

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

“Aplicação de algoritmo de recozimento simulado em alocação de
horários”

Gustavo Tayou Lee

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro Mecatrônico.

São Paulo–SP

2020

Gustavo Tayou Lee

“Aplicação de algoritmo de recozimento simulado em alocação de
horários”

Versão Original

Orientador: Prof. Dr. Marcos Barretto

São Paulo–SP

2020

Gustavo Tayou Lee

Aplicação de algoritmo de recozimento simulado em alocação de horários. São Paulo–SP, 2020.

66p. : il.; 30 cm.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da USP, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Marcos Barretto

1. Recozimento Simulado. 2. palavra chave 2. 3. palavra chave 3

“No fim tudo dá certo, e se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim”

Fernando Sabino

Resumo

Os impactos da pandemia relacionada ao vírus SARS-CoV-2 foram abrangentes, modificando tanto a vida das pessoas quanto às relações empresariais mundialmente, trazendo a nova realidade de teletrabalho para todo o mundo.

Este novo cenário de teletrabalho, onde não existe a interação presencial, corrobora com o aumento do volume de videoconferências realizadas no cotidiano das pessoas, assim como torna ainda mais tênue a distinção dos horários de trabalho, de lazer, de estudo e de descanso.

É comum se levar cerca de trinta a quarenta minutos para a realização da alocação de reuniões de igual duração entre somente dois participantes. A medida que as exigências de discussões com durações maiores surgem, torna-se ainda mais complexa a alocação de horários em comum entre as partes, o mesmo aplica-se para o aumento de participantes necessários na conferência. Tais condições influenciam na tomada de decisão humana quanto ao horário ideal, aumentando a frequência de eventos agendados fora das condições ideais dos participantes. Tornando o uso de tecnologias que ofereçam suporte à rotina das pessoas ainda mais indispensáveis ao trabalho.

Neste trabalho, teremos como foco o desenvolvimento de uma solução que vise aumentar a eficiência do processo de alocação de horários entre múltiplos participantes, de modo a automatizar a negociação e o agendamento de data e hora comum ideal.

A automação do processo se dará por meio de sistema integrado às agendas dos participantes, de modo a salvar as preferências dos usuários para aplicação em técnica de recozimento simulado, com objetivo de minimizar o tempo gasto no agendamento, levando em conta horários de trabalho, intervalos de descanso, eventos agendados e preferências pessoais de cada participante a partir de solicitação de agendamento realizada pelo usuário, utilizando técnica de otimização de recozimento simulado.

Palavras-chave: Simulated. Annealing. Otimização. Alocação de agenda. Simulação. Recozimento Simulado.

Abstract

The impacts of the SARS-CoV-2 virus pandemic were far-reaching, changing both people's lives and business relationships worldwide, bringing the new reality of telecommuting to the entire world.

This new teleworking scenario, where there is no face-to-face interaction, corroborates the increase in the volume of videoconferences held in people's daily lives, as well as making the distinction between work, leisure, study and rest times even more tenuous.

It is common to take about thirty to forty minutes for the allocation of meetings of equal duration between only two participants. As the demands for longer-term discussions arise, the allocation of common times between the parties becomes even more complex, the same applies to the increase in the number of participants needed at the conference. Such conditions influence human decision making as to the ideal time, increasing the frequency of events scheduled outside the ideal conditions of the participants. Making the use of technologies that support people's routine even more indispensable to work.

In this work, we will focus on developing a solution that aims to increase the efficiency of the time allocation process between multiple participants, in order to automate the negotiation and scheduling of the ideal common date and time.

The automation of the process will take place by means of an integrated system to the participants' agendas, in order to save the users' preferences for application in simulated annealing technique, with the objective of minimizing the time spent in scheduling, taking into account working hours, intervals of rest, scheduled events and personal preferences of each participant based on a scheduling request made by the user, using simulated annealing optimization technique.

Keywords: Simulated Annealing. Meeting Scheduling. Optimization. Modeling.

Lista de figuras

Figura 1 – Tela inicial para agendamento com <i>slots</i> do Google Calendar	23
Figura 2 – Tela com <i>slots</i> para agendamento do Google Calendar	23
Figura 3 – Exemplo de aplicação X.ai	24
Figura 4 – Exemplo de tela com templates de agendamento X.ai	24
Figura 5 – Exemplo de tela de edição de template X.ai	24
Figura 6 – Exemplo de tela de criação de template X.ai	25
Figura 7 – Exemplo de tela inicial para agendamento X.ai	25
Figura 8 – Exemplo de tela para agendamento X.ai	26
Figura 9 – Tela para definição de horário, duração e período mínimo entre agendamentos do X.ai	26
Figura 10 – Tela para definição de preferências de localização do X.ai	27
Figura 11 – Tela para definição de preferências de <i>follow-ups</i> do X.ai	27
Figura 12 – Tela para definição de preferências de lembretes do X.ai	27
Figura 13 – Tela para definição de preferências de descrições de agendamentos do X.ai	28
Figura 14 – Tela para definição disponibilidade do MixMax	28
Figura 15 – Exemplo de e-mail com disponibilidade para agendamento do MixMax. O destinatário do e-mail clica no horário que preferir e o agendamento é feito.	29
Figura 16 – Tela para definição de horários possíveis para agendamento de grupo do MixMax	29
Figura 17 – Exemplo de e-mail com opções de horários para reuniões de grupos. Os destinatários selecionam todos os horários nos quais possuem disponibilidade e o organizador consegue visualizar a votação e definir uma agenda.	29
Figura 18 – Tela para cadastros de templates de agendamentos Calendly	30
Figura 19 – Exemplo de tela para agendamento Calendly	30
Figura 20 – Exemplo de tela para agendamento Calendly	31
Figura 21 – Tela com opções de controle e automação de processos Calendly	31
Figura 22 – Tela com opções horários disponíveis para agendamento do You Can Book Me	32
Figura 23 – Cadastro de campos para disponibilização de agendamento do You Can Book Me	32
Figura 24 – Tela com solução de pagamento do You Can Book Me	33
Figura 25 – Tela inicial para criação de <i>pool</i> para agendamento Doodle	33
Figura 26 – Tela para seleção de horários disponíveis para agendamento Doodle	34
Figura 27 – Exemplo de visualização de respostas Doodle	34

Figura 28 – Exemplo de representação permutacional	45
Figura 29 – Esboço da interface visual da solução	51
Figura 30 – Interface visual desenvolvida	52
Figura 31 – Exemplo 1 - Custo de Sobreposição	55
Figura 32 – Exemplo 1 - Custo de Período Preferencial	56
Figura 33 – Exemplo 1 - Custo de Espaçamento Preferencial	57
Figura 34 – Agenda do Usuário 1	58
Figura 35 – Agenda do Usuário 2	59
Figura 36 – Agenda do Usuário 3	60
Figura 37 – Custo da Solução por Iteração	61
Figura 38 – Custo por horário de início da sugestão	61
Figura 39 – Frequência de aceite da função probabilidade por Temperatura	62

Lista de tabelas

Tabela 1 – Soluções analisadas	48
Tabela 2 – Comparação entre features das soluções analisadas	48
Tabela 3 – Comparação entre funções objetivo das soluções analisadas	48

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	18
1.3	Estrutura de Trabalho	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Revisão de soluções existentes	20
2.1.1	<i>Features</i> observadas	21
2.1.2	Soluções de mercado	22
2.1.3	Soluções patenteadas	34
2.2	Revisão de soluções de algoritmos de otimização aplicadas à alocação de horário	36
2.3	Revisão de soluções de aplicações de Recozimento Simulado . .	41
3	SOLUÇÃO PROPOSTA	47
3.1	Requisitos	47
3.2	Casos de Uso	50
3.3	Projeto	52
3.3.1	Algoritmo de Recozimento Simulado	54
3.3.2	Função Custo	55
4	RESULTADOS	58
5	CONCLUSÃO	63
	Referências	64
APÊNDICE A	TABELA DE SOLUÇÕES E FEATURES	66

Introdução

1.1 Motivação

Os impactos da pandemia relacionada ao vírus SARS-CoV-2 foram abrangentes, modificando tanto a vida das pessoas quanto às relações empresariais mundialmente, trazendo a nova realidade de teletrabalho para todo o mundo [1].

Segundo a pesquisa *The Covid-19 Crisis and Telework: A Research Survey on Experiences, Expectations and Hopes* [2], ainda não é possível prever a tendência mundial de trabalho, porém, em pesquisa realizada, 85% dos trabalhadores entrevistados acreditam na perdura do teletrabalho.

Este novo cenário de teletrabalho, onde não existe a interação presencial, corrobora com o aumento do volume de videoconferências realizadas no cotidiano das pessoas, assim como torna ainda mais tênue a distinção dos horários de trabalho, de lazer, de estudo e de descanso.

Segundo Schwartz [3], é comum se levar cerca de trinta a quarenta minutos para a realização da alocação de reuniões de igual duração entre somente dois participantes. A medida que as exigências de discussões com durações maiores surgem, torna-se ainda mais complexa a alocação de horários em comum entre as partes, o mesmo aplica-se para o aumento de participantes necessários na conferência. Tais condições influenciam na tomada de decisão humana quanto ao horário ideal, aumentando a frequência de eventos agendados fora das condições ideais dos participantes.

De acordo com pesquisa realizada pelo Doodle [4], empresa que oferece soluções voltadas à alocação de horários e formulários, levam-se em média de 12 à 16 iterações de sugestões de horários para o agendamento de reuniões de negócios com 6 a 8 participantes, representando em média 20 a 25 minutos gastos. Já o agendamento de jantares privados com 10 a 15 participantes pode chegar à gastos de 46 à 50 minutos, apesar de levarem em média de 10 a 15 iterações.

Em estudo realizado em 2020 [5], é apontado o aumento no volume de horas e dias da semana trabalhados pela população brasileira, assim como o consumo de ansiolíticos e medicamentos para o tratamento de quadros de insônia [6].

Assim sendo, tornam-se ainda mais indispensáveis ao trabalho o uso de tecnologias que ofereçam suporte à rotina das pessoas [7], apresentando-se necessário a tomada de medidas objetivando a minimização do tempo dispendido para a alocação de horários entre múltiplas pessoas, levando-se em consideração as preferências pessoais de cada participante, respeitando horários de trabalho pré estabelecidos pelos usuários.

1.2 Objetivo

Em artigo publicado no portal da *Business Opportunities* [8], são apontadas cinco principais problemas enfrentados em ambiente corporativo no que tange agendamentos de reuniões:

1. Negociação de data e hora que atenda às preferências de todos os participantes, segundo o artigo, é disparadamente o maior dos problemas enfrentados na realização de agendamentos, sendo algumas das causas a falta de visibilidade da agenda de todos os participantes e a possibilidade de interpretação errônea de horas, em casos de reuniões entre participantes de regiões de fuso horários diferentes. A abordagem mais comum para resolução desse problema é o método de tentativa e erro, onde é dispendido uma boa parcela de tempo até uma sugestão de horário que atenda as preferências de todos os participantes.
2. Alocação dos participantes certos, sendo que o excesso de participantes na reunião leva ao aumento do custo de horas por colaborador e a sublocação pode acarretar em perda de visões e ideias importantes para o projeto.
3. Definição da duração certa, sendo que a escolha de durações maiores que as necessárias corrobora com o aumento do tempo dispendido desnecessariamente pelos participantes na reunião.
4. Definição da localização certa.
5. Garantia de quorum.

Neste trabalho, teremos como foco o desenvolvimento de uma solução que vise aumentar a eficiência do processo de alocação de horários entre múltiplos participantes, de modo a automatizar a negociação e o agendamento de data e hora comum ideal.

A automação do processo se dará por meio de sistema integrado às agendas dos participantes, de modo a salvar as preferências dos usuários para aplicação em técnica de

recozimento simulado, com objetivo de minimizar o tempo gasto no agendamento, levando em conta horários de trabalho, intervalos de descanso, eventos agendados e preferências pessoais de cada participante a partir de solicitação de agendamento realizada pelo usuário.

1.3 Estrutura de Trabalho

Este projeto contempla uma vasta pesquisa na literatura a respeito de temas que abordam modelagens e otimizações de alocação de horários entre múltiplos participantes, soluções comerciais existentes e populares, patentes e aplicações de técnicas de recozimento simulado para definição de escopo de atuação inicial do protótipo.

O protótipo consistirá no desenvolvimento de:

- Servidor responsável pelo processamento do algoritmo de otimização de recozimento simulado, integrando as agendas dos usuários ao sistema por meio de API disponibilizada pelo Google Calendar
- Interface com o usuário a partir de extensão Chrome instalada no navegador

A função objetivo modelada neste projeto contempla um conjunto de preferências e restrições impostas pelos participantes e será aplicada de modo a maximizar o número de participantes que atendam à todos os critérios da sugestão de horário e minimizar a sobreposição de horários entre sugestão e a agenda já existente levando em conta as preferências de trabalho de cada usuário.

O algoritmo de recozimento simulado será aplicado durante a criação de um novo evento, pelo organizador da reunião, na agenda de n participantes, de modo a obter-se o intervalo em comum na agenda de todos os participantes, organizador incluso, que minimize a função objetivo modelada.

