

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ALLAN WENDLAND KRETZMANN

**GERAÇÃO DE GRADES HORÁRIAS ESCOLARES: AUTOMAÇÃO
COM BASE NA META-HEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING**

PROPOSTA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2023

ALLAN WENDLAND KRETZMANN

GERAÇÃO DE GRADES HORÁRIAS ESCOLARES: AUTOMAÇÃO COM BASE NA META-HEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: André Yoshiaki Kashiwabara
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CORNÉLIO PROCÓPIO
2023



4.0 Internacional

Esta é a mais restritiva das seis licenças principais Creative Commons. Permite apenas que outros façam download dos trabalhos licenciados e os compartilhem desde que atribuam crédito ao autor, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais.

RESUMO

KRETZMANN, Allan. Geração de Grades Horárias Escolares: Automação com base na meta-heurística Simulated Annealing. 2023. 16 f. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procopio, 2023.

O *High School Timetabling Problem* consiste na tarefa de alocar aulas a horários letivos em instituições de ensino, considerando restrições relacionadas aos professores, salas e disciplinas. Apesar de todos os avanços tecnológicos que experienciamos na atualidade, esta tarefa ainda é realizada primordialmente de maneira manual nas escolas brasileiras, produzindo grades horárias subótimas e consequentemente trazendo frustrações a todos os envolvidos, sejam estes alunos, docentes ou diretores. Todas as dificuldades relacionadas ao problema, somadas a novos desafios como os Itinerários Formativos do Novo Ensino Médio, pedem uma solução melhor. Este trabalho teve como objetivo implementar um sistema de geração automatizada das grades horárias atendendo o maior número de objetivos possível, através da aplicação de um algoritmo de otimização baseado na meta-heurística *Simulated Annealing*, técnica de otimização inspirada no processo de recozimento de materiais na metalurgia. A solução desenvolvida é uma aplicação *web* que segue uma arquitetura cliente-servidor empregando JavaScript no *frontend* e *backend*, além do otimizador desenvolvido na linguagem C++. Espera-se que a aplicação desenvolvida passe a fazer parte do ferramental de instituições de ensino e auxilie estas a entregar horários escolares que superem os diversos desafios associados e providenciem uma experiência melhor para todos.

Palavras-chave: High School Timetabling Problem. Simulated Annealing. Otimização multi-objetivo.

ABSTRACT

KRETZMANN, Allan. School Timetable Generation: Simulated Annealing based Generation. 2023. 16 f. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2023.

The High School Timetabling Problem involves the task of assigning classes to class periods in educational institutions while considering constraints related to teachers, classrooms, and subjects. Despite the technological advancements we experience today, this task is still primarily done manually in Brazilian schools, resulting in suboptimal timetables and frustrations for all stakeholders, including students, teachers, and administrators. The difficulties associated with the problem, combined with new challenges provided by the new high school model implemented in the country, call for a better solution. This study has aimed to implement an automated timetabling system that satisfies as many objectives as possible by applying an optimization algorithm based on the Simulated Annealing metaheuristic, a technique inspired by the annealing process in metallurgy. The developed solution is a web application following a client-server architecture, employing JavaScript for both the frontend and backend, in addition to the optimizer implemented in the C++ language. We hope that the developed application becomes part of the toolkit for educational institutions and helps them deliver school timetables that overcome the various associated challenges and provide a better experience for all parties involved.

Keywords: High School Timetabling Problem. Simulated Annealing. Multi-objective optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Casos de Uso	6
Figura 2 – Tela - Listagem de Configurações de Grade	7
Figura 3 – Tela - Estrutura da Escola - Professores	7
Figura 4 – Tela - Estrutura da Escola - Salas e Turnos	8
Figura 5 – Tela - Aulas por professor	8
Figura 6 – Tela - Restrições	9
Figura 7 – Tela - Horários	9
Figura 8 – Modelo Entidade-Relacionamento	10
Figura 9 – Consultas de validação da modelagem	11
Figura 10 – Consulta SQL de grade horária com sete salas	12
Figura 11 – Resultado da consulta de uma grade no banco de dados	12
Figura 12 – Cronograma	14

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	1
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 Objetivo Geral	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL	2
2 – REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 TIMETABLING PROBLEM	3
2.1.1 Highschool Timetabling Problem	3
2.2 NOVO ENSINO MÉDIO	3
2.3 SIMULATED ANNEALING	4
3 – PROPOSTA	5
3.1 PÚBLICO-ALVO	5
3.2 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS	5
3.3 ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO	6
3.3.1 Interface	6
3.3.2 Servidor	10
3.3.3 Otimizador	13
3.4 MÉTODO	13
4 – CRONOGRAMA	14
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
Referências	16

1 INTRODUÇÃO

A cada ano letivo, se faz necessária a definição de grades horárias que atendam inúmeros requisitos para o bom funcionamento das mais diversas instituições de ensino. Estas exigências dependem e impactam diretamente os envolvidos, sejam estes professores, alunos, gestores, ou ainda, os responsáveis pelo planejamento dos horários. Os requisitos citados anteriormente podem mudar durante o ano, requerendo constantes atualizações das grades definidas. Esta tarefa, segundo [Bardadym \(1996\)](#), requer grande esforço quando realizada manualmente, frequentemente resultando em soluções subótimas.

Para o desenvolvimento dos horários escolares, vários critérios devem ser considerados, como o número de aulas de cada professor, salas, turnos, além das restrições associadas a cada professor em particular. A combinação destes fatores para a produção de um horário otimizado é conhecida como *school timetabling problem* ([FONSECA; SANTOS; CARRANO, 2016](#)). Para a escrita deste trabalho, foi realizada a leitura de artigos que abordam o tema em questão, deste modo os autores [Fonseca, Santos e Carrano \(2016\)](#), [Tan et al. \(2021\)](#) e [Abramson \(1991\)](#) se mostraram imprescindíveis para a sua realização.

Ao decorrer da revisão bibliográfica, foi reafirmada a relevância desta pesquisa e da elaboração de um projeto que solucione o problema, dada a complexidade e recorrência deste. [Poulsen \(2012\)](#) estima que a maioria das instituições de ensino brasileiras efetua essa tarefa de maneira manual, o que implica em atrasos para as escolas, além de desgaste entre os docentes envolvidos nas negociações de restrições. Isto justifica novamente a necessidade de uma solução automatizada que entregue grades otimizadas em um tempo hábil.

