	M1	LP	CIE	MAT	EF	GEO
M2	MAT	HIS	ART	ING	CIE	M2	HIS	FIL	CIE	GEO	LP	M2	LP	MAT	MAT	EF	GEO
M3	ING	EF	LP	MAT	LP	M3	LP	ART	CIE	GEO	CIE	M3	HIS	HIS	CIE	LP	ING
M4	EF	HIS	CIE	FIL	HIS	M4	HIS	ESP	LP	MAT	MAT	M4	LP	MAT	FIL	ING	ESP
M5	MAT	MAT	CIE	LP	LP	M5	LP	EF	MAT	ING	MAT	M5	CIE	MAT	LP	ART	HIS
Turma: 21A (c=16)						Turma: 21B (c=17)						Turma: 21C (c=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GLO	EF	GLO	GLO	GLO	M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M1	ING	FIL	CIE	LP	HIS
M2	GLO	EF	GLO	GLO	GLO	M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M2	GEO	MAT	LP	LP	EF
M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M3	MAT	MAT	ART	EF	ESP
M4	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	M4	GLO	EF	GLO	GLO	GLO	M4	LP	MAT	MAT	LP	CIE
M5	GLO	GLO	GLO	GLO	ING	M5	EF	GLO	GLO	ING	GLO	M5	HIS	HIS	ING	GEO	CIE
Turma: 21D (c=19)						Turma: 22A (c=20)						Turma: 22B (c=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T1	MAT	GEO	CIE	LP	CIE	T1	CIE	CIE	ART	LP	GEO
M2	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	T2	MAT	GEO	HIS	CIE	ING	T2	CIE	MAT	ART	ING	LP
M3	GLO	GLO	GLO	ING	GLO	T3	LP	LP	HIS	LP	LP	T3	LP	MAT	MAT	GEO	LP
M4	GLO	GLO	GLO	EF	GLO	T4	EF	MAT	LP	MAT	ART	T4	MAT	LP	MAT	EF	HIS
M5	GLO	GLO	GLO	EF	GLO	T5	EF	MAT	LP	MAT	ART	T5	MAT	LP	LP	EF	HIS
Turma: 22C (c=22)						Turma: 22D (c=23)						Turma: 23A (c=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX		SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	LP	MAT	EF	GEO	T1	LP	GEO	HIS	LP	CIE	T1	LP	MAT	LP	HIS	ING
T2	MAT	MAT	MAT	EF	GEO	T2	ING	GEO	HIS	MAT	CIE	T2	CIE	MAT	LP	HIS	LP
T3	CIE	MAT	HIS	ART	LP	T3	CIE	LP	LP	MAT	LP	T3	CIE	LP	LP	CIE	LP
T4	ING	LP	HIS	ART	LP	T4	ART	MAT	MAT	EF	LP	T4	EF	GEO	ART	MAT	MAT
T5	CIE	LP	CIE	LP	LP	T5	ART	MAT	MAT	EF	LP	T5	EF	GEO	ART	MAT	MAT

Turma: 23B (c=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	MAT	ING	CIE	CIE
T2	GEO	MAT	EF	CIE	LP
T3	GEO	ART	EF	LP	LP
T4	MAT	ART	LP	MAT	HIS
T5	MAT	LP	LP	MAT	HIS

Turma: 23C (c=26)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	MAT	EF	GEO	LP
T2	MAT	MAT	MAT	HIS	CIE
T3	ING	LP	MAT	HIS	CIE
T4	LP	LP	EF	LP	GEO
T5	LP	CIE	ART	LP	ART

Turma: 24A (c=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	EF	MAT	GEO	LP	HIS
T2	LP	MAT	GEO	MAT	MAT
T3	LP	EF	HIS	MAT	MAT
T4	LP	LP	ART	CIE	LP
T5	CIE	ING	ART	CIE	LP

Turma: 24B (c=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	CIE	EF	LP	LP	HIS
T2	CIE	GEO	LP	MAT	HIS
T3	EF	GEO	ART	MAT	LP
T4	LP	MAT	ART	LP	MAT
T5	ING	MAT	CIE	LP	MAT

Turma: 24C (c=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	MAT	CIE	LP	EF	GEO
T2	MAT	EF	LP	MAT	GEO
T3	LP	HIS	MAT	MAT	ING
T4	ART	HIS	MAT	CIE	LP
T5	ART	LP	LP	CIE	LP