Serão detalhados adiante o algoritmo aplicado e os resultados obtidos a partir das simulações realizadas.

Revisão bibliográfica

Em ambientes nos quais existe a necessidade de alocação de horários entre duas ou mais entidades rotineiramente, como no ambiente corporativo, é comum a perda de eficiência produtiva devido à escala da complexidade em encontrar o melhor horário em comum entre todas as partes. Desconsiderando a necessidade de se encontrar um espaço físico aceitável aos participantes, esta problemática torna-se ainda mais complexa conforme o número de integrantes aumenta, assim como a posição que se encontra na empresa e a natureza do trabalho (Ex.: Executivo e Presidente são cargos que possuem a necessidade de comunicação frequente entre múltiplas partes).

No artigo *Scheduling Time, Part 3: Meeting Coordination Optimizations* [3], Baron Schwartz expõe a problemática que agendamentos de reuniões trazem atualmente ao mundo corporativo. De acordo com ele, a habitual tarefa de agendar uma reunião entre duas pessoas pode chegar à 45 minutos de discussão a fim de decidir o melhor horário para as partes, se agravando à medida que mais pessoas são necessárias na reunião. De acordo com Schwartz, a primeira adversidade em agendamentos é encontrar horários disponíveis em comum em agendas nas quais não se tem acesso a nenhuma informação. Logo, a primeira otimização a ser feita é tornar a agenda o mais pública possível, ou, ao menos, compartilhar as informações de horários livres/ocupados com o máximo de pessoas possível. O próximo passo, para ele, seria a prospecção e o uso de ferramentas comerciais disponíveis para a tarefa de agendamentos, aumentando ainda mais, dessa maneira, a eficiência na conclusão da tarefa.

2.1 Revisão de soluções existentes

Tendo isso em vista, foram analisadas 9 features - detalhadas a seguir - de 8 soluções para o agendamento de reuniões ou outros eventos.

2.1.1 *Features* observadas

- Agendar: alocar um horário, duração, frequência e local em comum entre duas ou mais partes.
 - Horário: data, hora e minuto de início do agendamento (ex.: reunião marcada para 27/09/2020 às 11h00)
 - Duração: tempo de duração do agendamento (ex.: uma hora)
 - Frequência: definição da periodicidade do agendamento (ex.: reunião semanal)
 - Local: espaço, físico ou virtual, de encontro entre as partes (ex.: Google Meets)
- Cancelar: excluir um agendamento. Nessa ação, o evento é removido da agenda do usuário
- Cadastrar/excluir slots: slots são recursos que partem do princípio da disponibilização de agenda para terceiros e são definidos por:
 - Dias da semana: dias da semana que serão disponibilizados para agendamentos (Ex.: Segunda e Terça)
 - Hora de Início: hora de início da disponibilização de agenda, em função do dia da semana (Ex.: Hora de Início (Segunda): 12h00, Hora de Início(Terça): 8h00)
 - Duração de Agendamentos: duração dos agendamentos realizados por terceiros dentro do slot (Ex.: uma hora por agenda)
 - Hora de término: hora, em função do dia da semana, limite para disponibilização da agenda. (Ex.: Hora de término (Segunda): 18h00, Duração de Agendamentos: 1h, *último agendamento possível do dia: 17h00-18h00)
 - Intervalo: lacuna de tempo mínimo entre reuniões marcadas. Uma vez definido um slot, terceiros interessados podem agendar compromissos dentro desse slot.
 - Frequência: frequência de disponibilização do slot.
- Cadastrar/excluir preferências (Follow-Ups): preferências de frequência de envio de solicitações de confirmação de agendamento (Ex.: Enviar aos não confirmados da reunião três pedidos de confirmação de agendamento, a 3 dias, 2 dias e 1 dia antes do horário de início).
- Cadastrar/excluir preferências (personalizações): cadastrar/excluir preferências quanto ao formato do título e descrição do evento
- Cadastrar/excluir preferências (lembretes): cadastrar/excluir preferências quanto à lembretes relativos ao compromisso (exemplo: cadastrar lembretes na véspera e uma hora antes do agendamento)

- Enviar formulário para votação de horário: envio de formulário para todos os participantes de um compromisso a ser agendado com todas as opções de agenda, sendo que os participantes devem selecionar os horários nos quais possuem disponibilidade
- Utilização de IA para reconhecimento de linguagem natural (NPL): utilização de NPL para identificação e execução de comandos a partir de reconhecimento de parâmetros e solicitações de agendamentos via texto escrito por email (Ex.: Solicitação de agendamento, seguindo os parâmetros: dia, hora, local, tipo de reunião, etc delimitados em linguagem natural no email).
- Utilização de algoritmo de otimização de agendamento: aplicação de uma ou mais técnicas de otimização em um conjunto de parâmetros atrelados ao agendamento objetivando a minimização de uma função objetivo. (Ex.: Minimizar tempo livre entre agendamentos)

2.1.2 Soluções de mercado

- Google Calendar *appointment slots* [9]

Trata-se de uma solução de disponibilização de informações relacionadas à flexibilidade horária oferecida pelo Google Calendar, que permite o agendamento através do compartilhamento de um link no qual estarão detalhados os slots que determinado usuário criou, conforme mostrado na figura 2. Essa solução visa facilitar a disponibilização de horários para agendamentos com objetivos específicos, como um professor que quer compartilhar slots de horários em sua agenda para atendimento de alunos ou um empresário que busca considerar novas ideias de seus funcionários. Nesses exemplos, os próprios alunos ou funcionários acessam o link enviado e marcam a reunião.

Nessa solução, é possível delimitar os horários de disponibilidade por dia, configurar a duração das reuniões dentro dos slots disponíveis, criar visualizações de slots diferentes por indivíduo ou grupo de indivíduos.

Figura 1 – Tela inicial para agendamento com *slots* do Google Calendar

Fonte: Google Calendar [9]

Figura 2 – Tela com *slots* para agendamento do Google Calendar

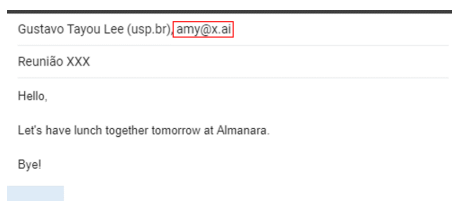
Fonte: Google Calendar [9]

- X.ai [10]

A proposta desta solução parte da contratação da secretária virtual Amy. Amy é uma inteligência artificial baseada na compreensão de linguagem natural escrita integrada com as plataformas Microsoft e Gmail.

Ao adicioná-la à lista de destinatários dos emails, pode-se realizar agendamentos de reuniões através do corpo do texto, conforme a figura 3 A solução de agendamento, por meio da escolha de horário e localização ótimos, recebe como parâmetro de cálculo as configurações de preferências do organizador do evento.

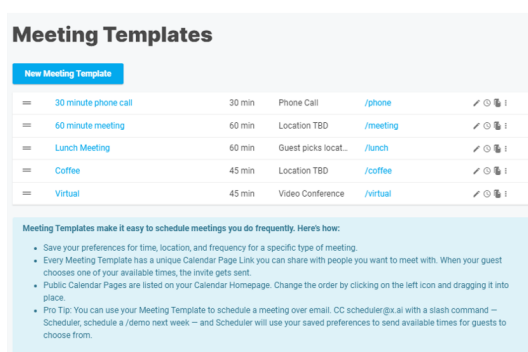
Figura 3 – Exemplo de aplicação X.ai



Fonte: X.ai [10]

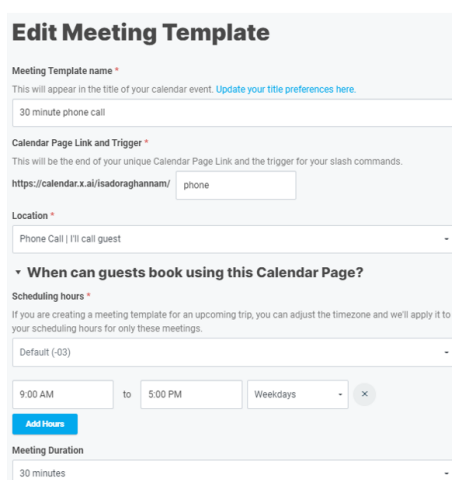
É possível cadastrar slots e disponibilizá-los publicamente por meio de uma interface gráfica fornecida através do link do usuário. As figuras 4, 5 e 6 mostram telas de cadastro de tipos de compromisso. Os parâmetros configuráveis dos slots são: dimensões (Dias da semana, Horário de Início e Horário de Término), duração de agendamento (período pré-determinado de reunião) e intervalo mínimo entre agendamentos.

Figura 4 – Exemplo de tela com templates de agendamento X.ai



Fonte: X.ai [10]

Figura 5 – Exemplo de tela de edição de template X.ai



Fonte: X.ai [10]

Figura 6 – Exemplo de tela de criação de template X.ai

Create Meeting Template

Meeting Template name *
This will appear in the title of your calendar event. [Update your title preferences here.](#)

Calendar Page Link and Trigger *
This will be the end of your unique Calendar Page Link and the trigger for your slash commands.
<https://calendar.x.ai/isadoraghannam/>

Location *
Select a location

▼ When can guests book using this Calendar Page?

Scheduling hours *
If you are creating a meeting template for an upcoming trip, you can adjust the timezone and we'll apply it to your scheduling hours for only these meetings.

Default (-03)

9:00 AM to 5:00 PM Weekdays ×

9:00 AM to 4:00 PM Weekends ×

Add Hours

Meeting Duration
15 minutes

Fonte: X.ai [10]

Ao acessar a página de slot, o convidado pode:

- Selecionar o tipo de reunião (Café, Videoconferência, Almoço, entre outras), conforme figura 7
- Selecionar dia e horário da reunião, disponibilizados de acordo com cadastro de preferências, de slots e algoritmo de otimização da aplicação, conforme figura 8
- Inputar nome, sobrenome e email, assim como outros campos personalizados cadastrados pelo usuário (aparecerão na descrição da reunião)

Figura 7 – Exemplo de tela inicial para agendamento X.ai

Welcome to my scheduling page. Please select a meeting type and follow the steps to schedule a meeting with me.

30 minute phone call →
30 minutes
Phone

60 minute meeting →
60 minutes
Location TBD

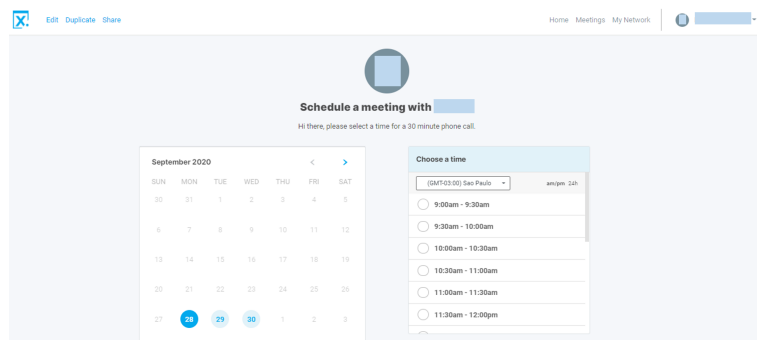
Lunch Meeting →
60 minutes
Guest provides location details

Coffee →
45 minutes
Location TBD

Virtual →
45 minutes
Video Conference

Fonte: X.ai [10]

Figura 8 – Exemplo de tela para agendamento X.ai

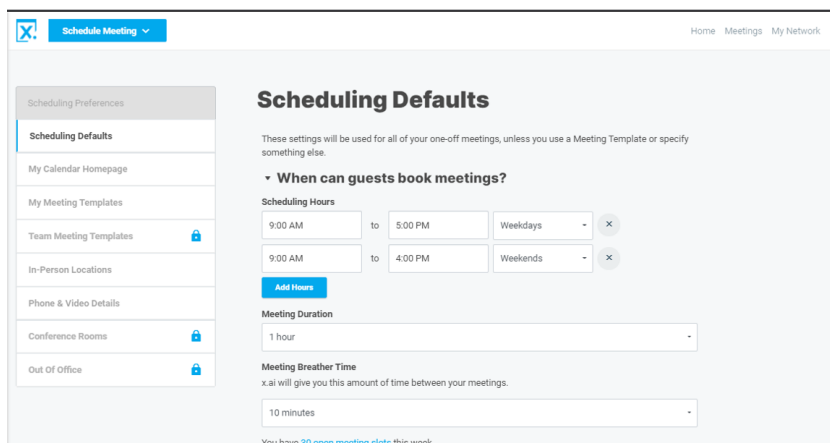


Fonte: X.ai [10]

O cadastro de preferências da plataforma contempla (figuras 9, 10, 11, 12 e 13):

- Período mínimo entre reuniões
- Horário. Configurável para cada dia e categoria de reunião.
- Localização. Configurável para cada categoria de reunião
- Follow-Ups. É possível definir se é possível realizar acompanhamentos periódicos com o usuário. Se sim, é possível definir a quantidade de acompanhamentos máximos e a frequência (diário, semanal, etc)
- Lembretes. É possível definir padrões de email para envio de lembretes de reuniões aos participantes.
- Personalizações. É possível definir o padrão de nomenclatura de reuniões, assim como nota estática padrão para o campo "descrição" do convite

Figura 9 – Tela para definição de horário, duração e período mínimo entre agendamentos do X.ai



Fonte: X.ai [10]

Figura 10 – Tela para definição de preferências de localização do X.ai

Locations

Choose what locations to use by default. You can add, remove, and update locations on the [location settings page](#).

