UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

FABIO SANTANA DE OLIVEIRA

Otimização interativa de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições

Goiânia
2019

sistema de bibliotecas ufg

PRPG
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

UFG

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **[X] Dissertação** **[ ] Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Fábio Santana de Oliveira

Título do trabalho: Otimização interativa de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [ ] NÃO[1]

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Fabio S Oliveira

Assinatura do autor

Ciente e de acordo:

Assinatura do orientador

Data: 27/12/2019

[1]

Versão atualizada em maio de 2017.

FABIO SANTANA DE OLIVEIRA

Otimização interativa de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições

Dissertação apresentada ao Programa de Pós–Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação.

Área de concentração: Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento

Goiânia
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Fabio Santana de
Otimização interativa de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições [manuscrito] / Fabio Santana de Oliveira. - 2019.
LXXXVIII, 88 f.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Informática (INF), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Goiânia, 2019.
Bibliografia. Apêndice.
Inclui tabelas, algoritmos, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Problema de definição de quadro de horário de aulas interativo. 2. Dicas do usuário. I. Nascimento, Hugo Alexandre Dantas do, orient. II. Título.

CDU 004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE INFORMÁTICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **19/2019** da sessão de Defesa de Dissertação de **Fábio Santana de Oliveira**, que confere o título de Mestre(a) em **Ciência da Computação**, na área de concentração em **Ciência da Computação**.

Ao/s dezenove dias do mês de dezembro de dois mil e dezenove, a partir das catorze horas, na **151** do Instituto de Informática, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **"Otimização de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições por meio de abordagem interativa"**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Hugo Alexandre Dantas do Nascimento (INF/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Carlos Heitor Pereira Liberalino (UERN), membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professor Doutor Humberto José Longo (INF/UFG), membro titular interno. Durante a arguição, os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho, **conforme explicitado abaixo,** e de melhorias pontuais no texto da dissertação. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Hugo Alexandre Dantas do Nascimento, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata, que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) dezenove dias do mês de dezembro de dois mil e dezenove.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Otimização interativa de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições

---

Documento assinado eletronicamente por **Hugo Alexandre Dantas Do Nascimento**, **Vice-Coordenador de Pós-graduação**, em 19/12/2019, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Humberto Jose Longo**, **Professor do Magistério Superior**, em 19/12/2019, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Carlos Heitor Pereira Liberalino**, **Usuário Externo**, em 19/12/2019, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1071358** e o código CRC **82F19DAF**.

Referência: Processo nº 23070.044895/2019-84 SEI nº 1071358

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador(a).

Fabio Santana de Oliveira

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade de Brasília - UnB. Durante o mestrado, na Universidade de Goiás - UFG, foi bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG.

Dedico este trabalho à minha esposa Juliana, pelo apoio e companheirismo.
Também dedico às minhas filhas Eduarda e Valentina.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento, por toda a atenção e dedicação à minha orientação. Sem o seu apoio este trabalho não seria possível.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás – FAPEG, pela bolsa de mestrado.

Resumo

Oliveira, Fabio Santana de. **Otimização interativa de problemas de quadro de horário escolar sujeito a restrições**. Goiânia, 2019. 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

A definição de um quadro de horário de aulas é uma tarefa frequente e árdua nas instituições de ensino, como em universidade e em escolas, mas que pode ser apoiada por processos interativos. Entretanto, há uma carência de métodos altamente interativos que ajudem na especificação das características desse tipo de problema e na busca por uma solução de qualidade. No presente trabalho, apresentamos uma abordagem de otimização interativa baseada em *dicas do usuário* (no *framework User Hints*) para facilitar a construção de quadros de horário nas escolas. Uma avaliação envolvendo escolas públicas de ensino fundamental e médio demonstra que a abordagem interativa contribui de forma eficaz para encontrar uma solução que seja adequada às necessidades da instituição.

Palavras–chave

problema de definição de quadro de horário de aulas interativo, dicas do usuário.

Abstract

Oliveira, Fabio Santana de. **<Interactive optimization of school timetabling problems subject to restrictions>**. Goiânia, 2019. 88p. MSc. Dissertation. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

Defining a classroom timetable is a frequent and arduous task in educational institutions, such as in universities and schools, that can be supported by interactive processes. However, there is a lack of highly interactive methods that may help in specifying the characteristics of this type of problem and in finding a high quality solution. In the present paper, we present an interactive optimization approach based on the *User Hints framework* to facilitate the construction of timetables in schools. An assessment involving public elementary and high schools shows that the interactive approach effectively contributes to finding a solution that suits the institution's needs.

Keywords

interactive school timetabling, user hints

Sumário

Lista de Figuras **10**

Lista de Tabelas **11**

Lista de Algoritmos **12**

1 Introdução **13**
- 1.1 Objetivos 14
- 1.2 Organização da Dissertação 15

2 Fundamentação Teórica **16**
- 2.1 Problema de Definição de Quadro de Horário de Aulas 16
- 2.2 Elaboração Interativa de Horário para Instituições de Ensino 20
- 2.3 O *Framework User Hints* 23
- 2.4 *Simulated Annealing* (SA) 27
- 2.5 *Tabu Search* (TS) 28

3 Detalhamento do Problema **31**
- 3.1 Características do Problema 31
- 3.2 Formulação 34

4 *User Hints* para Problema de Definição de Quadro de Horário de Aulas **39**
- 4.1 Tipos de Interação 40
- 4.2 Visualizações 41
  - 4.2.1 Visão de Turma 41
  - 4.2.2 Visão Professor 44
  - 4.2.3 Visão Global 45
- 4.3 Função Objetivo 47
- 4.4 Método de Otimização 48
- 4.5 Agente de Melhor Solução, Histórico e Lista de Soluções Favoritas 51

5 Implementação **53**
- 5.1 Arquitetura de Software e Tecnologia Utilizada 53
- 5.2 Aplicação Protótipo 55
  - 5.2.1 Cadastro de Dia 56
  - 5.2.2 Cadastro de Horário 57
  - 5.2.3 Cadastro de Turma 57
  - 5.2.4 Cadastro de Disciplina 58
  - 5.2.5 Cadastro de Professor 58

5.2.6 Cadastro de Oferta 59
5.2.7 Alocação de Quadro de Horário Interativo 60
5.2.8 Configuração 66

6 Avaliação **68**
6.1 Avaliação nas Escolas 68
6.1.1 Planejamento 68
6.1.2 Cenário 69
6.1.3 Resultados 69
6.2 Eficácia dos Métodos de Otimização para Modificação 73

7 Conclusão **78**

Referências Bibliográficas **80**

A Revisão Sistemática **84**

B Roteiro de Avaliação **86**

Lista de Figuras

2.1 Hierarquia de problemas de alocação 17
2.2 Quadro de horários – Müller e Barták 20
2.3 Quadro de horários – Piechowiak *et al.* 21
2.4 Interface usada pelo usuário – Delgado *et al.* 21
2.5 Quadro de horários – Wehrer e Yellen 22
2.6 Elementos do *framework User Hints* 24
2.7 O processo de aplicação do *framework User Hints* 27

4.1 Quadros de horários 41
4.2 Lista de ofertas 42
4.3 Visualização de preferência e conflito 42
4.4 Legenda para preferência do professor 43
4.5 Visão turma com seleção 43
4.6 Quadro com horários modificados em destaque 44
4.7 Visão professor 45
4.8 Visão professor com conflito 45
4.9 Visão global professor com conflito e alocação em horários em que há indisponibilidade 46
4.10 Visão global disciplina com conflito e alocação em horários em que há indisponibilidade 47
4.11 Lista de soluções favoritas 52

5.1 Organização do sistema 53
5.2 Estrutura de dados 54
5.3 Tela inicial 56
5.4 Tela de cadastro do dia 57
5.5 Tela de cadastro do horário 57
5.6 Tela de cadastro de turma 58
5.7 Tela de cadastro da disciplina 58
5.8 Tela de cadastro do professor 59
5.9 Tela de cadastro da oferta 60
5.10 Tela do quadro de horário interativo 61
5.11 Menu de contexto do quadro de horários 63
5.12 Tela de registro de execução do *Simulated Annealing* 64
5.13 Aba visão professor 65
5.14 Aba visão global 66
5.15 Tela de configuração 67

Lista de Tabelas

3.1 Relação ilustrativa de disciplinas ministradas em uma escola 32
3.2 Matriz de disciplinas ofertadas 32
3.3 Matriz de preferência do professor 33
3.4 Quadro de horários escolar 34

4.1 Valor padrão para peso na função objetivo 48
4.2 Valor padrão para custo de uma preferência do professor 48
4.3 Valor padrão para os parâmetros do *Simulated Annealing* 51
4.4 Valor padrão para os parâmetros do *Tabu Search* 51

6.1 Características das escolas 70
6.2 Comparativo do impacto dos métodos avaliados 75
6.2 Comparativo do impacto dos métodos avaliados 76
6.3 Comparativo do custo total 77

Lista de Algoritmos

2.1 Pseudocódigo *Simulated Annealing* 28
2.2 Pseudocódigo *Tabu Search* 29

4.1 Pseudocódigo *Simulated Annealing* modificado 49
4.2 Pseudocódigo *Tabu Search* modificado 50

CAPÍTULO 1

Introdução

A definição de quadro de horário (conhecida em inglês como *timetabling*) educacional é uma atividade comum nas instituições de ensino – incluindo escolas, colégios, faculdades e universidades – antes do início de cada período letivo. Ela consiste em realizar uma associação temporal entre salas, professores e disciplinas. Os alunos podem ser agrupados em turmas ou associados individualmente a uma oferta de aula.

Este é um problema que, geralmente, envolve diversos objetivos e restrições. Como exemplo de objetivos, podemos citar minimizar a quantidade de horários vagos entre aulas de uma disciplina no mesmo dia ou maximizar a preferências de horário dos professores. Como exemplo de restrições, encontra-se garantir que todas as disciplinas sejam ofertadas no semestre e evitar que um professor seja alocado a duas aulas distintas em um mesmo dia e horário. Geralmente, nesse tipo de problema, há objetivos e restrições conflitantes além de um certo nível de subjetividade que torna difícil formalizar precisamente e a priori o problema que se deseja satisfazer. Ainda, a resolução do problema se torna mais complexa na medida em que aumenta a quantidade de disciplinas ofertadas. Segundo Cooper [9], tal problema e suas variantes são, em geral, NP-difíceis.

Há na literatura [23, 29, 31] uma quantidade significativa de métodos para resolver o problema de definição do quadro de horários, indo desde heurísticas simples até meta-heurísticas modernas com características avançadas.

Entretanto, segundo Pilay [31], esses métodos sofrem frente ao tamanho do espaço de solução e à quantidade de condições e de restrições de natureza essencialmente dinâmica e até subjetiva. Isso tem justificado a adoção de técnicas de otimização interativa para a resolução dos problemas de quadro de horário, embora ainda haja poucas pesquisas feitas nesse sentido. Por exemplo, em Müller e Bartá [28], a geração do quadro de horários combina um processo automatizado com interação do usuário. Já no sistema interativo de quadro de horário criado por Piechowiak et al. [30], o foco central é o usuário, sendo que ele pode utilizar uma ferramenta de suporte à decisão para resolver conflitos[1]. Em

[1] O *conflito* caracteriza-se pela associação de um mesmo recurso, como um professor, a duas atividades simultâneas distintas

Delgado [11], o conflito é resolvido pela alteração ou eliminação de restrições. Wehrer e Yellen [40] também projetaram e implementaram um sistema interativo de quadro de horários.

Apesar dessas abordagens interativas serem interessantes, elas possuem limitações. Em particular, são voltadas a situações muitos específicas em certas instituições de ensino (não sendo reutilizáveis em outras condições), exigem conhecimento especializado em alguma formulação matemática e/ou não apresentam uma interface de fato altamente interativa.

Neste contexto, o presente trabalho investiga uma proposta para resolver o problema de construção de quadro de horário de aulas de um modo altamente interativo, por meio do *Framework User Hints* [12]. Como redução de escopo, focamos no problema de quadro de horário escolar[2]. Esse problema de quadro de horário é mais simples, mesmo assim, ele ainda é complexo o suficiente para justificar investimentos em pesquisa. Segundo Van Staereling [39], em muitas escolas, o problema é resolvido manualmente e pode consumir de algumas horas até diversos dias, de acordo com as restrições para encontrar uma solução viável. Além disso, por envolver uma quantidade menor de pessoas e de restrições, o escopo escolar favorece um alto nível de interação humano-computador na sua resolução.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é apresentar uma abordagem de otimização interativa para a resolução do problema de quadro de horário escolar baseada no *framework User Hints* que seja capaz de gerar soluções adequadas às necessidades de uma instituição de ensino.

Como objetivos específicos temos:

- Propor e verificar se um conjunto de funções objetivos e restrições são suficientes para permitir representar os principais problemas na construção de quadro de horários de escolas públicas e para encontrar soluções viáveis e de qualidade;

[2]Recentemente, foi feita a reforma do ensino médio, que passou a ser norteado pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A nova estrutura terá uma parte comum e obrigatória a todas as escolas e outra parte flexível. Na parte comum, permanecem as disciplinas de matemática, português e inglês. Na parte flexível, o aluno escolhe disciplinas nas áreas eletivas ou cursos técnicos. A áreas eletivas são: I – linguagens e suas tecnologias; II – matemática e suas tecnologias; III – ciências da natureza e suas tecnologias; IV – ciências humanas e sociais aplicadas; V – formação técnica e profissional. A adoção do novo modelo ensino médio deve aumentar a complexidade na alocação de quadro de horário. Em algumas escolas, nas quais o novo modelo foi adotado, a alocação do quadro de horário, das disciplinas da parte comum, é executada de maneira convencional. No futuro, este trabalho pode ser estendido para incluir a alocação das disciplinas flexíveis de forma a maximizar a participação dos alunos.

- Investigar visualizações de informação e mecanismos interativos mais adequados para a elaboração e o ajuste de quadros de horários escolares;
- Analisar a eficácia e a eficiência de dois métodos de otimização (a saber *Simulated Annealing* e *Tabu Search*) adaptados para uso em uma abordagem interativa.

1.2 Organização da Dissertação

O restante desta dissertação está organizado como segue: no Capítulo 2, é apresentada uma fundamentação sobre o problema de alocação de horários, as formas já existentes de alocação de horários por meio de abordagens interativas e o *framework User Hints*; no Capítulo 3, são detalhadas as características do problema de alocação de horários para problema escolas de ensino fundamental e médio; no Capítulo 4, o *framework User Hints* é aplicado para a construção de quadros de horários escolares; no Capítulo 5, são mostradas a arquitetura e a tecnologia utilizadas na implementação de uma aplicação protótipo; no Capítulo 6, é relatada a avaliação da proposta de otimização interativa e do aplicativo protótipo; no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica do trabalho. Ele está divido em cinco seções. Na Seção 2.1, é abordado problema de definição de quadro de horário de aulas. Na Seção 2.2, são apresentadas algumas abordagens interativas para solução do problema de quadro de horário de aulas em instituições de ensino. Na Seção 2.3, é apresentado o *framework User Hints*. Por fim, nas Seções 2.4 e 2.5 são descritas, respectivamente, as meta-heurísticas *Simulated Annealing* e *Tabu Search*.

2.1 Problema de Definição de Quadro de Horário de Aulas

A alocação de horário (conhecida em inglês como *timetabling*) é de extrema importância, aparecendo em diversas aplicações práticas no mundo real, tais como: nas escalas de atendimento nos hospitais e nos setores que prestam serviços ao cidadão, na definição de horários de viagens de trem e, como focado na introdução, para estabelecimento de quadro de horários de aulas em escolas de ensino fundamental e médio.

O *Education Timetabling Problem* (ETP) aborda a construção de grade de horários em entidades educacionais. Dentro dessa categoria de problemas de *timetabling* encontra-se o *University Timetabling Problem* (UTP), o qual tem como foco a alocação de horários de salas nas universidades, e o *High School Timetabling Problem* (HSTP), que foca nas escolas de ensino fundamental e médio. O ETP é um exemplar de uma categoria mais ampla de problemas denominados *Scheduling Problems* (SPs), nos quais o objetivo é alocar todos os recursos necessários para a realização de um conjunto predefinido de tarefas [5]. A Figura 2.1 apresenta a relação de hierarquia entre esses problemas.

Carter e Tovey [8] classificaram os problemas de *timetabling* nas seguintes categorias:

1. *Course Timetabling* – As disciplinas oferecidas devem ser associadas aos horários para a realização das aulas. O estudante é o elemento central para o agendamento e

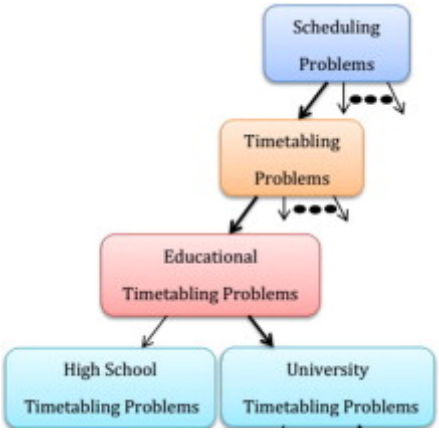


Figura 2.1: *Hierarquia de problemas de alocação.*

ele escolhe as disciplinas para cursar no período letivo. Este é modelo utilizado por muitas universidades com sistema de crédito;

2. *Class-Teacher Timetabling* – Em geral, há uma associação entre professores e turmas. O problema é encontrar as disciplinas para as turmas existentes, sem nenhum conflito e atender as várias restrições. Este é o tipo de problema da maior parte das escolas de ensino fundamental e médio;
3. *Student Scheduling* – As disciplinas são ofertadas várias vezes e o estudante vai construir o seu quadro de horários, para o período letivo. Nesta categoria, pode haver aulas simultâneas da mesma disciplina;
4. *Teacher Assignment* – Faz o vínculo entre professores e às disciplinas para maximizar as preferências deles. Em geral, está tarefa é realizada antes da alocação do quadro de horários propriamente dito;
5. *Classroom Assignment* – Cria uma associação entre uma sala de aula e uma turma, para atender as restrições de capacidade, localização e recursos.

O tipo de problema aqui abordado é o *Class-Teacher Timetabling*, que está presente na maioria das escolas de ensino fundamental e ensino médio. Neste problema a unidade utilizada para o agendamento é uma turma. Normalmente há uma associação prévia entre professores e cursos/turmas nos quais eles atuam, bem como as disciplinas, pelas quais cada professor é responsável. O problema consiste em fixar o horário das aulas a serem realizadas para as turmas existentes, sem causar qualquer conflito.

Em geral, os pesquisadores que estudam a área descrevem um problema específico e aplicam a ele um método de resolução. Como geralmente há variações nos problemas, fica difícil comparar os métodos ou aplicá-los para outras situações. Considerando países diferentes, essa variação pode ser muito mais drástica. Por exemplo, em alguns países, o aluno pode ter horário vago no turno de aulas enquanto que, no Brasil e em outros países, isto não é permitido nas escolas. Outra diferença importante é a granularidade do processo de alocação de horário. Em alguns casos, a alocação é feita para uma

turma inteira enquanto que, em outros, ela é realizada para um único aluno por vez. No último caso, o problema é mais difícil, pois é preciso avaliar o quadro de horários e a disponibilidade de cada aluno individualmente.

A resolução desses problemas não é uma tarefa simples e se torna mais complicada à medida que crescem o número de associações e de restrições. Uma restrição pode ser classificada como forte (*hard constraint*) ou fraca (*soft constraint*). Uma restrição forte deve ser obrigatoriamente satisfeita. Uma restrição fraca é algo desejável. A função objetivo normalmente pondera a não satisfação das restrições e outros aspectos quantificáveis como as preferências de horários dos professores. Segundo Cooper [9], esse problema e suas variantes são, em geral, NP- difíceis e envolvem objetivos conflitantes.

Pilay [31] fez um amplo levantamento bibliográfico de diversos problemas e métodos de alocação de horário educacional. Como resultado, foram listadas vinte e oito restrições de alocação, as quais foram classificadas em sete categorias:

- **Restrições de requisitos de problemas (*problem requirement constraints*)** – são restrições específicas da escola ou do sistema educacional. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  PR1 – as turmas devem ser agendadas para atender o número requerido para cada disciplina;

  PR2 – os professores devem ser alocados para atender a sua carga horária obrigatória;

  PR3 – um período deve ser alocado para o almoço ou o período pode ser considerado como não disponível.

- **Restrições de conflitos (*no clashes constraints*)** – são restrições de recursos que não podem ser utilizados ao mesmo tempo. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  NC1 – uma turma não pode ser agendada mais do que uma vez durante o período;

  NC2 – um professor não pode ser agendado mais do que uma vez durante o período;

  NC3 – uma sala não pode ser agendada mais do que uma vez durante o período.

- **Restrições de utilização de recursos (*Resource utilization constraints*)** – são restrições para evitar que o recurso seja subutilizado ou super utilizado. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  RU1 – tempo para deslocamento quando a escola tem uma grande área ou mais de um local;

  RU2 – os professores devem ser alocados apenas quando têm disponibilidade;

  RU3 – a capacidade da sala não pode ser excedida;

  RU4 – todas as salas devem ser utilizadas;

RU5 – algumas disciplinas requerem tipos especializados de sala, tal como: laboratório de ciências, laboratório de computador ou quadra.

RU6 – algumas escolas são localizadas em mais de um local. Neste caso, todas as disciplinas devem ser agendadas na mesma sala e no mesmo local;

RU7 – uma sala pode estar indisponível em um determinado horário devido a manutenção;

RU8 – uma turma pode estar indisponível em um determinado período.

- **Restrições de carga de trabalho (*workload constraints*)** – são restrições para limitar o máximo ou o mínimo de certos recursos. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  W1 – as cargas horárias mínima e máxima do professor devem ser obedecidas;

  W2 – a quantidade de disciplina alocadas no dia não pode ser superior ao número de aulas por dia;

  W3 – o limite de quantidade mínima e máxima de disciplinas por dia deve ser obedecido (Ex.: no máximo três aulas de matemática por dia).

- **Restrições de distribuição de período (*period distribution constraints*)** – são restrições para especificar a organização de recursos tais como turmas e professores. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  PD1 – é permitido horário vago no quadro de horário das turmas;

  PD2 – é permitido horário vago no quadro de horário dos professores;

  PD3 – distribuição das disciplinas na turma, ou seja, uma disciplina pode ser oferecida em dias consecutivos;

  PD4 – distribuição das disciplinas do professor, ou seja, uma disciplina ministrada pelo professor não pode ser concentrada em alguns dias.

