



Relatório - EM919
Trabalho de Graduação II

**Aplicação de Pesquisa Operacional na Otimização de
Seleção de Projetos da Equipe UNICAMP Baja SAE com
Foco em Melhor Desempenho em Competição**

Aluna: **Lígia Lopes Schiozer**

Orientador: **Prof. Dr. André Ricardo Fioravanti**

Campinas, agosto de 2020

Índice

	Resumo	1
	Lista de Figuras	2
	Lista de Tabelas	3
	Nomenclatura	4
Capítulo 1	Introdução: Pesquisa Operacional	7
1.1	Pesquisa Operacional (PO)	7
1.2	Histórico: Pesquisa Operacional	8
1.3	Complexidade dos Problemas de Pesquisa Operacional	8
1.4	Restrições Lineares	9
1.5	Programação Linear	9
1.6	Programação Linear Inteira	10
Capítulo 2	Contextualização do Problema: Projeto Baja SAE – Competições e Equipe	12
2.1	Projeto Baja SAE	12
2.2	Competições	12
2.2.1	Competição Regional	13
2.2.2	Competição Nacional	13
2.2.2.1	Avaliação	13
2.2.2.2	Descrição das Provas	14
2.2.2.2.1	Inspeção de Conformidade Técnica e Segurança	14
2.2.2.2.2	Avaliação de Projeto	15
2.2.2.2.3	Eventos Dinâmicos	19
2.2.2.2.4	Enduro	20
2.3	Equipe UNICAMP Baja SAE	20
2.4	Protótipo Baja Unicamp 2020	22
Capítulo 3	Definição do Problema e Objetivo	23
3.1.	Necessidade de Otimização – Equipe UNICAMP Baja SAE	23
3.2	Problema da Mochila	24
3.3	Aplicação do Problema da Mochila e Limitações de sua Versão Tradicional	25

3.4	Problema da Mochila Multidimensional	26
3.5	Definições do Problema	27
3.5.1	Objetivo do Problema	28
3.5.2	Definição de Projetos	29
3.5.3	Definição de Valores Associados	36
3.5.4	Definição de Pesos Associados	43
3.5.5	Definição de Capacidades	46
3.5.6	Fragilidades do Problema Formulado	47
Capítulo 4	Metodologia	49
4.1	Métodos Computacionais	49
4.2	Algoritmo <i>Branch-and-Bound</i>	49
4.2.1	<i>Branch-and-Bound</i> para o Problema da Mochila	51
4.2.2	<i>Branch-and-Bound</i> para o Problema da Mochila Multidimensional	52
4.3	Código Genérico para Problema da Mochila	53
4.4	Código para o Problema de Otimização Baja	57
Capítulo 5	Resultados e Discussões	61
5.1	<i>Output</i> do Programa de Otimização do Problema Baja	61
5.2	Análise do <i>Output</i> e Ações da Equipe	65
5.3	Análise Comparativa de Resultados (com e sem modelo de pesquisa operacional)	66
Capítulo 6	Conclusões	83
6.1	Conclusão do Trabalho	83
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	84
	Referências Bibliográficas	86
	Anexos	89

Resumo

O desafio proposto neste trabalho foi auxiliar a Equipe UNICAMP Baja SAE na otimização da escolha de projetos ao longo do ano, com foco no desempenho em competição, por meio da aplicação de métodos de solução de problemas de Pesquisa Operacional.

Inicialmente, no **Capítulo 1** será apresentado o conceito de Pesquisa Operacional, o histórico desse ramo de pesquisa, a complexidade de seus problemas e algumas categorias a que estes podem fazer parte.

A seguir, no **Capítulo 2** será dada a contextualização do problema em que serão descritos (1) o Projeto Baja SAE, (2) as competições brasileiras (e descrição das provas, cujo entendimento é relevante para solução do problema), (3) a Equipe UNICAMP Baja SAE e (4) seu atual projeto em desenvolvimento.

No **Capítulo 3**, o problema será definido e são trazidas todas as considerações e dados necessários para sua solução. Depois, no **Capítulo 4**, será apresentada a metodologia utilizada.

No **Capítulo 5** são demonstrados os resultados da resolução do problema e duas análises comparativas com cenários alternativos em que a equipe não faria uso do modelo de Pesquisa Operacional, com intuito de verificar a eficácia do modelo.

Por fim, o **Capítulo 6** traz as conclusões do trabalho acerca do cumprimento da proposta inicial e da efetividade da metodologia adotada.