Default Location
Use a default location when no location is mentioned.

Choose a default location

Preferred Locations
Reference a specific location by type. eg. 'Amy, set up a meeting at my office.'

You do not have any locations saved, please [add one](#) to take advantage of this.

Breakfast Pick a location

Lunch Pick a location

Coffee Pick a location

Office Pick a location

Requesting Location Details
By default, you are responsible for choosing a meeting location.

☐ No, ask my guests how they would like to meet.

By default, you are responsible for initiating phone calls.

☐ No, I need my guests to call me at:

Fonte: X.ai [10]

Figura 11 – Tela para definição de preferências de *follow-ups* do X.ai

Follow-ups

Number of Follow-ups
If needed, x.ai will send a certain number of follow-ups to your guests to confirm a time.

Max 1 follow up

Days between Follow-ups
x.ai will leave a certain number of days between follow-ups to your guests. ⓘ

2 days

Fonte: X.ai [10]

Figura 12 – Tela para definição de preferências de lembretes do X.ai

Meeting Reminders (1)

You can enable a Meeting Reminder to notify guests before the meeting's start time. [Learn More](#).

To customize the message, timing, or add multiple reminders, you can upgrade [here](#) to get access.

Timing

1 hour(s) before

Reminder Email Subject

Reminder: [meeting_title] on [meeting_date] at [meeting_time]

Reminder Email Body

Hi [guest_first_name],

This is a friendly reminder that your meeting with [host_first_name] [host_last_name] is on [meeting_date] at [meeting_time].

If you need to make any changes to this, you can go to [this meeting's page]([my.x.ai Meeting Page Link]).

Fonte: X.ai [10]

Figura 13 – Tela para definição de preferências de descrições de agendamentos do X.ai

Personalization

Meeting Titles
Dynamic Smart Titles generate a title by detecting participants, companies, Meeting Template Title (if available), and the type of meeting you're requesting.

<Host(s)>, <Guest(s)> | <Meeting Template Title>

☐ When scheduling over email, use the email subject if there is no Meeting Template Title.

Invite Notes
x.ai will add this text to the "Description" field of all your meeting invites.

If you're running late, please text me at 111-222-3333!

Fonte: X.ai [10]

- MixMax [11]

A MixMax é uma ferramenta com diversas features, porém, quanto ao agendamento, a proposta é enviar por e-mail à pessoa com a qual se deseja reunir, horários selecionados a fim de agendar determinado compromisso. (figuras 14 e 15). Para agendamento de reuniões de grupos, a solução consiste no envio das opções por e-mail. Nesse caso, o participante que recebe o e-mail seleciona as opções para as quais possui disponibilidade. (figuras 16 e 17).

A ferramenta não possui nenhum algoritmo que visa encontrar o melhor horário possível, apenas procura facilitar a localização de um horário comum entre todos envolvidos. Apresenta também a integração com o Google Agenda, de modo que os convites são enviados automaticamente e o horário é reservado em seu calendário.

Figura 14 – Tela para definição disponibilidade do MixMax

Share Availability

Meeting with: []
Where: []
By: No conferencing
Description: []

SCHEDULE ON
☐ Prevent double bookings on this calendar. Learn more
☐ Guests can modify this event.

TIME ZONE
This is displayed in your invitation.
GMT-3 - Sao Paulo, Brazil

Calendars
MY CALENDARS: []
OTHER CALENDARS: []

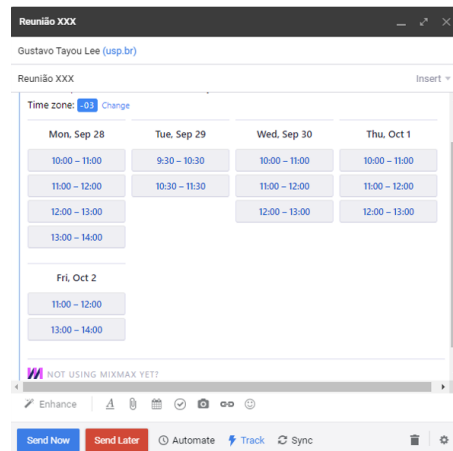
Default length: 60 mins

Calendar grid showing availability for the week of Sep 27-Oct 3, 2020. Time slots from 08:00 to 14:00. Availability is indicated by blue and green blocks.

Buttons: Insert times, Cancel

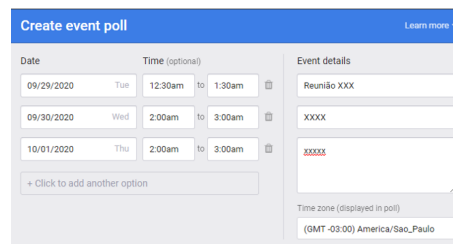
Fonte: MixMax [11]

Figura 15 – Exemplo de e-mail com disponibilidade para agendamento do MixMax. O destinatário do e-mail clica no horário que preferir e o agendamento é feito.



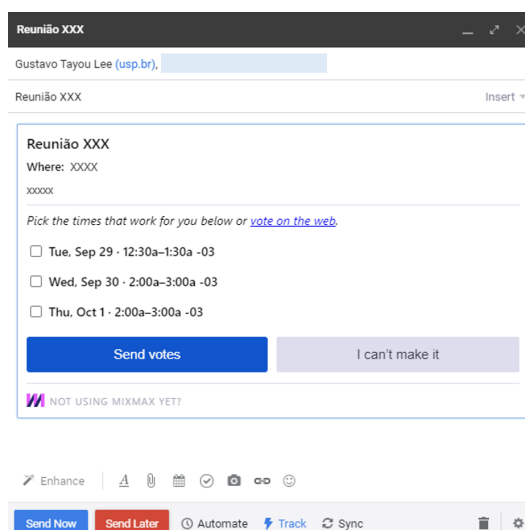
Fonte: MixMax [11]

Figura 16 – Tela para definição de horários possíveis para agendamento de grupo do MixMax



Fonte: MixMax [11]

Figura 17 – Exemplo de e-mail com opções de horários para reuniões de grupos. Os destinatários selecionam todos os horários nos quais possuem disponibilidade e o organizador consegue visualizar a votação e definir uma agenda.



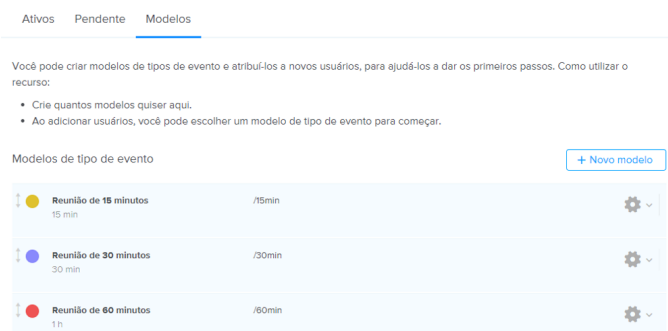
Fonte: MixMax [11]

- Calendly [12]

Trata-se de uma solução de agendamento integrada com as principais plataformas de email (Google, Microsoft), na qual é possível cadastrar slots personalizados por tipo de evento (Almoço, Trabalho, etc) e compartilhá-los por links (semelhante à solução de slots de x.ai). Ademais, o Calendly possui a solução de agendamentos para equipes, por onde é possível gerir e visualizar as agendas dos membros cadastrados na plataforma. Dessa forma, viabiliza-se métodos de alocação de horário baseados nas informações de agenda compartilhadas.

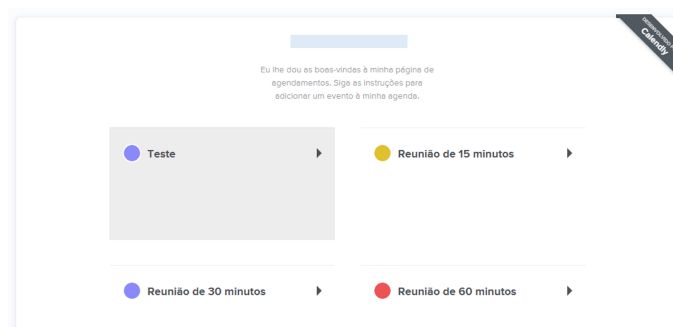
A ferramenta também disponibiliza uma solução visual de automação de processos. Nesse contexto, a solução é proveniente do mapeamento de microprocessos e suas subsequentes automações individuais por meio de workflows (Ex.: Automação do envio de email para coleta de feedbacks; Automação do envio de confirmação relacionada ao agendamento; Automação do envio de lembrete referente ao agendamento) - figura 21.

Figura 18 – Tela para cadastros de templates de agendamentos Calendly



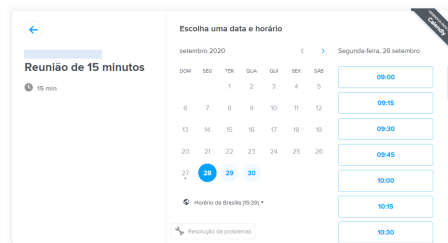
Fonte: Calendly [12]

Figura 19 – Exemplo de tela para agendamento Calendly



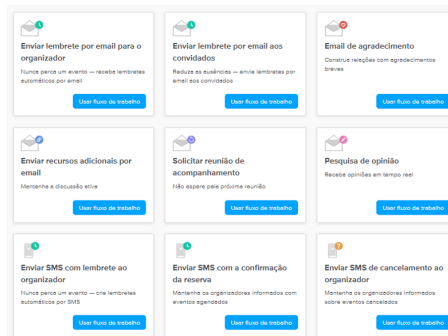
Fonte: Calendly [12]

Figura 20 – Exemplo de tela para agendamento Calendly



Fonte: Calendly [12]

Figura 21 – Tela com opções de controle e automação de processos Calendly



Fonte: Calendly [12]

- You Can Book Me [13]

Semelhante às soluções de slots anteriores (Calendly, X.ai), essa ferramenta também oferece uma solução baseada nesse mesmo mecanismo e, assim como o Calendly, oferece a versão para equipes, no qual é possível visualizar e controlar a agenda dos usuários, permitindo a visualização de horários em comum entre uma seleção de integrantes (imagens 22 e 23).

Figura 22 – Tela com opções horários disponíveis para agendamento do You Can Book Me

Choose a time that works for you.

Americas/Sao Paulo Setembro - Outubro 2020

Sun	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
27	28	29	30	01	02	03
08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00
09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00
13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00
14:00	14:00	14:00	14:00	14:00	14:00	14:00
15:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00
16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00

Fonte: You Can Book Me [13]

Figura 23 – Cadastro de campos para disponibilização de agendamento do You Can Book Me

Booking questions

(FNAME) First name

(LNAME) Last name

(EMAIL) Email

Add question

CAPTCHA Test ☐

All changes saved

Preview Availability Diagnostics ☐

Confirm Agendamento

Agendamento de 08:00 a 09:00 de 01/10/2020

First name (required)

Last name

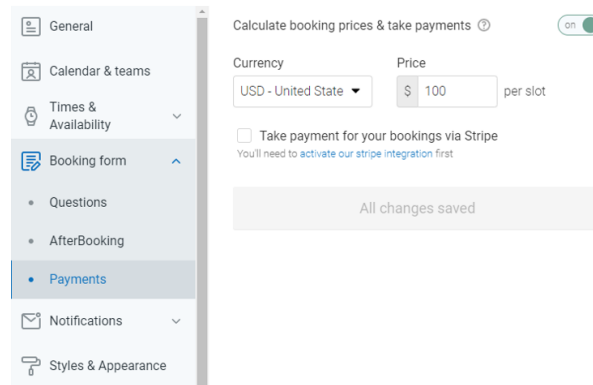
Email (required)

Confirm Agendamento

Fonte: You Can Book Me [13]

Diferente das outras ferramentas, é possível permitir ao agendador definir a duração do agendamento dentro do slot, ter múltiplas reuniões marcadas no mesmo período e integrar a página do slot com uma solução de pagamento online (para agendas pagas) - imagem 24.