- **Restrições de preferência (*preference constraints*)** – são restrições de preferência para recursos. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  P1 – a preferência da disciplina para um determinado dia e/ou horário;

  P2 – a preferência do professor para um determinado dia e/ou horário.

- **Restrições de disciplinas (*lesson constraints*)** – são restrições específicas das disciplinas. Foram identificadas as seguintes restrições desta natureza:

  L1 – uma disciplina pode ser agendada em certos períodos;

  L2 – uma sequência de disciplinas pode ser permitida ou proibida;

  L3 – uma sequência dupla ou tripla para disciplinas;

  L4 – a divisão ou união de turmas;

  L5 – algumas disciplinas precisam ser agendadas simultaneamente.

Em Pilay [31], foram relacionados diversos métodos para solucionar o problema, com destaque especial aos métodos aproximativos/meta-heurísticos como: busca local [10, 18], *Tabu Search* [3, 4, 17, 26, 34, 35], GRASP (*Greedy Randomized Search Procedure*) [37], *Simulated Annealing* [1, 2, 6, 24, 25], *Ant Colony* [38], *Bee algorithms* [22] e programação genética [27, 32, 33, 41]. Além destes métodos, foram utilizadas técnicas de modelagem como teoria de grafos [7], programação inteira [36] e programação baseada em restrições (*constraint programming*) [11].

2.2 Elaboração Interativa de Horário para Instituições de Ensino

Nesta seção, apresentamos uma revisão bibliográfica das principais abordagens interativas para solução do problema de alocação de horários para instituições de ensino. São descritos quatro trabalhos, encontrados por meio de uma revisão sistemática da literatura.

Em Müller e Barták [28], a geração do quadro de horário combina um processo automatizado com interação do usuário. No processo automatizado, o computador faz a alocação das disciplinas. O usuário pode intervir neste processo de forma alternada, para alocar manualmente algumas disciplinas não alocadas, flexibilizar certas restrições e fazer outras alterações. Os ajustes podem ser realizados com a técnica de arrastar e soltar sobre uma visualização tabular de um quadro de horários. Na Figura 2.2, ilustramos um quadro de horários gerado.

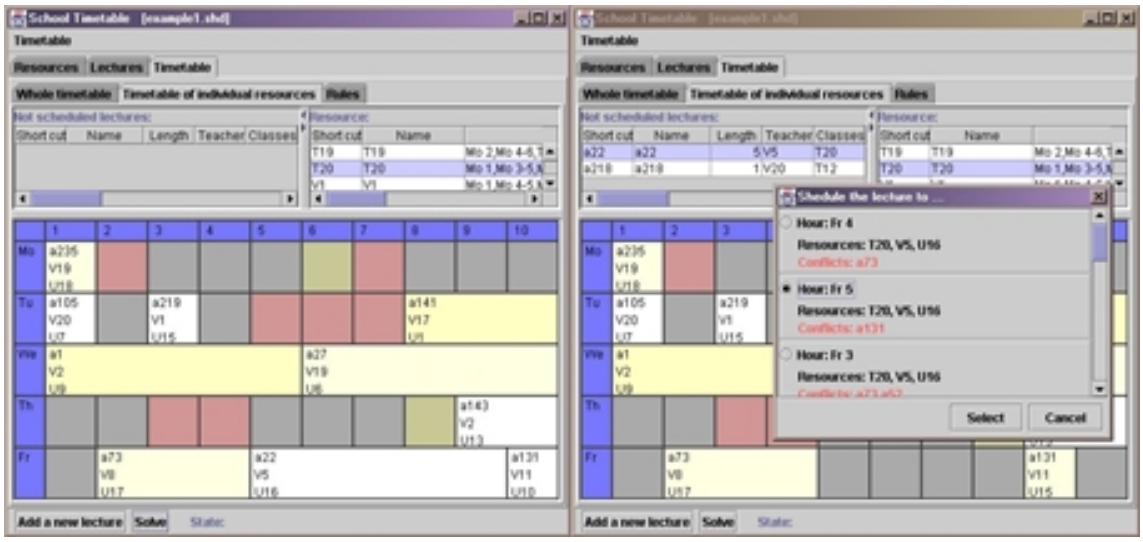


Figura 2.2: *Quadro de horários – Müller e Barták [28].*

No sistema interativo criado por Piechowiak et al. [30], o foco central é o usuário. A ferramenta de suporte à decisão ajuda a resolver conflitos que acontecem em situações

reais de grande escala. O perfil do usuário mudou de um especialista no projeto de quadros de horários para um operador com habilidades básicas de computador. Quando uma situação de conflito aparece no quadro, o sistema sugere algumas formas de resoluções. A Figura 2.3 mostra uma tela do sistema construído.

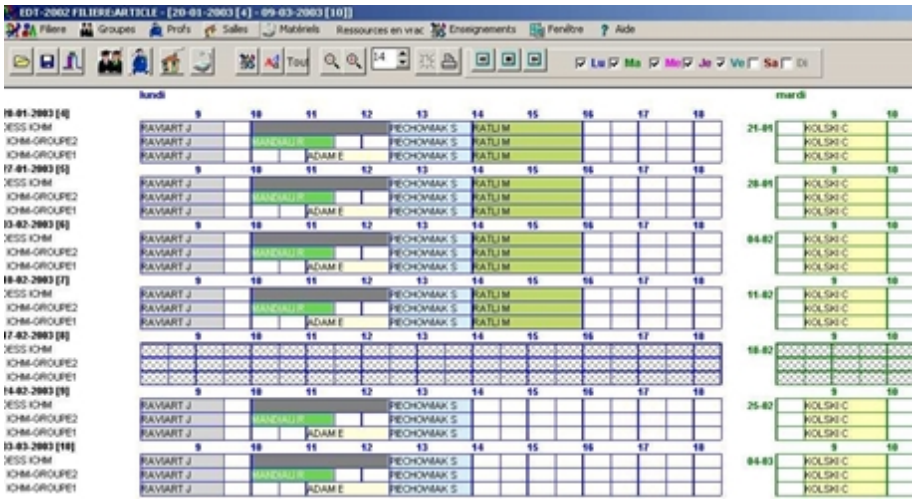


Figura 2.3: *Quadro de horários – Piechowiak et al. [30].*

No trabalho de Delgado et al. [11], o usuário cria as restrições usando uma estrutura baseada em uma árvore. A alteração é negociada em colaboração com os professores. O processo é repetido várias vezes para eliminar os conflitos. A principal desvantagem é a necessidade de conhecer um solucionador de restrições para definir as restrições do problema. Na Figura 2.4, visualizamos a interface usada pelo usuário.

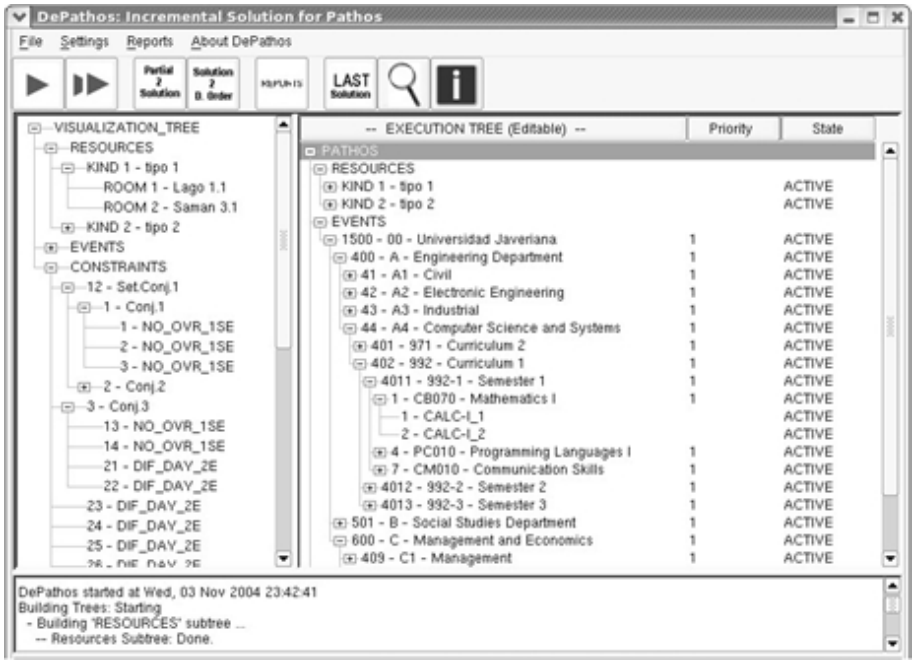


Figura 2.4: *Interface usada pelo usuário – Delgado et al. [11].*

Wehrer e Yellen [40] projetaram e implementaram um sistema interativo de quadro de horários composto por dois componentes. O primeiro componente constrói automaticamente uma solução inicial. O segundo componente é uma interface gráfica do usuário (GUI) que permite a construção e modificação do quadro de horários. A interface gráfica tem um papel essencial no processo de visualização do quadro, solicitação de *feedback*, implementação das alterações negociadas e visualização do seu impacto. Ela também possibilita especificar pares de cursos compatíveis, criando assim mais oportunidades para os estudantes se matricularem em disciplinas de vários departamentos. A solução adota o método de coloração de grafo. O sistema precisa ser adaptado para ser utilizado em outras escolas do Reino Unido. A Figura 2.5 ilustra uma tela do do software.

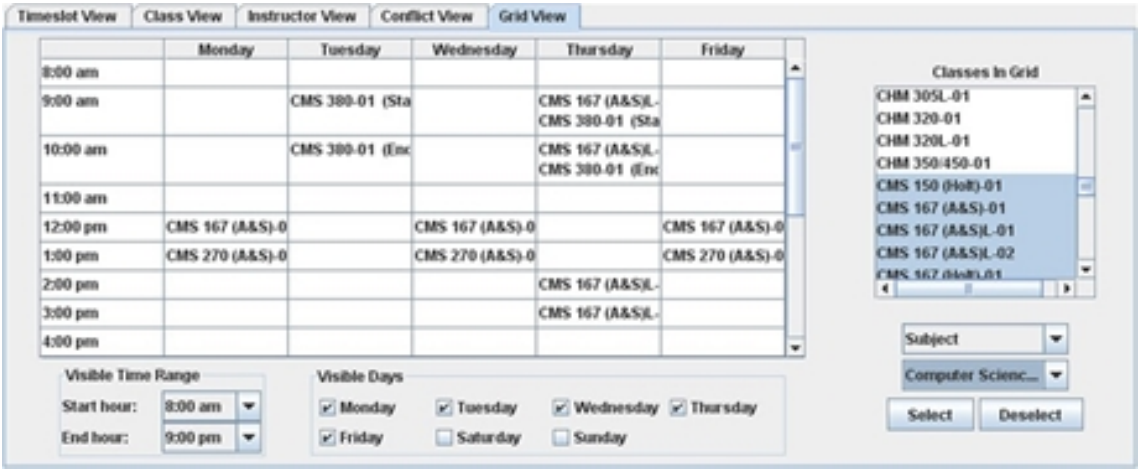


Figura 2.5: *Quadro de horários – Wehrer e Yellen [40].*

Apesar das abordagens interativas supracitadas serem interessantes, elas possuem limitações. Em particular, elas são voltadas a situações muitos específicas em certas escolas (não sendo reutilizáveis em outras condições), exigem conhecimento especializado do usuário em alguma formulação matemática e/ou não apresentam uma interface de fato altamente interativa. Além disso, nenhum desses trabalhos foi generalizado para outras instituições além daquelas em que foram aplicados.

Sendo assim, no presente projeto de mestrado, propomos uma nova abordagem interativa para o problema de alocação de horário escolar que preenche as lacunas deixadas pelas pesquisas anteriores. Em especial, oferecemos um conjunto de ferramentas interativas para refinar a definição do problema, focar métodos de otimização e ajustar manualmente uma solução. A abordagem é baseada no *framework* para otimização interativa *User Hints*, proposto por Nascimento [13], o qual é descrito a seguir.

2.3 O *Framework User Hints*

O *framework User Hints* (ou dicas do usuário) [13] prevê a construção de um sistema interativo de otimização baseado na divisão de tarefas entre usuário e máquina, visando gerar soluções de melhor qualidade ou em menos tempo. A utilização do *framework* destina-se a dois objetivos principais:

- Refinar o problema de otimização – neste caso, a meta é permitir que o usuário possa incluir conhecimento de domínio no sistema interativo de forma a descrever melhor o problema, em termos de função objetivo e restrições. Isso é útil quando o problema de otimização é subjetivo ou não totalmente conhecido e o usuário vai percebendo-o melhor na medida em que procura resolvê-lo;
- Ajudar na convergência para soluções ótimas – neste caso, o problema de otimização está bem formulado mas é de difícil resolução por meios puramente computacionais. A interação visa tirar o método de otimização de mínimos locais e guiá-lo para regiões promissoras do espaço de solução.

No *framework User Hints*, o usuário pode interagir com os métodos de otimização implementados no computador de vários modos. Um deles, por exemplo, consiste no computador criar uma solução e o usuário melhorá-la. Uma outra forma é uma abordagem inversa, na qual o usuário cria a solução inicial e o computador a aprimora. O modo mais interessante, contudo, é quando há uma alternância entre ações humanas e execuções dos métodos de otimização em várias interações sobre a solução do problema, até que se alcance o resultado desejado. A escolha de modo de trabalho é uma opção do usuário ou do projetista do sistema interativo.

O *framework User Hints* é composto por nove elementos:

1. Usuário especialista do domínio;
2. Conjunto de funções objetivo;
3. Conjunto de restrições que compõe o problema de otimização combinatória;
4. Módulo com métodos de otimização;
5. Solução que está sendo melhorada, chamada de *solução de trabalho*;
6. Função de qualidade;
7. Agente que avalia e guarda a melhor solução encontrada até o momento durante a resolução do problema de otimização;
8. Ferramenta de visualização;
9. Visualização da solução de trabalho que oferece *feedback* sobre o estado do processo de otimização.

A Figura 2.6 apresenta um diagrama de relacionamento entre alguns desses elementos no *framework User Hints*.

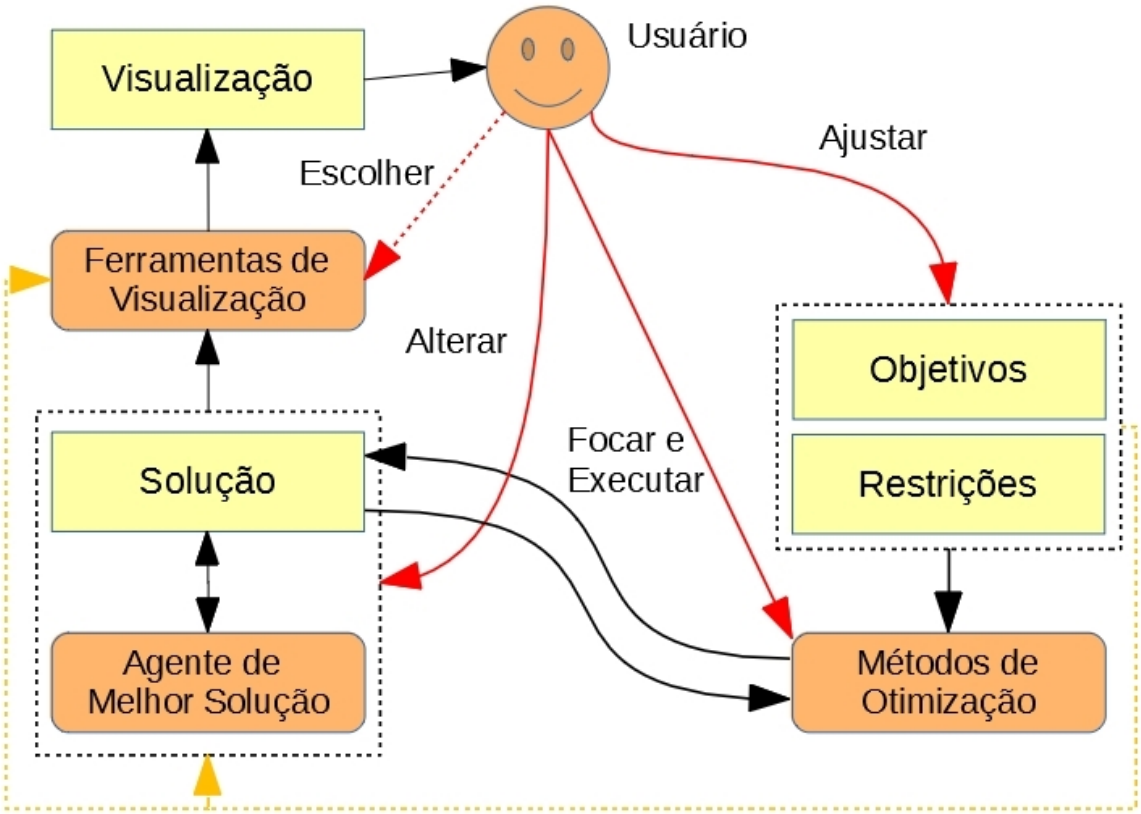


Figura 2.6: *Elementos do framework User Hints.*

O processo de otimização é divido nos seguintes passos:

1. Uma solução inicial é criada e o agente de melhor solução a salva. A ferramenta de visualização apresenta essa solução para o usuário, junto com informações sobre a sua qualidade (a qual é calculada pela função de qualidade).
2. O sistema espera uma ação do usuário que, por padrão, é o controlador da otimização, podendo interagir com a ferramenta de visualização ou fornecer dicas para o processo de otimização. Qualquer alteração na solução de trabalho, nas restrições ou na função objetivo dispara o agente de melhor solução e a ferramenta de visualização. O agente de melhor solução compara a nova solução com a de melhor qualidade e a salva se necessário. A ferramenta de visualização então mostra a solução atual e sua qualidade, possivelmente comparando-a com a qualidade da melhor solução salva. Em implementações do *framework* feitas por Nascimento [13], esse agente produz um aviso visual (um ícone que anima) e uma mensagem sonora (como uma frase "muito bem!") sempre que uma solução de melhor qualidade é produzida, de forma a chamar a atenção do usuário para o feito e para motivar a busca por soluções ainda melhores.
3. O passo dois, acima, é repetido até que o usuário esteja satisfeito com o resultado.

No *framework User Hints*, as dicas são ações do usuário que visam atingir um

ou os dois dos objetivos mencionados acima, de refinar o problema de otimização e de ajudar na convergência para soluções ótimas. O *framework* prevê três tipos de dicas do usuário:

- *Ajuste do objetivo e das restrições* – o usuário pode alterar a função objetivo, alterar ou suprimir temporariamente ou permanentemente uma restrição existente ou inserir uma nova restrição;
- *Foco do método de otimização em um subproblema* – o usuário pode selecionar um subconjunto das variáveis da definição do problema para executar um método de otimização focado apenas nelas. As variáveis não selecionadas são tratadas como constantes (usando os valores definidos para elas na última solução de trabalho) ou completamente desconsideradas da resolução do problema. A solução obtida pelo método de otimização para as variáveis selecionadas é reinserida na solução para o problema completo;
- *Alterações manuais* – o usuário pode alterar manualmente a solução do problema (suas variáveis) de forma a considerar aspectos que não são tratados eficazmente ou eficientemente pelas formas de interação anteriores.

Além dos três tipos de dicas, o usuário pode executar outras três ações:

- Recuperar a melhor solução (guardada pelo agente de melhor solução), definindo-a como a solução de trabalho;
- Salvar a solução de trabalho como melhor solução (sobrepondo assim a melhor solução atual);
- Escolher para executar qualquer um dos métodos de otimização implementados e ativar ou interromper manualmente a sua execução.

O processo interativo usando o *User Hints* pode iniciar com um conjunto de restrições básicas do domínio do problema e permitir que o usuário ajuste tal conjunto inserindo e alterando as restrições gradativamente. Os métodos de otimização e as ações do usuário devem almejar a criação de soluções válidas, dentro do possível. Há, contudo, três abordagens para ajudar a satisfazer as restrições:

- Permitir a geração de soluções não viáveis (que violam uma ou mais restrições) e procurar satisfazer as restrições durante o processo interativo;
- Somente trabalhar com soluções viáveis, que satisfaçam todas restrições, e apenas autorizar ações do usuário que mantenham a viabilidade da solução;
- Permitir operações manuais do usuário que ferem as restrições, mas imediatamente realizar um pós-processamento automático para corrigir a solução de trabalho garantindo a sua viabilidade.

A função de qualidade deve calcular o custo de uma solução baseada nos objetivos e nas restrições. Caso soluções não viáveis sejam permitidas, a função de qualidade pode medir também o grau de violação das restrições atribuindo pontuações maiores para soluções viáveis.

A ferramenta de visualização, por sua vez, tem duas funcionalidades: oferecer um *feedback* do processo de otimização para o usuário e permitir que ele interaja com os elementos do sistema. Para implementar essa primeira funcionalidade, o sistema deve propiciar:

- uma visualização da solução de trabalho – a imagem deve enfatizar a qualidade da solução. A violação de restrições e a qualidade da solução frente aos objetivos podem ser indicadas usando cores ou formas diferentes;
- uma informação numérica sobre a qualidade da melhor solução e da solução de trabalho para comparação.
- uma indicação visual de que um método de otimização está executando. Isso pode ser feito mostrando uma barra de progresso ou substituindo a solução de trabalho por soluções intermediárias produzidas pelo método durante sua execução; e
- uma indicação de que a melhor solução salva pelo agente de melhor solução foi atualizada.

Para a segunda funcionalidade da ferramenta de visualização, é recomendada a adoção de uma proposta de interface com manipulação direta. Ou seja, ao invés de utilizar uma interface não intuitiva com botões, campos para entrada de valores e outros elementos que exigem uma curva de aprendizado mais íngreme, formas mais naturais de alterar diretamente a solução de trabalho ou de ajustar as restrições deveriam ser projetadas usando a própria visualização. Por exemplo, a seleção de variáveis para definir foco pode ser implementada com o usuário "clicando" nos objetos gráficos que representam essas variáveis. Além disso, os itens da visualização podem mudar de cor para indicar a sua seleção. Também é importante incluir operações para reduzir a sobrecarga visual de informações na tela, como operações para esconder ou mostrar elementos e de *zoom in* e *zoom out*.

A Figura 2.7 sumariza um processo para aplicar o *framework User Hints*, conforme definido por Nascimento [13].