Diante deste contexto, fica evidente a necessidade de solucionar o seguinte problema: como automatizar a geração de grades horárias que atendam as diversas demandas das instituições de ensino? Por ser um problema combinatório, consideram-se técnicas viáveis *Simulated Annealing*, Busca Tabu, Algoritmos Genéticos, entre outros ([TAN et al., 2021](#)).

Como critério metodológico, será aplicado o procedimento de levantamento de requisitos com os encarregados por planejar as grades horárias nas escolas, para embasar uma análise quantitativa que traga informações para o desenvolvimento do projeto. Os dados coletados, juntamente com os conhecimentos obtidos a partir da revisão bibliográfica viabilizarão identificar a melhor alternativa para a solução do problema. Por fim ocorrerá a implementação da aplicação.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho visa abordar o tema de otimização de grades horárias escolares, tendo em mente especificamente as necessidades de instituições brasileiras de ensino fundamental e médio.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Como mencionado anteriormente, as instituições de ensino necessitam de constantes atualizações de suas grades horárias. Este processo envolve muitas variáveis, e impacta diretamente alunos, professores e gestores. Devido a esta complexidade, o problema já é conhecido na literatura como *school timetabling problem*, sendo dividido nos tipos *exam timetabling*, *course timetabling* e *high school timetabling* ([TAN et al., 2021](#)). Este trabalho tem como foco esta

última variação, que, segundo os mesmos autores, é definido em termos da disponibilidade dos professores, número de salas, número de aulas por professor em cada sala e restrições.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma aplicação que automatize e simplifique o processo de criação de grades horárias escolares, otimizando diferentes características de qualidade destas, fazendo com que tais sejam livres de conflitos e atendam a restrições impostas pelas instituições de ensino.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Compreender quais são as reais necessidades das escolas quanto ao planejamento de grades horárias
2. Implementar métricas de qualidade para os horários, que refletem se as necessidades são atendidas com êxito
3. Aplicar um algoritmo de otimização na geração de grades que evite conflitos, atenda restrições de horários dos docentes, minimize a quantidade de janelas nas aulas dos professores, faça agrupamentos formando aulas duplas e evite excessos da mesma aula
4. Proporcionar uma experiência do usuário simples e agradável durante o uso da aplicação

1.4 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

O trabalho em questão está estruturado da seguinte forma: o capítulo 1 traz a introdução sobre o tema, uma visão geral sobre a pesquisa e seus objetivos; no capítulo 2 será desenvolvida a fundamentação teórica, listando todas as fontes de conhecimento consultadas para para o desenvolvimento do projeto; a forma de implementação do projeto, seus materiais e métodos serão discutidos no capítulo 3; o capítulo 4 apresentará o cronograma das atividades planejadas e por fim, o capítulo 5 trará as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo explicar o problema de *timetabling* e suas especificidades no caso de grades horárias de ensino médio, assim como a técnica de otimização *Simulated Annealing* e sua aplicação ao problema.

2.1 TIMETABLING PROBLEM

O problema de *timetabling* ou alocação de horários é definido em termos de quatro conjuntos, sendo estes horários, recursos, encontros e restrições. O problema consiste em associar os encontros desejados aos horários, utilizando os recursos disponíveis e minimizando as violações das restrições.

É evidente que existem inúmeras tarefas e indústrias que dependem da alocação de horários, portanto é necessário especializar o problema. Uma das variações deste problema é o *school timetabling problem*, que segundo [Tan et al. \(2021\)](#) subdivide-se em *exam timetabling*, *course timetabling* e *high school timetabling*. Esta última subdivisão, relacionada a escolas de ensino médio, será o foco deste trabalho.

2.1.1 Highschool Timetabling Problem

No caso específico da alocação de horários para escolas de ensino médio, o problema é definido em termos da disponibilidade dos professores, número de salas, número de aulas por professor em cada sala e restrições. Adequando estas necessidades à formulação do *timetabling problem*, os encontros que desejamos alocar são entre os professores e determinada sala de aula, dados os horários de aula em que a escola opera, visando a utilização dos recursos disponíveis, como salas de aula ou laboratórios, minimizando a violação de restrições associadas aos professores e recursos ([TAN et al., 2021](#)).

Segundo [Abramson \(1991\)](#), o problema envolve agendar aulas, professores e salas de aula de tal forma que nenhum professor, turma ou sala de aula seja utilizado mais de uma vez em determinado horário. Situações em que ocorra este agendamento de recursos duplicados serão tratadas como “conflitos” neste trabalho.

Levando em consideração a necessidade de agendar diversas aulas evitando conflitos, e o atendimento de restrições variadas, o *highschool timetabling problem* é um problema de otimização multiobjetivo, que segundo [Cooper e Kingston \(1995\)](#) é da classe NP-completo.

Considerando a natureza complexa do problema, este trabalho propõe desenvolver e analisar a eficiência de um algoritmo de *Simulated Annealing*, assim como implementar uma interface para interação com este.

2.2 NOVO ENSINO MÉDIO

O Novo Ensino Médio consiste na atualização das matrizes curriculares das salas desta etapa do sistema educacional (1º, 2º e 3º anos). Formulado através da Lei nº 13.415/2017 ([BRASIL, 2017](#)), o novo modelo traz ainda mais desafios para a tarefa de organização de grades horárias escolares.

O principal destes novos desafios no contexto da criação de grades horárias é o conceito dos Itinerários Formativos, conjuntos de atividades que os estudantes podem escolher realizar durante o ensino médio, como disciplinas, projetos, oficinas, entre outros.

No caso de grandes instituições de ensino, é possível que seja viável oferecer essas atividades optativas através da criação de turmas específicas, entretanto, em escolas de pequeno porte, a adição destas turmas e quantidade relativamente pequena de estudantes por turma pode facilmente desgastar os recursos da instituição.

Tendo estas limitações em mente, observou-se que uma estratégia aplicada por escolas de porte menor é a oferta de disciplinas optativas (Itinerários Formativos) em horários simultâneos em diferentes salas, nos períodos normais de ensino. No momento em que essas aulas acontecem, cada aluno das duas turmas se locomove para a sala adequada onde a aula que escolheu será ministrada, e com isso a escola não precisa alocar salas, professores ou horários adicionais.

Evidentemente, alocar horários simultâneos para determinadas aulas dificulta ainda mais o planejamento do horário escolar, sendo assim mais uma questão que pode ser auxiliada por um sistema de otimização da grade.