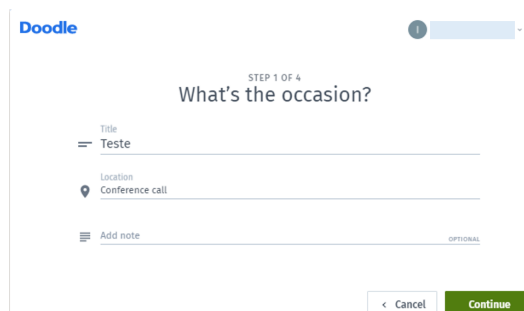
Figura 24 – Tela com solução de pagamento do You Can Book Me



Fonte: You Can Book Me [13]

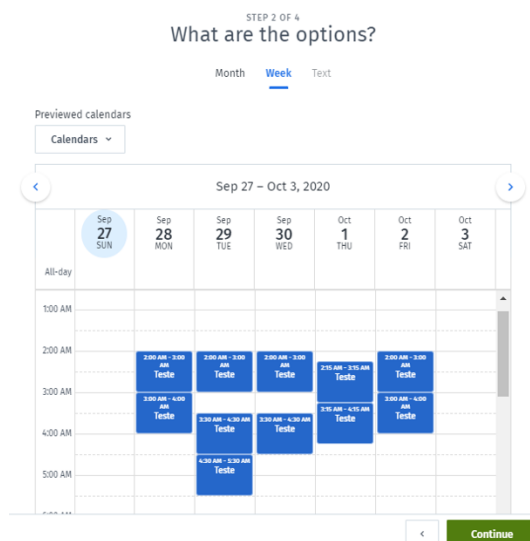
- Doodle Polls [14]

Ferramenta integrada com as principais plataformas de email que propõe a solução de alocação de horário por meio da criação de formulários com opções de horários (semelhante à solução de formulários da MixMax) - imagens 25 e 26 - e da disponibilização visual das respostas dos participantes para auxílio na tomada de decisão do organizador do evento - imagem 27. Apresenta também as features de: tratamento de agendamento entre participantes com fuso horários diferentes, configuração de lembretes automáticos, envio/coleta de formulários entre participantes, integração com outras plataformas populares (Slack, Zoom, etc)

Figura 25 – Tela inicial para criação de *pool* para agendamento Doodle

Fonte: Doodle [14]

Figura 26 – Tela para seleção de horários disponíveis para agendamento Doodle



Fonte: Doodle [14]

Figura 27 – Exemplo de visualização de respostas Doodle

	Sep 28 MON	Sep 28 MON	Sep 29 TUE	Sep 29 TUE	Sep 29 TUE	Sep 30 WED	Sep 30 WED	Oct 1 THU	Oct 1 THU	Oct 2 FRI	Oct 2 FRI
	2:00 AM 3:00 AM	3:00 AM 4:00 AM	2:00 AM 3:00 AM	3:30 AM 4:30 AM	4:30 AM 5:30 AM	2:00 AM 3:00 AM	3:30 AM 4:30 AM	2:15 AM 3:15 AM	3:15 AM 4:15 AM	2:00 AM 3:00 AM	3:00 AM 4:00 AM
1 participant	✓0	✓1	✓0	✓1	✓0	✓1	✓0	✓0	✓0	✓0	✓0
☐	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
☐		✓		✓		✓					

Fonte: Doodle [14]

2.1.3 Soluções patenteadas

- United States Patent US 7.343.312 B2: Event Scheduling With Optimization [15]

A proposta trazida pela International Business Machines Corporation consiste na otimização de uma ou mais variáveis selecionáveis pelo organizador da reunião. Tais variáveis escolhidas são, então, otimizadas, marcando-se uma ou mais reuniões, de acordo com o resultado do algoritmo. Em caso de conflito de horários entre os participantes ou de novas reuniões, o mecanismo recalcula um novo horário de acordo com as variáveis de otimização selecionadas inicialmente e então marca novamente o encontro nas agendas dos participantes.

Dentre as variáveis selecionáveis, estão: participantes, nível de necessidade (necessário/desejável/opcional/aceitável por telefone), data mínima, data máxima, data ideal, preferência de horário (manhã/tarde/noite), preferência de localização e duração.

A metodologia utilizada para a otimização de agendamentos desta ferramenta parte da otimização das variáveis inseridas pelo organizador, como mencionado anteriormente. Um exemplo disso é uma reunião que necessite um certo conjunto de pessoas, buscar minimizar o tempo de deslocamento do grupo especificado, ou uma reunião que possua participantes opcionais objetiva a maximização do número de participantes que atendem aos requisitos da reunião. Outrossim, todas as otimizações tentam minimizar a distância total entre os participantes e o local, levando em consideração o tempo até a reunião e o tempo gasto no trajeto.

O organizador também pode inserir no algoritmo os pesos das variáveis que representam as datas requisitadas, tempo e duração. O sistema, todavia, também utiliza variáveis externas como tamanho da sala, disponibilidade de aparelhos e possibilidade de conferência virtual.

A solução contempla também o fato das variáveis e os pesos serem dinâmicos, podendo mudar com o tempo e a reunião.

A otimização é realizada utilizando-se uma ou um conjunto de técnicas matemáticas não triviais, incluindo programação inteira, programação linear, otimização determinística, heurística de busca baseada em prioridade, algoritmo guloso ou míope, dentre outros métodos.

- United States Patent US 7.027.995 B2: Dynamic resource scheduling to optimize location of meeting participants [16]

James Kaufman e Joann Ruvolo (International Business Machines Corporation) apresentam uma solução de agendamentos baseada na localização em tempo real dos participantes, objetivando otimizar a seleção da local da reunião.

A partir dos inputs de localizações estáticas disponíveis para comportar reuniões e dos inputs dinâmicos de localização dos participantes, o algoritmo verifica qual o melhor ponto de encontro. Em seguida, é verificada a disponibilidade de locais de reunião estáticos. Por fim, é proposto um local para a realização da reunião, o qual pode ser alterado de acordo com os dados mais recentes à medida que o horário da reunião se aproxima.

Outra aplicação relativa à localização dos participantes está associada ao fuso horário no qual cada participante se encontra, de forma que o horário agendado para uma ligação, por exemplo, pode ser otimizado levando em consideração esse aspecto.

São propostas algumas variáveis para que o aprimoramento seja feito, como a

importância de cada participante (peso que sua distância até o local escolhido terá na otimização), locais disponíveis para reunião e tempo de deslocamento. A otimização para encontro da melhor localização é realizada através de algoritmos de clusterização (o algoritmo clusteriza os participantes em quadrantes baseados nas suas distâncias relativas), definindo o centro de massa entre os participantes.

2.2 Revisão de soluções de algoritmos de otimização aplicadas à alocação de horário

Nesta seção serão abordados artigos retirados da literatura no que diz respeito à soluções desenvolvidas e/ou implementadas de alocação de horário, com exceção de soluções com base no método de recozimento simulado, que serão abordadas na próxima seção.

Enembreck e Barthès, em [17], apresentam o algoritmo MULBS (Multiple Local Bounded Search), um novo algoritmo de problema de otimização de restrição distribuída (DCOP), assim como uma formulação DCOP para agendamento de reuniões distribuídas em ambientes colaborativos.

A metodologia DCOP, utilizada para resolução de problemas complexos de otimização, parte do princípio da partição do espaço de busca em pequenos subespaços formados pelas variáveis de restrição, do controle do valor de uma variável e da troca de informações entre as vizinhanças, possibilitando encontrar o conjunto de soluções que minimizem os custos de restrição, podendo ser classificada em algoritmos Top-down e Bottom-up.

O algoritmo proposto pelos autores utiliza os recursos de ambos algoritmos citados acima, resolvendo seus problemas com estratégias específicas, particionadas em duas fases principais: geração de solução candidata global e refinamento da solução candidata.

No trabalho "*Techniques to improve a schedule with optimization*" [18], é proposto uma solução de planejamento de cronogramas de viagens de negócios, uma vez que raramente disponibilizam-se informações sobre locais de trabalho, salas de reuniões disponíveis, conteúdo das reuniões e cronograma de reuniões, colaboradores que estão em viagem de trabalho em outras sedes dificilmente conseguem participar de eventos que sejam de sua expertise que não estejam previamente agendadas ou mapeadas em seu cronograma original, perdendo-se a oportunidade de geração de valor e aumento de sinergia colaborativa.

Objetivando a melhoria da eficiência comunicacional em ambientes de trabalho, a fim de aumentar a qualidade no conjunto de tarefas realizadas pelos colaboradores de uma empresa, em específico, empresas que possuem múltiplas unidades em localizações diferentes, nesta aplicação de patente, são utilizadas técnicas de otimização aplicadas em agendamentos de viagens, assim como o projeto de uma ferramenta que contempla

um método e um meio legível por computador configurado para processar dados de relacionamento associados a potenciais candidatos para um conjunto de reuniões em um cronograma.

A proposta dos autores parte do princípio da análise de um conjunto de informações a respeito dos relacionamentos entre os colaboradores, identificando um conjunto de candidatos potenciais no local e nas datas para agendamento ou manutenção de reuniões pertinentes para a corporação, melhorando assim o cronograma da pessoa através de recomendações ou preenchimentos automáticos de agenda.

O apontamento de candidatos potenciais pode ser determinado por meio qualquer conjunto de métricas, assim como a priorização de tais candidatos pode ser feita de acordo com a sua relevância com o colaborador em viagem, sendo o circuito lógico do sistema responsável pelo processamento de técnicas combinatórias de otimização, cujo objetivo é a maximização da relevância. Vale mencionar também o uso de dados para diminuir o espaço de buscas, viabilizando a otimização.

Resumidamente, a proposta da aplicação envolve o populamento de cronograma de viagem a partir da reserva de viagem realizada pelo colaborador, de forma a acessar os dados de relacionamento entre colaboradores e os dados de projeto para maximizar a relevância do conjunto de reuniões agendadas para o intervalo de viagem do usuário.

Algumas das variáveis levadas em conta nos exemplos de aplicação do artigo são:

- Necessidade/Relevância do colaborador no projeto
- Necessidade de autorização do colaborador no projeto
- Tipo de interação com outro colaborador, interno/externo.
- Priorização de interações externas para vida social e priorização de interações internas para cotidiano de trabalho
- Tipo de comunicação

No artigo *A formal study of distributed meeting scheduling* [19], os autores Sandip Sen e Edmund H. Durfee tratam o agendamento como uma tarefa distribuída na qual um processo de gerenciamento de calendário separado é associado a cada pessoa. Essa abordagem leva a um aumento de privacidade dos usuários e permite o tratamento de preferências pessoais distintas para agendamentos.

Como no estudo proposto pelos autores um dos objetivos colocados é minimizar a quantidade de informação disponibilizada de cada usuário, encontrar horários para agendamentos envolve pesquisas seletivas distribuídas, sendo a discussão central como implementar e controlar tal pesquisa.

Foi desenvolvido um modelo formal para o problema de agendamento distribuído e analisada a aplicação de diferentes estratégias heurísticas, sendo tais estratégias relativas a:

- Como a solicitação de um agendamento é feita pelo anfitrião aos convidados: o anfitrião pode mandar apenas o melhor horário disponível que possui ou alguns bons horários
- Como os convidados respondem: pode ser utilizado apenas “sim ou não” ou os convidados podem propor outros horários
- Como é feita a reserva da agenda enquanto um evento está sendo agendado: todos os possíveis horários para um agendamento ficam bloqueados ou o horário é bloqueado apenas quando o agendamento é confirmado

Nesse artigo, Sandip Sen e Edmund H. Durfee não abordam o desenvolvimento de interfaces, não modelam os processos cognitivos humanos para agendamentos e não propõem uma solução fechada. A ideia é construir um modelo formal para fazer previsões a respeito de estratégias heurísticas, sendo que algumas delas foram verificadas ao longo do trabalho.

A solução proposta por Grinolds, Lerhaupt e Martin [20], consiste na otimização de cronogramas de trabalho por meio de troca de dados de agendas entre usuários, de forma a obter-se o modelo de agenda de cada usuário, contendo slots que representam uma janela de tempo e uma indicação se existe reunião agendada e qual.

A partir das informações dos slots de cada usuário participante da reunião, o algoritmo apresentado calcula o score para certa configuração de horários, com base nas preferências iniciais de reunião e, iterativamente, realiza mudanças na configuração em busca da configuração de maior score. Caso encontrada a nova configuração que satisfaça todos os requisitos da reunião e possua um score maior, são alteradas as agendas dos participantes envolvidos.

As preferências levadas em consideração nesta aplicação foram:

- Horários sugeridos
- Número de reuniões consecutivas preferíveis
- Slots livres de reunião

O algoritmo também contempla a unificação de reuniões, em casos de reuniões múltiplas com múltiplas pessoas que representem um único evento.

O cálculo do score de um conjunto de slots se dá da seguinte forma:

- Cálculo do score de acordo com as preferências primárias de agendamento
- Cálculo do score de acordo com as preferências secundárias de agendamento
- Combinação dos dois scores segundo pesos relativos entre as preferências primárias e secundárias
- Primeira regra de reagendamento. Alteração de duração de reuniões baseadas em pelo menos uma das preferências:
 - Preferências da reunião
 - Restrições da reunião
 - Disponibilidade de slots vazios
- Recálculo de score em slots afetados pelas alterações resultantes da primeira regra de reagendamento
- Combinação do primeiro score com o score reagendado.
- Aplicação de segunda regra de reagendamento.
- Recálculo de scores
- Avaliação de impacto das movimentações realizadas nos scores dos usuários
- Atualização de cronogramas

A primeira regra de reagendamento contempla:

- Geração de dois ou mais slots consecutivos na agenda do usuário dentro das programações do usuário para um ou mais usuários que estão com as agendas livres
- Troca de duas ou mais reuniões no cronograma do usuário em busca de scores maiores

A metodologia de avaliação de movimentações consiste no cálculo dos scores dos slots dos usuários com base somente nas preferências do usuário e na comparação, por meio da subtração, deste resultado o score resultante da otimização.

O artigo *Method and apparatus for optimizing constraint-based data* [21] é outro exemplo de otimização de agendamentos, porém aplicado ao setor da saúde. O objetivo do artigo visa otimizar a criação de cronogramas de profissionais da saúde, combinando a oferta total de médicos com a demanda projetada em serviços, atendendo à um conjunto de restrições.