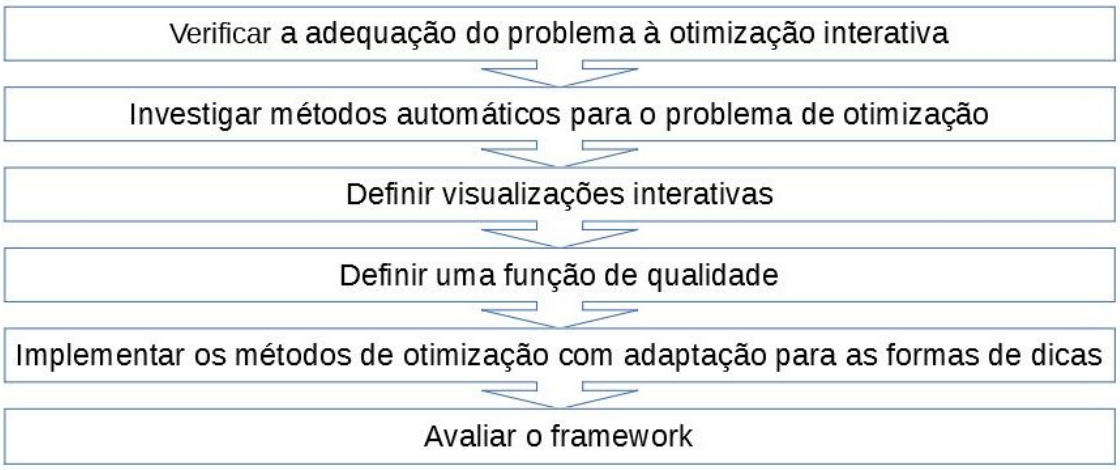


Figura 2.7: *O processo de aplicação do framework User Hints.*

2.4 *Simulated Annealing* (SA)

A abordagem *Simulated Annealing*, concebida por Kirkpatrick et al. [20], é uma meta-heurística baseada em técnica de busca local probabilística e que emprega um processo de seleção na vizinhança de uma certa solução x, dita *atual*, para escolher outra solução. A escolha é baseada no valor da função objetivo e de uma temperatura em decaimento T. Também há um fator aleatório para o aceite de uma nova solução. No início, quando a temperatura é alta, o fator aleatório permite aceitar soluções piores. À medida que a temperatura vai diminuindo, o algoritmo começa a convergir para uma solução de boa qualidade. O fator aleatório permite escolher soluções distantes da solução *atual*.

Os parâmetros de controle são a temperatura inicial T_0, a temperatura mínima $Tmin$, um parâmetro de redução de temperatura α. o valor de repetição para cada temperatura $SAmax$ e um fator k. O Algoritmo 2.1 apresenta o pseudocódigo para o *Simulated Annealing*.

A otimização do problema de quadro de horários pode ser resolvida com *Simulated Annealing*. Em Abramson *et al.* [35], foi resolvido o problema envolvendo professor, disciplina e sala com um conjunto fixo de horários. Santos *et al.* [6] propuseram uma abordagem dividida em três etapas, na primeira eles geraram a solução inicial usando Kingston's High School Timetabling Engine (KHE) [19], na segunda o *Simulated Annealing* foi usado para para melhorar a solução inicial, e na última o *Variable Neighborhood Search* [16] foi aplicado para fazer uma busca local próximo à solução encontrada pelo *Simulated Annealing*.

Algoritmo 2.1: Pseudocódigo *Simulated Annealing*.

Entrada: s, T_0, $Tmin$, α, $SAmax$ e k.
Saída: s^*.

```
1  s* ← s;
2  T ← T0;
3  enquanto (T > Tmim) faça
4      IterT ← 0;
5      enquanto (IterT < SAmax) faça
6          IterT ← IterT + 1;
7          Gere uma solução s' na vizinhaça de s;
8          Δ = f(s') − f(s);
9          s ← s';
10         se (Δ < 0) então
11             s ← s';
12             se (f(s') < f(s*)) então
13                 s* ← s';
14             fim
15         senão
16             Gere x ∈ random[0,1] ;
17             se (x < e^(−Δ/(k×T))) então
18                 s ← s';
19             fim
20         fim
21     fim
22     T = α × T;
23 fim
24 s ← s*;
25 Retorne s;
```

2.5 *Tabu Search* (TS)

A abordagem *Tabu Search* (TS), concebida por Glover [14, 15], também é uma meta-heurística baseada em técnicas de busca local. Ela utiliza um processo de seleção na vizinhança de uma certa solução s, dita *atual*, para selecionar outra solução, dita s', para substituí-la. A esperança é que s' seja melhor que s, quando avaliada por uma certa função de qualidade previamente definida. O termo *vizinhança* se refere ao fato de que s' pouco difere de s. Um dos problemas potenciais da ideia de vizinhança é que pode ocorrer

um processo cíclico de busca e, para evitá-lo, é utilizada uma "lista tabu", ou seja, uma lista com as soluções visitadas recentemente durante uma certa quantidade de iterações (prefixada) no processo de busca. Os parâmetros do *Tabu Search* são a quantidade máxima de iterações e o tamanho da lista. O Algoritmo 2.2 apresenta o pseudocódigo dessa meta-heurística.

Algoritmo 2.2: Pseudocódigo *Tabu Search*.

Entrada: s, $BTmax$ e $maxTabuSize$.
Saída: s^*.

```
1  sMelhor ← s;
2  melhorCandidato ← s;
3  T ← ∅;
4  T.push(s);
5  Iter ← 0;
6  melhorIter ← 0;
7  enquanto ((Iter − melhorIter) ≤ Btmax) faça
8      Iter ← Iter + 1;
9      vizinhanca ← gerarVizinhanca(melhorCandidato);
10     melhorCandidato ← vizinhanca[0];
11     para (candidato ∈ vizinhanca) faça
12         se ((not(T.contains(candidato)))and(f(candidato) <
             f(melhorCandidato))) então
13             melhorCandidato ← candidato;
14         fim
15     fim
16     se (f(melhorCandidato) < f(sMelhor)) então
17         sMelhor ← melhorCandidato;
18         melhorIter ← Iter;
19     fim
20     T.push(melhorCandidato);
21     se (T.size > maxTabuSize) então
22         T.removeFirst();
23     fim
24 fim
25 Retorne sMelhor;
```

A otimização do problema de quadro de horários pode ser feita com *Tabu Search*. No trabalho de Schaerf *et al.* [35], *Tabu Search* foi utilizado com diferentes tipos de

movimentos e relaxamento de restrições fortes para solucionar problemas de grandes escolas. Alvavez *et al.* [4] utilizaram *Tabu Searh* para resolver o problema de quadro de horários em escolas secundárias da Espanha. Santos *et al.* [34] resolveram o problema de escalonar professores/turmas, implementado duas estratégias de diversificação. Eles conseguiram melhores resultados comparando com propostas anteriores que também utilizaram TS.

CAPÍTULO 3

Detalhamento do Problema

Neste capítulo definimos o problema de definição de quadro de horário de aulas em estudo. Na Seção 3.1, são apresentadas as características do problema de alocação de quadro de horário em escola. Na Seção 3.2, descreve uma formulação. A função objetivo é descrita na Seção 3.2.

3.1 Características do Problema

Para formulação do problema a ser tratado, utilizamos como referência as demandas de uma escola pública de ensino fundamental e médio do Município de Goiânia, no Estado de Goiás, para a extração das características desse problema[1]. Nessa escola, o coordenador precisa criar o quadro de horários (conceito a ser definido formalmente mais na frente) para as turmas de 6ª a 9ª séries do ensino fundamental e do 1º ao 3º ano do ensino médio. A *turma* representa um conjunto de alunos matriculados no mesmo conjunto de disciplinas. Uma *disciplina* consiste em um conteúdo a ser ministrado, um exemplo das disciplinas lecionadas nessa escola pode ser visto na Tabela 3.1.

A escola conta com um grupo de professores que podem ministrar essas disciplinas. Alguns professores podem ministrar somente uma disciplina (devido à sua formação ou condições de contrato de trabalho), enquanto outros podem ministrar mais de uma. Cada professor tem uma carga horária semanal contratada em sala, a qual pode ser cumprida em uma única escola da rede pública que faz parte ou em várias instituições de ensino.

Uma *oferta* representa uma disciplina a ser ministrada por um professor em uma turma específica. Todas as ofertas devem definir a quantidade de horas da disciplina a ser ministrada na semana. Uma opção alternativa, utilizada neste trabalho, é considerar que cada hora de aula (efetivamente 50 minutos) de uma disciplina a ser ministrada por

[1]Em função da reforma do ensino médio proposto pelo MEC, será vista também a adequabilidade da presente proposta de otimização interativa ao atendimento dos objetivos e das restrições induzidos por essa mudança.

Tabela 3.1: *Relação ilustrativa de disciplinas ministradas em uma escola.*

Disciplina
Biologia
Ciências
Educação física
Ensino religioso
Física
Geografia
História
Inglês
Língua portuguesa
Matemática
Química

um professor para uma turma seja definida como uma oferta separada. Neste caso, uma *disciplina ofertada* consistirá de um conjunto de ofertas que envolvem a mesma disciplina e professor em uma mesma turma. Por exemplo, uma demanda de 5 horas de aula de matemática a ser ministrada por um dado professor para uma certa turma será mapeada em 5 ofertas de uma hora de aula cada. A Tabela 3.2 ilustra uma relação de ofertas.

Um *horário* representa um intervalo de tempo de uma aula em um dado dia da semana. No exemplo em estudo, um horário tem duração de 50 minutos. Um *quadro de horários* contém todos os horários previstos na escola para alocação das ofertas em uma semana para uma dada turma. Os horários no quadro são normalmente apresentados consecutivamente. Um *horário vago* representa um intervalo não utilizado no quadro de horário. Um quadro de horários é definido para cada turma para fins de alocação das ofertas. O horário também pode ser chamado de *slot*.

Tabela 3.2: *Matriz de disciplinas ofertadas.*

Professor	**Disciplina**	**Quant. de aulas**
Alex	Biologia	3
Alex	Ciências	2
Elaine	Educação física	2
Pedro	Física	2
Luciana	Geografia	2
Luciana	História	2
Luciana	Inglês	2
Mariana	Língua portuguesa	5
Ana	Matemática	5
Ana	Química	2
Maria	Sociologia	1

Além disso, após a alocação das ofertas, é possível extrair o *quadro de horário de*

trabalho do professor, o qual será o resultado da união dos quadros de horários de todas as turmas tomando apenas as ofertas que o referido professor ministra. Cada professor também tem um *quadro de disponibilidade e de preferência* (ver Tabela 3.3), o qual se assemelha ao quadro de horários em termos de dimensão, mas que contém um valor entre 0 a 3 para cada posição, com 0 indicando que o professor não está disponível naquela horário (dia e hora) e 1 a 3 indicando disponibilidade com uma preferência crescente (3 representando a maior preferência)[2].

Tabela 3.3: *Matriz de preferência do professor.*

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7:00-7:50	3	3	1	0	3
7:50-8:40	3	3	1	0	3
8:40-9:30	3	3	1	0	3
9:45-10:35	3	3	2	0	0
10:35-11:15	3	3	2	0	0
11:15-12:00	3	3	2	0	0

As ofertas de disciplina para cada turma podem ser diferentes e são especificadas pelo coordenador. É assumido que há uma lista de ofertas bem definida no início do semestre letivo para cada turma, a fim de resolver o problema de alocação.

Por fim, no escopo deste trabalho, é considerado que cada turma tem sua sala de aula exclusiva. Consequentemente, o problema de alocação de sala não existe.

O resultado de um processo de alocação de horários é um quadro de horários por turma, conforme ilustrado na Tabela 3.4 para uma turma específica.

[2]O valoração entre 0 a 3 é uma escolha nossa. Na análise do problema real, apenas percebeu-se que alguns professores não tinham disponibilidade de trabalho em certos dias.

Tabela 3.4: *Quadro de horários escolar.*

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7:00 7:50	Ed. Fisica Valda	Inglês Mariana	Inglês Mariana	Dança Alessandra	Física Valda
7:50 8:40	L. Port. Mariana	Biologia Mariana	Matemát. Maura	Dança Alessandra	Geografia José
8:40 9:30	L. Port. Mariana	Matemát. Maura	Inglês Mariana	Ciências Ana	Física Anderson
9:45 10:35	Matemát. Maura	Ciências Ana	Biologia Mariana	Ciências Ana	Biologia Maura
10:35 11:15	Ens. Rel. Luciana	Ciências Ana	Geografia Maria	Biologia Ana	História Luciana
11:15 12:00	Geografia Luciana	História Luciana	Geografia Maria	História Anderson	Geografia Luciana

Dois objetivos principais são almejados pela escola na resolução do problema de alocação de horários:

- construir quadros de horários novos que sejam viáveis (conforme um conjunto de restrições a ser apresentado a seguir); e
- permitir a adequação de uma solução já existente para atender necessidades de mudanças de horário em função de alguma eventualidade com um professor e que isso implique na menor quantidade possível de alterações (por exemplo, minimizando-se as quantidades de professores envolvidos na mudança, de disciplinas e de horários).

Um terceiro objetivo é minimizar a soma das preferências de horário dos professores, embora isso não seja comum na escola estudada.

3.2 Formulação

Apresentamos agora uma formulação mais detalhada de parte dos elementos que compõem o problema de alocação de horários introduzido acima.

Sejam $P = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$ o conjunto de professores da escola; $D = \{d_1, d_2, ..., d_m\}$ o conjunto de disciplinas, de todas as turmas e séries; $T = \{t_1, t_2, ..., t_y\}$ conjunto de turmas e $R = \{r_1, r_2, ..., r_x\}$ o conjunto de ofertas; $H = \{h_1, h_2, ..., h_z\}$ uma lista ordenada de horário diários e $S = \{s_1, s_2, ..., s_l\}$ uma lista ordenada de dias da semana em que pode haver aula.

Um conjunto de preferência dos professores $F = \{f_1, f_2, ..., f_n\}$ é definido de tal forma que cada elemento f_i é uma matriz de dimensão $|H| \times |S|$ que expressa a disponibilidade e prioridade de horário do professor i, com $i = 1 \ldots, n$, conforme descrito na Seção 3.1.

Restrições

O problema em estudo envolve um subconjunto das restrições relacionadas por Pillay [31], e que foram comentadas na Seção 2.1. Essas restrições foram selecionadas e revisadas e são apresentadas abaixo junto com uma descrição de como elas podem ser verificadas.

PR1 – *as ofertas devem ser alocadas para atender a carga horária mínima de cada disciplina*. A verificação consiste em analisar se todas as ofertas estão alocadas a um horário no quadro de horários da turma para a qual foi definida;

PR2 – *os professores devem ser alocados para atender a sua carga horária obrigatória*. Isso é parcialmente assegurado em uma escola quando ela negocia com o professor quantas aulas ele ministrará de quais disciplinas e o coordenador define as ofertas estabelecendo esse vínculo. Dada essa definição, a satisfação das restrições PR1 e NC1, abaixo, garante o atendimento da presente restrição;

NC1 – *uma oferta não pode ser agendada mais do que uma vez durante o período*. Neste caso, deve existir uma única associação de uma oferta para um horário de uma turma e vice-versa;

NC2 – *um professor não pode ser agendado mais do que uma vez durante o período*. Além da restrição NC1, esta condição exige que um professor não tenha ofertas alocadas a duas ou mais turmas (quadros de horários) diferentes em um mesmo horário.

RU2 – *os professores devem ser alocados apenas quando têm disponibilidade*. Ou seja, um professor não pode ser alocado em um horário (seja em que quadro de horário for) cujo valor na posição correspondente do Quadro de Disponibilidade e de Preferência é zero;

W2 – *a quantidade de disciplina alocadas no dia não pode ser superior ao número de aulas por dia*. O limite máximo de ofertas alocadas é a quantidade de horários de aula da instituição de ensino;

W3 – *o limite de quantidade mínima e máxima de ofertas de disciplinas por dia deve ser obedecido*. Podem ser especificados tais limites para cada disciplina, cada dia e/ou turma. Isso é importante, por exemplo, para que não mais do que 3 aulas de matemática (de um total de 6 aulas semanais) sejam ofertadas no mesmo dia;

PD1 – *essa restrição dizia que era permitido horário vago no quadro de horário das turmas*. No contexto das escolas em análise considera-se o sentido inverso, dessa restrição, ou seja em um dia de aula não deve haver horário vago entre duas ofertas;

PD2 – *em sua definição original, a restrição dizia que era permitido horário vago no início do período consecutivo de horários ou entre dois horários alocados no quadro de horários dos professores*. No caso do presente trabalho, não deve haver horário vago entre duas ofertas ou quando existir, vai ficar localizado no fim do dia de aula;

P2 – *atender a preferência do professor para um determinado dia e/ou horário*. A preferência é informada com valores no intervalo entre 0 e 3, onde o valor 0 indica que o professor está indisponível e os valores de a a 3 indicam uma preferêncai crescente.

Como é descrito a seguir, neste problema, foi necessário relaxar algumas restrições para permitir a modificação manual do quadro de horários. Logo, o usuário durante o processo de elaboração interativa pode gerar uma solução com conflitos, por exemplo, fazendo a alocação do professor em um horário indisponível.

Função Objetivo

No caso mais rígido, quase todas as restrições poderiam ser tratadas como fortes, com exceção daquelas relacionadas com a satisfação das preferências dos professores. No entanto, isso tornaria muito difícil, principalmente para um operador humano, fazer ajustes em um quadro de horário já montado, uma vez que que pequenas sequências de alterações da solução tendem a invalidar certas restrições. Desta forma, a fim de permitir uma maior interatividade com seu ambiente para alocação de quadro de horários, optamos pela relaxação das restrições PR1, PR2, NC2, RU2, W3, PD1, PD2 e P2. Por outro lado, incluímos componentes na função objetivo que avaliar o nível de não satisfação dessas restrições geralmente com um peso de importância maior. Segue agora uma descrição de cada componente da função objetivo:

- **Oferta não alocada** — função que penaliza as ofertas que não foram alocadas em uma turma. Para cada oferta não alocada, soma o valor 1 ao custo oferta não alocada;
- **Conflito** — função que penaliza conflito do professor em turmas simultâneas, ou seja, o professor foi alocado em duas turmas no mesmo dia e horário. Quando existe conflito para um professor, adiciona o valor 1 ao custo conflito;
- **Preferência do professor** — função que penaliza a alocação do professor em horário indisponível ou com prioridade baixa e média. Para cada horário do professor

faz a multiplicação do valor da preferência e do valor do elemento correspondente no vetor de pesos, o resultado da multiplicação é acumulado. O resultado acumulado é o custo preferência do professor;

- **Horário vago do professor** — função que penaliza a existência de horários vagos no quadro do professor e quantidade de dias acima da quantidade ideal. Quando encontra um horário vago no dia, acrescenta o valor da quantidade de intervalos ao custo horário vago do professor. Além disso, calcula a quantidade ideal de dias e a quantidade de dias alocados. A quantidade ideal é o resultado da divisão da quantidade total de ofertas do professor pela quantidade de horários de aulas em um dia letivo. Quando a quantidade de dias alocados é maior do que a quantidade de dias ideal, adiciona ao custo horário vago do professor a diferença entres elas multiplicada por um fator com valor 2;
- **Atendimento de mínimo e máximo de oferta** — função que penaliza a quantidade de ofertas no dia, quando inferior ao valor mínimo ou superior ao valor máximo. Quando a quantidade ofertada for menor do que o valor mínimo, incrementa o custo com a diferença entre o quantidade ofertada e o valor mínimo. Quando a quantidade ofertada for maior do que o valor máximo, acrescenta ao custo o valor da diferença entre o quantidade ofertada e o valor máximo;
- **Agrupamento** — função que penaliza a existência de horário vago entre duas ofertas no mesmo dia. Quando há duas ofertas iguais no dia e existe ofertas diferentes entre elas, adiciona o valor da quantidade de ofertas diferentes ao custo agrupamento;
- **Horário vago na turma** — função que penaliza a existência de horário vago no quadro de uma turma. Quando há um horário vago na turma incrementa o custo horário vago na turma com o valor 1;
- **Maximização de semelhanças** — função que penaliza a quantidade total de alterações feitas na solução atual, comparando-a com a melhor solução. Para cada horário onde for encontrada uma oferta diferente da melhor solução soma o valor 1 ao custo maximização de semelhanças.

A função objetivo consiste uma uma combinação linear ponderada dos vários critérios de otimização a serem atendidos. Foi usada uma função cumulativa ponderada. Para realizar a comparação qualitativa entre duas diferentes soluções propostas, foi concebida uma *função objetivo* (FO) expressa por:

$$\mathcal{F}(Q) = \sum_{i=1}^{8} w_i \times \mathcal{F}_i(Q), \tag{3-1}$$

onde cada $\mathcal{F}_i$ é uma função concebida para quantificar a penalidade, na FO, advinda da

violação das restrições fracas ou relzadas.

$$\mathcal{F}_1(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{o=1}^{|\mathcal{R}|} OfertaNaoAlocada(t,o), \tag{3-2}$$

$$\mathcal{F}_2(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{h=1}^{|\mathcal{H}|} Conflito(t,h), \tag{3-3}$$

$$\mathcal{F}_3(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{p=1}^{|\mathcal{P}|} PreferenciaProfessor(t,p), \tag{3-4}$$

$$\mathcal{F}_4(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{p=1}^{|\mathcal{P}|} HorarioVagoProfessor(t,p), \tag{3-5}$$

$$\mathcal{F}_5(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{r=1}^{|\mathcal{R}|} AtendimentoMinimoMaximoOferta(t,r), \tag{3-6}$$

$$\mathcal{F}_6(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{r=1}^{|\mathcal{R}|} Agrupamento(t,r), \tag{3-7}$$

$$\mathcal{F}_7(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{h=1}^{|\mathcal{H}|} HorarioVagoTurma(t,h), \tag{3-8}$$

$$\mathcal{F}_8(Q) = \sum_{t=1}^{|\mathcal{T}|} \sum_{h=1}^{|\mathcal{H}|} MaximizacaoDeSemelhancas(t,h). \tag{3-9}$$

CAPÍTULO 4

User Hints para Problema de Definição de Quadro de Horário de Aulas

Neste trabalho, apresentamos a abordagem *User Hints* para problema de definição de quadro de horário de aulas para ser utilizado em escolas de ensino fundamental e ensino médio.

O *framework User Hints* tem duas metas principais. A primeira meta é permitir ao usuário tratar o problema específico da sua escola. Para isso, ele deve poder ajustar os componentes da função objetivo (como, por exemplo, os pesos das funções que avaliam o nível da satisfação de algumas restrições relaxadas). Deve também poder utilizar ferramentas de bloqueio ou de seleção para evitar que partes da solução que foram criadas manualmente e/ou estão boas sejam modificadas na execução de métodos de otimização automáticos.