2.3 SIMULATED ANNEALING

Diversos problemas podem ser resolvidos imitando o que ocorre em fenômenos físicos ou naturais. Segundo [Laarhoven \(1987\)](#), *Simulated Annealing* é uma meta-heurística que se inspira no processo de recozimento na área da metalurgia. Este processo tem como objetivo reduzir as tensões internas de determinado material, da seguinte forma:

1. O material inicia com uma alta temperatura, com seus átomos desordenados e livres para vibrarem e se deslocarem
2. O sistema é resfriado gradualmente, fazendo com que os átomos encontrem posições cada vez mais estáveis. Em outras palavras, conforme a temperatura diminui, torna-se cada vez mais improvável um átomo se deslocar para uma posição menos estável
3. Por fim, atinge-se certa temperatura em que não ocorrem mais mudanças significativas no material.

Esta meta-heurística foi escolhida para o desenvolvimento deste trabalho considerando seu potencial verificado durante a revisão de literatura, e a clareza dos paralelos que podem ser realizados com o processo de têmpera real: os átomos representam os professores e aulas, que podem ser deslocados na grade horária até que atinjam uma posição estável, ou seja, que viole o mínimo possível de restrições do problema.

3 PROPOSTA

Neste capítulo será elaborada a proposta de desenvolvimento do projeto, tecnologias e metodologias a serem utilizadas.

3.1 PÚBLICO-ALVO

Identificou-se como público-alvo para o projeto desenvolvido o conjunto de diretores e demais profissionais responsáveis pela elaboração de grades horárias em escolas de ensino fundamental e médio. Quanto à dimensão das instituições de ensino, o trabalho visa contemplar aquelas de pequeno e médio porte.

3.2 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS

Como mencionado anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação que automatize e simplifique o processo de criação de grades horárias escolares. Para concluir este objetivo, optou-se por desenvolver uma aplicação que execute no servidor, com uma interface *web* para interação com o usuário.

Vale ressaltar que inicialmente as premissas do problema e informações encontradas na literatura foram utilizadas para nortear o levantamento de requisitos e o desenvolvimento inicial da aplicação. Estes requisitos serão complementados e ajustados de acordo com os dados coletados de potenciais usuários futuros, conforme o critério metodológico exposto na seção 1.

As tecnologias e ferramentas a serem utilizadas são:

- **VSCode**: Editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft, escolhido por sua versatilidade e aplicabilidade para desenvolver todos os componentes do sistema
- **DBeaver**: Ferramenta de código aberto de administração de bancos de dados, utilizada para validação da modelagem e interações manuais com a base de dados
- **PostgreSQL**: Sistema gerenciador de banco de dados relacional, escolhido por sua robustez, possibilitará a persistência dos dados da aplicação em tabelas
- **JavaScript**: Linguagem de programação ubíqua na engenharia de software, escolhida por sua versatilidade para desenvolver a interface *web* e servidor
- **VueJS**: *Framework* para desenvolvimento frontend na linguagem JavaScript, escolhido por sua versatilidade e familiaridade do graduando com este
- **VuetifyJS**: *Framework* de componentes e estilização para o VueJS, utilizado para padronizar o design da aplicação
- **NodeJS**: *Runtime* de JavaScript que permite a utilização dessa linguagem para escrever aplicações no lado do servidor;
- **ExpressJS**: *Framework* para desenvolvimento backend na linguagem JavaScript, utilizando a plataforma NodeJS
- **C++**: Linguagem de programação compilada, escolhida por sua alta performance para o desenvolvimento do otimizador
- **G++**: Compilador utilizado para converter o código fonte em C++ do otimizador para um arquivo executável
- **GDB**: Debugador da linguagem C++, utilizado para localizar problemas no código fonte do otimizador

3.3 ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO

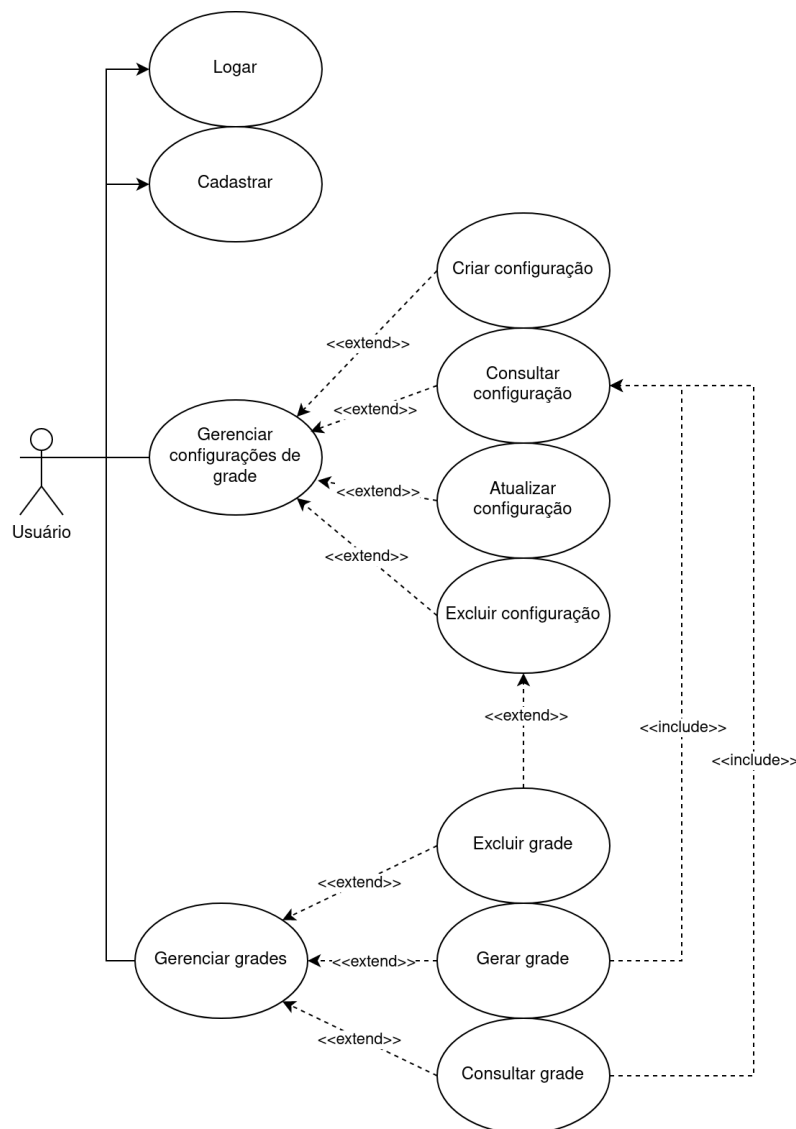
3.3.1 Interface

A interface *web* será responsável pela interação do usuário final com a aplicação. Portanto, deverá implementar funcionalidades que possibilitem a configuração das restrições e características das grades horárias a serem geradas, além de mostrar ou exportar tais grades após a geração.