Turma: 25A (c=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	LP	CIE	MAT	ING	HIS
T2	EF	CIE	MAT	MAT	HIS
T3	MAT	ART	GEO	MAT	LP
T4	MAT	ART	GEO	LP	CIE
T5	LP	LP	EF	LP	LP

Turma: 25B (c=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	ING	MAT	MAT	CIE	EF
T2	MAT	MAT	MAT	HIS	EF
T3	MAT	LP	GEO	HIS	ART
T4	LP	CIE	GEO	LP	ART
T5	LP	LP	LP	LP	CIE

Turma: 31A (c=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	MAT	LP	EF	BIO	QUI
M2	QUI	MAT	SOC	BIO	ART
M3	BIO	MAT	FIS	HIS	ING
M4	GEO	ING	LP	HIS	FIS
M5	FIL	QUI	LP	EF	FIS
M6			GEO		

Turma: 31B (c=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	BIO	MAT	LP	FIS	EF
M2	BIO	FIS	EF	HIS	HIS
M3	FIL	LP	LP	QUI	QUI
M4	MAT	FIS	QUI	MAT	ING
M5	BIO	GEO	GEO	SOC	ING
M6			ART		

Turma: 32B (c=37)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GEO	FIS	FIS	SOC	ING
M2	BIO	LP	FIS	MAT	QUI
M3	EF	LP	QUI	MAT	GEO
M4	QUI	FIL	MAT	EF	HIS
M5	BIO	LP	MAT	ING	HIS
M6			LP		

Turma: 32C (c=38)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	HIS	ING	FIL	LP	MAT
M2	FIS	ING	LP	EF	GEO
M3	LP	HIS	LP	FIS	QUI
M4	BIO	MAT	QUI	SOC	QUI
M5	EF	MAT	BIO	MAT	GEO
M6			FIS		

Turma: 32D (c=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	MAT	LP	HIS	HIS	QUI
M2	FIS	QUI	MAT	MAT	BIO
M3	QUI	ING	MAT	LP	EF
M4	GEO	LP	SOC	FIS	BIO
M5	GEO	ING	LP	FIS	EF
M6			FIL		

Turma: 32E (c=40)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	FIS	SOC	QUI	MAT	LP
M2	GEO	LP	QUI	FIL	FIS
M3	GEO	LP	LP	EF	FIS
M4	MAT	HIS	BIO	HIS	ING
M5	QUI	EF	BIO	MAT	ING
M6			MAT		

Turma: 33A (c=41)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	QUI	LP	QUI	ING	FIS
M2	FIL	HIS	HIS	EF	FIS
M3	GEO	BIO	HIS	SOC	MAT
M4	BIO	BIO	LP	MAT	LP
M5	FIS	FIS	LP	GEO	MAT
M6	QUI		QUI		MAT

Turma: 33B (c=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	GEO	BIO	LP	MAT	BIO
M2	QUI	FIS	MAT	MAT	MAT
M3	QUI	SOC	FIL	ING	LP
M4	FIS	LP	QUI	EF	FIS
M5	QUI	HIS	HIS	HIS	FIS
M6	GEO		LP		BIO

Turma: 33C (c=43)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	FIL	FIS	BIO	EF	HIS
M2	FIS	MAT	QUI	HIS	LP
M3	BIO	FIS	QUI	HIS	BIO
M4	QUI	GEO	MAT	GEO	MAT
M5	ING	LP	QUI	MAT	LP
M6	FIS		SOC		LP

Turma: 33D (c=44)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	FIS	GEO	FIS	QUI	MAT
M2	HIS	BIO	BIO	GEO	ING
M3	HIS	LP	BIO	QUI	FIS
M4	HIS	EF	FIS	QUI	LP
M5	MAT	QUI	MAT	SOC	LP
M6	MAT		LP		FIL

Turma: 33E (c=45)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	BIO	MAT	MAT	FIL	LP
M2	QUI	LP	FIS	QUI	LP
M3	FIS	MAT	FIS	GEO	HIS
M4	SOC	MAT	GEO	ING	EF
M5	HIS	BIO	FIS	QUI	BIO
M6					