A segunda meta é encontrar soluções de melhor qualidade e/ou em menos tempo. Para esta finalidade, deve ser possível focar os métodos de otimização em partes do problema que realmente carecem de esforço computacional, ajustar parâmetros de funcionamento do método e realizar operações manuais de ajuste dos quadros de horários.

A abordagem *User Hints* deve oferecer também a possibilidade do usuário explorar diversas ações e escolher aquela que propicia o melhor resultado. Isso significa que deve ser possível, além de automaticamente monitorar e guardar a melhor solução encontrada (por meio do agente de melhor solução), salvar explicitamente algumas soluções para comparação e consulta posterior e realizar operações de "desfazer" e "refazer".

Uma interface gráfica deve auxiliar o usuário a identificar os principais conflitos no quadro de horários e facilitar a construção e a melhoria de soluções. Isso envolve ofertar mais de uma proposta de visualização da solução de horários, com destaques visuais dos principais problemas, e disponibilizar recursos interativos de manipulação direta dos elementos na visualização.

Na visualização, são definidos três métodos de trabalho: seleção, bloqueio e alteração manual. No modo de seleção, o usuário deve poder escolher os itens do quadro

de horários que são utilizados pelos métodos de otimização. No modo de bloqueio, o usuário deve poder bloquear ou desbloquear os horários selecionados. Um horário bloqueado não pode ser modificado, ou seja, a oferta associada não pode ser alterada. Se o horário estiver vago, ele não será preenchido. No último modo, o usuário deve conseguir alterar o quadro trocar ofertas entre horários da turma, alocar uma oferta ou desalocar uma oferta.

Em termos de problemas gerais de otimização, a nossa abordagem considera duas situações principais:

(a) Construir uma alocação de horário nova. Neste caso, o usuário começa com todas as ofertas desalocadas e precisa alocá-las, usando métodos automáticos de otimização ou ações manuais;
(b) Corrigir ou melhorar quadros de horário já existentes. A correção se faz necessária quando há mudanças de professores das disciplinas ou das suas preferências de horário, que geram violações de restrição ou impactam negativamente o custo (qualidade) da solução; também se tornam importantes quando o sistema não consegue encontrar sozinho, por processos puramente automatizados, uma solução de quadro de horários que não apresente conflitos e outros tipos de violação de restrições.

Na presente pesquisa, foi assumido que o usuário é um especialista em alocação de horários das escolas, sendo, em geral, um coordenador acadêmico, diretor ou técnico administrativo especializado nesta função.

Nas próximas seções deste capítulo aplicamos o *framework User Hints* para resolver o problema de definição de quadro de horário de aulas. Na Seção 4.1, definimos as dicas de foco, restrição, objetivo e alteração manual. Na Seção 4.2 mostramos as visualizações projetadas. Na Seção 4.3 é apresentada a função objetivo. Na Seção 4.4, detalhamos as alterações nos métodos de otimização *Simulated Annealling* e *Tabu Search*. O agente de melhor solução, o histórico e a lista de soluções favoritas são descritos na Seção 4.5.

4.1 Tipos de Interação

Nesta abordagem, foi utilizado um modo que permite alternância entre ações humanas e o computador. Como descrito na Seção 2.3, as dicas do usuário devem ajudar a refinar o problema e aprimorar a convergência. Foram definidos quatro tipos de dicas:

- **Foco** – O usuário pode definir o foco selecionando os horários das turmas que podem ser trocados durante a execução dos métodos de otimização. As ofertas dos

horários que não são selecionados não podem ser trocadas. O foco pode ser feito em todas as turmas, em um subconjunto de turmas, em um dia, em um horário de aula ou em um conjunto de horários no quadro.

- **Restrição** – O usuário pode definir as preferências dos professores informando os valores indisponível (0), baixa (1), média (2) ou alta (3).
- **Objetivo** – O usuário pode ajustar a função objetivo definindo os pesos dos elementos. Um elemento com peso zero não é usado no cálculo.
- **Alteração Manual** – O usuário pode trocar, manualmente, as ofertas do quadro de horário usando o mouse para arrastar e soltar, fazendo a troca entre dois horários na turma. Ele também pode arrastar uma oferta da lista para adicionar no quadro.

4.2 Visualizações

Três visualizações foram pensadas no escopo do User Hints para o problema de quadro de horários de aulas, a saber: visões de turma, professor e global. As visualizações utilizam uma representação tabular e apresentam a solução atual sob diferentes perspectivas, além de oferecer formas de ajuste da solução.

4.2.1 Visão de Turma

A visão de turma adota uma visualização clássica de quadro de horários. Na primeira linha são mostrados os dias da semana e na primeira coluna os horários de aula. As turmas são organizadas usando abas. A Figura 4.1 ilustra essa visualização.

6º (2 | 1) 7º 8º 9º M_1º M_2º (2 | 1) M_3º

Horário	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira
7:00-7:50	**Geografia Lais**	Inglês Maria	Ciências Eduardo	Língua Portuguesa Selma	História Glaucia
7:50-8:40	Língua Portuguesa Selma	Matemática Kênia	Libras Josiane	Língua Portuguesa Selma	Matemática Kênia
8:40-9:30	Geografia Lais	Dança Wlima	Libras Josiane	Matemática Kênia	Educação Física Fernanda
9:45-10:35	Ensino Religioso Elisângela	Inglês Maria	Matemática Kênia	Cultura Surda Henrique	Educação Física Fernanda
10:35-11:15	Dança Wlima	Língua Portuguesa Selma	Geografia Lais	Matemática Kênia	Cultura Surda Henrique
11:15-12:00	História Glaucia	Libras Josiane	Ciências Eduardo	Ciências Eduardo	Língua Portuguesa Selma

Figura 4.1: *Quadros de horários.*

Na visão, o usuário percebe as violações de restrições e qualidade de algumas opções da melhoria. Quando há uma violação em uma turma, isso é mostrado como um selo de notificação na aba correspondente da tabela. No selo temos duas informações: quantidade de conflitos e quantidade de alocações de professor em horário indisponível.

Junto ao quadro de horários, o usuário visualiza também as ofertas não alocadas em uma lista no canto inferior da interface gráfica. Cada item da lista descreve atributos

de um grupo de oferta similares, com a mesma disciplina e professor, e apresenta a quantidade de ofertas deste tipo entre colchetes. Quando esta quantidade é igual a 1, ela não é mostrada. A Figura 4.2 ilustra essa interface.

Figura 4.2: *Lista de ofertas.*

O usuário aloca uma oferta manualmente arrastando-a da lista para o quadro de horário. Ele também a desaloca, arrastando-a do quadro para a lista inferior. Após a alocação ou desalocação a quantidade de ofertas é atualizada na lista.

O usuário pode trocar as ofertas entre dois horários, arrastando e soltando uma oferta para outro *slot* no quadro de aulas. Durante essa operação e também na anterior de associar ofertas não alocadas a horários, são apresentadas informações de preferência e de conflito. O conflito informa que o professor foi alocado naquele horário em outras turmas e é representado com a imagem de explosão . Já as preferências e disponibilidades de horários são indicadas destacando-se as células da matriz com cores. O horário disponível é indicado na cor branca. O horário indisponível está na cor cinza. A baixa disponibilidade aparece na cor azul. A média disponibilidade está na cor verde. Na Figura 4.3, é ilustrada a visualização de um quadro de horários com possíveis conflitos e as preferências do professor. Na Figura 4.4, é apresentada a legenda das cores utilizadas.

Figura 4.3: *Visualização de preferência e conflito.*

Figura 4.4: *Legenda para preferência do professor.*

No modo de seleção, o usuário pode selecionar uma célula ou um intervalo utilizando o mouse para definir um retângulo de seleção. Todos os horários dentro da área são imediatamente selecionados. Neste caso, os horários modificados são destacados alterando-se sua cor de fundo para amarelo. Na Figura 4.5, temos um exemplo de um quadro com alguns itens selecionados.

Horário	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira
7:00-7:50	Língua Portuguesa Elisângela	Geografia Lais	Educação Física Fernanda	Ciências Eduardo
7:50-8:40	Língua Portuguesa Elisângela	Matemática Kënia	Matemática Kënia	Geografia Lais
8:40-9:30	História Glaucia	Matemática Kënia	Inglês Maria	Geografia Lais
9:45-10:35	Língua Portuguesa Elisângela	Ciências Eduardo	Educação Física Fernanda	Ensino Religioso Selma
10:35-11:15	Dança Wlima	Matemática Kënia	Inglês Maria	Língua Portuguesa Elisângela
11:15-12:00	Língua Portuguesa Elisângela	Dança Wlima	Cultura Surda Henrique	Cultura Surda Henrique

Figura 4.5: *Visão turma com seleção.*

Durante a atividade de seleção, manter a tecla **Ctrl** pressionada faz com que a seleção seja estendida, ou seja, permite a união dos itens anteriores com os itens novos. Caso não se utilize a tecla **Ctrl**, os itens anteriores que não estão na área de seleção serão desmarcados.

O usuário também pode utilizar um menu de contexto, no quadro, para selecionar ou desmarcar:

- Os objetos de um dado professor nesta turma;
- Todos os objetos desse professor em todas a turmas;
- Os objetos dessa oferta nesta turma;
- Todos os objetos dessa oferta em todas as turmas;
- Os objetos dessa disciplina nesta turma;
- Todos os objetos dessa disciplinas em todas as turmas.

No quadro de horários, os títulos das linhas e das colunas podem ser usados para selecionar parte da tabela. O usuário seleciona a coluna inteira quando clica no

título da sua linha (dias). Ele seleciona uma linha inteira quando clica no título da sua coluna (horários de aulas). O usuário seleciona todas as células ao clicar na texto **Horário**, localizado no carto superior esquerdo da interface.

Pode acontecer do usuário desejar que algumas regiões nunca sejam alteradas porque já estão definidas dentro do quadro de horários. Para evitar que o usuário tenha o cuidado de não selecionar aquela região antes de executar o algoritmo, resolvemos incluir um recurso para fazer o bloqueio. Um horário bloqueado não é passível de modificação. Um horário bloqueado é representado na visualização pela imagem de um cadeado 🔒.

Além disso, o usuário pode utilizar o mesmo menu de contexto, no quadro de horários da turma, para bloquear ou desbloquear ofertas em certos horários:

- Os objetos de um dado professor nesta turma;
- Todos os objetos desse professor em todas a turmas;
- Os objetos dessa oferta nesta turma;
- Todos os objetos dessa oferta em todas as turmas;
- Os objetos dessa disciplina nesta turma;
- Todos os objetos dessa disciplinas em todas as turmas.

Por fim, a visão de turma oferece um recurso para comparar visualmente a solução atual de quadro de horários com a solução imediatamente anterior, e que fica guardada no histórico de soluções (possível de ser recuperada com uma operação "desfazer"), a fim de avaliar o impacto de uma ação executada. Neste caso, os horários modificados são destacados alterando-se sua cor de fundo para vermelho. Na Figura 4.6, é apresentado o quadro com dois horários modificados.

6º | 7º | 8º | 9º | M_1º | M_2º | M_3º

Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira
Matemática Kênia	Cultura Surda Henrique	Geografia Lais	Matemática Kênia	Libras Josiane
Ciências Eduardo	Língua Portuguesa Elisângela	Ensino Religioso Selma	Dança Wlima	História Glaucia
Matemática Kênia	Língua Portuguesa Elisângela	Geografia Lais	Língua Portuguesa Elisângela	Libras Josiane
Ciências Eduardo	Inglês Maria	Geografia Lais	Língua Portuguesa Elisângela	Educação Física Fernanda
Matemática Kênia	Língua Portuguesa Elisângela	Cultura Surda Henrique	Matemática Kênia	Libras Josiane
Educação Física Fernanda	Dança Wlima	Inglês Maria	Ciências Eduardo	História Glaucia

Figura 4.6: *Quadro com horários modificados em destaque.*

4.2.2 Visão Professor

A visão do professor oferece uma percepção da semana de aulas para um professor específico. A interface é muito parecida com a da visão de turma, exceto que foca apenas em um professor e agrega suas atividades em diversas turmas. Veja um

exemplo na Figura 4.7. Em uma caixa no canto superior esquerdo, é possível escolher o professor cujo horário será mostrado.

Lais

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07:00 - 07:50	Geografia (9º)	Geografia (7º)	Geografia (6º)	Geografia (M_1º)	
07:50 - 08:40	Geografia (M_3º)	Geografia (M_2º)		Geografia (7º)	
08:40 - 09:30	Geografia (6º)	Geografia (9º)		Geografia (7º)	
09:45 - 10:35	Geografia (M_1º)	Geografia (8º)		Geografia (8º)	
10:35 - 11:15	Geografia (6º)	Geografia (M_3º)		Geografia (8º)	
11:15 - 12:00	Geografia (M_3º)	Geografia (M_2º)		Geografia (9º)	

Figura 4.7: *Visão professor.*

As preferências do professor são mostradas utilizando-se o sistema de cores da Figura 4.2 para facilitar a visualização de disponibilidade e da preferência de alocação de horário.

O usuário pode utilizar esta visão para identificar necessidades de ajuste manual. O ajuste pode ser feito na preferência do professor ou trocando-se o horário.

Quando o professor é alocado em duas turmas diferentes no mesmo dia e horário, o conflito é mostrado utilizando texto com fonte na cor vermelha. No horário do conflito serão mostradas as duas disciplinas e turmas nas quais foi feita a alocação. A Figura 4.8, ilustra um quadro com conflito no primeiro horário da quarta-feira e uma alocação em horário indisponível na sexta-feira.

Lais

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07:00 - 07:50	Geografia (9º)	Geografia (7º)		Geografia (M_1º)	
07:50 - 08:40	Geografia (M_3º)	Geografia (M_2º)	Geografia (6º) Geografia (9º)	Geografia (7º)	Geografia (6º)
08:40 - 09:30	Geografia (6º)			Geografia (7º)	
09:45 - 10:35	Geografia (M_1º)	Geografia (8º)		Geografia (8º)	
10:35 - 11:15		Geografia (M_3º)		Geografia (8º)	
11:15 - 12:00	Geografia (M_3º)	Geografia (M_2º)		Geografia (9º)	

Figura 4.8: *Visão professor com conflito.*

4.2.3 Visão Global

O usuário visualiza o quadro com a alocação de todas as turmas da instituição na visão global. Nesse quadro os dias são colocados na primeira coluna e os horários de aula na segunda coluna. Os rótulos das turmas aparecem na primeira linha e referem-se às colunas restantes.

O usuário pode observar a disciplina, o professor ou a oferta completa (disciplina e professor). Durante a alocação, a exibição apenas do nome do professor facilita a identificação.

Na Figura 4.9, é mostrado um quadro global com os professores e, na Figura 4.10, é ilustrada um quadro global com as disciplinas. Nas duas imagens, temos conflitos e indisponibilidade de horários. O conflito é destacado com a fonte na cor vermelha. A indisponibilidade é mostrada com a fonte preta e em negrito.

		6º	7º	8º	9º	M_1º	M_2º	M_3º
Seg	**07:00 - 07:50**	Wlima	Lais	Elisângela	Glaucia	Selma	Ana	Lais
	07:50 - 08:40	Selma	Elisângela	Eduardo	Glaucia	Lais	Ana	Wlima
	08:40 - 09:30	Lais	Wlima	Selma	Kënia	Eduardo	Ana	Glaucia
	09:45 - 10:35	Eduardo	Lais	Elisângela	Wlima	Ana	Selma	Kënia
	10:35 - 11:15	Kënia	Elisângela	Eduardo	Fernanda	Ana	Wlima	Selma
	11:15 - 12:00	Fernanda	Elisângela	Eduardo	Wlima	Kënia	Selma	Ana
Ter	**07:00 - 07:50**	Henrique	Josiane	Lais	Maria	Eduardo	Kënia	Selma
	07:50 - 08:40	Kënia	Maria	Josiane	Selma	Wlima	Maria	Eduardo
	08:40 - 09:30	Kënia	Eduardo	Josiane	Lais	Selma	Wlima	Maria
	09:45 - 10:35	Maria	Josiane	Wlima	Eduardo	Selma	Lais	Kënia
	10:35 - 11:15	Glaucia	Josiane	Wlima	Maria	Kënia	Selma	Lais
	11:15 - 12:00	Eduardo	Kënia	Elisângela	Selma	Maria	Glaucia	Lais
Qua	**07:00 - 07:50**	Selma	**Wlima**	Lais	Eduardo	Ana	Henrique	Kënia
	07:50 - 08:40	Eduardo	Selma	Maria	Eduardo	**Wlima**	Lais	Kënia
	08:40 - 09:30	**Wlima**	Henrique	Lais	Selma	Kënia	Glaucia	Ana
	09:45 - 10:35	Kënia	Maria	Glaucia	Eduardo	Selma	Ana	Henrique
	10:35 - 11:15	Maria	Lais	Eduardo	Henrique	Kënia	Ana	Glaucia
	11:15 - 12:00	Selma	Kënia	Maria	Henrique	Lais	Eduardo	Ana
Qui	**07:00 - 07:50**	Josiane	Eduardo	Henrique	Elisângela	Glaucia	Michel	Selma
	07:50 - 08:40	Josiane	Eduardo	Elisângela	Henrique	**Ana**	Selma	Michel
	08:40 - 09:30	Henrique	Elisângela	Eduardo	Selma	Michel	Kënia	Glaucia
	09:45 - 10:35	Elisângela	Glaucia	Josiane	Selma	Michel	Kënia	Eduardo
	10:35 - 11:15	Josiane	Glaucia	Elisângela	Eduardo	Kënia	Michel	Selma
	11:15 - 12:00	Selma	Elisângela	Glaucia	Eduardo	**Ana**	Kënia	Michel
Sex	**07:00 - 07:50**	Glaucia	Fernanda	Henrique	Lais	Ana	Eduardo	Kënia
	07:50 - 08:40	Lais	Kënia	Fernanda	Eduardo	Glaucia	Ana	Henrique
	08:40 - 09:30	Lais	Henrique	Fernanda	Eduardo	Selma	Kënia	Ana
	09:45 - 10:35	Kënia	Fernanda	Eduardo	Lais	Henrique	Selma	Ana
	10:35 - 11:15	Selma	Kënia	Eduardo	Fernanda	Henrique	Kamila	Ana
	11:15 - 12:00	Fernanda	Kënia	Eduardo	Henrique	Kamila	Selma	Kamila

Figura 4.9: *Visão global professor com conflito e alocação em horários em que há indisponibilidade.*

		6º	7º	8º	9º	M_1º	M_2º	M_3º
Seg	07:00 - 07:50	Dança	Geografia	Língua Portuguesa	História	Espanhol	Biologia	Geografia
	07:50 - 08:40	Língua Portuguesa	Língua Portuguesa	Matemática	História	Geografia	Biologia	Educação Física
	08:40 - 09:30	Geografia	Dança	Ensino Religioso	Mat. Aplicada	Física	Química	História
	09:45 - 10:35	Ciências	Geografia	Língua Portuguesa	Dança	Biologia	Espanhol	Matemática
	10:35 - 11:15	Matemática	Língua Portuguesa	Matemática	Educação Física	Química	Educação Física	Língua Portuguesa
	11:15 - 12:00	Educação Física	Língua Portuguesa	Matemática	Dança	Matemática	Ensino Religioso	Biologia
Ter	07:00 - 07:50	Cultura Surda	Libras	Geografia	Inglês	Física	Mat. Aplicada	Língua Portuguesa
	07:50 - 08:40	Matemática	Inglês	Libras	Língua Portuguesa	Dança	Inglês	Física
	08:40 - 09:30	Matemática	Ciências	Libras	Geografia	Língua Portuguesa	Dança	Inglês
	09:45 - 10:35	Inglês	Libras	Dança	Matemática	Língua Portuguesa	Geografia	Mat. Aplicada
	10:35 - 11:15	História	Libras	Dança	Inglês	Matemática	Língua Portuguesa	Geografia
	11:15 - 12:00	Ciências	Matemática	Língua Portuguesa	Língua Portuguesa	Inglês	História	Geografia
Qua	07:00 - 07:50	Língua Portuguesa	**Dança**	Geografia	Ciências	Química	Cultura Surda	Matemática
	07:50 - 08:40	Ciências	Ensino Religioso	Inglês	Ciências	**Educação Física**	Geografia	Matemática
	08:40 - 09:30	**Dança**	Cultura Surda	Geografia	Língua Portuguesa	Matemática	História	Biologia
	09:45 - 10:35	Matemática	Inglês	História	Ciências	Língua Portuguesa	Química	Cultura Surda
	10:35 - 11:15	Inglês	Geografia	Ciências	Libras	Matemática	Biologia	História
	11:15 - 12:00	Língua Portuguesa	Matemática	Inglês	Cultura Surda	Geografia	Física	Química
Qui	07:00 - 07:50	Libras	Ciências	Cultura Surda	Ensino Religioso	História	Filosofia	Língua Portuguesa
	07:50 - 08:40	Libras	Ciências	Língua Portuguesa	Libras	**Química**	Língua Portuguesa	Sociologia
	08:40 - 09:30	Cultura Surda	Língua Portuguesa	Ciências	Língua Portuguesa	Filosofia	Matemática	História
	09:45 - 10:35	Ensino Religioso	História	Libras	Língua Portuguesa	Sociologia	Matemática	Física
	10:35 - 11:15	Libras	História	Língua Portuguesa	Matemática	Mat. Aplicada	Sociologia	Língua Portuguesa
	11:15 - 12:00	Língua Portuguesa	Língua Portuguesa	História	Matemática	**Biologia**	Matemática	Filosofia
Sex	07:00 - 07:50	História	Educação Física	Cultura Surda	Geografia	Biologia	Física	Matemática
	07:50 - 08:40	Geografia	Matemática	Educação Física	Matemática	História	Química	Cultura Surda
	08:40 - 09:30	Geografia	Cultura Surda	Educação Física	Matemática	Língua Portuguesa	Matemática	Química
	09:45 - 10:35	Matemática	Educação Física	Matemática	Geografia	Cultura Surda	Língua Portuguesa	Química
	10:35 - 11:15	Língua Portuguesa	Matemática	Ciências	Educação Física	Cultura Surda	Libras	Biologia
	11:15 - 12:00	Educação Física	Matemática	Matemática	Libras	Libras	Língua Portuguesa	Libras

Figura 4.10: *Visão global disciplina com conflito e alocação em horários em que há indisponibilidade.*

Interações e o uso da lista de ofertas não alocadas são possíveis tanto para a visão professor como para a visão global, nos mesmos moldes de como foi planejado para a visão de turmas. Para o presente trabalho, contudo, devido a limitações de tempo, esses recursos não foram explorados.