Lista de Figuras

<u>Figura 1:</u>	Pontuações das provas da Competição Baja SAE BRASIL (Etapa Nacional)	14
<u>Figura 2:</u>	Protótipo Opus (2019)	22
<u>Figura 3:</u>	Árvore de busca criada por ramificações no método <i>Branch-and-Bound</i>	50

Lista de Tabelas

<u>Tabela 1:</u>	Valores associados aos projetos para cada prova da competição	37
<u>Tabela 2:</u>	Valores associados aos projetos multiplicados por pontuações das provas	40
<u>Tabela 3:</u>	Pesos associados aos projetos	43
<u>Tabela 4:</u>	Capacidades de tempo total disponível por área	47
<u>Tabela 5:</u>	Comparação entre capacidades e previsão de utilização	65
<u>Tabela 6:</u>	Projetos listados por ordem decrescente de valores associados	67
<u>Tabela 7:</u>	Pesos dos projetos por ordem decrescente de valores associados	70
<u>Tabela 8:</u>	Comparação entre capacidades e previsão de utilização (Cenários 1 e 2)	75
<u>Tabela 9:</u>	Pesos dos projetos por ordem decrescente de valores associados (Cenário 2)	76
<u>Tabela 10:</u>	Comparação entre capacidades e previsão de utilização (Cenários 1 e 3)	82

Nomenclatura

Conjuntos

\mathbb{R}	Conjunto de números reais
\mathbb{I}	Conjunto de números inteiros
\mathbb{N}	Conjunto de números naturais
\mathbb{B}	Conjunto de números binários

Notações – Problema da Mochila

f_0	Função objetivo
n	Número de itens considerados na análise
a_i	Peso de um item i do conjunto analisado
b	Capacidade da mochila
f_i	Valor associado ao item i
x_i	Variável associada ao item i

Notações – Problema da Mochila Multidimensional

f_0	Função objetivo
n	Número de itens considerados na análise
m	Número de dimensões da mochila
a_{ji}	Peso da dimensão j de um item i do conjunto analisado
b_j	Capacidade da dimensão j da mochila
f_i	Valor associado ao item i
x_i	Variável associada ao item i

Notações específicas – Problema de Otimização Baja

n	Número de projetos considerados na análise
m	Número de dimensões da análise (referentes a tempos demandados estimados das áreas e custo)
a_{1i}	Tempo demandado estimado da área CCS para cada projeto i
a_{2i}	Tempo demandado estimado da área EFE para cada projeto i
a_{3i}	Tempo demandado estimado da área ELT para cada projeto i
a_{4i}	Tempo demandado estimado da área FRE para cada projeto i
a_{5i}	Tempo demandado estimado da área PWT para cada projeto i
a_{6i}	Tempo demandado estimado da área SED para cada projeto i
a_{7i}	Custo estimado para cada projeto i
b_1	Tempo total disponível dos membros da área CCS no ano para projetos adicionais
b_2	Tempo total disponível dos membros da área EFE no ano para projetos adicionais
b_3	Tempo total disponível dos membros da área ELT no ano para projetos adicionais
b_4	Tempo total disponível dos membros da área FRE no ano para projetos adicionais
b_5	Tempo total disponível dos membros da área PWT no ano para projetos adicionais
b_6	Tempo total disponível dos membros da área SED no ano para projetos adicionais
b_7	Orçamento separado pela equipe destinado aos projetos adicionais
k	Número de dimensões de valores associados (referentes a provas da competição)
f_{ki}	Valor associado a dimensão k e ao item i
p	Número de provas
v_p	Valor (pontuação máxima) de cada prova

Siglas das áreas técnicas da Equipe UNICAMP Baja SAE

CCS	Carenagens, Compósitos e Segurança
EFE	Estrutura, Fixadores e Ergonomia
ELT	Elétrica
FRE	Freios
PWT	<i>Powertrain</i>
SED	Suspensão e Direção

Capítulo 1

Introdução: Pesquisa Operacional

1.1 – Pesquisa Operacional (PO)

A Pesquisa Operacional (PO) é um ramo da matemática aplicada que estuda modelos e métodos matemáticos fundamentais para tomadas de decisão de variados problemas. Grande parte desses problemas busca otimizar um certo critério sujeito a um conjunto de restrições por meio de escolhas. A solução ótima de um problema de otimização é aquela que fornece o melhor valor para o objetivo e satisfaz todas as restrições.

Os métodos baseados em PO têm como vantagem a característica de visão global de um problema. As ferramentas podem ser aplicadas em variados campos que demandam grande manipulação de volume de dados, análises estatísticas e probabilísticas, entre outros. Nas universidades, há a tendência de diversificação das áreas de aplicação, o que se alia a um crescente intercâmbio da universidade com a empresa, na forma de assessoria e participação em projetos.