Anexo K – Grades horárias dos professores geradas pelo modelo para validação

Prof: Álvaro (t=1)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22B	22B	22B	22B	22B
T2	22B	22B	22B		22B
T3	22B	22B	22B	22B	22B
T4	22B	22B	22B		22B
T5	22B	22B	22B		22B

Prof: Maurício (t=2)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1		25B	25B	25B	
T2	25B	25B	25B	25B	
T3	25B	25B	25B	25B	25B
T4	25B	25B	25B	25B	25B
T5	25B	25B	25B	25B	25B

Prof: Ricardo (t=3)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22D	22D	22D	22D	22D
T2		22D	22D	22D	22D
T3	22D	22D	22D	22D	22D
T4	22D	22D	22D		22D
T5	22D	22D	22D		22D

Prof: Cristiane (t=4)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		32C		33A	32B
M2	32C			32A	33D
M3	31D			33B	32A
M4				33E	32E
M5	33C	31D		32B	32E
M6					

Prof: Alexandre (t=5)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	17B		17A		17B
M2	17A		17B		17A
M3			17B		17A
M4			17A		
M5			17B		

Prof: Robismar (t=6)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2					
M3					
M4					21D
M5					21D
T1					
T2					
T3					
T4					22D
T5					22D

Prof: Fabiano (t=7)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1		24A	24A	24A	24A
T2	24A	24A	24A	24A	24A
T3	24A		24A	24A	24A
T4	24A	24A	24A	24A	24A
T5	24A		24A	24A	24A

Prof: Lucas (t=8)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	16B		16A		16B
T2	16D		16C		16B
T3	16C				16A
T4	16C				16A
T5	16D				16D

Prof: Arthur (t=9)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33B	33D			31D
M2	31C				33D
M3	33A			31D	33E
M4	31A	33C	33E	33C	
M5	31C	31B	31B	31B	33A
M6	33B		31A		

Prof: Vinícius (t=10)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31A	31B	31D		32C
M2	31D	31A	32A	32B	31C
M3	31C	31A	32A	32B	
M4	31B	32C	32B	31B	31C
M5	32A	32C	32B	32C	31D
M6			32A		

Prof: Greice (t=11)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	15B	15A	15B	16A	15D
T2	16A	15A	16A	15D	15D
T3	15B	15C	15D	15C	15D
T4	15A	16A	15A	15C	15B
T5	15B	15A	16A	15C	15C

Prof: Vanessa (t=12)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	17C	17A			32A
M2					32C
M3	32B			17A	17B
M4	32A			17B	32B
M5	32C				17C
M6					
T1		16C			
T2		16A	15D		
T3		16A	16D		
T4	16D	15D	16B	16B	
T5	16C				

Prof: Leandro (t=13)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		31C			
M2	31C				
M3	32D			31A	
M4	31A			31B	
M5	32D			31B	

Prof: Roberto (t=14)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1			16B	16C	15C
T2			15B	16A	15B
T3			16B	16C	
T4			15D	15A	15D
T5			15C	16A	15A

Prof: João (t=15)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21C		21C	21C	21C
M2	21C	21C	21C	21C	21C
M3	21C	21C	21C	21C	21C
M4	21C	21C	21C		21C
M5	21C	21C			21C

Prof: Rafael (t=16)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		17C			
M2	17B		17B		
M3	17A		17C		
M4	17A		17C		
M5	17A		17B		

Prof: Bárbara (t=17)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	23C	23C		23C	23C
T2	23C	23C	23C	23C	23C
T3	23C	23C	23C	23C	23C
T4	23C	23C		23C	23C
T5	23C	23C	23C	23C	23C

Prof: Flávia (t=18)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX

<tbl_r cells="6" ix="4" maxcspan="1" max

Prof: Daniel (t=19)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1				22C	
T2				22C	
T3					
T4	22A			22B	
T5	22A			22B	

Prof: Diego (t=20)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	25A	25A	25A		25A
T2		25A	25A	25A	25A
T3	25A	25A	25A	25A	25A
T4	25A	25A	25A	25A	25A
T5	25A	25A		25A	25A

Prof: William (t=21)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21D	21D	21D	21D	21D
M2	21D	21D	21D	21D	21D
M3	21D	21D	21D		21D
M4	21D	21D	21D		21D
M5	21D	21D	21D		21D