4.3 Função Objetivo

A função objetivo deve ser minimizada, ou seja, um valor menor indica uma solução melhor. Quando o usuário modifica a solução, o valor da função para essa solução deve ser automaticamente recalculado. Utilizamos como função objetivo a mesma função descrita na Seção 3.2

O usuário pode ajustar os pesos da função objetivo (valores w_i, para $i = 1, 2, \ldots 8$, e outros dados) levando em consideração a importância de cada item na sua instituição de ensino. Quando o usuário informa o valor zero, o item em questão não é usado na função objetivo.

A Tabela 4.1 apresenta valores padrões utilizados como peso na função objetivo. Esses pesos foram escolhidos empiricamente após teste da abordagem *User Hints* com

algumas situações de alocação de horários, mas devem ser validados em condições reais.

Tabela 4.1: *Valor padrão para peso na função objetivo.*

Peso	**Valor**
Oferta não alocada	100
Conflito	50
Preferência do professor	1
Horário vago do professor	5
Atendimento de mínimo e máximo de oferta	3
Agrupamento	3
Slots vazios na turma	1
Maximização de semelhanças	0,01

O usuário pode configurar também um custo para uso de um horário indisponível, com disponibilidade baixa, disponibilidade média e disponibilidade alta. Estes custos são considerados em conjunto com o valor do peso do item preferência do professor da função objetivo. Na Tabela 4.2 são descritos valores padrões para tais preferências.

Tabela 4.2: *Valor padrão para custo de uma preferência do professor.*

Preferência	**Valor**
Uso de horário indisponível	50
Uso de horário de preferência baixa	3
Uso de horário de preferência média	2
Uso de horário de preferência alta	0

4.4 Método de Otimização

Diversos métodos podem ser utilizados na abordagem *User Hints*, para gerar uma solução de quadro de horários. Dois métodos foram considerados: *Simulated Annealing* e *Tabu Search*.

O usuário precisa fazer uma seleção (foco) antes de executar o método desejado. O foco limita a lista horários que podem ser trocados. Neste caso, apenas os horários selecionados e não bloqueados podem ser alterados.Se o usuário não selecionar nenhum horário, o método não vai modificar a solução atual. Se o método encontrar uma solução nova melhor, ela substituirá a solução de trabalho.

Para suportar o foco e o refinamento de objetivos foram feitas duas alterações nos métodos clássicos de otimização. A primeira alteração é na subrotina que gerar uma nova solução na vizinhança da solução atual. A alteração consiste em realizar uma fazendo pertubação na solução atual considerando apenas os horários selecionados e não

bloqueados. A segunda alteração foi na função que calcula o custo total da solução a qual passa a utilizar um vetor de pesos que pode ser ajustado pelo usuário.

Os pseudocódigos dos métodos *Simulated Annealing* e *Tabu Search* modificados são apresentando nos Algoritmos 4.1 e 4.2, respectivamente. Note que foram adicionados a esses algoritmos os parâmetros de entrada *pesos* e *selecao*. O parâmetro *pesos* é um vetor com os valores de cada elemento da função objetivo. O parâmetro *selecao* representa a lista de horários selecionados e não bloqueados, na grade de horários.

Algoritmo 4.1: Pseudocódigo *Simulated Annealing* modificado.

Entrada: s, T_0, $Tmin$, α, $SAmax$, k, $pesos$ e $selecao$.
Saída: s^*.

```
1  s* ← s;
2  T ← T0;
3  enquanto (T > Tmim) faça
4      IterT ← 0;
5      enquanto (IterT < SAmax) faça
6          IterT ← IterT + 1;
7          s' ← pertuba(s, selecao);
8          Δ = f(s', pesos) − f(s, pesos);
9          s ← s';
10         se (Δ < 0) então
11             s ← s';
12             se (f(s', pesos) < f(s*, pesos)) então
13                 s* ← s';
14             fim
15         senão
16             Gere x ∈ random[0, 1] ;
17             se (x < e^(−Δ/(k×T))) então
18                 s ← s';
19             fim
20         fim
21     fim
22     T = α × T;
23 fim
24 s ← s*;
25 Retorne s;
```

Algoritmo 4.2: Pseudocódigo *Tabu Search* modificado.

Entrada: s, $BTmax$, $maxTabuSize$, $pesos$ e $selecao$.
Saída: s^*.

```
1  sMelhor ← s;
2  melhorCandidato ← s;
3  T ← ∅;
4  T.push(s);
5  Iter ← 0;
6  melhorIter ← 0;
7  enquanto ((Iter − melhorIter) ≤ Btmax) faça
8      Iter ← Iter + 1;
9      vizinhanca ← gerarVizinhanca(melhorCandidato, selecao);
10     melhorCandidato ← vizinhanca[0];
11     para (candidato ∈ vizinhanca) faça
12         se ((not(T.contains(candidato)))and(f(candidato, pesos) <
             f(melhorCandidato, pesos))) então
13             melhorCandidato ← candidato;
14         fim
15     fim
16     se (f(melhorCandidato, pesos) < f(sMelhor, pesos)) então
17         sMelhor ← melhorCandidato;
18         melhorIter ← Iter;
19     fim
20     T.push(melhorCandidato);
21     se (T.size > maxTabuSize) então
22         T.removeFirst();
23     fim
24 fim
25 Retorne sMelhor;
```

O usuário pode modificar também os parâmetros do *Simulated Annealing*. Na Tabela 4.3 são detalhados os valores padrões para esses parâmetros.

Tabela 4.3: *Valor padrão para os parâmetros do Simulated Annealing.*

Parâmetro	**Valor**
Temperatura inicial	1000
Temperatura mínima	0,001
Fator de redução de temperatura	0,95
Fator de repetição	2
Fator K	1
Temperatura inicial baixa	10

O usuário pode ajustar os parâmetros do *Tabu Search*, cujos valores são descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: *Valor padrão para os parâmetros do Tabu Search.*

Parâmetro	**Valor**
Máximo de iterações	5000
Tamanho da lista	10

4.5 Agente de Melhor Solução, Histórico e Lista de Soluções Favoritas

Para que o usuário possa mais facilmente explorar o espaço de soluções deve-se implementar um agente de melhor solução e um histórico de soluções com suporte a "desfazer" e "refazer" ações e uma lista de soluções favoritas a ser mantida pelo próprio usuário. O agente guarda automaticamente a melhor solução produzida no sistema, considerando a parametrização corrente da função objetivo. Essa solução pode ser explicitamente sobreposta pelo usuário. O histórico armazena as soluções intermediárias automaticamente e as últimas k soluções produzidas (neste caso, definimos $k = 50$) de modo empírico). Já o recurso de soluções favoritas consiste de uma lista de soluções consideradas boas ou promissoras pelo usuário.

Após a alteração da solução atual, o agente de melhor solução compara a nova solução com a última de melhor qualidade. Se a nova solução for melhor que a melhor já encontrada, ele a salva e adiciona na lista de soluções favoritas. A solução anterior também é incluída no histórico.

Elementos visuais devem existir na interface gráfica para permitir acionar os recursos do histórico e da lista de soluções favoritas, bem como para perceber e interagir com o agente de melhor solução. A Figura 4.11 ilustra um exemplo de lista de favoritas, na qual aparecem os custos das soluções salvas.

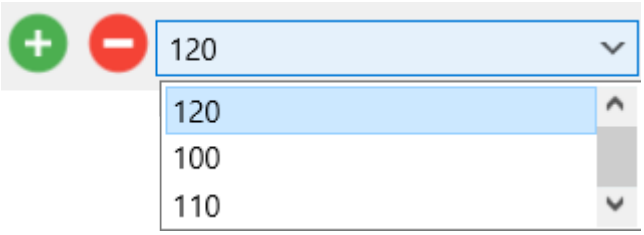


Figura 4.11: *Lista de soluções favoritas.*

O usuário pode, a qualquer momento, desfazer uma alteração no quadro de horários utilizando o histórico. Neste caso, a solução de trabalho é substituída pela solução do histórico. Após utilizar o desfazer, o usuário pode refazer uma alteração.

CAPÍTULO 5

Implementação

Neste capítulo, são apresentados os detalhes de um sistema protótipo implementado para permitir a avaliação da abordagem descrita no capítulo anterior. Na Seção 5.1, é descrita a arquitetura da aplicação, o ambiente de desenvolvimento e a linguagem de programação empregada. Na Seção 5.2, são mostradas as principais telas e as funcionalidades do sistema.

5.1 Arquitetura de Software e Tecnologia Utilizada

Internamente, o sistema está organizado em três módulos: *principal, cadastro e alocação interativa* (conforme ilustrado na Figura 5.1). O *módulo principal* possui um menu de opções para acessar os recursos dos outros módulos, além de outros recursos de interfacear com o banco de dados. O *modulo de cadastro* é responsável pela definição dos elementos básicos que compõem o problema de quadro de horário. O *módulo de alocação interativa* é aquele por meio do qual o usuário define o quadro de horário de aulas das turma. Esse módulo implementa a abordagem *User Hints* descrita no Capítulo 4.

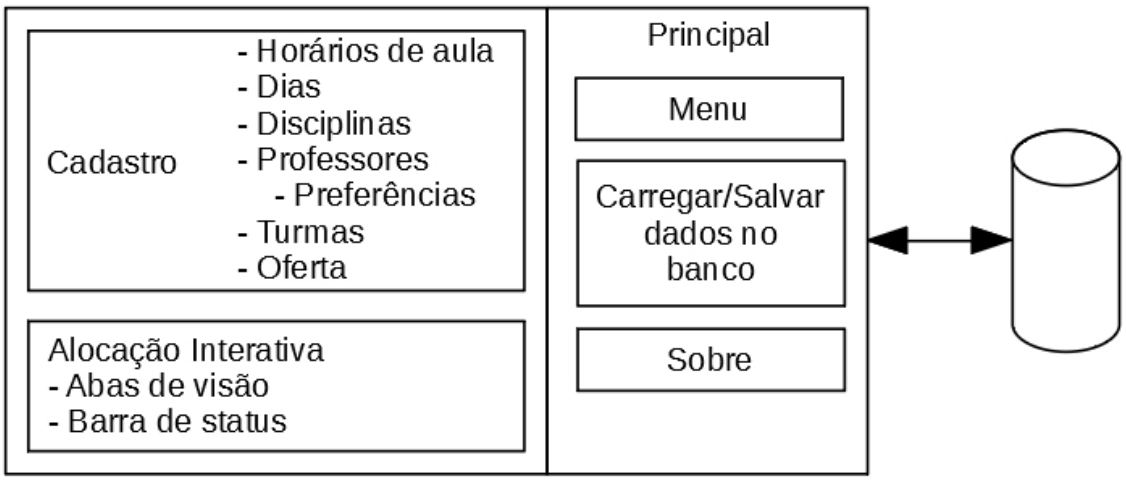


Figura 5.1: *Organização do sistema.*

A solução padrão de início para um problema de quadro de horários recém criado é ter todas as ofertas marcadas como não alocadas. Isso é indicado apresentando-as na lista de ofertas não alocadas. A Figura 5.2 mostra as estruturas de dados utilizadas para representar uma solução.

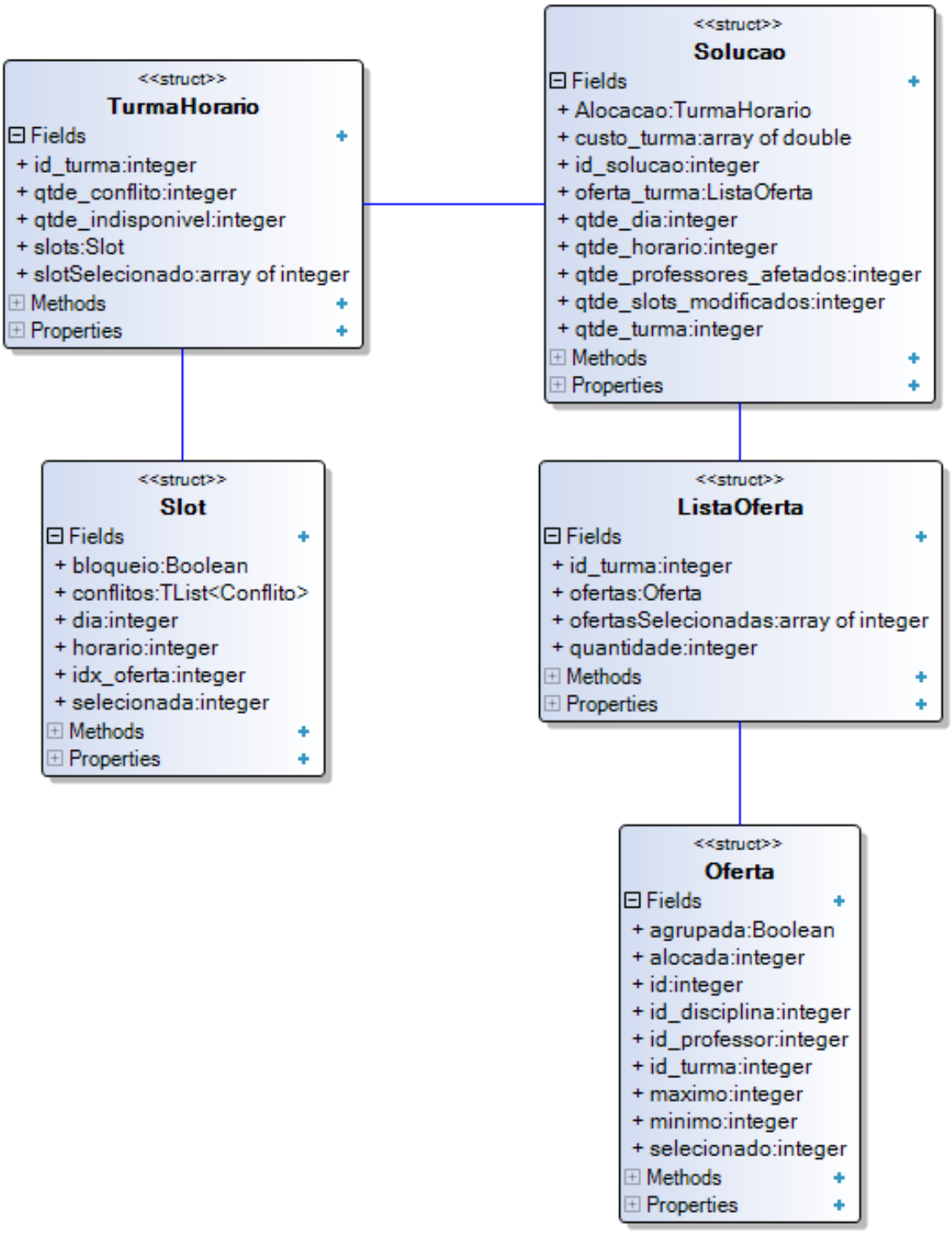


Figura 5.2: *Estrutura de dados.*

Foram criadas as estruturas de dados *Solucao*, *TurmaHorario*, *Slot*, *ListaOferta* e *Oferta*. A estrutura *Solucao* armazena quantidade de dias, quantidade de horários, quantidade de professores afetados, quantidade de horários modificados, quantidade de turmas, vetor com valor dos custos, as ofertas e os horários das turmas.

As estruturas *TurmaHorario* e *Slot* descrevem a lista de horários para as turmas. Na *TurmaHorario* tem código da turma, quantidade de conflitos, quantidade de horários indisponíveis e o vetor de horários. O *Slot* armazena dia, horário, índice da oferta alocada, bloqueio, selecionado e uma lista de conflitos.

As estruturas *ListaOferta* e *Oferta* representam as ofertas. Na *ListaOferta* tem código da turma, quantidade de ofertas e um vetor de ofertas. Na *Oferta* tem os atributos código da oferta, código da turma, código do professor, código da disciplina, agrupada, alocada, quantidade mínima e quantidade máxima.

O sistema foi criado usando o modelo cliente/servidor. O cliente é um aplicativo com interface gráfica (GUI) que conecta a um servidor de banco de dados.

A aplicação cliente foi desenvolvido utilizando-se a ferramenta Delphi 10.3.1, da empresa Embarcadero[1]. Foi escolhida a biblioteca FMX, a qual permite a compilação para várias plataformas (Windows, MacOS, Android e iOS). Foi desenvolvido também um instalador para o sistema operacional *Windows*, pois os computadores utilizados nas secretarias e coordenações de todas as escolas que participaram do estudo usavam esse sistema operacional.

Já o servidor é o banco de dados relacional Firebird[2], de código aberto e que está disponível para as plataformas Windows, Linux e Mac OS X. A base de dados é armazenada em um arquivo único com extensão FDB, o que permite a sua cópia para outro computador de forma simples. Na escola que tem dois ou mais turnos, o coordenador pode usar um arquivo diferente para armazenar as informações de cada turno.

5.2 Aplicação Protótipo

A tela principal do sistema, que fica no módulo principal, possui um menu com todos os comandos da aplicação. Essa tela é mostrada na Figura 5.3. Os comandos foram agrupados nos itens Arquivo, Editar e Sobre, e são apresentados a seguir:

Arquivo

Abrir... – abre um arquivo de banco de dados contendo os elementos do problema de alocação e uma solução;

[1] https://www.embarcadero.com/
[2] http://wwww.firebirdsql.org

Salvar como... – salva um arquivo de banco de dados contendo os elementos do problema de alocação e uma solução com outro nome;

Sair – sai do sistema;

Editar

Dia – abre uma janela para o cadastro de dias;

Horário – abre uma janela para o cadastro de horários;

Turma – abre uma janela para o cadastro de turmas;

Disciplina – abre uma janela para o cadastro de disciplinas;

Professor – abre uma janela para o cadastro de professores;

Oferta – abre uma janela para o cadastro de ofertas;

Quadro de Horário Interativo – abre a janela do módulo de alocação interativa para definição do quadro de horário;

Ajuda

Sobre – abre a janela sobre do sistema

A tela principal também possui uma barra de ferramentas com ícones para acionar os comandos mais utilizados: cadastro de dia, horário, turma, disciplina, professor e oferta, e alocação de quadro de horário interativo.

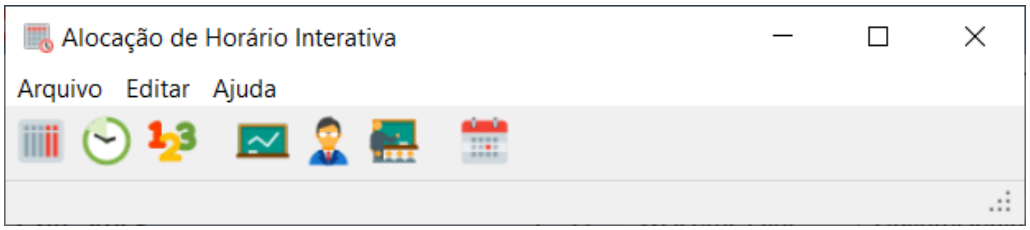


Figura 5.3: *Tela inicial.*

A seguir detalhamos as janelas de cadastro (dia, horário, turma, disciplina, professor e oferta).

5.2.1 Cadastro de Dia

O cadastro de dias da semana nos quais podem haver aulas é realizado em uma grade conforme a Figura 5.4. Na grade, há as colunas Dia e Abreviação. Na barra de ferramentas, estão os botões para incluir, excluir, gravar, cancelar e atualizar.

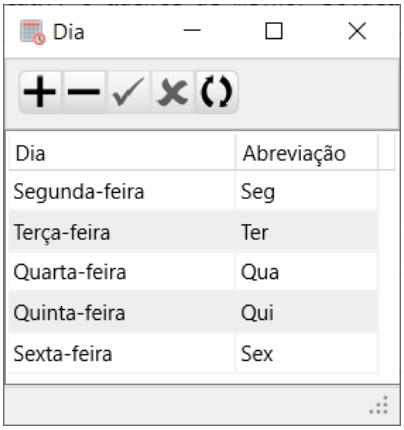


Figura 5.4: *Tela de cadastro do dia.*

5.2.2 Cadastro de Horário

O cadastro de horário de aulas é realizado em uma grade conforme a Figura 5.5. Na grade, há as colunas: Início, Fim e Ordem. Na barra de ferramentas, estão os botões para incluir, excluir, gravar, cancelar e atualizar.

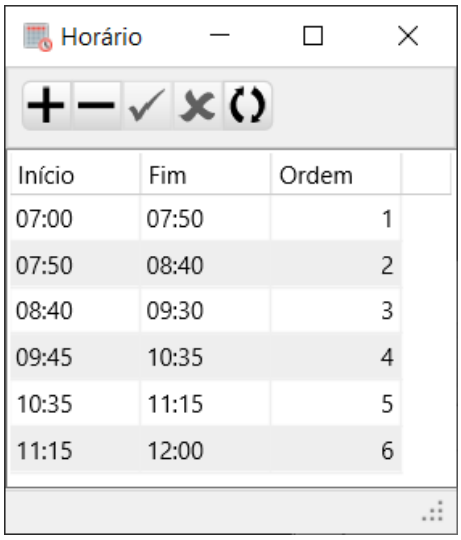


Figura 5.5: *Tela de cadastro do horário.*

5.2.3 Cadastro de Turma

As turmas são cadastradas usando-se uma grade como mostrada na Figura 5.6. Na grade, há as colunas Turma, Abreviação e Ordem. Na barra de ferramentas, estão os botões para incluir, excluir, gravar, cancelar e atualizar os registros de turmas.

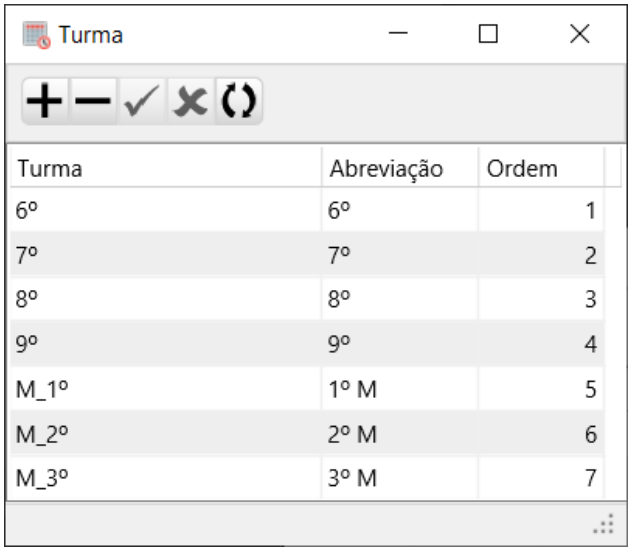


Figura 5.6: *Tela de cadastro de turma.*

5.2.4 Cadastro de Disciplina

As disciplinas ofertadas na escola são cadastradas uma grade como mostrada na Figura 5.7. Na grade, há a coluna Disciplina. Na barra de ferramentas, estão os botões para incluir, excluir, gravar, cancelar e atualizar.