A resolução de um problema por PO em geral segue as seguintes fases:

1. **Definição do problema:** identificação do problema, definição do objetivo, variáveis e restrições;
2. **Construção do modelo matemático:** escolha do modelo;
3. **Solução do modelo:** solução é encontrada a partir do modelo matemático adotado na resolução do problema;
4. **Validação do modelo:** verificação para confirmar se solução obtida é condizente com problema estudado;

5. **Implementação da solução:** conversão da solução em regras práticas para solução do problema.

Neste trabalho, o foco é nas fases 1, 2 e 4, mais especificamente nas técnicas de definição e construção do modelo e solução com uma análise qualitativa. São estudadas e utilizadas ferramentas computacionais já disponíveis no mercado.

1.2 – Histórico: Pesquisa Operacional

A origem da PO é militar e sua primeira utilização foi na Grã-Bretanha durante a Segunda Guerra Mundial, como explicitado em [2]. Têm-se, por exemplo, estudos relacionados com o desenvolvimento e uso do radar, problema de alocação eficiente de recursos escassos às várias operações militares, e outros. As equipes de “analistas operacionais”, como foram chamadas na época, começaram a se expandir na Grã-Bretanha, no Canadá, na Austrália e nos Estados Unidos.

Alguns dos motivos do rápido crescimento da PO no pós-guerra foram (1) o desenvolvimento de técnicas específicas e (2) grande progresso alcançado no desenvolvimento de computadores eletrônicos. A PO chegou no universo acadêmico primeiramente em Universidades norte-americanas em departamentos de engenharia e administração. Segundo [3], no Brasil a aplicação de PO se iniciou uma década após a implementação na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, sendo motivada pela área da economia. O primeiro grupo formal de PO estabelecido no país em uma empresa foi o da Petrobrás, criado em 1965.

1.3 – Complexidade dos Problemas de Pesquisa Operacional

Nas décadas de 70 e 80, houve significativos avanços na área de pesquisa operacional. Até então pouco era entendido sobre as propriedades dos algoritmos e a inerente complexidade dos problemas. Duas classes de problemas foram definidas, como explicitado em [4]: a primeira (classe P) contém problemas que podem ser resolvidos por um algoritmo em tempo polinomial e a segunda (classe NP) contém problemas que podem requerer tempo computacional proporcional a uma função exponencial (ou maior) do problema, então tempo-exponencial.

Dentro da segunda classe (NP) há uma classe especial NP-completo, cujos problemas são caracterizados por serem os mais difíceis da categoria. Alguns desses problemas práticos recebem atenção considerável de analistas devido à gama de possibilidades de aplicação em situações comuns. Outra classe dentro da NP é NP-difícil, em que os problemas são pelo menos tão difíceis quanto os NP.

Os problemas de classe P são em geral considerados problemas fáceis, não necessariamente em um sentido conceitual, mas no sentido de que algoritmos eficientes já existem para esses problemas, que podem ser executados em tempo computacional razoável. Em contraste, problemas NP-completo e NP-difícil, podem requerer tempo computacional inaceitavelmente grande para problemas de tamanho prático. As soluções para esse tipo de problema não são necessariamente difíceis de conceitualizar ou implementar em códigos computacionais, mas o tempo de execução pode ser completamente ineficaz (física e financeiramente).

Há dúvidas se definitivamente o custo computacional é maior para problemas NP ou se ainda não foram descobertos algoritmos eficientes para os problemas aparentemente difíceis. Até mesmo se um problema se mostrar NP-completo, e mesmo se $P \neq NP$, ainda pode haver abordagens eficazes para tratar o problema. Existem algoritmos para muitos problemas NP-completos que podem ser resolvidos com otimização em muitas instâncias de mundo real em tempo razoável.

1.4 – Restrições Lineares

Apesar de haver problemas com condições lineares e não-lineares, no presente trabalho serão exploradas apenas as restrições lineares de igualdade e de desigualdade. Problemas de otimização com restrições de igualdade e desigualdade seguem, respectivamente, as seguintes formas:

$$\begin{array}{ll} \min & f_0(x) \\ \text{sujeito a} & Ax = b \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \min & f_0(x) \\ \text{sujeito a} & Ax \leq b \end{array}$$

1.5 – Programação Linear

Neste trabalho será abordada a categoria de problemas de otimização linear e desconsiderados os problemas irrestritos e de otimização convexa.

Como mostrado em [2], a **Programação Linear (PL)** visa fundamentalmente encontrar a melhor opção para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares. A grande aplicabilidade e simplicidade devem-se a linearidade do problema. Um problema de PL consiste em uma maximização ou minimização de uma função linear (Função Objetivo - FO), respeitando restrições (de igualdade ou desigualdade) também lineares. Dessa forma, busca-se encontrar a solução ótima para o problema.