Para o desenvolvimento deste componente, optou-se pelo framework *Vue.js*, devido à riqueza de seu ecossistema de desenvolvimento *frontend* e familiaridade do graduando com este. Complementando este framework, será utilizado também o *Vuetify.js*, a fim de facilitar e padronizar o design da aplicação.

A Figura 1 mostra os casos de uso que a interface *web* será responsável por disponibilizar:

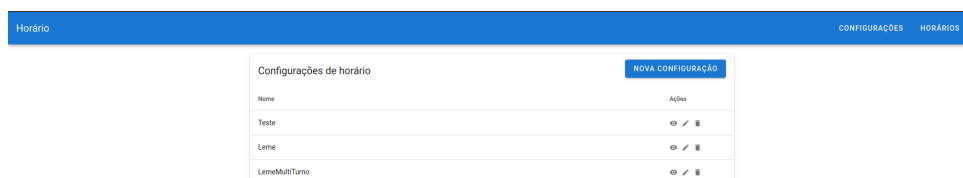
Figura 1 – Diagrama de Casos de Uso












Fonte: Autor

Desenvolveram-se alguns protótipos iniciais das telas necessárias na aplicação. Primeiramente, a [Figura 2](#) mostra a tela de listagem de configurações de grade. Como comentado anteriormente, alguns dos casos de uso da aplicação envolvem o gerenciamento de configurações de grades horárias, as quais são listadas nessa tela.

Figura 2 – Tela - Listagem de Configurações de Grade

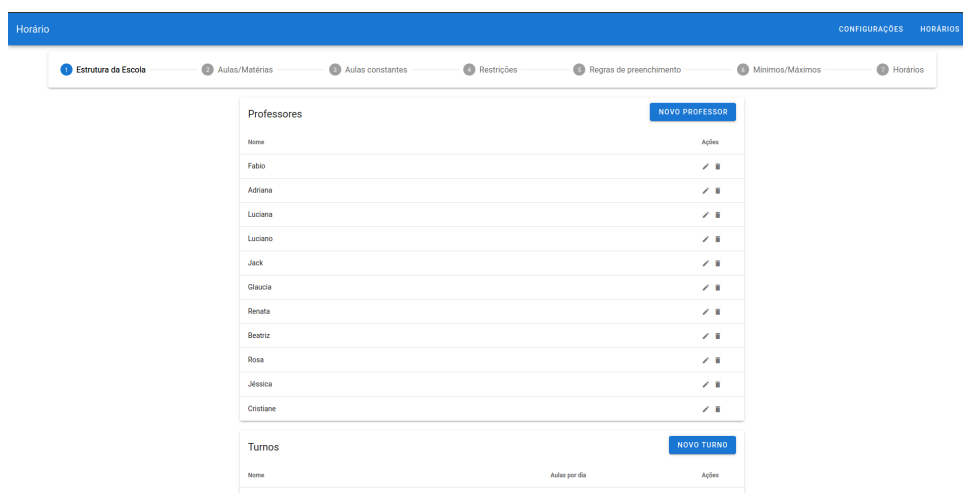



































Configurações de horário		NOVA CONFIGURAÇÃO
Nome	Ações	
Teste	  	
Lente	  	
LenteMultiTurno	  	




Fonte: Autor

A tela mostrada na [Figura 3](#) é responsável por permitir que o usuário cadastre os professores da escola. Nessa tela é possível notar que a aplicação foi estruturada seguindo uma noção de etapas de configuração até a geração da grade horária final. No topo da tela, a etapa "Estrutura da Escola" encontra-se selecionada.

Figura 3 – Tela - Estrutura da Escola - Professores



Professores			NOVO PROFESSOR
Nome		Ações	
Fabio		  	
Adriana		  	
Luciana		  	
Luciano		  	
Jack		  	
Glaucia		  	
Renata		  	
Beatriz		  	
Rosa		  	
Jessica		  	
Cristiane		  	

Turnos			NOVO TURNO
Nome	Aulas por dia	Ações	
..	..	  	

Fonte: Autor

Na Figura 4, tem-se a continuação da tela de estrutura da escola, mostrada na Figura 3. Esta parte da tela é responsável pela configuração das salas e turnos da escola.

Figura 4 – Tela - Estrutura da Escola - Salas e Turnos

Horário

CONFIGURAÇÕES

HORÁRIOS

Cristiane

Turnos

NOVO TURNO

Nome	Aulas por dia	Ações
Manhã	5	<div></div>

Informações do turno: Manhã

Salas

NOVA SALA

Nome	Salas sem última aula	Ações
6 Ano	3	<div></div>

SALVAR

PRÓXIMA ETAPA

GERAR DADOS EXEMPLO

Fonte: Autor

Na tela da Figura 5, o usuário pode realizar a configuração de número de aulas que cada professor deve ministrar em cada sala, informação fundamental para a geração das grades horárias.

Figura 5 – Tela - Aulas por professor

Horário

CONFIGURAÇÕES

HORÁRIOS

1 Estrutura da Escola

2 Aulas/Matérias

3 Aulas constantes

4 Restrições

5 Regras de preenchimento

6 Mínimos/Máximos

7 Horários

Informações do turno: Manhã

Aulas por professor

Professor	6 Ano	7 Ano	8 Ano	9 Ano	1 EM	2 EM	3 EM	Total
Fabio	0	0	0	5	4	4	4	17
Adriana	4	3	3	3	6	6	6	31
Luciana	1	1	6	6	5	5	5	29
Luciano	3	3	3	3	3	2	3	20
Jack	6	6	1	1	1	1	1	17
Glauucia	0	0	0	0	5	5	5	15
Renata	3	3	3	3	2	3	2	19
Beatriz	1	1	1	1	0	0	0	4
Rosa	5	5	5	0	0	0	0	15
Jéssica	3	5	3	5	4	4	4	28
Cristiane	2	0	2	0	0	0	0	4

Fonte: Autor

A tela da Figura 6 é responsável pela configuração das restrições. Nesta, o usuário pode configurar horários na grade que devem ser evitados ou proibidos para determinado docente.