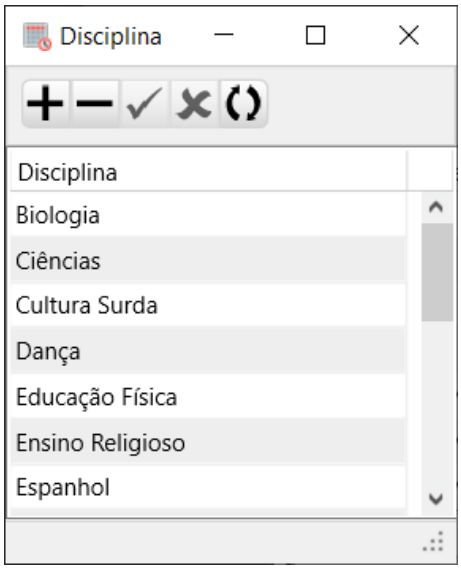


Figura 5.7: *Tela de cadastro da disciplina.*

5.2.5 Cadastro de Professor

No cadastro de professores (Figura 5.8) é apresentada uma grade com todos os registros de docentes. Na grade temos as colunas Nome, CH Ofertada e CH Alocada. As colunas de carga horária (CH) são apenas para leitura. A coluna CH Ofertada mostra a quantidade de ofertas da disciplina. Quando o valor da coluna CH Alocada for inferior

ao da coluna CH Ofertada há uma indicação de que não foram alocadas todas as ofertas envolvendo o professor.

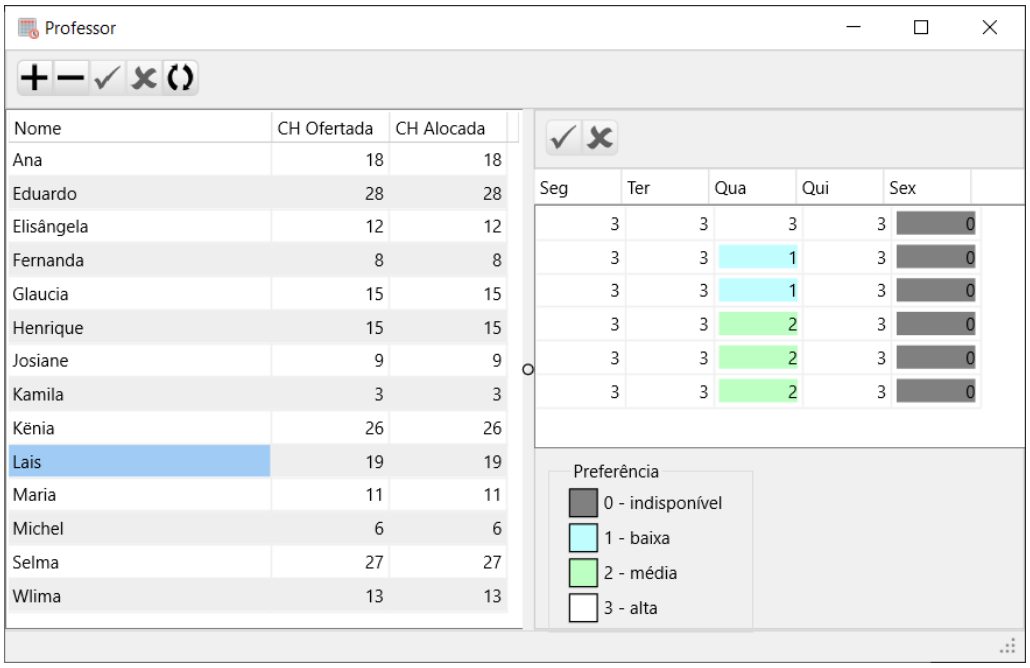


Figura 5.8: *Tela de cadastro do professor.*

No lado direito dessa janela é mostrada a grade de preferência de horários para alocação de aulas para o professor cujo nome está selecionado na lista à esquerda. Nesta grade, as colunas representam os dias e as linhas os horários de aula. O preenchimento é feito com valores na faixa de 0 até 3 e com a utilização de cores para ajudar na visualização conforme proposta descrita na Seção 4.2.2. O valor 0 indica que o professor não tem disponibilidade naquele dia e horário de aula (indicado pela cor cinza). O valor 1 indica que há uma baixa disponibilidade (cor azul). O valor 2 indica que há uma disponibilidade média (cor verde). O valor 3 indica que há uma alta disponibilidade (cor branca). O valor da preferência do professor vai ser utilizado no cálculo da função objetivo como mencionado na Seção 4.3.

5.2.6 Cadastro de Oferta

O cadastro da oferta envolve uma janela mais complexa, como ilustrado na Figura 5.9. Primeiramente, é preciso selecionar a turma na região superior central. Em seguida, deve-se lançar todas as ofertas de aula daquela turma agrupadas por professor e disciplina. Na grade há as colunas Professor, Disciplina, Quantidade, Qtde. Mínima Dia, Qtde. Máxima Dia e Agrupada. A coluna Quantidade informa a quantidade de horários de aulas (exemplo 4 ou 6 h semanais) a serem ministradas nas disciplinas da turma selecionada.

Oferta

Turma 9º Carga Horária Total

Professor	Disciplina	Quantidade	Qtde. Mínima Dia	Qtde. Máxima Dia	Agrupada
Eduardo	Matemática	5	2	3	☑
Eduardo	Ciências	3			☐
Elisângela	Ensino Religioso	1			☐
Fernanda	Educação Física	2			☐
Glaucia	História	2			☐
Henrique	Cultura Surda	1			☐
Henrique	Libras	3			☐
Kënia	Mat. Aplicada	1			☐
Lais	Geografia	3			☐
Maria	Inglês	2			☐
Selma	Língua Portuguesa	5	2		☑
Wlima	Dança	2			☐

Figura 5.9: *Tela de cadastro da oferta.*

O preenchimento das colunas Qtde. Mínima Dia, Qtde. Máxima Dia e Agrupada é opcional. O valor informado é usado no cálculo da função objetivo. A coluna Qtde. Mínima Dia informa o valor mínimo da oferta no dia. Se ela estiver preenchida, há penalização quando a quantidade de disciplinas for inferior a esse valor. A coluna Qtde. Máxima Dia, por sua vez, informa o valor máximo da oferta no dia. Se estiver preenchida, há penalização quando a quantidade de disciplinas for superior a esse valor. A coluna Agrupada indica quando a oferta deve estar agrupada no dia. Se esse campo estiver marcado, há penalização quando existe um buraco entre duas ofertas do mesmo professor/disciplina no dia.

O botão Carga Horário Total, exibe uma janela com o total da coluna quantidade na turma selecionada, ou seja, informa o total da carga horária da turma.

5.2.7 Alocação de Quadro de Horário Interativo

Esta é a tela que permite realizar a alocação interativa do quadro de horário. A tela está dividida em três abas (no canto inferior esquerdo): Visão Turma, Visão Professor e Visão Global. Apenas a visão Turma suporta otimização interativa. As outras duas servem somente para visualizar os dados de alocação por uma perspectiva diferente[3]. Na aba Visão Turma temos as ferramentas para alocação de horário tanto manual quanto automatizada. Na aba Visão Professor apresentamos o quadro de horário do ponto de vista

[3]Como descrito na Seção 4.2.3, as três visualizações poderiam suportar ações interativas nos moldes do *User Hints*. No entanto, em função do tempo extra necessário para planejar e implementar essas interações, para além do tempo disponível do mestrado, somente a primeira visualização foi trabalhada.

do professor. Na aba Visão Global, temos o quadro de horário completo de todas as turmas da instituição. Na parte inferior da tela de quadro de horários há também uma barra de status que mostra a qualidade da solução corrente em comparação com a qualidade da melhor solução até o momento. A Figura 5.10 mostra o quadro de horário interativo.

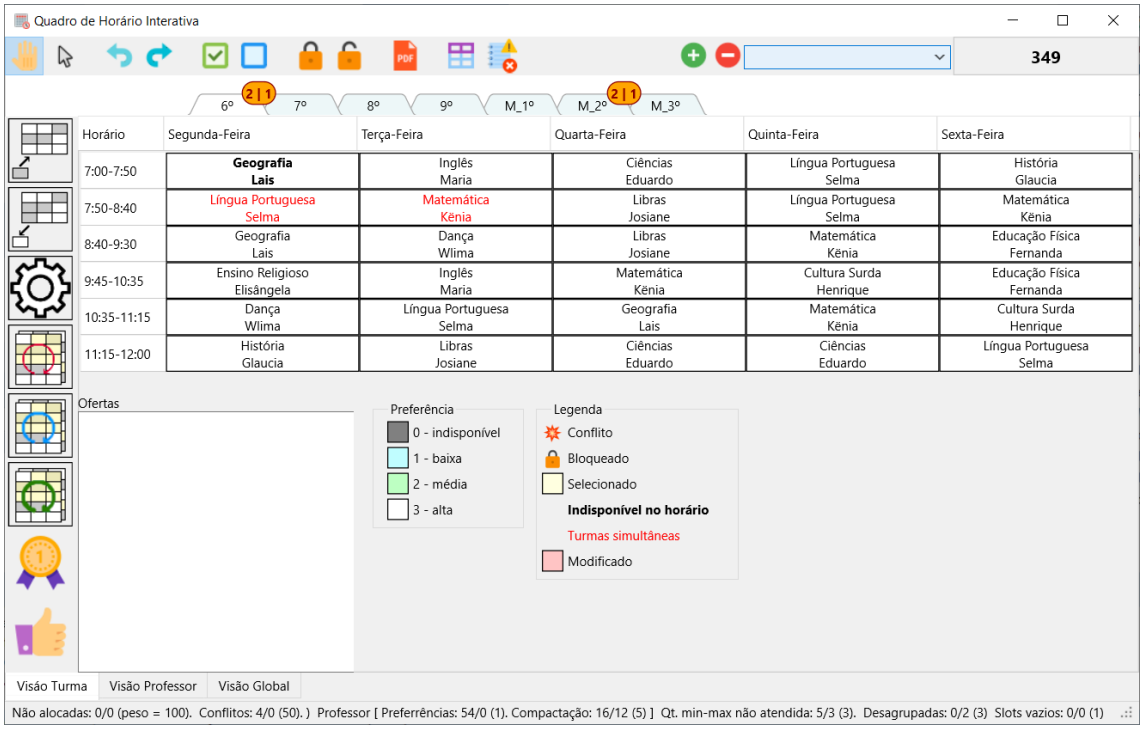


Figura 5.10: *Tela do quadro de horário interativo.*

Aba visão turma

A aba visão turma é dividida em quadro de horário, a lista de ofertas não alocadas, lista de soluções favoritas, a barra de ferramenta superior e a barra lateral de ferramentas.

As funcionalidades do quadro de horários estão descritas na Seção 4.2.1. A barra de ferramentas superior possui os comandos para a manipulação da solução, histórico e a lista de soluções favoritas. Os comandos disponíveis são:

- Modo de alocação manual – permite arrastar os elementos da lista de ofertas não alocadas para o quadro e vice-versa. Neste modo, também é permitido arrastar e soltar uma oferta em outra posição do quadro de horários para fazer uma troca das ofertas;
- Modo de seleção – permite selecionar elementos no quadro;
- Desfazer – volta para a solução anterior do histórico;
- Refazer – vai para a próxima solução do histórico;
- Selecionar tudo – seleciona todos os horários em todas as turmas;

Desmarcar tudo – desmarca todos os horários selecionados em todas as turmas;
Bloqueia itens selecionados – bloqueia todos os itens selecionados em todas as turmas;
Desbloqueia itens selecionados – desbloqueia todos os itens selecionados em todas as turmas;
Exportar PDF – exporta o quadro de horário da turma selecionada para um arquivo PDF;
Comparar – destaca as diferenças da solução de trabalho com relação à solução anterior do histórico;
Mostrar log – abre a janela com informações coletadas na execução do *Simuted Annealing*;
Adicionar – adiciona a solução de trabalho na lista de soluções favoritas;
Remover – remove a solução selecionada da lista de soluções favoritas.

Na barra lateral de ferramentas, há ícones que acionam comandos para alocar e desalocar ofertas; bem como para executar os métodos de otimização *Simulated Annealing* e *Tabu Search*. Esses métodos foram descritos na Seção 4.4. Os comandos disponíveis são:

Alocar – aloca as ofertas da lista de ofertas não alocadas da turma atual;
Desalocar – desaloca as ofertas selecionadas;
Configurar – abre a janela para configurar os pesos da função objetivo, pesos das preferências do professor e parâmetros do Simulated Annealing e do Tabu Search;
Melhorar usando o *Simulated Annealing* – roda o *Simulated Annealing* visando melhorar a solução de trabalho;
Melhorar usando o *Simulated Annealing* em baixa temperatura – aciona *Simulated Annealing* descrito anteriormente mas com uma temperatura inicial muito baixa. O objetivo é fazer apenas ajuste pontuais na solução corrente;
Melhorar usando *Tabu Search* – procura melhorar a solução corrente utilizando um algoritmo de *Tabu Search*;
Recuperar Melhor Solução – utiliza a melhor solução como solução de trabalho;
Gravar Melhor Solução – utiliza a solução de trabalho como melhor solução.

Após a alteração da solução, o custo total da função objetivo é recalculado e mostrado no canto superior direito da barra de ferramentas. Na barra de status, são apresentados os valores individuais para os componentes da função objetivo (ofertas não alocadas, conflitos, preferência do professor, horário vago do professor, atendimento de mínimo e máximo de ofertas, agrupamento e horários vazios).

Além disso, há um menu de contexto que aparece ao se clicar dentro do quadro de alocação de horários. Nesse menu, há os comandos bloquear, desbloquear, selecionar e desmarcar horários com base em algumas escolhas de critérios. A estrutura completa do menu é mostrada na Figura 5.11:

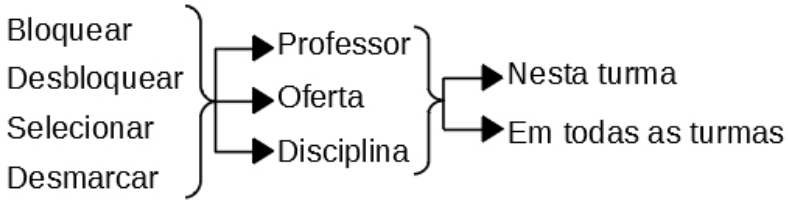


Figura 5.11: *Menu de contexto do quadro de horários.*

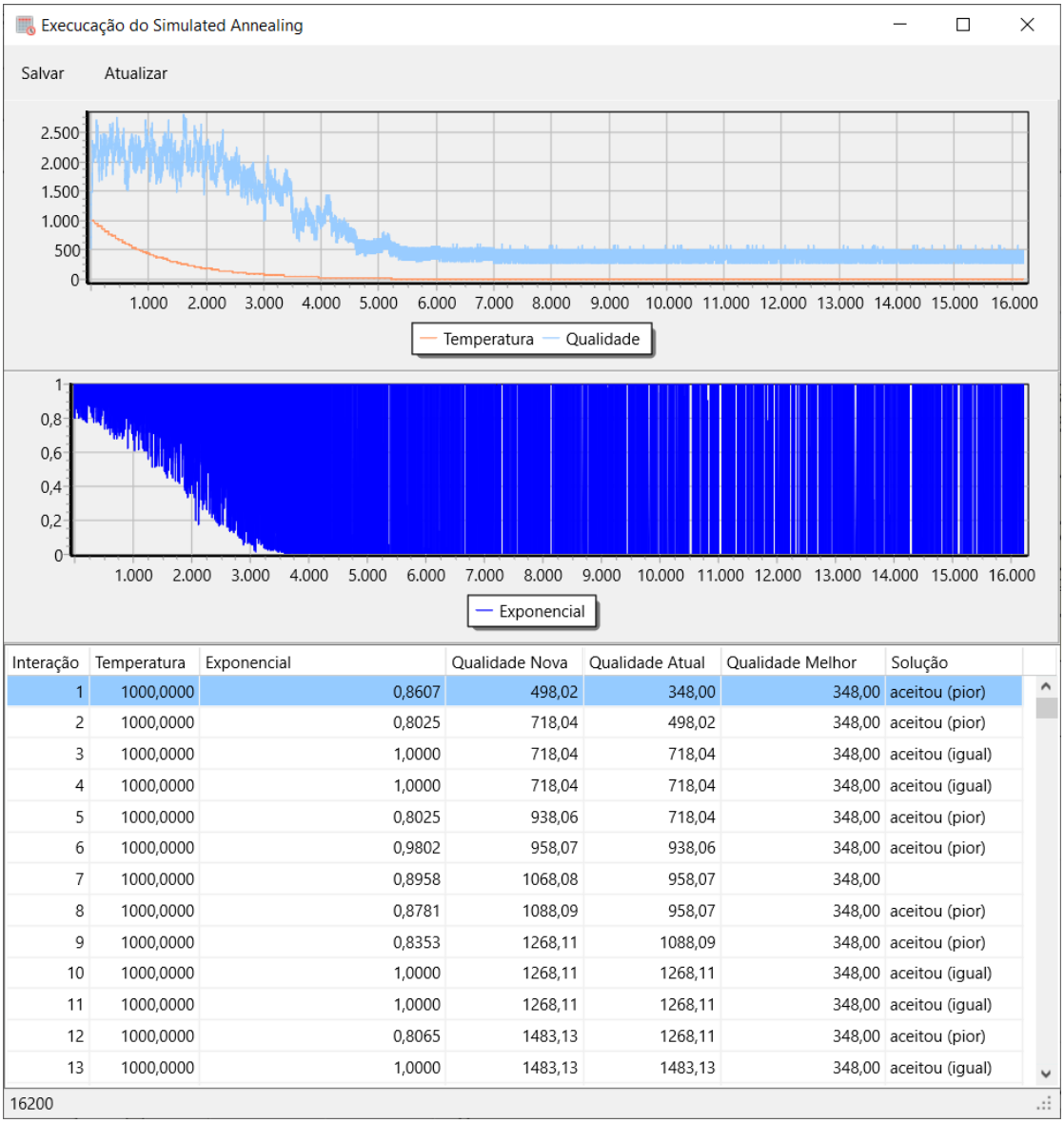
Registro de Execução do *Simulated Annealing*

Uma janela exibe informações geradas durante a execução do *Simulated Annealing*. A Figura 5.12 ilustra a organização dessa tela. Ela está dividida em três partes: gráfico de temperatura e qualidade, gráfico exponencial e grade de valores. Essas informações permitem visualizar o processo de convergência do *Simulated Annealing* durante a busca pela melhor solução e avaliar o impacto de alterações nos valores dos parâmetros.

Na parte superior, tem um gráfico de linha mostrando a temperatura e a qualidade da solução, calculada pela função objetivo. A temperatura é representada pela linha na cor laranja e a qualidade é representada pela linha na cor azul. O eixo X representa o número da iteração e o eixo Y o valor da temperatura e da função objetivo. Analisando-se o gráfico, concluímos que quando a temperatura está com um valor alto, são aceitas soluções com valores piores ou muito diferentes da solução de trabalho.

Na parte central, é apresentando um gráfico com o valor da função de aceitação exponencial do *Simulated Annealing*. Esse valor também influencia no processo de aceite de uma nova solução. Em alguns, caso o algoritmo aceita uma solução pior do que a solução de trabalho.

Finalmente, na parte inferior, tem uma grade onde há as seguintes colunas: Iteração, Temperatura, Exponencial, Qualidade Nova, Qualidade Atual, Qualidade Melhor e Solução. Na barra de ferramentas, há o botão Salvar para gravar os registros da grade em um arquivo no formato JSON ou XML para anãlise futura.



Interação	Temperatura	Exponencial	Qualidade Nova	Qualidade Atual	Qualidade Melhor	Solução
1	1000,0000	0,8607	498,02	348,00	348,00	aceitou (pior)
2	1000,0000	0,8025	718,04	498,02	348,00	aceitou (pior)
3	1000,0000	1,0000	718,04	718,04	348,00	aceitou (igual)
4	1000,0000	1,0000	718,04	718,04	348,00	aceitou (igual)
5	1000,0000	0,8025	938,06	718,04	348,00	aceitou (pior)
6	1000,0000	0,9802	958,07	938,06	348,00	aceitou (pior)
7	1000,0000	0,8958	1068,08	958,07	348,00	
8	1000,0000	0,8781	1088,09	958,07	348,00	aceitou (pior)
9	1000,0000	0,8353	1268,11	1088,09	348,00	aceitou (pior)
10	1000,0000	1,0000	1268,11	1268,11	348,00	aceitou (igual)
11	1000,0000	1,0000	1268,11	1268,11	348,00	aceitou (igual)
12	1000,0000	0,8065	1483,13	1268,11	348,00	aceitou (pior)
13	1000,0000	1,0000	1483,13	1483,13	348,00	aceitou (igual)

Figura 5.12: *Tela de registro de execução do Simulated Annealing.*

Aba Visão Professor

Na aba visão do professor, é mostrado de forma agregado o quadro de alocação de aulas de todas as disciplinas e turmas nas quais o professor atua. As funcionalidades do quadro seguem a proposta de visualização descrita na Seção 4.2.2. O usuário pode utilizar esta visão para identificar professores com muitas lacunas nos seus horários, com conflitos, com alocação em horários indisponíveis e com preferências de alocação não otimizadas. Na barra de ferramentas, o botão exporta o quadro sendo visualizado para um arquivo PDF.

As preferências do professor são mostradas utilizando-se cores para facilitar a percepção e a e identificação de conflitos e de indisponibilidades. Na Figura 5.13,

é mostrado um desses quadros no qual há um conflito na quarta-feira e um horário indisponível na sexta-feira.