A classe de problemas de programação linear é ser escrita da seguinte forma em [1]:

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f^T x \\ \text{sujeito a} \quad & Ax = b, \\ & Cx \leq d \end{aligned}$$

em que $f \in \mathbb{R}^n$, $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $b \in \mathbb{R}^m$, $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$ e $d \in \mathbb{R}^p$ são dados e $x \in \mathbb{R}^n$ são as variáveis de decisão. Ou seja, em um problema de PL, tanto a função objetivo quanto as restrições são lineares.

A PL em geral não possui solução analítica, mas conta com muitos métodos numéricos eficientes e confiáveis específicos. Assim, é possível resolver os problemas com grande número de variáveis e restrições, mesmo em tempo real.

1.6– Programação Linear Inteira

Diversos problemas práticos envolvem grandezas inteiras ou discretas. Quando apresentam restrições de integralidade, são chamados problemas de **Programação Linear Inteira (PLI)**. Um caso particular desse tipo de problema são os problemas de programação 0-1 (ou binários), em que as variáveis de decisão assumem apenas valores inteiros zero ou um. [1] A categoria de problemas em que algumas variáveis devem ser inteiras, algumas 0-1 e outras valores reais é chamada Programação Inteira Mista.

Um problema de programação linear inteira pode ser colocado na forma:

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f^T x \\ \text{sujeito a} \quad & Ax = b, \end{aligned}$$

$$Cx \leq d,$$
$$x_i \in \mathbb{X}_i, \quad i \in \mathbb{I},$$

em que $f \in \mathbb{R}^n$, $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $b \in \mathbb{R}^m$, $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$ e $d \in \mathbb{R}^p$ são dados que definem a função objetivo e as restrições lineares e $x \in \mathbb{R}^n$ são as variáveis de decisão. Cada variável x_i pode ter uma restrição de integralidade ou não. O conjunto \mathbb{I} é definido, sendo formado pelos índices das variáveis com alguma restrição de integralidade. Para cada i em \mathbb{I} , é definido um conjunto discreto \mathbb{X}_i , formado pelos valores possíveis para a variável x_i . As escolhas mais recorrentes para estes conjuntos são $\mathbb{N} := \{0, 1, 2, \dots\}$ e $\mathbb{B} := \{0, 1\}$.

Há vários problemas clássicos com variáveis de decisão inteiras de programação linear para os quais existem técnicas de modelagem de PLI. Um exemplo é o Problema da Mochila (ou *Knapsack Problem*), que será abordado mais a frente neste relatório.

Capítulo 2

Contextualização do Problema: Projeto Baja SAE - Competições e Equipe

2.1 – Projeto Baja SAE

Segundo [5], o projeto Baja SAE foi criado na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, com primeira competição em 1976, e trazido para o Brasil em 1994 pela SAE Brasil, uma sociedade formada pelos profissionais da área da mobilidade, que atualmente organiza as competições estudantis. O projeto Baja SAE tem como objetivo desafiar os estudantes de engenharia, colocando-os em contato direto com a simulação de um caso real de desenvolvimento de projeto, que consiste em um protótipo de veículo *off-road*, concepção do produto, projeto detalhado, construção e validação, tudo direcionado para o mercado de categoria amadora de corrida.

2.2 – Competições

Os alunos que participam de competições do Baja SAE BRASIL devem formar equipes que representarão a instituição de Ensino Superior a que estiverem ligados. Estas equipes são desafiadas anualmente a participar de competições que reúnem os estudantes e promovem avaliação comparativa dos projetos. No Brasil, a competição

nacional recebe o nome de Competição Baja SAE BRASIL e as competições regionais são nomeadas como Etapa Sul, Sudeste e Nordeste.

As etapas da competição não são complementares e as três equipes com melhores colocações na Competição Baja SAE BRASIL ganham o direito de competir na etapa internacional da prova nos Estados Unidos.

2.2.1 – Competição Regional

Além da competição nacional (que será apresentada na seção a seguir **2.2.2**), as equipes de baja podem participar das etapas regionais (Nordeste, Sudeste e Sul) em que há um limite de equipes inscritas. A etapa regional não é classificatória para a etapa nacional.

Os moldes das competições regionais são muito semelhantes ao da nacional, diferenciando-se apenas em algumas provas e, assim, na duração total da competição.

2.2.2 – Competição Nacional

A Competição Nacional Baja SAE BRASIL propõe o desafio aos estudantes de engenharia de desenvolver um veículo *off-road* que competirá contra mais de 80 equipes de todo o país.