Figura 6 – Tela - Restrições

Horário

CONFIGURAÇÕES HORÁRIOS

1 Estrutura da Escola 2 Aulas/Matérias 3 Aulas constantes 4 Restrições 5 Regras de preenchimento 6 Mínimos/Máximos 7 Horários

Restrições

Proibir Evitar

Restrições móveis

Manhã Fabio

SALVAR

Restrições móveis - Vínculos

NOVO VÍNCULO

Preferências

Fonte: Autor

A última etapa no fluxo da aplicação é representada pela tela da Figura 7. Nesta, o usuário pode requisitar a geração da grade horária utilizando as configurações realizadas nas etapas anteriores, e acessar as grades geradas anteriormente.

Figura 7 – Tela - Horários

Horário

CONFIGURAÇÕES HORÁRIOS

1 Estrutura da Escola 2 Aulas/Matérias 3 Aulas constantes 4 Restrições 5 Regras de preenchimento 6 Mínimos/Máximos 7 Horários

Horário (10832)

Manhã

Horários Gerados

GERAR

Aula	6 Ano	7 Ano	8 Ano	9 Ano	1 EM	2 EM	3 EM	Aulas separadas	Restrições não resolvidas	Restrições específicas não resolvidas	Preferências não resolvidas	Assinaturas de aulas digitais	Espaços vazios	Qualidade	Ações
1	Rosa	Renata	Adriana	Jessica	Fabio	Glaucia	Luciana	80	0	0	1	1	60	222	
2	Rosa	Renata	Adriana	Jessica	Glaucia	Fabio	Luciana	80	0	0	1	1	60	222	
3	Adriana	Rosa	Renata	Luciana	Glaucia	Jessica	Fabio	80	0	0	1	1	60	222	
4	Cristiane	Rosa	Renata	Fabio	Luciana	Jessica	Adriana	80	0	0	1	1	60	222	
5	Cristiane	Jessica	Luciana	Beatriz	Fabio	Adriana	Glaucia	80	0	0	1	1	60	222	
6	Beatriz	Luciana	Beatriz	Fabio	Adriana	Glaucia	Luciana	80	0	0	1	1	60	222	
1	Renata	Jessica	Rosa	Luciana	Adriana	Luciano	Glaucia	80	0	0	2	1	70	236	
2	Renata	Jessica	Rosa	Luciano	Adriana	Luciano	Glaucia	80	0	0	2	1	70	236	
3	Jessica	Rosa	Luciano	Adriana	Glaucia	Luciano	Renata	80	0	0	2	1	70	236	
4	Jessica	Rosa	Cristiane	Luciano	Adriana	Luciano	Renata	82	0	0	2	1	70	238	
5	Beatriz	Luciana	Cristiane	Luciano	Adriana	Glaucia	Jessica	82	0	0	2	1	70	238	
6	Beatriz	Luciana	Beatriz	Luciana	Jessica	Glaucia	Adriana	82	0	0	2	1	70	238	
1	Rosa	Jack	Renata	Fabio	Luciano	Jessica	Adriana	80	0	0	1	2	50	242	
2	Luciano	Jack	Rosa	Adriana	Jessica	Renata	Luciano	80	0	0	1	2	50	242	
3	Jessica	Luciano	Rosa	Adriana	Renata	Luciano	Jack	80	0	0	1	2	50	242	
4	Luciano	Jack	Luciana	Renata	Adriana	Luciano	Fabio	80	0	0	1	2	50	242	
5	Jack	Adriana	Luciana	Jessica	Luciano	Glaucia	Fabio	80	0	0	1	2	50	242	
6	Jack	Adriana	Luciana	Jessica	Adriana	Glaucia	Luciana	80	0	0	1	2	50	242	
1	Renata	Jessica	Luciano	Jack	Luciano	Fabio	Adriana	80	0	0	1	2	50	242	
2	Rosa	Jessica	Luciano	Renata	Luciano	Jack	Adriana	80	0	0	1	2	50	242	
3	Rosa	Jack	Luciano	Renata	Adriana	Jessica	Luciano	80	0	0	1	2	50	242	
4	Jack	Luciano	Luciana	Jessica	Glaucia	Adriana	Fabio	80	0	0	1	2	50	242	

Linhas por página: 10 1/10 de 16

Fonte: Autor

3.3.2 Servidor

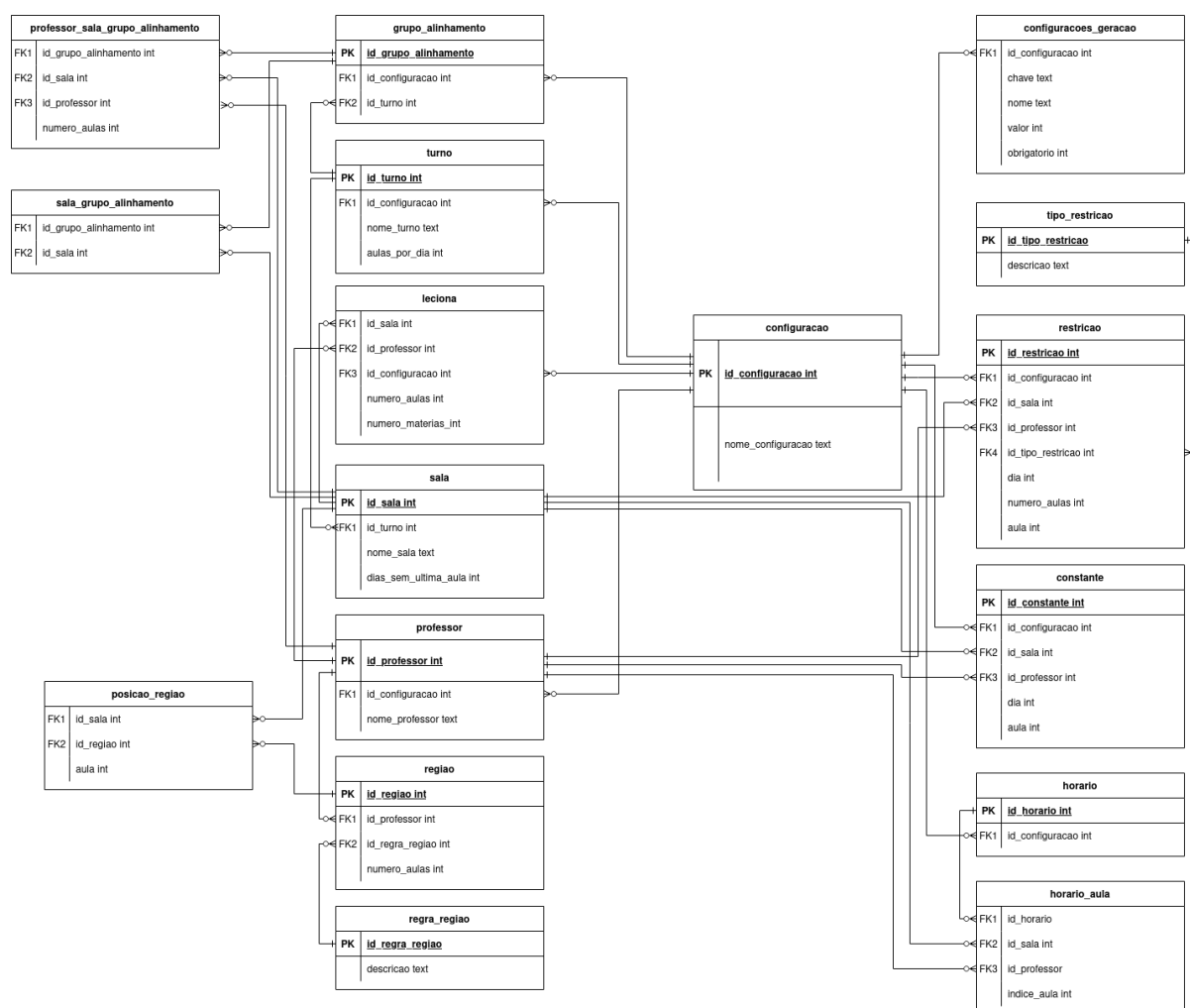
O servidor será responsável por receber as requisições da interface, persistir as configurações no banco de dados e realizar a comunicação com o otimizador, a fim de produzir e armazenar as grades horárias.