Devido à expressiva quantidade de possibilidades de cronogramas entre certo grupo de pessoas, a solução proposta consiste na construção de uma série de inequações, por

meio de restrições internas e inputs dos usuários, gerando assim um modelo matemático que possa ser eficientemente resolvido por soluções comerciais disponíveis (MIP Solvers).

A solução contempla:

- Análise de dados aplicado à projeção de demandas clínicas
- Tradução da projeção de demanda em estrutura de dados eficiente, preciso e manipulável
- Conversão da estrutura de dados em desigualdades matemáticas

De modo geral, a solução permite e auxilia a criação e cronogramas de trabalho de larga escala no setor da saúde, mantendo o balanço de carga de trabalho semanal do profissional da saúde. O profissional cadastra suas preferências na aplicação, de modo a obter-se um conjunto de preferências como:

- número máximo e mínimo de consultas por período do dia e tipo de consulta/reunião
- períodos de almoço
- tipo de serviço realizados pelo profissional
- período de cada tipo de consulta
- ordem de agendamento de tipos de consulta/reunião

O responsável pela alocação da força de trabalho pode criar cronogramas com base nos dados adicionados pelos profissionais, nos dados provenientes da projeção de demanda e no tipo de escala a ser montada, sendo possível mensurar e visualizar possíveis alternativas para a alocação de profissionais em determinado horário.

Em seu trabalho “Proposta de um protocolo de negociação em sistemas multiagente para agendamento automático de reuniões” [22], Rodrigo de Mello busca compreender o processo de negociação em sistemas multiagente e realiza um estudo de caso para o agendamento de reuniões baseado em agentes.

Foi utilizada a metodologia STRATUM para descrever o protocolo. Tal metodologia possui o propósito de guiar o desenvolvimento de estratégias de negociação e possui cinco estágios fundamentais para sua utilização:

1. Especificação dos objetivos do agente
2. Descrição das capacidades do agente
3. Construção do ambiente em que o agente está inserido

4. Construção de estratégias e táticas
5. Teste e refinamento

São utilizadas como estratégias de negociação a geração de feedback e a métrica do esforço, sendo que a estratégia utilizada é definida de acordo com a região de aceitação de um agente para que a cada iteração a solução - o agendamento - esteja mais perto de ocorrer.

É mostrado que a utilização de apenas uma técnica de negociação pode acarretar em alguns problemas, como atrasos na definição de consensos ou falhas ao realizar o melhor agendamento possível de acordo com as preferências dos usuários, de forma que o protocolo apresentado defende o uso de várias técnicas de negociação visando alcançar melhores resultados.

2.3 Revisão de soluções de aplicações de Recozimento Simulado

De acordo com Grabusts, Musatovs e Golenkov [23], o método de recozimento simulado é um método de otimização estocástica usado para a otimização da função objetivo, permitindo a localização do extremo global para as funções que tenham mínimos locais. Os mesmos ressaltam que o que difere o método de outros algoritmos de otimização de implantação de gradiente pelo fato do método não se limita ao encontro de mínimos locais. Embora o algoritmo seja um procedimento relativamente lento, ele garante a descoberta de uma solução ótima.

Neste artigo, os autores descrevem o método de otimização de recozimento simulado assim como mostram sua aplicação na decisão da rota logística ótima de uma grande empresa de carnes e laticínios.

A aplicação prática do método requer as especificações:

- Modelagem da função objetivo a ser minimizada (ou maximizada)
- Delimitação do espaço amostral possível do sistema
- Configuração de estado inicial do sistema
- Definição do gerador de variações
- Definição dos parâmetros de controle da temperatura

A função de probabilidade de aceitação de vizinhanças com energias maiores segue a função de distribuição de probabilidade de Boltzman, sendo ela:

$$Pr(e) \sim e^{-E/kT}$$

. Desta forma, o sistema possui a probabilidade adequada de se trocar de estado do mínimo local para estados melhores, garantindo a localização do mínimo global.

No exemplo de aplicação, os autores tratam o problema logístico como um problema do caixeiro viajante, considerando na modelagem do problema:

- A matriz de distâncias entre os locais n
- A rota como sendo uma rota fechada e completa, ou seja, passando por todos os locais de interesse uma única vez, com exceção do ponto de início
- O transporte entre as cidades é o conjunto gerado pela permutação cíclica entre dois locais
- O conjunto de configurações possíveis é a permutação cíclica de $1, \dots, n$
- A função custo é definida como a distância do trajeto

De acordo com Jonas Knopman [24], o projeto de um algoritmo de annealing compreende 5 partes:

1. Espaço de estados: A representação dos estados possíveis para o sistema deve ser simples e facilitar a fácil geração de perturbações.
2. Geração de novos estados: As regras para a geração de novos estados devem ser flexíveis o bastante para permitir que qualquer solução seja atingida a partir de transformações no estado inicial. Além disso, os novos estados devem ser gerados a um custo relativamente baixo uma vez que muitos deles devem ser gerados durante a execução do algoritmo.
3. Cálculo do custo de uma configuração: O custo de uma configuração deve ser calculado incrementalmente de modo que o tempo para avaliar uma nova configuração seja mínimo.
4. Resfriamento: O esquema de resfriamento da temperatura T é crucial para o bom desempenho do algoritmo: temperaturas iniciais muito baixas ou um resfriamento muito rápido podem levar a soluções não satisfatórias. Temperaturas iniciais muito altas ou um resfriamento muito lento levam a um custo de processamento muito alto.

5. Estruturas de dados: A habilidade de propor e avaliar novas configurações eficientemente depende de uma representação eficiente dos dados do problema. Para o problema de placement, isto significa estruturas projetadas de modo que a localização dos módulos e a conectividade do circuito sejam facilmente acessadas

Em [25], Teramoto, Morinaga, Wakamatsu e Arai propõe uma solução para o problema NP (tempo polinomial não determinístico) para desenho de jornada de trabalhos em fábricas de produção de alta variedade e baixo volume baseada no algoritmo de recozimento simulado, contemplando também no método uma busca direcionada, evitando a busca do algoritmo em direções erradas.

Os autores defendem o uso do algoritmo a partir da primeira jornada montada pelo planejista, uma vez que o conhecimento especialista é necessário para um bom chute inicial do algoritmo e que, sem um ponto de partida razoável, o algoritmo torna-se ineficiente e pode não levar a resultados satisfatórios.

Nesse estudo, o objetivo de otimização abordado consiste em:

- Minimização da média do tempo de produção, sendo este definido como a diferença entre o horário de início e de término de um trabalho.

Apesar do artigo tratar somente deste problema, os autores citam também a importância na minimização do volume de manufaturas em produção no ambiente estudado.

Os objetos considerados são:

- Máquina (M)
- Trabalho (J)
- Operação (O)

O algoritmo aplicado consiste em:

1. Decidir:

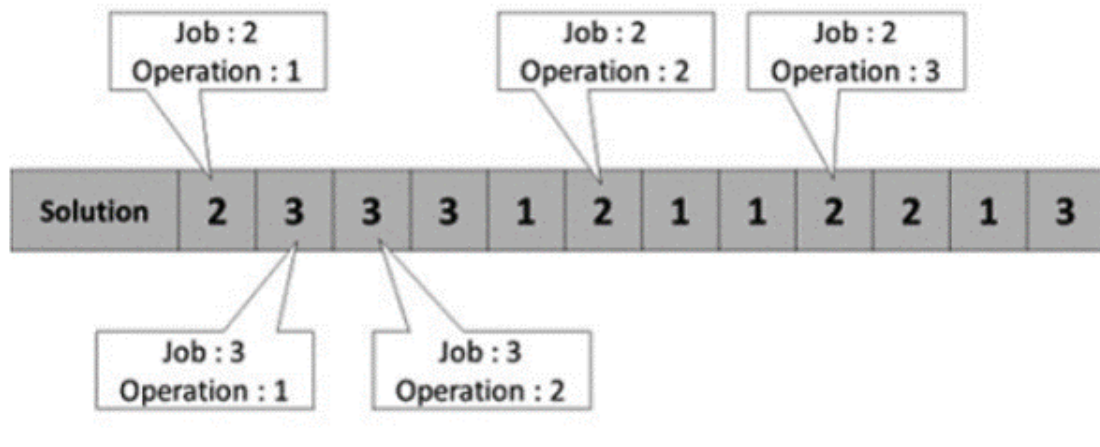
- a) solução inicial x_s
- b) temperatura inicial T_s
- c) temperatura final T_f
- d) taxa de resfriamento R (menor que 1)
- e) número de repetições em cada temperatura C

2. Inicializar:

- a) solução inicial $x = x_s$
 - b) parâmetro de temperatura $T = T_s$
 - c) solução temporária $x^* = x$
3. Inicializar contador $k=1$
 4. Selecionar randomicamente uma solução y na vizinhança $N(x)$ e calcular $\Delta = f(y) - f(x)$
 5. Aplicar função probabilidade de troca de solução:
 - a) 1 se $\Delta \leq 0$
 - b) $e^{-\Delta/T}$ se $\Delta > 0$
 6. Se $f(y) < f(x^*)$, atualizar solução temporária $x^* = y$
 7. Incrementar contador $k=k+1$
 8. Se $k < C$, ir para o passo 3, caso contrário, ir para o passo 9
 9. Atualizar a temperatura pela taxa de resfriamento $T = RT$. Se $T > T_f$, ir para o passo 3, caso contrário, aceitar a solução temporária x^* como solução final.

A representação utilizada para a modelagem foi a representação permutacional, sendo ela o vetor unidimensional representado pela combinação de operações O necessárias para a execução dos trabalhos j , com j de 1 à J . Os elementos desse vetor são ordenados de acordo com seus valores, sendo os valores dos elementos a representação do número de operação do trabalho. O número da operação é determinado pelo número de ocorrências do valor nos elementos localizados antes do elemento. Sendo possível gerar um cronograma e avaliar o tempo médio de produção atribuindo a operação representada por cada elemento até o primeiro tempo ocioso da máquina na ordem de prioridade.

Figura 28 – Exemplo de representação permutacional



Fonte: *A Neighborhood Limitation Method for Job-Shop Scheduling Based on Simulated Annealing* [25]

A vizinhança é então definida como o conjunto de soluções geradas através da seleção e da troca de dois elementos.

Os métodos propostos pelos autores podem ser descritos como:

Primeiro Método:

1. Encontrar operação com maior tempo de espera e definir a operação O_{mn} e o tempo de espera LWT_{mn}
2. Armazenar as operações no maior tempo de espera no vetor de operações candidatas
3. Selecionar uma operação randomicamente a partir do vetor e definir como A
4. Definir a última operação da máquina como B
5. Trocar A com B
6. Retornar a próxima vizinhança

Segundo Método:

1. Escolher a operação mais demorada O_{mn} , que está no tempo de espera WT_{ij} e definir a operação como A
2. Definir a última operação como B
3. Trocar A com B
4. Retornar a próxima vizinhança

No artigo “Job Scheduling in Cloud Computing Using a Modified Harris Hawks Optimization and Simulated Annealing Algorithm”, os autores Ibrahim Attiya, Mohamed Abd Elaziz, Shengwu Xiong [26] desenvolvem um trabalho a respeito da definição da jornada de trabalho em computação na nuvem utilizando um algoritmo de recozimento simulado modificado de Harris Hawks Optimization (HHOSA). Foi utilizado o modelo de Infrastructure as a Service (IaaS) em nuvem para a análise de gerenciamento de recursos. O resultado obtido demonstra que o algoritmo utilizado deixa a jornada de trabalho do computador mais rápida quando comparado ao algoritmo Harris hawks optimization (HHO) tradicional. Além disso, a conversão é mais rápida quando o domínio de busca é grande, fazendo com que este seja um algoritmo apropriado para problemas de jornada de larga escala.

O HHO tradicional trata-se de um algoritmo de otimização meta-heurístico proposto recentemente [26] inspirado no comportamento de uma ave - águia-de-harris - que visa evitar máximos locais transitando entre exploration (busca em diferentes regiões do domínio no qual se está trabalhando) e exploitaion (busca ao redor de soluções já encontradas para buscar melhorias). Todavia, o HHO possui limitações que afetam sua performance: sua habilidade de exploitation é maior que a de exploitation e há espaço para melhorias quanto à velocidade de convergência e qualidade das soluções. Dado esse contexto, os autores propõem um algoritmo híbrido, chegando ao HHOSA.

Solução Proposta

3.1 Requisitos

A partir da revisão bibliográfica, foram mapeadas as soluções e features encontradas na literatura, assim como especificado o escopo de trabalho deste projeto resumidamente nas tabelas 1, 2 e 3.