A segurança do carro é garantida por meio de inspeções de segurança realizadas pelos juízes da competição, que são escolhidos pelo comitê organizador. O veículo é avaliado e deve atender um rígido regulamento técnico elaborado pela SAE Brasil, além de ser submetido a uma prova de segurança dinâmica, garantindo que o protótipo tenha capacidade de frear adequadamente durante toda a competição.

2.2.2.1 – Avaliação

A avaliação das equipes/veículos é dividida em duas categorias: avaliação de projeto e avaliação dinâmica, sendo que a segunda conta com as provas de eventos dinâmicos e o enduro. As pontuações de cada prova estão mostradas na **Figura 1**, a soma totalizando mil pontos. As provas de segurança não valem pontos na competição,

mas podem resultar em dedução de pontos e impedimento de participação das equipes em provas dinâmicas.

Avaliação de Projeto	320
Relatório de Projeto	120
Avaliação de Projeto Dinâmico	20
Apresentação de Projeto	180
Eventos dinâmicos	280
Aceleração	45
Retomada	45
Tração	45
Super prime	30
Suspensão	70
Manobrabilidade	45
Enduro	400
TOTAL	1000

Figura 1: Pontuações das provas da Competição Baja SAE BRASIL (Etapa Nacional) [5]

2.2.2.2 – Descrição das Provas

As provas da Competição Nacional Baja SAE BRASIL são descritas no regulamento [5], divididas em quatro grandes blocos: Inspeção de Conformidade Técnica e Segurança, Avaliação de Projeto, Eventos Dinâmicos e Enduro (com pontuações descritas na seção anterior).

2.2.2.2.1 – Inspeção de Conformidade Técnica e Segurança

- **Parte estática:** É necessária aprovação na Parte Estática da Inspeção de Conformidade Técnica e Segurança para que o veículo possa participar da Parte Dinâmica. Apenas após aprovação em todos esses eventos, o veículo é considerado aprovado na Inspeção de Conformidade Técnica e Segurança e apto a participar dos Eventos Dinâmicos e do Enduro de Resistência; Cada item em não conformidade com a ficha será considerado como item para *recheck* e com 4 itens ou mais, sofrerá punição de 15 pontos.
- **Parte dinâmica:** O veículo, pilotado por um membro da equipe, deve demonstrar a capacidade de travar todas as rodas, simultaneamente, e frear até o repouso

em uma linha aproximadamente reta após aceleração por uma distância definida pelos Juízes Credenciados de Segurança, de aproximadamente 30 m. Além da capacidade de travamento das rodas, o protótipo deve demonstrar capacidade de transpor obstáculos com as seguintes descrições:

- Aclives com 100% de inclinação (45°) e 5 metros de comprimento;
- Travessias rasas de água e lama de 0,3 m de profundidade;
- Troncos com 0,4 m de diâmetro;
- Curvas com raio mínimo de 3,5 m (medido a partir do centro do veículo).

2.2.2.2.2 – Avaliação de Projeto

A equipe deve apresentar com qualidade a extensão do desenvolvimento do projeto integral do veículo. É analisada a organização da equipe para registrar e apresentar os resultados obtidos. A avaliação se divide em dois núcleos, técnico e de negócios.

- **Núcleo Técnico:** O núcleo técnico consiste de análises, desenvolvimentos, pesquisas, inovações e considerações que geraram as soluções adotadas e alternativas, bem como correções relativas a protótipos anteriores. Recomenda-se que os projetos possuam requisitos, objetivos e metas globais e seu respectivo cascadeamento para cada subsistema, projeto teórico, desenvolvimento, simulações, testes, validação, comparação com requisitos e aplicação.

- Cálculo Estrutural: A equipe deve deixar claro qual o seu objetivo ao projetar e dimensionar os elementos estruturais, tais como chassi, fixadores, componentes da transmissão, suspensão, freios e direção. Deve-se considerar o desempenho dessas estruturas quando submetidas a cargas estáticas e dinâmicas que poderão incidir sobre o protótipo quando este for submetido ao uso. Simulações são encorajadas e é avaliado se cargas adequadas foram utilizadas. Os resultados devem levar a análises de reavaliação do projeto;

- Powertrain: A equipe deve definir o projeto (que vai desde a localização do motor até a entrada final de movimento nas rodas) e seleção de materiais de modo que as metas de eficiência, dirigibilidade, durabilidade, empacotamento e integração deste com os demais sistemas do protótipo

estejam alinhadas com critérios definidos a priori como diretrizes do projeto de maneira global;