Para o desenvolvimento deste componente, optou-se pelo *framework Express.js*, a ser executado na plataforma *Node.js*, devido à simplicidade de implementação que estas tecnologias proporcionam. Em relação ao banco de dados, será utilizado o sistema de gerenciamento de banco de dados *PostgreSQL*, devido à sua robustez.

Conforme as premissas do problema sendo tratado, a modelagem do banco de dados é centrada na entidade “Configuração”, que agrupa as configurações de determinada instituição de ensino para a geração de suas grades horárias. Cada uma dessas entidades tem turnos, salas, professores, e as configurações de quantas aulas cada professor deve ministrar em cada sala, e as respectivas restrições.

A modelagem comentada está representada na [Figura 8](#):

Figura 8 – Modelo Entidade-Relacionamento

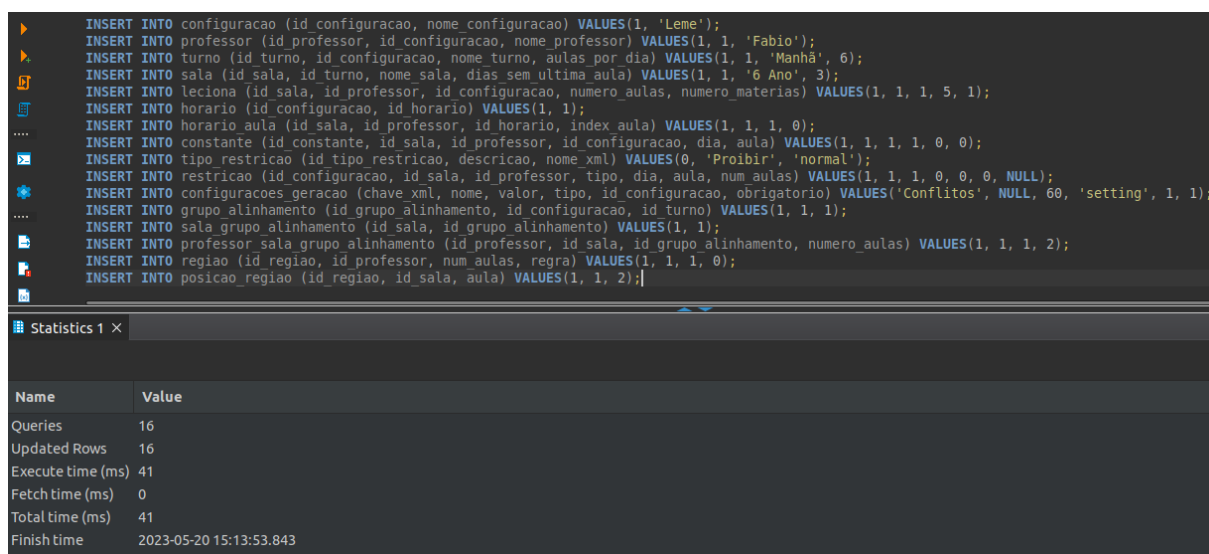


Fonte: Autor

Dentre as entidades mostradas no modelo entidade-relacionamento, vale ressaltar a importância da entidade “Grupo Alinhamento”. Esta será utilizada para configurar aulas que devam acontecer simultaneamente, a fim de resolver o desafio dos itinerários formativos do Novo Ensino Médio, conforme exposto na seção 2.2.

Para validar a modelagem do banco de dados, realizaram-se inserções de informações de exemplo nas diferentes tabelas. A Figura 9 mostra algumas dessas inserções e os vínculos instituídos pelos identificadores escolhidos.

Figura 9 – Consultas de validação da modelagem



```
INSERT INTO configuracao (id_configuracao, nome_configuracao) VALUES(1, 'Leme');
INSERT INTO professor (id_professor, id_configuracao, nome_professor) VALUES(1, 1, 'Fabio');
INSERT INTO turno (id_turno, id_configuracao, nome_turno, aulas_por_dia) VALUES(1, 1, 'Manhã', 6);
INSERT INTO sala (id_sala, id_turno, nome_sala, dias_sem_ultima_aula) VALUES(1, 1, '6 Ano', 3);
INSERT INTO leciona (id_sala, id_professor, id_configuracao, numero_aulas, numero_materias) VALUES(1, 1, 1, 5, 1);
INSERT INTO horario (id_configuracao, id_horario) VALUES(1, 1);
INSERT INTO horario_aula (id_sala, id_professor, id_horario, index_aula) VALUES(1, 1, 1, 0);
INSERT INTO constante (id_constante, id_sala, id_professor, id_configuracao, dia, aula) VALUES(1, 1, 1, 1, 0, 0);
INSERT INTO tipo_restricao (id_tipo_restricao, descricao, nome_xml) VALUES(0, 'Proibir', 'normal');
INSERT INTO restricao (id_configuracao, id_sala, id_professor, tipo, dia, aula, num_aulas) VALUES(1, 1, 1, 0, 0, 0, NULL);
INSERT INTO configuracoes_geracao (chave_xml, nome, valor, tipo, id_configuracao, obrigatorio) VALUES('Conflitos', NULL, 60, 'setting', 1, 1);
INSERT INTO grupo_alinhamento (id_grupo_alinhamento, id_configuracao, id_turno) VALUES(1, 1, 1);
INSERT INTO sala_grupo_alinhamento (id_sala, id_grupo_alinhamento) VALUES(1, 1);
INSERT INTO professor_sala_grupo_alinhamento (id_professor, id_sala, id_grupo_alinhamento, numero_aulas) VALUES(1, 1, 1, 2);
INSERT INTO regioao (id_regiao, id_professor, num_aulas, regra) VALUES(1, 1, 1, 0);
INSERT INTO posicao_regiao (id_regiao, id_sala, aula) VALUES(1, 1, 2);
```