Prof: Denise (t=22)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			31A		31B
M2			31B		
M3			31C		31D
M4				31C	31D
M5				31A	
M6					
T1				15B	
T2				15A	
T3					15C
T4					15C
T5			15A		15B

Prof: Adriano (t=23)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			32E	32C	32B
M2			32A	31A	32E
M3			31C		31D
M4			32B	32D	32C
M5				32A	31B
M6					32D

Prof: Tamara (t=24)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1				15D	
T2				16C	
T3				16D	15A
T4				16B	15C
T5					16A

Prof: Karen (t=25)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33A		33A		
M2	33B		33C		
M3	33B		33C		
M4	33C		33B		
M5	33B		33C		
M6	33A		33A		

Prof: Tatiana (t=26)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33E	33B	33C		33B
M2	32B	33D	33D		32D
M3	33C	33A	33D		33C
M4	33A	33A	32E		32D
M5	32B	33E	32E		33E
M6					33B

Prof: Pablo (t=27)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33C	18D		33E	
M2	33A	18C			17A
M3	31B	33B	33B	33A	17B
M4	33E			18A	18B
M5	31A		31D	33D	31C
M6			33C		33D

Prof: Ignacio (t=28)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				33E	
M2		33E		33E	
M3	33D				
M4				33D	
M5				33D	
M6			33D		33E
T1		16A			
T2	16B				
T3	16B	16A			
T4	16B	16A			
T5	16B	16A	16B		16A

Prof: Alessandra (t=29)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18C	31D		31C	18D
M2	18C	18B		31B	31B
M3	18A	18A		31A	31C
M4	18C	18B		31A	18B
M5	18D	18D		31D	18A
T1		16B			16C
T2		16C			16A
T3					16B
T4	16A				16C
T5	16A				16B

Prof: Cristina (t=30)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			33A	33B	
M2				32E	
M3			32E	32E	
M4			33B	33A	
M5			33C	33A	
M6				33B	

Prof: Moacir (t=31)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				31D	
M2					31A
M3					
M4					
M5			31C		
M6			31B		
T1					
T2					16D
T3					
T4					
T5			16D		

Prof: Ivone (t=32)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32C		32D	32D	33C
M2	33D	33A	33A	33C	32A
M3	33D	32C	33A	33C	33E
M4	33D	32E	32A	32E	32B
M5	33E	33B	33B	33B	32B
M6			33E		

Prof: Bruno (t=33)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22C	22C	22C		22C
T2	22C	22C	22C		22C
T3	22C	22C	22C	22C	22C
T4		22C	22C	22C	22C
T5	22C	22C	22C	22C	22C

Prof: Carla (t=34)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	22A	22A	22A	22A	22A
T2	22A	22A	22A	22A	
T3	22A	22A	22A	22A	22A
T4	22A	22A	22A	22A	
T5	22A	22A	22A	22A	22A

Prof: Alice (t=35)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31D	32D	32A	32C	
M2	32A	32B	32		

Prof: Elias (t=37)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32D	18C	18B	32E	
M2	18B	18D	32D	32D	
M3	18D	18D	32D	18B	
M4	32E	18D	18D	18C	18C
M5	18B	18B	18C	32E	18C
M6			32E		

Prof: Lúcia (t=38)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21A		21A	21A	21A
M2	21A		21A	21A	21A
M3	21A	21A	21A	21A	21A
M4	21A	21A	21A	21A	21A
M5	21A	21A	21A	21A	

Prof: Luciano (t=39)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			18B		17A
M2			17C		17B
M3					18D
M4			18C		18A
M5					
T1					16A
T2			15B		15C
T3			15D		16C
T4			16D		15A
T5			16B		

Prof: Énio (t=40)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31C	18A	17B	17A	31A
M2	31A	31D	17A		
M3	17C	17C	18A	31B	31B
M4	31C	31D	31B	17B	17A
M5	18A	31A	17C	31C	17B
M6			31D		

Prof: Raquel (t=41)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	15D	15C	15C	15A	
T2	15D	15D	15C	15B	
T3	15A	15A	15C	15A	
T4	15B	15B	15B	15D	
T5	15C	15B	15D	15A	

Prof: Simone (t=42)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				18D	
M2				18C	18B
M3				18C	18C
M4				18B	18D
M5				18B	18D