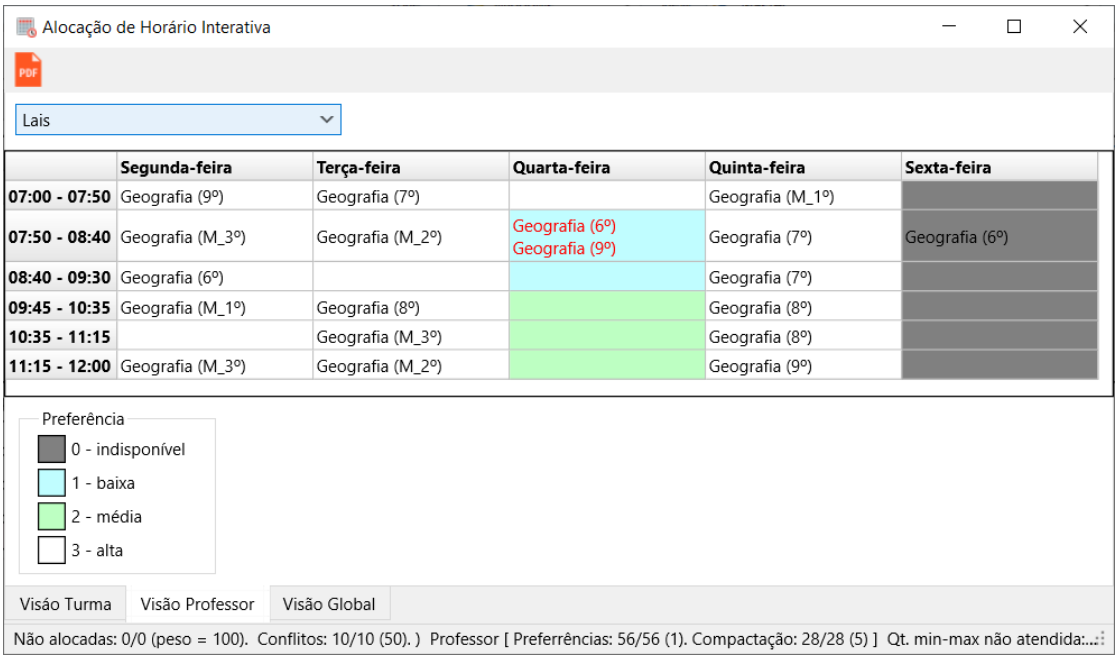


Figura 5.13: *Aba visão professor.*

Aba Visão Global

A aba visão global exibe o quadro com a alocação de todas as turmas da instituição. A proposta desse quadro, como no da visão do professor está descrita na Seção 4.2.3. A barra de ferramentas também traz um o botão para exportar o quadro de horários para um arquivo PDF. O usuário pode selecionar a orientação para retrato ou paisagem. Na Figura 5.14, é mostrada essa aba Global. Há um conflito na coluna da 7ª série, no horário de aula de 07:00 - 07:50 na segunda-feira. Há um horário indisponível na 1ª Série, do ensino médio, no horário de aula 07:50 - 08:40 na quarta-feira.

Quadro de Horário Interativa

Retrato

Exibir disciplina Exibir professor

		6º	7º	8º	9º	M_1º	M_2º	M_3º
Seg	07:00 - 07:50	Wlima	Lais	Elisângela	Glaucia	Selma	Ana	Lais
	07:50 - 08:40	Selma	Elisângela	Eduardo	Glaucia	Lais	Ana	Wlima
	08:40 - 09:30	Lais	Wlima	Selma	Kënia	Eduardo	Ana	Glaucia
	09:45 - 10:35	Eduardo	Lais	Elisângela	Wlima	Ana	Selma	Kënia
	10:35 - 11:15	Kënia	Elisângela	Eduardo	Fernanda	Ana	Wlima	Selma
	11:15 - 12:00	Fernanda	Elisângela	Eduardo	Wlima	Kënia	Selma	Ana
Ter	07:00 - 07:50	Henrique	Josiane	Lais	Maria	Eduardo	Kënia	Selma
	07:50 - 08:40	Kënia	Maria	Josiane	Selma	Wlima	Maria	Eduardo
	08:40 - 09:30	Kënia	Eduardo	Josiane	Lais	Selma	Wlima	Maria
	09:45 - 10:35	Maria	Josiane	Wlima	Eduardo	Selma	Lais	Kënia
	10:35 - 11:15	Glaucia	Josiane	Wlima	Maria	Kënia	Selma	Lais
	11:15 - 12:00	Eduardo	Kënia	Elisângela	Selma	Maria	Glaucia	Lais
Qua	07:00 - 07:50	Selma	**Wlima**	Lais	Eduardo	Ana	Henrique	Kënia
	07:50 - 08:40	Eduardo	Selma	Maria	Eduardo	**Wlima**	Lais	Kënia
	08:40 - 09:30	**Wlima**	Henrique	Lais	Selma	Kënia	Glaucia	Ana
	09:45 - 10:35	Kënia	Maria	Glaucia	Eduardo	Selma	Ana	Henrique
	10:35 - 11:15	Maria	Lais	Eduardo	Henrique	Kënia	Ana	Glaucia
	11:15 - 12:00	Selma	Kënia	Maria	Henrique	Lais	Eduardo	Ana
Qui	07:00 - 07:50	Josiane	Eduardo	Henrique	Elisângela	Glaucia	Michel	Selma
	07:50 - 08:40	Josiane	Eduardo	Elisângela	Henrique	**Ana**	Selma	Michel
	08:40 - 09:30	Henrique	Elisângela	Eduardo	Selma	Michel	Kënia	Glaucia
	09:45 - 10:35	Elisângela	Glaucia	Josiane	Selma	Michel	Kënia	Eduardo
	10:35 - 11:15	Josiane	Glaucia	Elisângela	Eduardo	Kënia	Michel	Selma
	11:15 - 12:00	Selma	Elisângela	Glaucia	Eduardo	**Ana**	Kënia	Michel

Visão Turma Visão Professor Visão Global

Não alocadas: 0/0 (peso = 100). Conflitos: 8/8 (50).) Professor [Preferrências: 260/260 (1)....

Figura 5.14: *Aba visão global.*

5.2.8 Configuração

A tela de configuração é chamada ao se clicar em um ícone de engrenagem no painel lateral esquerdo da visão turma. Nessa tela, ilustrada na Figura 5.15, é possível configurar diversos parâmetros do processo de otimização como: os pesos da função

objetivo, o custo de da preferência do professor, parâmetros do *Simulated Annealing* e do *Tabu Search*.

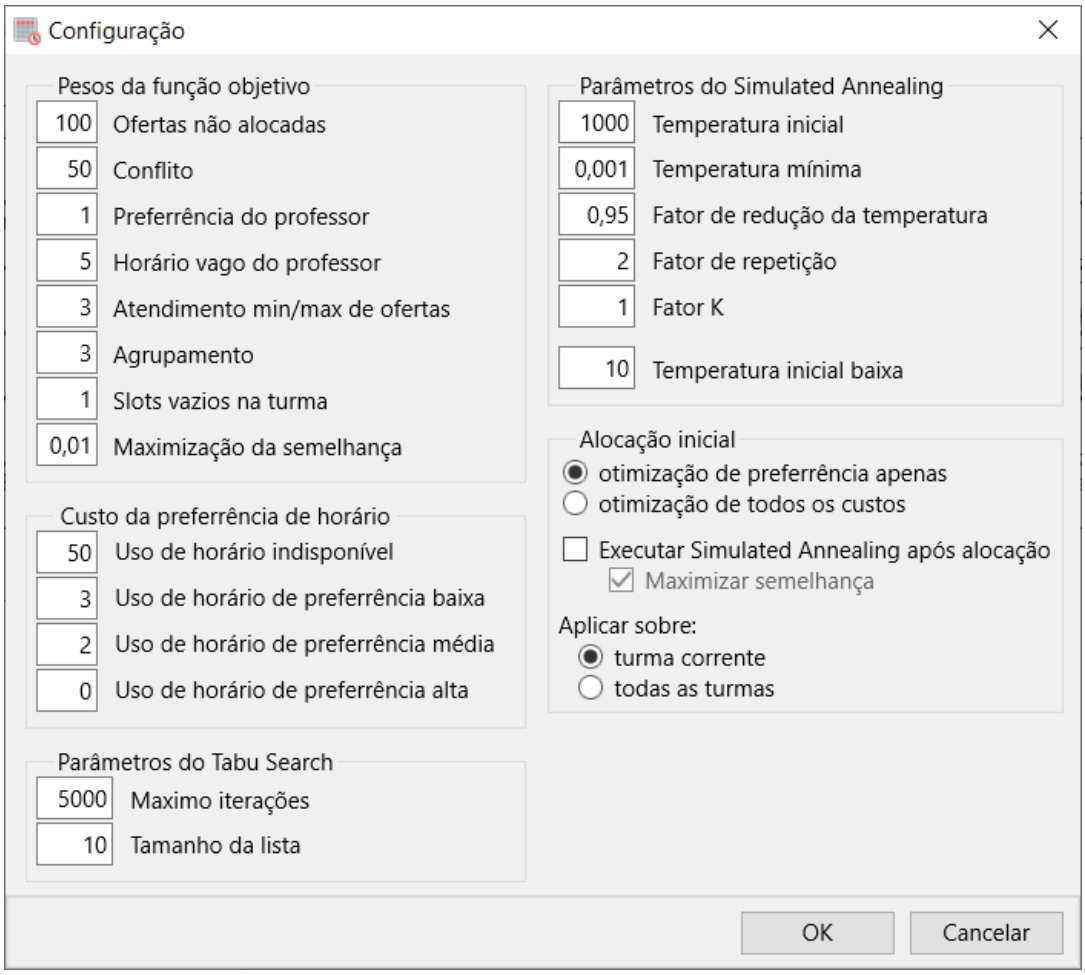


Figura 5.15: *Tela de configuração.*

CAPÍTULO 6

Avaliação

Este capítulo descreve uma avaliação da proposta de otimização interativa e do aplicativo protótipo. Na Seção 6.1, é apresentado um estudo feito com os coordenadores na escola. Na Seção 6.2 compara a eficácia dos métodos de otimização para a modificação de um quadro de horários existente.

6.1 Avaliação nas Escolas

6.1.1 Planejamento

Foi realizada uma avaliação qualitativa com especialistas, para verificar se a proposta de otimização interativa e o sistema implementado são capazes de ajudar no processo de elaboração do quadro de horários da instituição de ensino. O estudo foi feito com coordenadores de quatro escolas públicas de Goiânia. Por questão de privacidade os nomes das escolas e dos coordenadores não foram divulgados. No estudo, foram utilizados os dados de cada escola para executar algumas tarefas e entrevista com os coordenadores usando o sistema implementado, como apoio, para responder a certas perguntas.

A avaliação seguiu um roteiro (incluído no apêndice B) e procurou responder as seguintes questões:

- As informações de dia, horário, turma, disciplina, professor e oferta são suficientes e adequadas para a solução do problema?
- As preferências dos professores podem ser representadas por apenas quatro categorias - indisponível, baixa, média e alta?
- Os recursos para alocação manual das ofertas na grade da turma são eficazes?
- Os métodos automáticos (*Simulated Annealing* e *Tabu Search*) para construir uma solução para o problema ajudam o coordenador?
- As múltiplas visões implementadas de turma, professor e global contribuem para solucionar o problema?
- Os recursos interativos ajudam na definição do problema?

Em cada entrevista, foram demonstrados o problema, uma proposta de solução interativa e as telas do sistema. Os cadastros de dia, horário, turma, disciplina, professor, preferências dos professores e oferta foram preenchidos antecipadamente com os dados da instituição.

As avaliações nas escolas foram feitas durante as duas primeiras semanas do segundo semestre letivo do ano de 2019, quando ocorreu a modulação de professores e disciplinas. Nas escolas públicas, durante o processo de modulação, o coordenador associa as disciplinas com os professores e determina a carga horária do professor na instituição de ensino. Como todas as escolas fizeram a modulação no mesmo intervalo, houve uma limitação na quantidade de escolas acompanhadas, pois, cada visita de acompanhamento tinha uma duração de duas até três horas. Em uma das escolas foram feitas cinco visitas devido a grande quantidade substituições de professores.

6.1.2 Cenário

Durante a demonstração foram utilizados dois cenários: alocação manual e alocação automatizada combinada com interação humana para melhoria da solução. No primeiro, foi feita a alocação manual de ofertas em duas turmas utilizando a visão da turma, a lista de ofertas não alocadas e o recurso de arrastar e soltar ofertas para o quadro de horários. Durante a operação de arraste, foram destacadas as informações sobre conflito e preferência do professor. Foram destacadas também as informações referentes à qualidade da solução e os detalhes na barra de status. Com a alocação de duas turmas concluída, gerou-se um arquivo PDF com a solução para impressão.

No segundo cenário, foi feita uma alocação inicial automática utilizando a implementação do método *Simulated Annealing* e, depois alterações do problema e ajustes da solução por meio de foco. Foi apresentado o recurso de seleção, que é usado para definir o foco. O algoritmo considera apenas os itens selecionados e não bloqueados. Foi mostrado como selecionar todas as turmas ou uma única turma, além da seleção de coluna, linha ou de uma região do quadro de horário de uma turma.

6.1.3 Resultados

A avaliação foi feita nas quatro escolas. Após a realização das entrevistas, as características das instituições foram agrupadas na Tabela 6.1. Apresentamos a seguir, os resultados dessa avaliação considerando o processo interativo para definir o problema inicial, de acordo com as necessidades de cada instituição, e fazer a alocação do quadro de horários de forma tanto manual e quanto semi-automatizada.

Tabela 6.1: *Características das escolas.*

Característica	**Escola 1**	**Escola 2**	**Escola 3**	**Escola 4**
Quantidade de coordenadores	1	1	1	1
Quantidade de turmas no turno avaliado	7	8	7	6
Quantidade de professores	14	8	9	13
Quantidade de professores que deixaram a escola no ano letivo	2	8	2	4
Rotatividade alta do professor	Sim	Sim	Não	Sim
Vínculo Estadual/Municipal	Estadual	Estadual	Municipal	Estadual
Ensino Fundamental	Sim	Sim	Sim	Não
Ensino Médio	Sim	Sim	Não	Sim
Turno	Matutino	Integral	Integral	Integral
Alunos agrupados em turmas	Sim	Sim	Sim	Sim
Utiliza o modelo novo no ensino médio	Não	Não	Não	Sim
Utiliza algum software para alocação	Sim, planilha LibreOffice	Sim, aSc TimeTables	Não	Não

Escola 1

Nessa escola, a coordenadora utiliza uma planilha do LibreOffice Calc, com os professores, as disciplinas e as turmas, para fazer o quadro de horários. Ela avalia que a primeira dificuldade é atender as preferências dos professores. Os professores têm uma baixa disponibilidade de horários livres para a instituição. A segunda dificuldade é atender a restrição das disciplinas de dança e de educação física, ou seja, há uma necessidade de mantê-las no mesmo horário em turmas diferentes. Por exemplo, no sexto horário da segunda-feira da turma da 5ª série há aula de dança e na turma da 6ª série, os alunos têm educação física. As professoras das disciplinas são diferentes mas solicitaram que os horários de aula sejam iguais. Segundo ela, a principal causa da rotatividade é o encerramento do contrato de professores temporários.

Para a demonstração da nossa abordagem nessa escola, foi utilizada apenas a alocação manual uma vez que coordenadora queria manter a semelhança com o quadro de horário já existente. Foram realizadas duas visitas na instituição. Na primeira foi feita, a alocação manual, o que consumiu três horas. Devido a troca de um professor, foi feita uma segunda visita para ajuste do quadro de horários e foram gastas mais duas horas.

A coordenadora considerou que os recursos para alocação manual das ofertas na visão da turma são eficazes. Entretanto, ela acredita que a visão global deveria poder ser utilizada de forma interativa para identificar e resolver os conflitos[1].

Escola 2

Nessa escola, a coordenadora relatou que tentou usar a versão de avaliação do software proprietário aSc TimeTables para elaborar o quadro de horário mas, segundo ela, ele não gerou um quadro de horários que atendesse todas as preferências dos professores.

Foram realizadas quatro visitas à Escola 2, sendo uma inicial e as outras devido a alteração de professores. O problema de alocação de horários foi resolvido com o nosso sistema utilizando o *Simulated Annealing* com um ajuste mais rigoroso nos parâmetros de configuração (o fator de redução de temperatura foi elevado para 0,99 e fator de repetição para 4). Após esse ajuste, o método ampliou a busca no espaço de soluções e encontrou uma solução viável.

Segundo a coordenadora, a principal dificuldade na alocação é a pouca disponibilidade de tempo da maioria dos professores, os quais trabalham também em outros locais. Por exemplo, o professor de matemática tem uma carga horária de dez aulas e tem disponibilidade apenas na terça-feira e na quinta-feira e não pode chegar no primeiro horário. A segunda dificuldade foi o aceite de horário vago pelo professor, ou seja, o professor não

[1] Lembramos que as visões de professor e global carecem de recursos de alocação de horários interativos, sendo portanto, mais efetivas apenas para visualização do quadro de horários.

quer horário vago enquanto ele está na instituição. As principais causas da rotatividade são o encerramento dos contratos dos professores temporários e a troca de professores efetivos.

A coordenadora considerou que a solução gerada automaticamente foi eficaz na resolução do problema. Ela sugeriu incluir a quantidade máxima de dias no cadastro do professor. Por exemplo, um professor com carga horária de doze aulas poderia trabalhar até dois dias. Neste caso, a escolha dos melhores dias deveria ser feita pelo método de alocação.

Escola 3

A coordenadora da Escola 3 não utiliza qualquer ferramenta computacional de apoio à elaboração do quadro de horários. Ela explicou que devido à limitação do tamanho do pátio as turmas não são liberadas no mesmo horário para o recreio. Logo, cada turma deve ter o seu próprio horário de recreio.

Para atender essa demanda, o horário do recreio de cada turma foi bloqueado antes da execução do método de otimização. Assim, na solução os professores foram alocados em outras turmas quando uma turma estava no horário vago.

A coordenadora considerou que os recursos para alocação manual ajudaram a encontrar uma solução adequada à escola. Ela recomendou ajustar a visão global para permitir a visualização apenas do nome do professor.

Escola 4

O coordenador da Escola 4 também não utiliza *software* para alocação de horários. Nesta escola, foi empregada a alocação automática do sistema protótipo para solucionar o problema sem grandes dificuldades, devido à grande disponibilidade dos professores para a instituição. O coordenador considerou que a solução gerada automaticamente foi suficiente e adequada. Segundo ele, as principais causas da rotatividade são o encerramento de contrato de professores temporários e a troca de professores efetivos. Durante a avaliação, não houve alteração no quadro de professores.

Comentários gerais

De um modo geral, percebeu-se que os coordenadores queriam que o quadro de horário fosse produzido utilizando apenas o processo de alocação automática. Entretanto, em algumas escolas a solução inicial gerada desse modo, não foi viável pois tinha alocação do professor em duas turmas diferentes ou alocação do professor em horários indisponíveis. Nestes casos, o coordenador foi essencial para encontrar uma solução melhor negociando ajustes nas preferências dos professores. Em algumas situações, os

professores mudaram os dias ditos disponíveis. Por exemplo, um professor que tinha inicialmente disponibilizado os dias de terça e quinta-feira, trocou sua disponibilidade de estar na escola para as quartas e sextas-feiras.

Verificou-se ainda que alguns coordenadores optavam por priorizar a alocação de aulas de certos professores para viabilizar a elaboração do quadro de horários. Isso era feito definindo-se os seus horários e bloqueando-os para que não houvesse mudança. Em outros casos, foi feito um cadastro de preferência muito restrito para esses professores. Por exemplo, o professor de matemática que tinha uma carga horária com dez aulas e foi alocado à terças e quintas-feitas, do segundo ao sexto horário. O sistema permitiu essas configurações e tratou os demais casos automaticamente.

Isso demonstra a importância de uma ferramenta interativa tanto para fazer ajuste pontuais no quadro de horários como também para poder explorar configurações de preferências de horários alternativos que permitam resolver situações de conflito.

6.2 Eficácia dos Métodos de Otimização para Modificação

Quando o quadro de horários já está pronto e em uso e há uma substituição de professor na escola, o coordenador tem que ajustar esse quadro para incluir o novo docente mas afetando o mínimo possível a alocação de aulas dos outros professores. Infelizmente o *Simulated Annealing* padrão não é o método mais adequado para essa tarefa, já que, em temperaturas elevadas, a solução corrente é totalmente modificada. Nesta seção, fizemos um estudo comparativo de métodos para tratar essa questão, são eles:

1. *Simulated Annealing* (**SA**) padrão;
2. *Simulated Annealing* com baixa temperatura (**SABT**);
3. *Tabu Search* (**TS**);
4. *Simulated Annealing* e foco (**SAF**).

Para a comparação, foram selecionadas todas as turmas do caso da Escola 1 e foram feitas dez execuções para cada método. A solução inicial foi a mesma em todos os testes - uma solução inviável (se fosse considerado um prolema sem relaxação das restrições) em que o custo era 371, e havia 6 horários em uso que eram indisponíveis. A quantidade total de professores é 14 e a quantidade ofertas, em todas as turmas, é 180. Na Tabela 6.2, são apresentados os seguintes custos: total, ofertas não alocadas (referenciada como Não alocada), conflitos, preferência do professor (PP), horário vago do professor (HVP), quantidade mínima e máxima da oferta (Mínimo/Máximo), ofertas não agrupadas (Agrupada) e horário vago da turma (HVT). Além disso, são apresentadas a quantidade

de ofertas modificadas (Quant. ofer. mod.) e a quantidade de professores afetados (Quant. prof. mod.) após aplicação do método.

O *Simulated Annealing* (SA) apresentou o maior impacto, ou seja, a maior quantidade de alterações de ofertas e de professores. As soluções encontradas foram muito diferentes da solução inicial e os quadros de horários de quase todos os professores foram modificados (entre 13 a 14 professores). A quantidade de alterações das ofertas da escola ficou no intervalo de 167 até 180. Em algumas soluções encontradas com o *Simulated Annealing*, há alocação de professor em horário ainda indisponível. Neste caso, ela foi considerada uma solução inviável (valor preferência do professor >= 50). Na maioria das execuções todos os professores foram modificados e a taxa de modificações de ofertas é superior a noventa e dois por cento.

Após análise do registro de execução do *Simulated Annealing* (SA), verificamos que de fato, a alta temperatura e o fator aleatório permitem que uma solução muito diferente seja escolhida.

Na segunda abordagem, o valor da temperatura inicial foi reduzido para tentar minimizar o impacto no quadro de horário existente. O *Simulated Annealing* com baixa temperatura (SABT) apresentou um impacto menor do que o método anterior. O intervalo da quantidade de professores modificados ficou entre 11 e 13, e o intervalo da quantidade de ofertas modificadas ficou entre 69 e 113. A utilização de uma temperatura inicial gerou uma diminuição na quantidade de alterações, mas o resultado final ainda não foi o desejado.

O *Tabu Search* (TS) apresentou o menor impacto entre os métodos automáticos testados. O intervalo da quantidade de alterações de professores ficou entre 3 e 8, e o intervalo das ofertas modificadas ficou entre 14 e 30. A solução encontrada possui uma grande semelhança com a solução inicial e um número reduzido de professores afetados.