Name	Value
Queries	16
Updated Rows	16
Execute time (ms)	41
Fetch time (ms)	0
Total time (ms)	41
Finish time	2023-05-20 15:13:53.843

Fonte: Autor

Validou-se também o armazenamento das grades horárias no banco de dados. A Figura 10 traz um exemplo de consulta de uma grade horária com sete salas:

Figura 10 – Consulta SQL de grade horária com sete salas

```
SELECT
  CASE (a.n / 6)
    WHEN 0 THEN 'Segunda'
    WHEN 1 THEN 'Terça'
    WHEN 2 THEN 'Quarta'
    WHEN 3 THEN 'Quinta'
    WHEN 4 THEN 'Sexta'
    ELSE NULL
  END AS "DiaSemana",
  (a.n % 6) + 1 AS "Aula",
  p1.nome_professor AS "6Ano",
  p2.nome_professor AS "7Ano",
  p3.nome_professor AS "8Ano",
  p4.nome_professor AS "9Ano",
  p5.nome_professor AS "1EM",
  p6.nome_professor AS "2EM",
  p7.nome_professor AS "3EM"
FROM generate_series(0, 29) AS a(n)
LEFT JOIN horario_aula ha1 ON ha1.id_sala = 2 AND ha1.index_aula = a.n AND ha1.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p1 ON p1.id_professor = ha1.id_professor
LEFT JOIN horario_aula ha2 ON ha2.id_sala = 3 AND ha2.index_aula = a.n AND ha2.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p2 ON p2.id_professor = ha2.id_professor
LEFT JOIN horario_aula ha3 ON ha3.id_sala = 4 AND ha3.index_aula = a.n AND ha3.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p3 ON p3.id_professor = ha3.id_professor
LEFT JOIN horario_aula ha4 ON ha4.id_sala = 5 AND ha4.index_aula = a.n AND ha4.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p4 ON p4.id_professor = ha4.id_professor
LEFT JOIN horario_aula ha5 ON ha5.id_sala = 6 AND ha5.index_aula = a.n AND ha5.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p5 ON p5.id_professor = ha5.id_professor
LEFT JOIN horario_aula ha6 ON ha6.id_sala = 7 AND ha6.index_aula = a.n AND ha6.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p6 ON p6.id_professor = ha6.id_professor
LEFT JOIN horario_aula ha7 ON ha7.id_sala = 8 AND ha7.index_aula = a.n AND ha7.id_horario = 10848
LEFT JOIN professor p7 ON p7.id_professor = ha7.id_professor
ORDER BY a.n;
```

Fonte: Autor

A consulta anterior traz como resultado a tabela visível na Figura 11, com linhas e colunas correspondentes a horários de aulas e salas respectivamente.

Figura 11 – Resultado da consulta de uma grade no banco de dados

DiaSemana	Aula	6Ano	7Ano	8Ano	9Ano	1EM	2EM	3EM
Segunda	1	Renata	Rosa	Cristiane	Luciana	Adriana	Jéssica	Glaucia
Segunda	2	Renata	Rosa	Cristiane	Luciana	Glaucia	Jéssica	Adriana
Segunda	3	Beatriz	Renata	Rosa	Jéssica	Glaucia	Luciana	Adriana
Segunda	4	Cristiane	Renata	Rosa	Adriana	Jéssica	Glaucia	Luciana
Segunda	5	Cristiane	Adriana	Beatriz	Adriana	Jéssica	Glaucia	Luciana
Segunda	6	[NULL]	Beatriz	[NULL]	[NULL]	Luciana	Jéssica	Adriana
Terça	1	Rosa	Luciano	Luciana	Renata	Fabio	Adriana	Jéssica
Terça	2	Rosa	Adriana	Luciana	Fabio	Luciano	Glaucia	Jéssica
Terça	3	Luciano	Adriana	Renata	Fabio	Jéssica	Glaucia	Luciana
Terça	4	Luciano	Renata	Adriana	Jéssica	Fabio	Luciana	Glaucia
Terça	5	Adriana	Jéssica	Luciana	Beatriz	Fabio	Luciano	Glaucia
Terça	6	Adriana	[NULL]	[NULL]	[NULL]	Glaucia	Luciano	Jéssica
Quarta	1	Luciano	Jack	Rosa	Luciana	Adriana	Renata	Jéssica
Quarta	2	Rosa	Jack	Jéssica	Luciano	Adriana	Renata	Luciana
Quarta	3	Jack	Luciano	Jéssica	Fabio	Luciana	Adriana	Renata
Quarta	4	Jéssica	Luciano	Luciana	Fabio	Jack	Adriana	Renata
Quarta	5	Jéssica	Jack	Luciano	Luciana	Glaucia	Fabio	Adriana
Quarta	6	[NULL]	[NULL]	Luciano	Luciana	Glaucia	Jack	Adriana
Quinta	1	Luciana	Jack	Rosa	Renata	Jéssica	Fabio	Adriana
Quinta	2	Jéssica	Jack	Rosa	Renata	Adriana	Luciana	Fabio
Quinta	3	Jack	Rosa	Renata	Jéssica	Fabio	Adriana	Luciana
Quinta	4	Jack	Rosa	Renata	Jéssica	Luciana	Adriana	Fabio
Quinta	5	Adriana	Jéssica	Luciana	Jack	Luciano	Glaucia	Fabio
Quinta	6	[NULL]	[NULL]	Jack	Luciana	Luciano	Adriana	Glaucia
Sexta	1	Jack	Rosa	Luciana	Jéssica	Adriana	Renata	Luciano
Sexta	2	Renata	Jack	Jéssica	Fabio	Adriana	Luciana	Luciano
Sexta	3	Rosa	Jéssica	Luciano	Adriana	Renata	Luciana	Fabio
Sexta	4	Rosa	Luciana	Adriana	Luciano	Renata	Jéssica	Jack
Sexta	5	Jack	Jéssica	Adriana	Luciano	Luciana	Fabio	Glaucia
Sexta	6	Jack	Jéssica	[NULL]	[NULL]	Luciana	Fabio	Luciano

Fonte: Autor

3.3.3 Otimizador

O otimizador será responsável por receber as restrições formatadas pelo servidor, e gerar grades horárias adequadas com base nestas. Após a geração, os resultados devem ser enviados para o servidor para que sejam armazenados no banco de dados.