- Suspensão, Direção e Freios: Trata-se de toda a dinâmica veicular (manobrabilidade, contorno de terreno e frenagem). É necessário identificar as necessidades do projeto de desempenho longitudinal, vertical e lateral do veículo para seleção do tipo de suspensão a ser adotado (avaliação das várias alternativas e escolha). Além disso, deve-se entender a interação entre suspensão e direção, assim como o reflexo nas configurações de projeto, e quantificar o desempenho da suspensão (e impacto geral no projeto). Com relação ao projeto de freios, deve-se atender a um propósito (necessidade do usuário) conciliando efeitos do sistema como peso, custo e eficiência;

- Design e Ergonomia: A equipe deve traduzir as necessidades e expectativas do usuário final de modo que o protótipo seja atraente, seguro e confortável. A aparência do protótipo envolve desde a concepção da arte até a qualidade dos acabamentos. Os acabamentos têm outras funções que vão desde a proteção anticorrosiva até garantia de conforto ao usuário através do uso de bancos confortáveis e volantes com aderência adequada, por exemplo. Estudos ergonômicos também são importantes e devem levar em consideração o tempo médio que um usuário pode ficar dentro do veículo, bem como a posição do corpo do usuário durante a pilotagem, a facilidade de acesso aos comandos do veículo e suas regulagens e os esforços impostos ao usuário durante a pilotagem;

- Elétrica: A equipe deve identificar as necessidades dos usuários e definir modos coerentes de coleta de dados para a equipe. Deve-se preocupar com inflamabilidade (há presença de conduítes ou similares), dispositivos de proteção (fusíveis) e graus de proteção (conectores próprios, código IP), eficiência energética (escolha de componentes, autonomia de bateria), meio ambiente, modularidade e expansibilidade (adição de sensores e funcionalidades), acessibilidade para montagem e manutenção e validação (calibração) das grandezas mensuradas.

- **Núcleo de Negócios:** O núcleo de negócios consiste de análises, desenvolvimentos, pesquisas, inovações e considerações que foram utilizados como diretriz para as soluções adotadas da equipe em áreas não técnicas.

- Gestão da Equipe – O tópico de gestão da equipe se resume a basicamente dois itens principais, apresentados a seguir:

- Práticas de gestão harmonizadas à realidade de cada de equipe, tendo como foco estratégias de registro, preservação e difusão do conhecimento, gestão de projetos, estratégias de aumento de eficiência, redução ou eliminação do retrabalho e minimização do tempo em atividades que pouco ou nada agregam valor ao projeto;
- Aspectos da gestão de pessoas, com considerações que tem como objetivo a evolução técnica e comportamental do indivíduo, o desenvolvimento de competências e oportunidades de aquisição de novas habilidades, visando a manutenção e elevação dos padrões da equipe, assegurando a sua continuidade.

- Vendas e Marketing – A equipe deve avaliar o desafio proposto de comercialização em massa do Baja, com os principais pontos abordados:

- Plano de marketing, contendo, por exemplo: aspectos sobre o cenário atual de concorrência no ramo pretendido, nicho de mercado explorado e público alvo, análise das oportunidades e ameaças ao negócio e linha do tempo das implementações e lançamentos dos produtos, demonstrativo de resultados esperados, alinhamento com o plano de negócios, estabelecimento de metas, *market share* e mix de produtos, etc.
- Design do veículo, contendo, por exemplo: aspectos sobre a idealização do projeto estético e funcional do protótipo, demonstração do alinhamento estratégico com as diretrizes e saídas provenientes do plano de marketing, enaltecimento dos aspectos artísticos e técnicos empregados no conceito do protótipo, assim como em sua fabricação, demonstração do apelo pretendido ao se realizar tal projeto, características de diferenciação e unicidade perante concorrentes, etc.