No último experimento, foram selecionados seis professores para executar o *Simulated Annealing* padrão. O critério para essa seleção foi tomar os professores com a maior carga horária e maior disponibilidade de horário na escola. Nesta abordagem, a quantidade de professores modificados foi limitada pela seleção, mas aconteceram várias alterações nos horários destes professores. O intervalo das ofertas modificas ficou entre 17 e 110 e foram alterados 6 professores. Na comparação de impacto, o *Simulated Annealing* com foco (SAF) teve resultado semelhante ao do *Tabu Search*.

A avaliação do *Tabu Search* com foco, ou seja, seleção manual de seis professores, não foi realizada pois a utilização apenas do *Tabu Search* já resultou em um baixo impacto na quantidade de ofertas e professores modificados.

Tabela 6.2: *Comparativo do impacto dos métodos avaliados.*

Método	Custo total	Não alocada	Conflito	PP	HVP	Mínimo/Máximo	Agrupada	HVT	Quant. ofer. mod.	Quant. prof. mod.
SA	82	0	0	0	14	2	2	0	175	14
SA	56	0	0	0	10	2	0	0	176	13
SA	76	0	0	0	14	2	0	0	172	14
SA	77	0	0	0	13	4	0	0	170	14
SA	128	0	0	50	12	4	2	0	180	14
SA	189	0	0	100	16	3	0	0	178	14
SA	48	0	0	0	6	4	2	0	172	14
SA	119	0	0	50	12	3	0	0	171	14
SA	137	0	0	50	15	4	0	0	167	14
SA	76	0	0	0	14	2	0	0	178	14
SATB	94	0	0	0	14	8	0	0	97	12
SATB	56	0	0	0	10	2	0	0	84	12
SATB	87	0	0	0	15	4	0	0	106	13
SATB	83	0	0	0	13	2	4	0	80	12
SATB	87	0	0	0	12	6	3	0	113	12
SATB	90	0	0	0	15	3	2	0	90	12
SATB	65	0	0	0	10	3	2	0	76	12
SATB	72	0	0	0	12	4	0	0	69	12
SATB	98	0	0	0	16	6	0	0	87	11
SATB	98	0	0	0	16	6	0	0	93	12

Tabela 6.2: *Comparativo do impacto dos métodos avaliados.*

Método	Custo total	Não alocada	Conflito	PP	HVP	Mínimo/Máximo	Agrupada	HVT	Quant. ofer. mod.	Quant. prof. mod.
TS	81	0	0	0	12	5	2	0	14	3
TS	121	0	0	0	20	5	2	0	17	7
TS	106	0	0	0	17	5	2	0	21	6
TS	75	0	0	0	12	3	2	0	27	7
TS	136	0	0	0	23	5	2	0	23	8
TS	126	0	0	0	21	5	2	0	18	6
TS	75	0	0	0	12	3	2	0	21	8
TS	75	0	0	0	12	3	2	0	21	8
TS	101	0	0	0	16	5	2	0	30	7
TS	106	0	0	0	17	5	2	0	17	6
SAF	62	0	0	0	10	4	0	0	100	6
SAF	53	0	0	0	10	1	0	0	94	6
SAF	80	0	0	0	13	1	4	0	102	6
SAF	72	0	0	0	12	2	2	0	101	6
SAF	78	0	0	0	12	6	0	0	102	6
SAF	92	0	0	0	13	4	5	0	94	6
SAF	91	0	0	0	14	4	3	0	104	6
SAF	76	0	0	0	14	2	0	0	110	6
SAF	82	0	0	0	14	2	2	0	103	6
SAF	74	0	0	0	13	1	2	0	103	6

A Tabela 6.3 apresenta o valor mínimo, o valor máximo, a média e desvio padrão do custo total. Quando comparamos os valores da média do custo total verificamos que os métodos SA, SABT, TS e SAF estão próximos.

Tabela 6.3: *Comparativo do custo total.*

	SA	**SABT**	**TS**	**SAF**
Mínimo	48	56	75	53
Máximo	189	98	136	92
Média	98,80	83,00	100,20	76,00
Desvio Padrão	43,55	14,24	22,90	11,94

Considerando as Tabelas 6.2 e 6.3, quando comparamos os métodos automáticos, verificamos que o *Tabu Search* (TS) encontrou soluções com o menor impacto. O método que utiliza seleção dos professos pelo usuário e execução do *Simulated Annealing* (SAF) também achou soluções com um baixo impacto. Logo, os métodos TS e SAF são mais adequados no processo de alteração de um quadro de horários já existente.

CAPÍTULO 7

Conclusão

Neste trabalho, uma abordagem altamente interativa foi apresentada para resolver o problema de quadro de horário escolar sujeito a restrições, usando o *framework User Hints*. A abordagem interativa permitiu encontrar uma solução adequada para o problema, conveniente para a instituição de ensino. Na avaliação realizada nas escolas, os coordenadores conseguiram construir de forma eficaz quadros de horários utilizando as visualizações (turma, professor e geral), ajustando o foco e definindo as restrições e a função objetivo.

Os recursos interativos ajudaram a refinar o problema de otimização e foram adequados na modelagem do quadro de horário e das restrições envolvendo professores e ofertas. Nesta etapa, todos os coordenadores conseguiram representar as particularidades da sua escola de forma satisfatória. Em geral, na definição da função objetivo, o maior peso foi dado para as preferências e aos horários vagos dos professores.

Na criação do quadro de horário novo, o foco e os métodos automáticos (*Simulated Annealing* e *Tabu Search*) encontraram uma solução na maioria dos cenários das escolas avaliadas. Porém, para uma escola não foi encontrada solução viável utilizando os parâmetros padrões. Foi necessário ajustar o *Simulated Annealing* para uma queda de temperatura mais lenta, o que permitiu uma maior exploração do espaço de soluções. A configuração foi feita manualmente, mas poderia ser automatizada. Após uma análise, verificou-se que a causa desse problema foi a pouca disponibilidade de horários livres dos professores.

A substituição de professor é uma situação constante para o coordenador e que causa impacto nos outros professores da instituição. Os coordenadores conseguiram fazer ajustes manuais utilizando a visualização de turma, que oferece recursos visuais para auxiliar na tarefa, tais como a utilização de cores e de ícones para destacar as preferências dos professores e conflitos ou alocações em horários não disponíveis. Além disso, os métodos *Tabu Search* (TS) e *Simulated Annealing* com foco (SAF) encontraram boas soluções com um impacto pequeno nos horários definidos para os outros professores.

Na maioria das escolas, a alocação é uma tarefa manual que dura dias. Com a abordagem proposta, foi percebido que esse tempo pode ser reduzido para poucos

minutos utilizando a alocação automática e algumas horas empregando-se a alocação manual. Neste tempo, não foi considerado o cadastro das informações básicas de dia, horário, turma, disciplina, professor, preferência do professor e oferta. No entanto, uma vez definidos, algumas dessas informações tendem a variar pouco de um período letivo para outro.

Como parte desta pesquisa de mestrado, foi publicado o artigo "Utilização de Meta heurísticas na Resolução do Problema de Agendamento de Horários de Aulas numa Escola de Ensino Fundamental" nos anais da VI Escola Regional de Informática de Goiás, Goiânia – GO, 14 e 15 de setembro de 2018. Os autores são Fábio Santana de Oliveira, Wanderley de Souza Alencar e Hugo Alexandre Dantas do Nascimento.

Trabalhos futuros

Este trabalho pode ser expandido em diversas frentes de investigação. Podemos listar algumas possibilidades:

- **Integrar novos algoritmos** – integrar algoritmos evolucionários para usar no ajuste do quadro de horários quando ocorre substituição de professor;
- **Adicionar interatividade às visões professor e geral** – modificar as visões para adicionar recursos interativos que permitem ao coordenador alterar a solução;
- **Aperfeiçoar e avaliar o recurso de comparação entre soluções** – comparar duas soluções encontradas de forma mais detalhada, apresentando simultaneamente todas as diferenças entre elas; além disso avaliar com os usuário a efetividade dessa visualização;
- **Incluir novas interações** – por exemplo, manipular simultaneamente vários itens selecionados do quadro;
- **Implementar novas restrições** – oferecer novos tipos de restrições para definição do problema;
- **Paralelizar o cálculo da função objetivo** – modificar os algoritmos para fazer os cálculos da função objetivo com uma implementação multitarefa; e
- **Utilizar outras visualizações** – adicionar outras técnicas de visualização de quadro de horário, não baseadas em tabela.

Referências Bibliográficas

[1] ABRAMSON, D. **Constructing school timetables using simulated annealing: sequential and parallel algorithms**. *Management science*, 37(1):98–113, 1991.

[2] ABRAMSON, D.; KRISHNAMOORTHY, M.; DANG, H.; OTHERS. **Simulated annealing cooling schedules for the school timetabling problem**. *Asia Pacific Journal of Operational Research*, 16:1–22, 1999.

[3] ALADAG, C. H.; HOCAOGLU, G.; BASARAN, M. A. **The effect of neighborhood structures on tabu search algorithm in solving course timetabling problem**. *Expert systems with applications*, 36(10):12349–12356, 2009.

[4] ALVAREZ-VALDÉS, R.; PARREÑO, F.; TAMARIT, J. M. **A tabu search algorithm for assigning teachers to courses**. *TOP - An Official Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research*, 10(2):239–259, 2002.

[5] BABAEI, H.; KARIMPOUR, J.; HADIDI, A. **A survey of approaches for university course timetabling problem**. *Computers & Industrial Engineering*, 86(C):43–59, Aug. 2015.

[6] BRITO, S.; FONSECA, G.; TOFFOLO, T.; SANTOS, H.; SOUZA, M. **A SA-VNS approach for the high school timetabling problem**. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39:169–176, 12 2012.

[7] BURKE, E.; KINGSTON, J.; DE WERRA, D. **Applications to timetabling**. In: *Handbook of graph theory*, volume 445. CRC Press, 2004.

[8] CARTER, M. W.; TOVEY, C. A. **When is the classroom assignment problem hard?** *Operations Research*, 40(S1):28–29, 1992.

[9] COOPER, T. B.; KINGSTON, J. H. **The complexity of timetable construction problems**. In: *Selected Papers from the First International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling*, p. 283–295, London, UK, UK, 1996. Springer-Verlag.

[10] DA FONSECA, G. H. G.; SANTOS, H. G.; TOFFOLO, T. Â. M.; BRITO, S. S.; SOUZA, M. J. F. **Goal solver: a hybrid local search based solver for high school timetabling**. *Annals of Operations Research*, 239(1):77–97, 2016.

[11] DELGADO, A.; PÉREZ, J. A.; PABÓN, G.; JORDAN, R.; DÍAZ, J. F.; RUEDA, C. **An interactive tool for the controlled execution of an automated timetabling constraint engine**. In: *International Conference on Multiparadigm Programming in Mozart/OZ*, p. 317–327. Springer, 2004.

[12] DO NASCIMENTO, H. A.; EADES, P. **User hints: a framework for interactive optimization**. *Future Generation Computer Systems*, 21(7):1177–1191, 2005.

[13] DO NASCIMENTO, H. A. D. **User hints for optimisation processes**. PhD thesis, University of Sydney. Information Technologies, 2003.

[14] GLOVER, F. W. **Tabu search (Part I)**. *ORSA Journal on Computing*, 1:190–206, 1989.

[15] GLOVER, F. W. **Tabu search (Part II)**. *ORSA Journal on Computing*, 2:4–32, 1990.

[16] HANSEN, P.; MLADENOVIĆ, N.; PÉREZ, J. A. M. **Variable neighbourhood search: methods and applications**. *Quarterly Journal of Operations Research - 4OR*, 6(4):319–360, 2008.

[17] JACOBSEN, F.; BORTFELDT, A.; GEHRING, H. **Timetabling at german secondary schools: tabu search versus constraint programming**. In: *in Proceedings 6th international conference on the practice and theory of automated timetabling, PATAT2006*, p. 439–442. Citeseer, 2006.

[18] KHEIRI, A.; ÖZCAN, E.; PARKES, A. J. **A stochastic local search algorithm with adaptive acceptance for high-school timetabling**. *Annals of Operations Research*, 239(1):135–151, 2016.

[19] KINGSTON, J. H. **Hierarchical timetable construction**. In: *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, p. 294–307. Springer, 2006.

[20] KIRKPATRICK, S.; GELATT, C. D.; VECCHI, M. P. **Optimization by simulated annealing**. *Science*, 220(4598):671–680, 1983.

[21] KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1–26, 2004.

[22] LARA, C.; FLORES, J. J.; CALDERÓN, F. **Solving a school timetabling problem using a bee algorithm**. In: *Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, p. 664–674. Springer, 2008.

[23] LEWIS, R. **A survey of metaheuristic-based techniques for university timetabling problems**. *OR Spectrum*, 30(1):167–190, 2008.

[24] LIU, Y.; ZHANG, D.; LEUNG, S. C. **A simulated annealing algorithm with a new neighborhood structure for the timetabling problem**. In: *Proceedings of the first ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation*, p. 381–386. ACM, 2009.

[25] MELICIO, F.; CALDEIRA, P.; ROSA, A. **Solving the timetabling problem with simulated annealing**. In: *Enterprise information systems*, p. 171–178. Springer, 2000.

[26] MINH, K. N. T. T.; THANH, N. D. T.; TRANG, K. T.; HUE, N. T. T. **Using tabu search for solving a high school timetabling problem**. In: *Advances in Intelligent Information and Database Systems*, p. 305–313. Springer, 2010.

[27] MOSCHOPOULOS, C. N.; ALEXAKOS, C. E.; DOSI, C.; BELIGIANNIS, G. N.; LIKOTHANASSIS, S. D. **A user-friendly evolutionary tool for high-school timetabling**. In: *Tools and Applications with Artificial Intelligence*, p. 149–162. Springer, 2009.

[28] MÜLLER, T.; BARTÁK, R. **Interactive timetabling: Concepts, techniques, and practical results**. In: *International Series of Conferences on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT)*, p. 58–72, 2002.

[29] PANDEY, J.; SHARMA, A. **Survey on university timetabling problem**. In: *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2016 3rd International Conference on*, p. 160–164. IEEE, 2016.

[30] PIECHOWIAK, S.; MA, J.; MANDIAU, R. **An open interactive timetabling tool**. In: *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, p. 34–50. Springer, 2004.

[31] PILLAY, N. **A survey of school timetabling research**. *Annals of Operations Research*, 218(1):261–293, 2014.

[32] PILLAY, N.; BANZHAF, W. **An informed genetic algorithm for the examination timetabling problem**. *Applied Soft Computing*, 10(2):457–467, 2010.

[33] RAGHAVJEE, R.; PILLAY, N. **A genetic algorithm selection perturbative hyper-heuristic for solving the school timetabling problem**. *the official journal of the Operations Research Society of South Africa (ORiON)*, 31(1):39–60, 2015.

[34] SANTOS, H. G.; OCHI, L. S.; SOUZA, M. J. **A tabu search heuristic with efficient diversification strategies for the class/teacher timetabling problem**. *Journal of Experimental Algorithmics (JEA)*, 10:2–9, 2005.

[35] SCHAERF, A. **Tabu search techniques for large high-school timetabling problems**. Centrum voor Wiskunde en Informatica, 1996.

[36] SHIMAZAKI, S.; SAKAKIBARA, K.; MATSUMOTO, T. **Iterative optimization techniques based on man-machine interaction for timetabling problems**. In: *2014 IEEE 7th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA)*, p. 125–129, Nov 2014.

[37] SOUZA, M. J. F.; MACULAN, N.; OCHI, L. S. **A grasp-tabu search algorithm for solving school timetabling problems**. In: *Metaheuristics: Computer decision-making*, p. 659–672. Springer, 2003.

[38] THEPPHAKORN, T.; PONGCHAROEN, P.; HICKS, C. **An ant colony based timetabling tool**. *International Journal of Production Economics*, 149:131–144, 2014.

[39] VAN STAERELING, I. V. H. **School timetabling in theory and practice**. Technical report, VU University, Amsterdam, Holland, 2012.

[40] WEHRER, A.; YELLEN, J. **The design and implementation of an interactive course-timetabling system**. *Annals of Operations Research*, 218(1):327–345, 2014.

[41] WILKE, P.; GROBNER, M.; OSTER, N. **A hybrid genetic algorithm for school timetabling**. In: *Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, p. 455–464. Springer, 2002.

APÊNDICE A

Revisão Sistemática

Neste apêndice, é apresentada uma revisão sistemática realizada no escopo do presente trabalho, para determinar se abordagens de otimização interativa propiciam melhores soluções para o problema de elaboração de quadros de horários em escolas de ensino fundamental e médio.

A revisão segue o protocolo de Kitchenham [21] e foi apoiada pelo *software* StArt[1]. O idioma considerado para a busca dos artigos foi apenas o inglês. Foram utilizadas, as seguintes palavras-chave:

- Interactive optimization;
- Scheduling;
- School timetabling;
- Time table;
- Timetable;
- Optimization;
- Timetabling;
- HCI;
- Human computer interaction;
- Decision support system;
- Interactive system;
- Graphical interface;
- Visualization.

Essas palavras foram relacionadas formando uma *string de busca* geral:

(school* OR classroom*) AND (timetabl* OR “time table”) AND (interacti* OR user OR HCI OR hint OR “decision support” OR “user based” OR “user-based” OR DSS)

[1] http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool

A pesquisa foi então realizada nas bases bibliográficas listadas abaixo em maio de 2018, com as devidas adaptações da *string de busca* de acordo com a sintaxe adotada por cada serviço de pesquisa:

- ACM;
- IEEE;
- Science Direct;
- Springer;
- ArXiv;
- dblp: computer science bibliography.

Apenas um critério de inclusão para seleção dos artigos foi definido:

- O artigo é sobre *interactive school timetabling*.

De modo agregado, as buscas nessas bases resultaram em 818 artigos, sendo que 43 eram duplicados. Foi feita a leitura dos títulos e dos resumos (*abstract*) dos artigos (e, quando necessária, a leitura do conteúdo de suas outras seções) durante o processo de seleção, resultando em quatro artigos selecionados.

APÊNDICE B

Roteiro de Avaliação

Segue abaixo o roteiro com um questionário semi-estruturado, utilizado na pesquisa com os coordenadores das escolas.

1. Apresentação do projeto:
   (a) Fazer apresentação da equipe de pesquisadores do curso de mestrado da UFG e orientador.
   (b) Informar o tema (alocação de quadro de horários em escola) e o objeto (encontrar formas interativas de elaborar e ajustar quadro de horários) do mestrado.
   (c) Informar a finalidade deste contato com as escolas (apresentação de ideias de alocação interativa e avaliação da proposta de interação, inicialmente na forma de um estudo piloto com alguns profissionais das escolas).
   (d) Solicitar autorização para gravar e informar que os comentários feitos sobre a proposta podem aparecer na dissertação ou em artigos mas sem identificar as pessoas que participaram do estudo piloto.
   (e) Informar como se dará a presente sessão de avaliação.
      i. Conhecer as características das atividades de alocação na escola.
      ii. Apresentar e colher comentários sobre a proposta de alocação interativa.
2. Características de alocação da escola:
   (a) Qual o nome da escola?
   (b) Quantas pessoas são responsáveis pela alocação?
   (c) Se a escola tem apenas um período ou é integral?
   (d) Quantas turmas há para cada ano do ensino fundamental e séries do ensino médio?
   (e) Os alunos são agrupados em turmas?
   (f) Os alunos da turma sempre assistem às mesmas aulas?
   (g) A escola utiliza o modelo novo do ensino médio?

(h) Quantos professores atuam na escola?
(i) Há rotatividade de professores durante o ano letivo?
(j) Qual a quantidade de professores que deixaram a escola neste ano letivo?
(k) Qual a quantidade de professores que chegaram na escola neste ano letivo?
(l) Quais as causas da rotatividade de professor?
(m) A coordenação já usa algum *software* para alocação de quadro de horários? Qual o *software*?
(n) Qual o tipo de licença (livre ou proprietária)?
(o) Quais as principais dificuldades na alocação de horário na escola?

3. Apresentação do protótipo:
   (a) Apresentar o Caso 1 – preparação para alocação. Objetivo: mostrar os dados que são considerados pelo sistema, preparando o avaliador para os casos seguintes, e identificar se esses dados são suficientes:
      i. Roteiro:
         A. Apresentar o cadastro de dia;
         B. Apresentar o cadastro de horário;
         C. Apresentar o cadastro de turma;
         D. Apresentar o cadastro de disciplina;
         E. Apresentar o cadastro de professor;
         F. Apresentar o cadastro de oferta.
      ii. Perguntas:
         A. As informações apresentadas são suficientes para uma alocação?
         B. Em caso negativo, qual informação está faltando?
   (b) Apresentar o Caso 2 – alocação manual de todas as ofertas:
      i. Preparação: Fazer o cadastro dos professores, disciplinas e ofertas, preferencialmente com as informações da escola. Cadastrar a preferência de um professor com todos os valores. Não realizar qualquer alocação.
      ii. Roteiro:
         A. Apresentar o quadro de horários em branco;
         B. Apresentar a lista de ofertas não alocadas;
         C. Fazer a alocação manual de ofertas da turma do 6º ano;
            - Destacar o recurso de preferência dos professor.
         D. Fazer a alocação manual de ofertas da turma do 7º ano;
            - Destacar o recurso de detecção e visualização de conflitos.

E. Exportar o quadro de horários para arquivo PDF.

iii. Perguntas:

A. Quais recursos para alocação que foram demonstrados que você considera mais úteis? Por quê?

B. O que você acha que pode ser melhorado nesta interface?

(c) Apresentar o Caso 3 – alocação tanto automática como manual de ofertas onde ninguém foi alocado:

i. Preparação: Fazer cadastro dos professores, disciplinas e ofertas, preferencialmente com as informações da escola. Cadastrar a preferência de um professor com todos os valores. Não fazer nenhuma alocação.

ii. Roteiro:

A. Fazer a alocação de ofertas turma do 6º ano;

B. Fazer a alocação manual de ofertas turma do 7º ano;

- Destacar o recurso do conflito.

C. Exportar a grade para arquivo PDF.

iii. Perguntas:

A. Quais os recursos para alocação que foram demonstrados que você considera mais úteis? Por quê?

B. O que você acha que pode ser melhorado nesta interface?

(d) Apresentar o Caso 4 – realocação quando um professor que tem um impedimento:

i. Apresentar o cadastro de preferência do professor;

ii. Apresentar o quadro de horário com o destaque para preferência do professor.