Este componente do sistema implementará um algoritmo de otimização aplicando a meta-heurística de *Simulated Annealing*, a fim de gerar as soluções para o problema de otimização da grade horária conforme as configurações realizadas pelo usuário.

3.4 MÉTODO

Para a processo de software da aplicação, optou-se pelo processo de desenvolvimento incremental. Este processo consiste na divisão da implementação do projeto em incrementos, os quais são executados linearmente, porém de forma escalonada. (PRESSMAN; MAXIM, 2016)

Este processo de software foi escolhido por possibilitar o planejamento de execução do projeto em etapas lógicas, que podem ser sobrepor através de escalonamento, de acordo com as necessidade encontradas. Conforme os requisitos levantados na seção anterior, dividiram-se as tarefas de desenvolvimento nos incrementos pertinentes:

- **Incremento 1:** Desenvolvimento inicial do otimizador, aplicando Simulated Annealing apenas para a resolução de conflitos;
- **Incremento 2:** Implementação de restrições no otimizador;
- **Incremento 3:** Criação do servidor e banco de dados;
- **Incremento 4:** Desenvolvimento da interface *web*;
- **Incremento 5:** Adição do sistema de usuários;
- **Incremento 6:** Adaptação da modelagem para incluir matérias aos horários alocados pelo otimizador;
- **Incremento 7:** Implementação de validações das configurações de grade inseridas pelo usuário;
- **Incremento 8:** Desenvolvimento de sistema de exportação de grades horárias.

Conforme evidenciado na seção 3.3, os quatro primeiros incrementos já foram executados, a fim de prototipar o sistema e verificar a viabilidade a solução planejada.

Quanto à validação do software desenvolvido, esta será realizada através de experimentos controlados, simulando requisitos das grades horárias. Após esta etapa, serão conduzidas validações no contexto de instituições de ensino reais que sejam pertinentes ao trabalho.

4 CRONOGRAMA

Neste capítulo serão detalhadas as atividades que devem ser executadas até a conclusão deste trabalho, assim como os períodos planejados para a respectiva execução destas.

As tarefas planejadas são a coleta e análise de dados, a fim de verificar a necessidade de adicionar novos tipos de restrições e parametrizações ao otimizador; a execução dos incrementos do software conforme exposto na seção 3.4 e a etapa de validação. Os períodos planejados para cada uma destas atividades constam na [Figura 12](#):

Figura 12 – Cronograma

ETAPAS	JAN	JAN	FEV	FEV	MAR	MAR	ABR	ABR	MAI	MAI	JUN	JUN	JUL	JUL	AGO	AGO	SET	SET	OUT	OUT	NOV	NOV	DEZ	DEZ
Pesquisa	X	X	X	X																				
Revisão bibliográfica		X	X	X	X	X	X	X	X	X														
Incremento 1			X	X	X	X																		
Incremento 2				X	X	X	X																	
Incremento 3					X	X	X	X																
Incremento 4						X	X	X	X															
Coleta de dados									X	X	X	X	X	X										
Análise de dados													X	X	X	X								
Incremento 5															X	X	X							
Incremento 6																X	X	X						
Incremento 7																	X	X	X					
Incremento 8																		X	X	X				
Validação																			X	X	X			
Revisão geral do trabalho															X	X	X	X	X	X	X	X		
Depósito TCC																						X		
Defesa																							X	

Fonte: Autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, este trabalho abordou o *High School Timetabling Problem*, e a demanda associada por um software de otimização de grades horárias. Verificou-se durante a revisão de literatura a dificuldade que a tarefa de planejamento de grades horárias representa, e que grande parte das instituições de ensino do país ainda realiza essa tarefa manualmente.

O presente trabalho trouxe também algumas demonstrações do estado atual do protótipo da aplicação desenvolvida, assim como melhorias sugeridas para a continuação da pesquisa. Com o desenvolvimento dos primeiros incrementos da aplicação, foi possível verificar a viabilidade do projeto aplicando a técnica de *Simulated Annealing* para produzir e otimizar grades horárias escolares, atendendo múltiplos objetivos tradicionais do problema, assim como a nova preocupação trazida pelo Novo Ensino Médio, os Itinerários Formativos.

Resta portanto como atividade de crucial importância a coleta de dados de potenciais usuários futuros da aplicação, para que seja possível verificar a necessidade de adições e melhorias ao otimizador, e a execução dos incrementos do software a fim de cumprir os objetivos propostos.

Referências

- ABRAMSON, D. Constructing school timetables using simulated annealing: Sequential and parallel algorithms. **Management Science**, v. 37, n. 1, p. 98–113, 1991. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:inm:ormnsc:v:37:y:1991:i:1:p:98-113>>. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 3.
- BARDADY, V. A. Computer-aided school and university timetabling: The new wave. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). **Practice and Theory of Automated Timetabling**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 22–45. ISBN 978-3-540-70682-3. Citado na página 1.
- BRASIL. Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2017. ISSN 1677-7042. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13415.htm>. Citado na página 3.
- COOPER, T. B.; KINGSTON, J. H. The complexity of timetable construction problems. In: **International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling**. [S.l.: s.n.], 1995. Citado na página 3.
- FONSECA, G. H.; SANTOS, H. G.; CARRANO, E. G. Integrating matheuristics and metaheuristics for timetabling. **Computers And Operations Research**, v. 74, p. 108–117, 2016. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054816300879>>. Citado na página 1.
- LAARHOVEN, P. J. **Simulated annealing theory and applications**. [S.l.]: Kluwer, 1987. Citado na página 4.
- POULSEN, C. J. B. **Desenvolvimento de um Modelo para o School Timetabling Problem Baseado na Meta-Heurística Simulated Annealing**. 141 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Citado na página 1.
- PRESSMAN, R.; MAXIM, B. **Engenharia de Software - 8ª Edição**. [s.n.], 2016. ISBN 9788580555349. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=wexzCwAAQBAJ>>. Citado na página 13.
- TAN, J. S. et al. A survey of the state-of-the-art of optimisation methodologies in school timetabling problems. **Expert Systems with Applications**, v. 165, p. 113943, 2021. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417420307314>>. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 3.