- Plano de vendas e distribuição, contendo, por exemplo: um desdobramento das ações presentes no plano de marketing, estratégias de vendas e de capilarização nos mercados de interesse, aspectos logísticos com fundamentação teórica, argumentos sólidos sobre os custos envolvidos nestas operações, impostos, etc.
 - Plano de fabricação, contendo, por exemplo: *layout* da planta de fabricação e fluxo de processos, avaliação da eficiência nas etapas de produção, tempo de máquina, gestão de estoque, utilização inteligente de recursos naturais e aspectos de preservação ambiental, coerência com os objetivos e metas financeiras do projeto, etc.
 - Finanças, contendo, por exemplo: avaliação dos custos recorrentes e não recorrentes na cadeia produtiva, avaliação do impacto das decisões de projeto, indicadores financeiros para apresentação a investidores como VPL, TIR e *payback*, desenvolvimento de um departamento de relação com investidores, fluxo de caixa projetado na linha do tempo, conclusões sobre a viabilidade ou inviabilidade do plano de negócios apresentado, etc.
- **Relatório de Projeto:** Apresentando pontos dos núcleos técnico e de negócios, o relatório deve conter de forma clara, limpa e organizada as considerações de engenharia e os processos utilizados no desenvolvimento de cada sistema, sendo dividido em visão geral do projeto e evolução de projeto:
 - Visão geral do projeto: engloba metas e objetivos, premissas de projeto, metodologias utilizadas para as tomadas de decisão da equipe, tanto relativas às diretrizes que pautaram a concepção, desenvolvimento e fabricação do protótipo, quanto definições relativas à seleção de materiais, mecanismos e componentes utilizados no protótipo. São avaliadas as considerações referentes ao desenvolvimento integrado do produto Baja, enaltecendo as interfaces e integração dos subsistemas e a aderência das decisões aos objetivos e metas do projeto. Deve-se abordar também os principais resultados e características dinâmicas do projeto, sendo suficientes para que o leitor compreenda o projeto adequadamente;

- **Evolução de projeto**: evolução em relação ao ano anterior por meio de investigações com rigor científico, contendo dentre outras fases identificação, caracterização e análise de problemas e falhas, levantamento de hipóteses, processo e ou metodologia de investigação implementado, resultados comparativos obtidos, conclusão e realimentação do projeto com as modificações propostas, enaltecendo como a nova proposta atende de maneira mais satisfatória aos objetivos do projeto ou componente, se avaliada em conjunto com a solução anterior. O principal ponto a ser avaliado neste item será a solidez e fundamentação dos argumentos e justificativas, seja para manter ou para substituir uma solução de projeto.
- **Avaliação de Projeto Dinâmico**: Tem como objetivo avaliar o protótipo do ponto de vista de um consumidor comum. Essa avaliação compreende o comportamento dinâmico do protótipo assim como todos os itens que fazem interface com o piloto como ergonomia, painéis eletrônicos, acessibilidade e esforços dos comandos de pilotagem.
 - 12,5% para Apresentação do Veículo;
 - 20,0% para Ergonomia;
 - 7,5% para Acessibilidade;
 - 7,5% para Esforços;
 - 7,5% para Ruído e Vibrações;
 - 45,0% para Comportamento Dinâmico.
- **Apresentação de Projeto**: A equipe deve desenvolver oito apresentações que são avaliadas em competição, sendo seis do núcleo técnico (design e ergonomia, suspensão e direção, *powertrain*, freios, elétrica e cálculo estrutural, e duas do núcleo de negócios, gestão e vendas e marketing.
- **Finais de Apresentação de Projeto**: As primeiras cinco equipes colocadas na prova de Apresentação de Projeto vão para as finais, em que os juízes são expostos a todas as apresentações da equipe e podem fazer perguntas a qualquer apresentador, relacionando as apresentações.

2.2.2.2.3 – Eventos Dinâmicos

- **Aceleração:** primeira etapa da prova combinada de aceleração e retomada, mede o tempo que o veículo leva para percorrer um trajeto aproximadamente plano e reto de 30 metros de comprimento, a partir do repouso;
- **Retomada:** segunda etapa da prova combinada de aceleração e retomada, e mede o tempo para se completar todo o percurso de 100 m;
- **Tração:** visa analisar a capacidade trativa dos veículos. Um dispositivo é engatado ao ponto de reboque traseiro do veículo e, conforme o veículo se move, a carga do dispositivo aumenta progressivamente. A avaliação é interrompida quando o veículo atingir o final da pista, parar de progredir ou quando levantar ambas as rodas dianteiras do solo;
- **Super Prime:** série de disputas entre duas equipes, no formato de uma chave de eliminação única, com disputa de terceiro e quarto lugar. Cada disputa consiste de uma passada única, em que dois veículos correm um mesmo trajeto, começando de pontos diferentes do percurso;
- **Suspensão:** Esta avaliação consiste em percorrer um traçado sinuoso e com obstáculos onde será testada a capacidade de manobras e tração do veículo. O percurso da prova pode conter curvas abertas e fechadas, subidas, descidas, inclinações e obstáculos como areia, lama, pedras, troncos de árvore, etc;
- **Manobrabilidade:** o consiste de um percurso sinuoso e tem como objetivo avaliar a capacidade do veículo ser manobrado em um traçado estreito e com curvas de raio pequeno.