Percebe-se que a maioria das soluções comerciais mapeadas utilizam alguma forma de solução baseada no pré cadastramento de preferências de horários e no seu compartilhamento (slots). Partindo do mesmo princípio, para a modelagem das restrições do algoritmo de recozimento simulado, serão levados em consideração:

- A discretização do espaço temporal em intervalos de 15 minutos (tempo mínimo encontrado nas soluções de mercado).
- As restrições impostas pelo usuário de:
 - Disponibilidade, em função do dia da semana
 - Tempo mínimo entre agendamentos
- As preferências/prioridades definidas pelo usuário de:
 - Período (matutino, vespertino, noturno)
 - Espaçamento entre reuniões (compactadas, distribuídas)

Esta solução terá como objetivo a minimização da somatória da sobreposição de horários de todos os participantes da reunião, sendo essa definida como $\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I S \cap A_{ni}$, sendo S a sugestão de horário e A a agenda referente a i -ésima reunião agendada do n -ésimo participante, incluindo o organizador, da reunião a ser alocada.

É importante ressaltar que a solução será implementada neste projeto somente no evento de criação da reunião, de modo a atuarmos somente na identificação de uma sugestão

Tabela 1 – Soluções analisadas

Número	Nome	Tipo de Solução	Referência
1	Google Calendar	Comercial	[9]
2	X.ai	Comercial	[10]
3	MixMax	Comercial	[11]
4	Calendly	Comercial	[12]
5	You Can Book Me	Comercial	[13]
6	Cirrus Insight	Comercial	[27]
7	Doodle Polls	Comercial	[14]
8	Patente n° US7343312B2	Patente	[15]
9	Patente n° US7027995B2	Patente	[16]
10	Distributed constraint optimization with mulbs	Literatura	[17]
11	Patente n° US 6/254030	Patente	[18]
12	A formal study of distributed meeting scheduling	Literatura	[19]
13	Patente n° US 5/933086	Patente	[20]
14	Patente n° US 5/461884	Patente	[21]
15	Proposta de um protocolo de negociação em sistemas multiagente para agendamento automático de reuniões	Literatura	[22]
16	Solução Proposta	Literatura	Elaborada pelo autor

Tabela 2 – Comparação entre features das soluções analisadas

Features	Soluções															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Slots	x	x	x	x	x	x										
Preferências: Intervalo de Datas										x				x	x	x
Preferências: Período do dia		x						x	x							
Preferências: Duração										x				x		
Preferências: Intervalos de Descanso																x
Preferências: Localização		x						x	x							
Preferências: Qualidade da Sala										x						
Preferências: Agendamentos Subsequentes		x			x											
Preferências: Necessidade da pessoa na reunião										x	x		x			
Preferências: Necessidade de autorização presencial													x			
Preferências: Tipo de interação entre participantes													x			
Preferências: Forma de comunicação													x			
Preferências: Personalizações Visuais		x			x											
Preferências: Lembretes		x			x		x									
Workflows				x		x										
Enviar Formulário para Votação de horário			x					x								
Visualizar Horários em Comum				x	x		x	x	x							
Tipo de reunião																
IA: Reconhecimento de linguagem natural		x														
Otimização de Agendamento		x						x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabela 3 – Comparação entre funções objetivo das soluções analisadas

Solução	Funções Objetivo					
	Minimização do tempo total de deslocamento	Maximização de participantes que atendam aos requisitos	Minimização de horários conflitantes	Maximização da relevância da pessoa na reunião	Minimização de informações compartilhadas	Maximização de score
8	x	x				
9	x					
10	x		x			
11				x		
12					x	
13						x
14						
15						
16		x	x			

de horário de duração, número de participantes e limitações máximas e mínimas no espaço de amostral de busca pré-estabelecidas pelo organizador do evento que atenda aos critérios pré-estabelecidos pelos participantes e minimize a sobreposição de horários entre as agendas dos participantes no momento de criação do evento e a sugestão de horário retornado pelo algoritmo, não sendo abordadas as problemáticas de cancelamento/reagendamento de reunião e realocação de horários já agendados.

A confecção da interface visual se dará por meio do desenvolvimento de uma extensão Chrome em javascript, atendendo os seguintes requisitos:

- Captura e envio de campos por meio de objeto formulário
- Integração com o servidor para envio e recebimento de informações

O servidor será desenvolvido em python utilizando o framework web Flask [28], baseado nas bibliotecas WSGI Werkzeug [29] e Jinja2 [30], atendendo os seguintes requisitos:

- Integração com API fornecida pelo Google Calendar para:
 - Autenticação de usuários
 - Leitura de eventos da agenda do usuário
 - Registro de evento na agenda do usuário
- Serviço de alocação de horários baseado na aplicação da técnica de recozimento simulado, contemplando:
 - Algoritmo de cálculo da função objetivo
 - Algoritmo para discretização do espaço de buscas e geração de vizinhanças
 - Algoritmo de recozimento simulado
 - Função de retorno e agendamento de horário resultante via API

O desenho do processo a ser otimizado utilizando o recozimento simulado pode ser descrito abaixo:

1. Necessidade de agendamento de reunião com participação de uma ou mais pessoas em um período delimitado
2. Acesso à ferramenta pela interface do plugin e envio de solicitação de agendamento ao servidor de acordo com os parâmetros inseridos pelo usuário
3. Recebimento de solicitação pelo servidor e chamada de serviço de alocação de horário
4. Leitura de agendas e preferências cadastradas pelos participantes da reunião

5. Processamento do algoritmo de recozimento simulado e retorno de horário ótimo a partir da simulação do custo de sugestões de horários na agenda de todos os participantes
6. Chamada à API de criação de eventos (Google Calendar) utilizando como parâmetros lista de participantes e sugestão de horário retornado pelo algoritmo de recozimento simulado
7. Retorno ao organizador do evento com horário sugerido pelo algoritmo e status da requisição, indicando agendamento realizado ou possível erro de integração.

3.2 Casos de Uso

Os casos de uso desenhados para o sistema são:

- Agendar Reunião:
 - Descrição: Permite ao usuário selecionar pessoas e realizar um agendamento de videoconferência com elas, sendo o horário deste agendamento definido de acordo com o resultado do algoritmo de recozimento simulado.
 - Fluxo Básico:
 - * O usuário preenche os campos:
 - Título da reunião
 - Participantes
 - Duração
 - A partir de
 - Até
 - Prioridade
 - Impacto
 - Urgência
 - * O usuário clica no botão agendar
 - * Extensão Chrome dispara campos coletados para o servidor
 - * O servidor captura e processa os dados
 - * O servidor executa a função "alocar_horario" com os parâmetros recebidos
 - * O servidor envia requisição ao Calendar marcando a reunião
 - Pós-Condições:
 - * Exibe tela com melhor agendamento encontrado e com a confirmação de que os convites foram enviados

- Cadastrar Preferências:
 - Descrição: Permite ao usuário cadastrar suas preferências de agendamento que servirão de restrições e pesos no algoritmo de recozimento simulado
 - Fluxo Básico:
 - * O usuário preenche os campos:
 - Período do dia
 - Tempo mínimo entre agendamentos
 - Espaçamento
 - Matriz de disponibilidades: Intervalos de uma hora versus Dia da Semana
 - * O usuário clica no botão Cadastrar Preferências
 - * Extensão chrome dispara campos coletados para o servidor
 - * O servidor captura e processa os dados
 - * O servidor executa a função "cadastrar_preferencia"s com os parâmetros recebidos
 - * O servidor cadastra no banco de dados as preferências do usuário
 - Pós-Condições:
 - * Exibe tela com confirmação de cadastro de preferências

Figura 29 – Esboço da interface visual da solução

Agende uma reunião preenchendo as informações abaixo:

Título

Participantes

Duração

A partir de

Até

Prioridade

Impacto

Urgência

AGENDAR

Cadastre suas preferências preenchendo as informações abaixo:

Período do dia

Espaçamento

Tempo mínimo entre agendamentos

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
06:00							
07:00							
08:00							
09:00							

CADASTRAR PREFERÊNCIAS

Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Figura 30 – Interface visual desenvolvida

The image displays two web forms. The first form, titled 'Agende uma reunião preenchendo as informações abaixo:', contains input fields for 'Assunto' (text), 'A partir de' (date and time with a calendar icon), 'Prioridade' (dropdown with 'P1'), 'Participantes' (text), 'Até' (date and time with a calendar icon), 'Impacto' (dropdown with 'Alto'), 'Duração' (dropdown with '30min'), and 'Urgência' (dropdown with 'U1'). A blue 'Agendar' button is at the bottom. The second form, titled 'Cadastre suas preferências preenchendo as informações abaixo:', contains dropdowns for 'Período do dia' (set to 'Manhã'), 'Espaçamento' (set to 'Reuniões em sequência'), and 'Tempo mínimo entre agendamentos' (set to '15min'). A blue 'Cadastrar preferências' button is at the bottom.

Fonte: Imagem elaborada pelo autor

3.3 Projeto

O projeto desenvolvido tem como objetivo a construção de uma ferramenta piloto que permita ao usuário realizar agendamentos otimizados por meio da aplicação do algoritmo de recozimento simulado.

Este serviço será disponibilizado ao usuário a partir da extensão chrome desenvolvida neste projeto. Devido à limitações de seguranças impostas pela plataforma, os mecanismos de autenticação apresentam a necessidade de processos extras a serem executados pelo usuário final. Para fins de validações, foram criadas contas de desenvolvimento, realizando as autenticações e os processos manualmente a fim de armazenar os tokens de segurança necessários à integração das contas de desenvolvimento.

O processamento das solicitações dos usuários será realizado pelo servidor local desenvolvido a partir do framework Flask [28]. O servidor disponibilizará duas endpoints para requisições, sendo elas:

- Agendar Reunião:
 - Parâmetros de entrada:
 - * Título da reunião
 - * Lista de participantes da reunião
 - * Duração da reunião
 - * Data e hora de início do espaço de busca
 - * Data e hora de fim do espaço de busca

- * Lista com prioridade, impacto e urgência
- Parâmetros de saída:
 - * log de erro
 - * Data e hora dos horários de início e fim agendados
- Salvar Preferências:
 - Parâmetros de entrada:
 - * Período do dia
 - * Espaçamento
 - * Tempo mínimo entre agendamentos
 - Parâmetros de saída:
 - * log de erro
 - * Parâmetros salvos
 - * Parâmentros anteriores

A requisição recebida através do endpoint Agendar Reunião irá:

- Processar os dados recebidos
- Carregar as configurações dos usuários da lista de participantes
- Solicitar ao Google Calendar e carregar as agendas dos participantes
- Acionar a função de recozimento simulado
- Enviar ao Google Calendar o novo evento e carregar resposta
- Retornar log e evento agendado

Já a requisição recebida através do endpoint Salvar Preferências irá:

- Processar os dados recebidos
- Carregar as preferências do usuário
- Alterar as preferências do usuário
- Retornar log, preferências anteriores e novas

3.3.1 Algoritmo de Recozimento Simulado

O algoritmo de recozimento simulado aplicado neste projeto consiste na minimização da função custo $C(x)$, sendo x o estado do sistema.

O estado do sistema é definido neste projeto por:

- Horário de início do evento
- Horário de término do evento
- Lista de participantes e respectivas agendas.

Em linhas gerais, a lógica do algoritmo desenvolvido pode ser descrita abaixo.

1. Definir:

- a) Estado inicial S_i
- b) Temperatura inicial T_i
- c) Temperatura final T_f
- d) Taxa de resfriamento α (menor que 1)

2. Inicializar:

- a) Solução inicial $S = S_i$
- b) Temperatura $T = T_i$
- c) Vizinhaça $N(x)$

3. Iterar até $T < T_f$

- a) Selecionar randomicamente uma solução S_n na vizinhaça $N(x)$
- b) Calcular diferença entre custos das soluções $\Delta = C(S_n) - C(S)$
- c) Se $\Delta > 0$ $S = S_n$
- d) Caso contrário, aplicar função probabilidade de troca de solução:
 - i. Se número randomico entre 0 e 1 $< e^{-\Delta/T}$: $S = S_n$
- e) Atualizar a temperatura pela taxa de resfriamento $T = T - \alpha$.

A vizinhaça neste projeto foi modelada como o conjunto de todos os eventos possíveis, discretizados em intervalos de 15 minutos, dentro do intervalo de busca definido pelo usuário.

O funcionamento do algoritmo se dará de modo a permitir-se a aceitação de soluções de custos piores em maior frequência enquanto o sistema estiver em estados elevados de energia/temperatura e à medida que este resfria-se, diminuir-se-á a frequência de aceitação de soluções inferiores, segundo o fator de Boltzmann. Este comportamento diminui a dependência do algoritmo do ponto inicial de pesquisa e permite a busca de soluções mais distantes, evitando a convergência do algoritmo em mínimos locais.