Prof: Marcos (t=44)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32A	33E	33E	33B	33D
M2	32C	33C	33B	33B	33B
M3	32A	33E		32C	33A
M4		33E	33C	33A	33C
M5	33D	32A	33D	33C	33A
M6	33D		32C		33A
T1	16C		16C	16B	16D
T2	16B		16D	16B	16C
T3	16B			16B	16D
T4				16D	
T5		16C		16D	16C

Prof: Vanderlei (t=45)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18B			18B	18A
M2	18D			18C	18A
M3	17A			18C	17C
M4	17B				17B
M5	17A			18D	17C

Prof: Teresinha (t=46)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18A			18C	18D
M2	18A			18D	18C
M3	18C			18B	18A
M4	18A			18C	18D
M5	18C			18A	18B

Prof: Renata (t=50)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	24B		24B	24B	24B
T2	24B	24B	24B	24B	24B
T3		24B	24B	24B	24B
T4	24B	24B	24B	24B	24B
T5		24B	24B	24B	24B

Prof: Aline (t=51)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	23A	23A	23A	23A	
T2	23A	23A	23A	23A	23A
T3	23A	23A	23A	23A	23A
T4		23A	23A	23A	23A
T5	23A	23A	23A	23A	23A

Prof: Samara (t=52)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	32E	32B	32B	31B	31C
M2	32D	31B	32B	31C	32E
M3	31D		31A	31C	32E
M4	31D	31B		32D	31A
M5	31D			32D	31A
M6					

Prof: Maria (t=53)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	18D			18C	17C
M2	17B			18B	17C
M3	18B			21D	18A
M4	17A			18A	
M5	17B		18D	18C	17A
T1	16A		15A	15D	15B
T2	15C		16B	16D	
T3	16A		16C		15B
T4	15C		16D		16B
T5	15A		16C		15D

Prof: Patrícia (t=54)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1		21A		18A	18C
M2		21A		18A	18D
M3		18B			18D
M4	18B	21B		21C	
M5	21B	18C	21C		
T1	24A	24B	23C	24C	25B
T2	25A	24C	23B		25B
T3	24B	24A	23B		
T4	23A		23C		
T5	23A		25A		

Prof: Sandra (t=55)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			21C		
M2					
M3					
M4					
M5					
T1	25B		23B	25A	23A
T2	22D			22B	22A
T3	23C				24C
T4	22C				
T5	24B	24A			

Prof: Eliana (t=56)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1			18A		
M2		18A	18A		
M3					
M4		18A			
M5		18A			

Prof: Sabrina (t=57)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1					
M2			18B		
M3		18C	18D		
M4		17B	17C		
M5			17A	18A	
T1	15A	15B		15C	
T2	15A	15C			
T3	15D	16D		15B	
T4	15D	15A	15C	16D	
T5	15D	16D		15B	

Prof: Jéssica (t=58)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1				17C	17C
M2				17C	
M3				17C	
M4					
M5		17C			
T1	16D	16D	16D		
T2		16D		16C	
T3		16C		16D	
T4		16C		16C	
T5				16C	

Prof: Adão (t=59)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	31B	32A	31C	31A	
M2	31B		31D	31A	31D
M3	31A			32A	
M4	32C		31C	31D	
M5	31B		32C		
M6			31C		
T1	15C		15D		15A
T2	15B				15A
T3	15C		15B	15D	15A
T4				15B	
T5		15C		15D	

Prof: Henrique (t=60)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
T1	23B	23B		23B	23B
T2	23B	23B		23B	23B
T3	23B	23B		23B	23B
T4	23B	23B	23B	23B	23B
T5	23B	23B	23B	23B	23B

Prof: Marcelo (t=61)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	21B	21B	21B	21B	21B
M2	21B	21B	21B	21B	21B
M3	21B	21B	21B	21B	21B
M4	21B		21B	21B	21B
M5		21B	21B		21B

Prof: Cecília (t=62)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	17A	17B		17B	
M2	17C	17A		17C	
M3	17B	17B		17A	
M4	17C	17C		17A	
M5	17C	17B		17A	

Prof: Rita (t=63)					
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
M1	33D	33C	33D		33A
M2	33C	33B	33E		33A
M3	33E	33C	33E		33D
M4	33B		33D		33B
M5	33A	33A	33E		33B
M6	33C				