3.3.2 Função Custo

A função custo, ou função objetivo, é definida neste projeto como sendo a soma ponderada dos custos de:

- Sobreposição: Somatória da intersecção entre os eventos nas agendas dos participantes e a sugestão de horário selecionado randômicamente entre o espaço amostral

Figura 31 – Exemplo 1 - Custo de Sobreposição

Dia Sugerido 09/12/2020

Início	Fim	Agenda Usuário 1	Agenda Usuário 2	Agenda Usuário 3	Sugestão
08:00	08:30	1	0	1	0
08:30	09:00	1	0	1	0
09:00	09:30	1	0	1	0
09:30	10:00	1	0	1	0
10:00	10:30	1	1	1	0
10:30	11:00	1	1	1	0
11:00	11:30	1	1	0	1
11:30	12:00	1	1	0	1
12:00	12:30	0	1	0	0
12:30	13:00	0	1	0	0
13:00	13:30	0	1	0	0
13:30	14:00	0	1	0	0
14:00	14:30	1	0	0	0
14:30	15:00	1	0	0	0
15:00	15:30	1	0	0	0
15:30	16:00	1	0	0	0
16:00	16:30	1	0	0	0
16:30	17:00	1	0	0	0
17:00	17:30	1	0	0	0
17:30	18:00	1	0	0	0
18:00	18:30	1	0	0	0
18:30	19:00	1	0	0	0
19:00	19:30	0	0	0	0
19:30	20:00	0	0	0	0

Custo Sobreposição:
60 + 60 = 120
(minutos)

Fonte: Imagem elaborada pelo autor

- $\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I S \cap A_{ni}$, sendo S a sugestão de horário e A a agenda referente a i-ésima reunião do n-ésimo participante.
- *No cálculo da sobreposição são considerados as preferências de intervalos mínimos entre agendamentos cadastrados pelos usuários, de forma a refletir

um adiantamento do horário de início do evento sugerido e um postergamento do horário de fim do mesmo, resultando em um incremento no intervalo de 2 * Intervalo Mínimo.

- Período Preferencial: Somatória da intersecção entre o evento sugerido e o intervalo referente ao período preferencial dos usuários

Figura 32 – Exemplo 1 - Custo de Período Preferencial

Dia Sugerido 09/12/2020

Início	Fim	Período Pref. 1	Período Pref. 2	Período Pref. 3	Sugestão
08:00	08:30	-1			0
08:30	09:00	-1			0
09:00	09:30	-1			0
09:30	10:00	-1			0
10:00	10:30	-1			0
10:30	11:00	-1			0
11:00	11:30	-1			1
11:30	12:00	-1			1
12:00	12:30		-1		0
12:30	13:00		-1		0
13:00	13:30		-1		0
13:30	14:00		-1		0
14:00	14:30		-1		0
14:30	15:00		-1		0
15:00	15:30		-1		0
15:30	16:00		-1		0
16:00	16:30		-1		0
16:30	17:00		-1		0
17:00	17:30		-1		0
17:30	18:00		-1		0
18:00	18:30			-1	0
18:30	19:00			-1	0
19:00	19:30			-1	0
19:30	20:00			-1	0

Custo Sobreposição Período Preferencial: -60 (minutos)

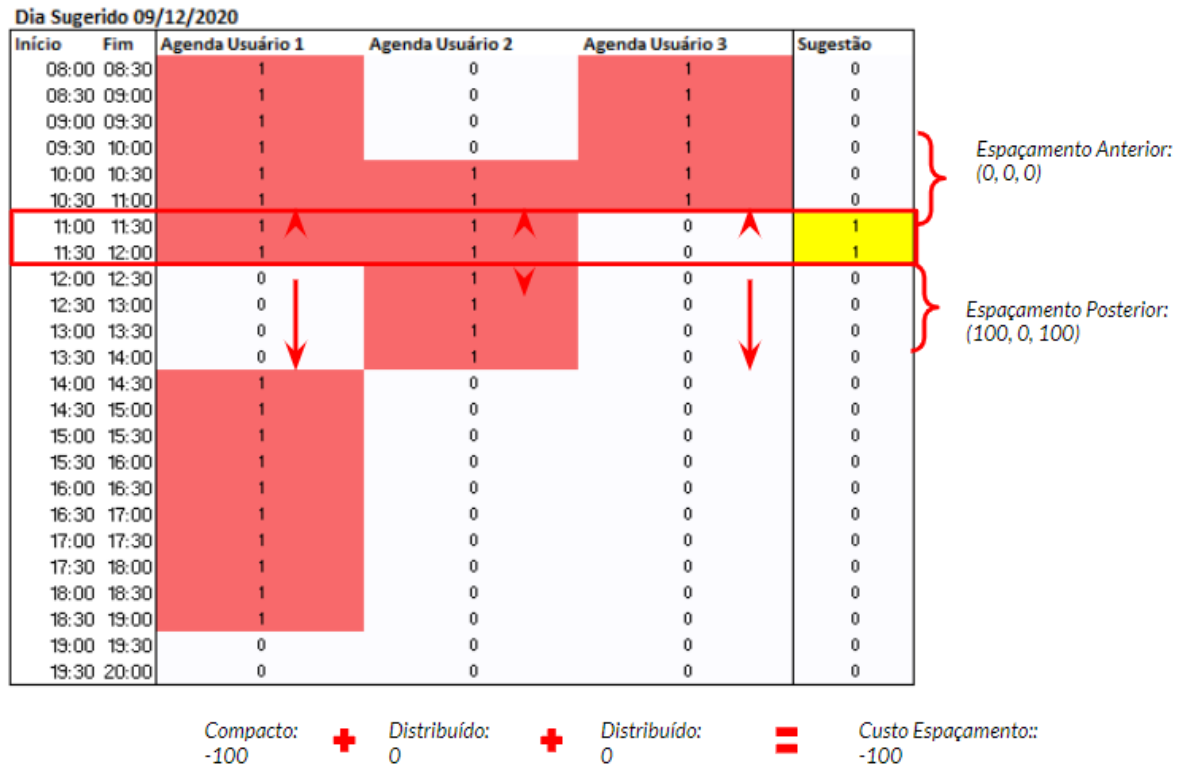
Fonte: Imagem elaborada pelo autor

– $\sum_{n=1}^N S \cap P_n$, sendo P o período preferencial do n-ésimo participante.

1. Matutino: 06h00 - 12h00
2. Vespertino: 12h00 - 18h00
3. Noturno: 18h00 - 22h00

- Espaçamento Preferencial: Somatória do score de espaçamento dos participantes, sendo este definido por:

Figura 33 – Exemplo 1 - Custo de Espaçamento Preferencial



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

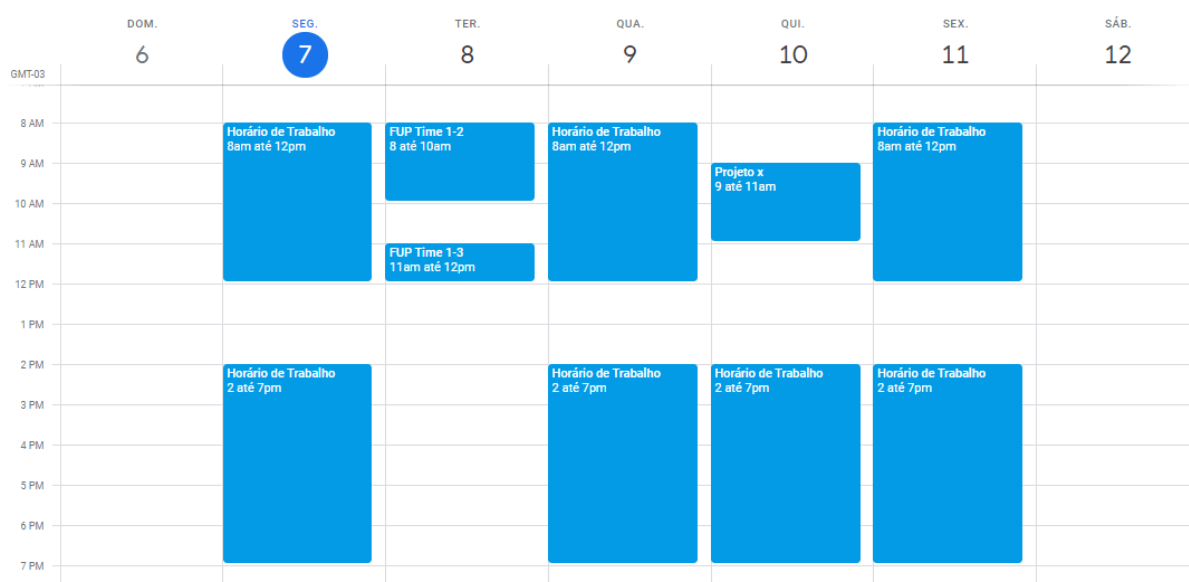
- Espaçamento posterior (E_p): Mínima diferença entre o horário de início dos eventos posteriores à sugestão e o horário de término da sugestão por participante
 - Espaçamento anterior (E_a): Mínima diferença entre o horário de término dos eventos anteriores à sugestão e o horário de início da sugestão por participante
- * Compacto: $K / \min(E_p; E_a)$
 - * Espaçado: $K * \min(E_p; E_a) / \text{media}(E_p; E_a)$
 - * Sendo K uma constante maior que 100.

Resultados

Foram criados usuários de desenvolvimento para a validação do algoritmo e ajustes de constantes. Os testes foram realizados nas seguintes condições:

- Usuário 1:
 - Tempo livre preferencial: 15 minutos
 - Período preferencial: matutino
 - Espaçamento preferencial: compacto

Figura 34 – Agenda do Usuário 1

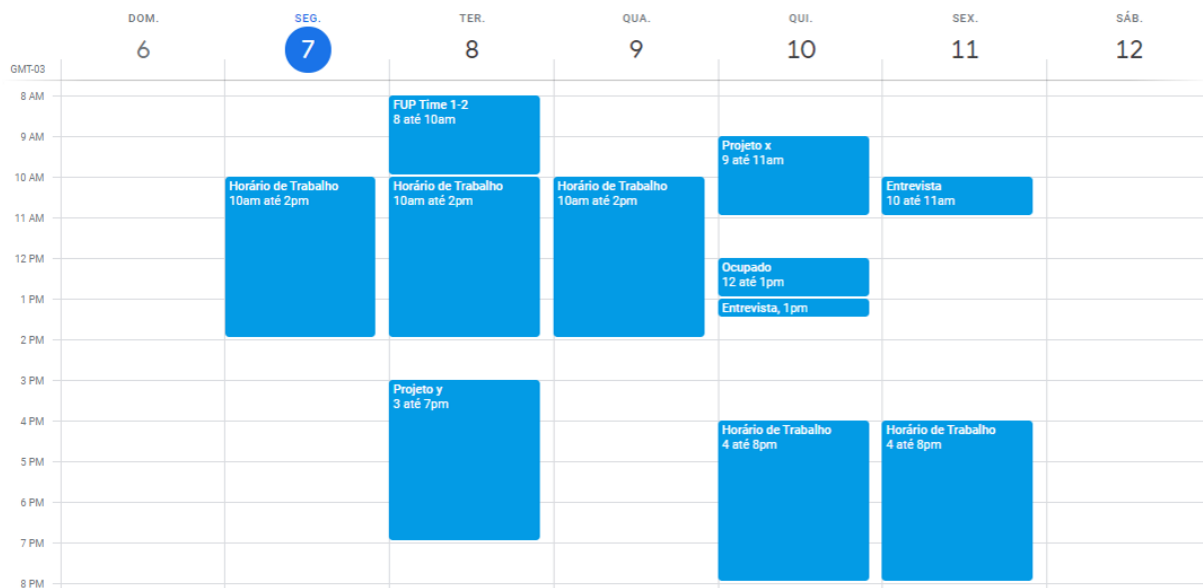


Fonte: Imagem elaborada pelo autor

- Usuário 2:
 - Tempo livre preferencial: 10 minutos

- Período preferencial: vespertino
- Espaçamento preferencial: distribuído

Figura 35 – Agenda do Usuário 2

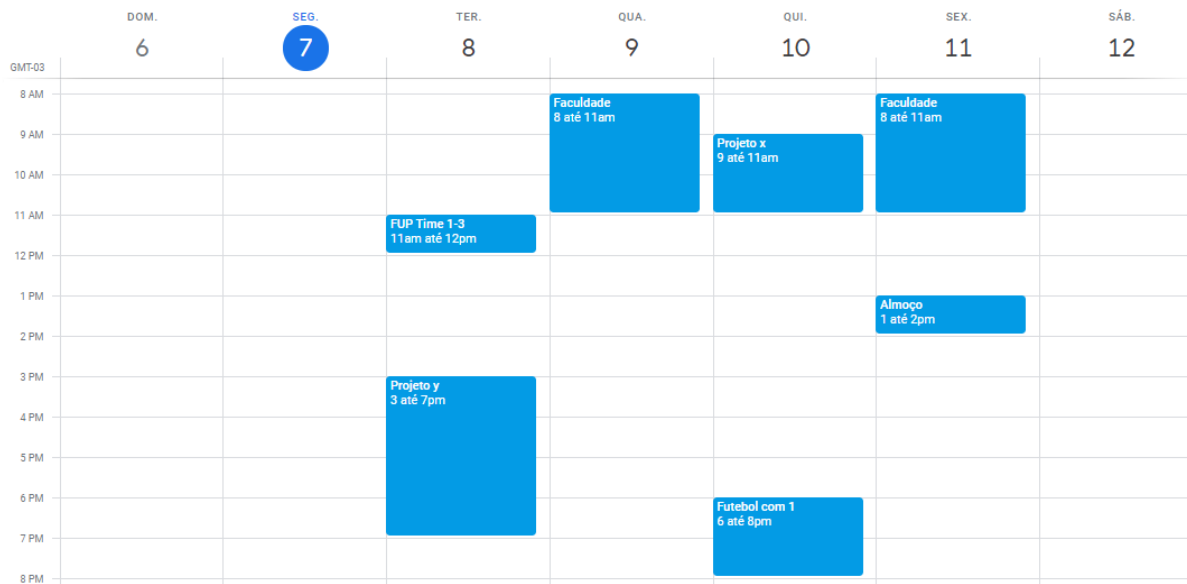


Fonte: Imagem elaborada pelo autor

• Usuário 3:

- Tempo livre preferencial: 0 minutos
- Período preferencial: noturno
- Espaçamento preferencial: distribuído

Figura 36 – Agenda do Usuário 3



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

- Temperatura Inicial: 90
- Temperatura Final: 0.1
- Alfa: 0.09
- Estado Inicial: Primeiro evento a partir do início do período de busca (dia 07 ao dia 11).
- Peso custo sobreposição: 3
- Peso custo período: 1
- Peso custo espaçamento: 1
- Duração da reunião: 60 minutos
- Total de participantes: 3 (Considerando preferências descritas nos usuários ilustrados acima)

Para essas condições, foram simulados e registrados os seguintes resultados:

- Data sugerida: 09/12/2020
- Hora: de 13h00 à 14h00
- Custo da Solução: -310

Figura 37 – Custo da Solução por Iteração

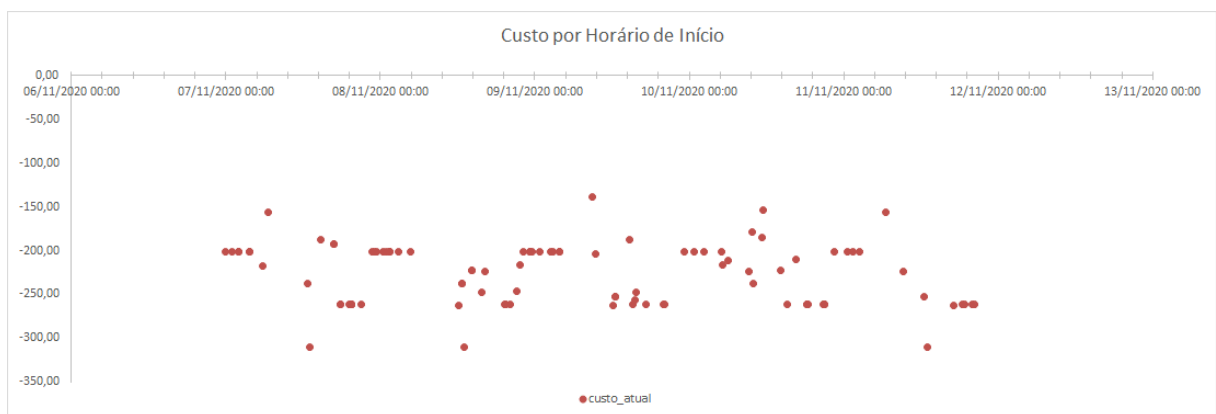


Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Percebe-se a partir da figura 37 que o algoritmo opta por soluções de custos mais elevados frequentemente durante as primeiras iterações, quando a temperatura do sistema ainda encontra-se elevada. Este comportamento é desejável, pois, enquanto o sistema possuir energia o suficiente, soluções piores podem ser aceitas, evitando a convergência do algoritmo em mínimos locais e não globais.

A medida que o sistema resfria, o algoritmo deixa de aceitar soluções piores, convergindo para a solução de menor custo atendendo os requisitos dos usuários.

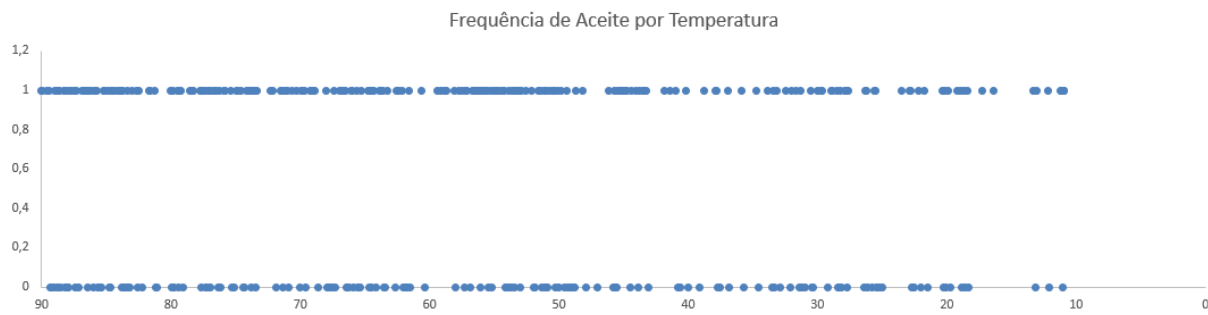
Figura 38 – Custo por horário de início da sugestão



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Pela figura 38 é possível visualizar o custo das sugestões para todos os participantes da reunião de acordo com o horário de início sugerido. No exemplo utilizado, existem mais de uma solução de menor custo mapeados.

Figura 39 – Frequência de aceite da função probabilidade por Temperatura



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Conforme figura 39 que representa a frequência de aceite de soluções, onde 1 representa solução pior aceita e 0 solução melhor aceita, percebe-se o efeito da função probabilidade de Boltzmann aplicada no algoritmo de recozimento simulado, o qual espelha o fenômeno de resfriamento de corpos metálicos aquecidos, onde a estrutura molecular do corpo altera-se frequentemente de acordo com a energia interna do sistema, conforme a temperatura do sistema resfria, diminui-se a frequência de variação da estrutura molecular a medida que o sólido configura-se para estado molecular de maior estabilidade.

Conclusão

O algoritmo apresentou resultados satisfatórios, levando em conta as preferências dos participantes e a velocidade de resposta, se comparado com o tempo dispendido médio para a execução da mesma atividade manualmente. Porém, devido aos protocolos atuais de segurança do google Chrome, a instalação da extensão no navegador dos usuários se torna complexa, dificultando o uso do sistema. Contudo, poderiam ser contornados de outras maneiras, como através de desenvolvimento de interface em página própria, ou através de desenvolvimento de aplicativo mobile.

De maneira geral, apesar de retornar sugestões de baixo custo de sobreposição de eventos, existem pontos a serem melhorados:

- Tratamento de recusas e acompanhamento de aceite por parte dos participantes.
- Aplicação de algoritmos de machine learning para calibração dinâmica de pesos e constantes utilizadas no método de recozimento simulado e no cálculo da função objetivo.
- Desenvolvimento e apuração de constantes e métodos de cálculo da função custo de espaçamento preferencial.
- Modelagem e calibração de funções custos que contemplem outras variáveis e restrições relevantes ao cotidiano corporativo, como: intervalo de almoço, relevância do participante na reunião, horários de descanso e de folga, dentre outros.
- Desenvolvimento de função de reagendamento e de rankeamento de eventos na agenda do usuário, de forma a otimizar a sua configuração rotineiramente.

Referências

- 1 OLIVEIRA, T. D. de; TOSTA, L. V. O “novo normal” e a qualidade de vida do trabalhador: Uma análise das mudanças em decorrência da covid-19. *Revista Interdisciplinar em Gestão, Educação, Tecnologia e Saúde-GETS*, v. 3, 2020.
- 2 BAERT, S. et al. The covid-19 crisis and telework: A research survey on experiences, expectations and hopes. IZA Discussion Paper, 2020.
- 3 BARON Schwartz, Scheduling Time, Part 3: Meeting Coordination Optimizations. 2020. <https://www.xaprb.com/blog/optimizing-efficiency-scheduling-meetings/>. Acessado em 20/09/2020.
- 4 STUDY reveals time spent with scheduling. 2020. <https://en.blog.doodle.com/2013/07/08/study-reveals-time-spent-with-scheduling/>. Acessado em 08/12/2020.
- 5 TRABALHAR de casa durante a pandemia tem causado sobrecarga nos trabalhadores, revela pesquisa da UFPR. 2020. <https://www.ufpr.br/portafulpr/noticias/trabalhar-de-casa-durante-a-pandemia-tem-causado-sobrecarga-nos-trabalhadores-revela-pesquisa-da-ufpr/>. Acessado em 08/12/2020.
- 6 COVID-19 AUMENTA VENDA DE ANSIOLÍTICOS, MEDICAMENTOS PARA INSÔNIA E VITAMINAS. 2020. <https://www.ictq.com.br/varejo-farmaceutico/1552-covid-19-aumenta-venda-de-ansioliticos-medicamentos-para-insonia-e-vitaminas>. Acessado em 08/12/2020.
- 7 GARFIN, D. R. Technology as a coping tool during the covid-19 pandemic: Implications and recommendations. *Stress and Health*, Wiley Online Library, 2020.
- 8 5 Problems with Scheduling Meetings (and How to Fix Them). 2020. <https://www.business-opportunities.biz/2017/08/22/5-problems-scheduling-meetings/>. Acessado em 08/12/2020.
- 9 GOOGLE Calendar. 2020. <https://calendar.google.com/calendar/>. Acessado em 20/09/2020.
- 10 X.AI. 2020. <https://x.ai/>. Acessado em 20/09/2020.
- 11 MIXMAX. 2020. <https://mixmax.com/>. Acessado em 20/09/2020.
- 12 CALENDLY. 2020. <https://calendly.com/pt>. Acessado em 20/09/2020.
- 13 YOU CAN BOOK ME. 2020. <https://youcanbook.me/>. Acessado em 20/09/2020.

- 14 DOODLE. 2020. <https://doodle.com/make-a-poll>. Acessado em 20/09/2020.
- 15 CAPEK, P. G. et al. *Event scheduling with optimization*. [S.l.]: Google Patents, 2008. US Patent 7,343,312.
- 16 KAUFMAN, J. H.; RUVOLO, J. *Dynamic resource scheduling to optimize location of meeting participants*. [S.l.]: Google Patents, 2006. US Patent 7,027,995.
- 17 ENEMBRECK, F.; BARTHÈS, J.-P. A. Distributed constraint optimization with mulbs: A case study on collaborative meeting scheduling. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 164–175, 2012.
- 18 FARIVAR, R. et al. *Techniques to improve a schedule with optimization*. [S.l.]: Google Patents, 2020. US Patent App. 16/254,030.
- 19 SEN, S.; DURFEE, E. H. A formal study of distributed meeting scheduling. *Group Decision and Negotiation*, Springer, v. 7, n. 3, p. 265–289, 1998.
- 20 GRINOLDS, M.; LERHAUPT, G.; MARTIN, M. *Schedule defragmentation*. [S.l.]: Google Patents, 2019. US Patent App. 15/933,086.
- 21 VAJRACHARYA, S. et al. *Method and apparatus for optimizing constraint-based data*. [S.l.]: Google Patents, 2018. US Patent App. 15/461,884.
- 22 MELLO, R. R. Pires de et al. Proposta de um protocolo de negociação em sistemas multiagente para agendamento automático de reuniões. Florianópolis, SC., 2016.
- 23 GRABUSTS, P.; MUSATOV, J.; GOLENKOV, V. The application of simulated annealing method for optimal route detection between objects. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 149, p. 95–101, 2019.
- 24 KNOPMAN, J. *ALGORITMOS GENÉTICOS E DE SIMULATED ANNEALING: APLICAÇÃO AO PROBLEMA DE PLACEMENT E TÉCNICAS DE PARALELIZAÇÃO*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 1996.
- 25 TERAMOTO, K. et al. A neighborhood limitation method for job-shop scheduling based on simulated annealing. *Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers*, THE INSTITUTE OF SYSTEMS, CONTROL AND INFORMATION ENGINEERS (ISCIE), v. 33, n. 6, p. 171–181, 2020.
- 26 ATTIYA, I.; ELAZIZ, M. A.; XIONG, S. Job scheduling in cloud computing using a modified harris hawks optimization and simulated annealing algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Hindawi, v. 2020, 2020.
- 27 CIRRUSINSIGHT. 2020. <https://www.cirrusinsight.com/>. Acessado em 20/09/2020.
- 28 GRINBERG, M. *Flask web development: developing web applications with python*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2018.
- 29 WSGI Werkzeug. 2020. <https://werkzeug.palletsprojects.com/en/1.0.x>. Acessado em 20/09/2020.
- 30 JINJA2. 2020. <https://jinja.palletsprojects.com/en/2.11.x/>. Acessado em 20/09/2020.

Tabela de soluções e features

Solução	Referência	Agendar	Cancelar	(Cadastrar / Excluir) Slots	(Cadastrar / Excluir) Preferências: Follow-ups	(Cadastrar / Excluir) Preferências: Personalizações	(Cadastrar / Excluir) Preferências: Lembretes	Enviar Formulário para Votação de Horário	IA: Reconhecimento de linguagem natural	Utilização de algoritmo de otimização de Agendamento
Google Calendar appointment slots	[5]	x	x	x						
X.ai	[6]	x	x	x	x	x	x		x	x
MixMax	[7]	x	x	x				x		
Calendly	[8]	x	x	x			x			
You Can Book Me	[9]	x	x	x						
Doodle Polls	[10]	x	x					x		
International Business Machine Corp. - Event Scheduling With Optimization	[11]	x	x							x
International Business Machine Corp. - Dynamic resource scheduling to optimize location of meeting participants	[12]	x	x							x