2.2.2.2.4 – Enduro

No Enduro de resistência, os veículos devem completar voltas em uma pista de terreno irregular, fora de estrada, com obstáculos, em qualquer condição climática, por um período de 4 horas. O objetivo é dar o máximo de voltas nesse período.

2.3 – Equipe UNICAMP Baja SAE

Fundada em 1995, a **Equipe UNICAMP Baja SAE** é formada por alunos universitários de engenharia e tem como principais focos a capacitação e formação de

seus membros, bem como obter colocações satisfatórias nas competições que participa durante o ano. Com esses objetivos, os membros da equipe seguem missão, visão e valores estabelecidos buscando o conhecimento, teórico e prático, necessário para projetar, simular, construir, montar e testar os protótipos *off-road* seguros, ergonômicos e com bom desempenho, que têm melhorias significativas a cada ano.

Os alunos têm oportunidade de se envolver com um caso real de desenvolvimento de projeto em todas as suas etapas, além de experienciar trabalho em equipe, contato com empresas em processos industriais e ferramentas de gestão, de modo que estejam mais preparados para o mercado de trabalho.

Além da diretoria de projetos e a administrativa (que conta com departamentos de gestão de pessoas, marketing, financeiro e logística), a equipe conta com seis áreas técnicas gerenciadas por coordenadores:

- **Carenagens, Compósitos e Segurança (CCS):** Garante um design atraente, segurança ao piloto e carenagens que suportem os esforços a que o protótipo é submetido durante a competição;
- **Estrutura, Fixadores e Ergonomia (EFE):** Responsável pela construção de um chassi com espaço interno capaz de acomodar percentis indicados em [5], proporcionando boa ergonomia ao condutor. Além disso, trabalha com as demais áreas para garantir fixações de componentes eficazes e de fácil acesso;
- **Elétrica (ELT):** Com sistema de telemetria e o embarcado, possibilita o monitoramento do veículo em competições e testes e acesso do piloto às informações do veículo por meio do painel;
- **Freios (FRE):** Por meio do dimensionamento do sistema de freios, garante frenagem estável para uma faixa de desaceleração projetada e, portanto, segurança na condução do protótipo;
- **Powertrain (PWT):** Responsável pelo projeto do trem de força que vai desde a localização do motor (com modelo pré-definido em regulamento [5]) até entrada de movimento nas rodas;
- **Suspensão e direção (SED):** A partir do projeto de componentes de suspensão e direção (que vão desde o volante até as rodas do veículo), deve garantir bom

desempenho vertical do protótipo, necessário para enfrentar os diferentes obstáculos das provas da competição.

A equipe faz troca de gestão sempre depois de uma competição nacional, iniciando um novo ciclo de projeto. Dessa forma, a troca de gestão coincide com a época de início de período letivo do ano.

A(o) capitã(o) organiza, junto às diretorias de projetos e administrativa, reuniões semanais para acompanhar o andamento dos projetos e desenvolvimento de seus membros. Além disso, há reuniões semanais de cada área com mesma finalidade e encontros adicionais para trabalho em conjunto nas atividades sendo desenvolvidas no período (de projeto, construção, testes, etc).

2.4 – Protótipo Baja Unicamp 2020

A Equipe UNICAMP Baja SAE desenvolve seus projetos com foco nas competições nacionais, que acontecem no fim do primeiro trimestre de cada ano. O atual projeto é o **Protótipo Baja Unicamp 2020 (PBU20)** que será construído e testado com foco na 27ª Competição Baja SAE BRASIL, que teoricamente aconteceria no início do ano de 2021, mas pode ter sua data modificada devido ao atual cenário em que o país se encontra por causa do COVID-19. O protótipo anterior da equipe é ilustrado abaixo:



Figura 2: Protótipo Opus (2019)

Capítulo 3

Definição do Problema e Objetivo

3.1 – Necessidade de otimização – Equipe UNICAMP Baja SAE

Como explicitado na seção anterior, a Equipe UNICAMP Baja SAE tem como foco durante o desenvolvimento de seus protótipos uma boa colocação na Competição Baja SAE BRASIL (etapa nacional). Para uma boa colocação geral, a equipe precisa ter desempenho satisfatório nas provas descritas na seção **2.2.2.2 – Descrição das provas** maximizando suas pontuações (as pontuações máximas de cada prova são descritas em **2.2.2.1 – Avaliação**).

A cada início de um novo ciclo de projeto (que acontece após a competição nacional e troca de gestão como descrito em **2.3 – Equipe UNICAMP Baja SAE**), são elencados os possíveis projetos a serem desenvolvidos durante aquele ciclo. Entretanto, há limitações que impedem a equipe de seguir com todos os projetos listados, sendo as principais as restrições de orçamento e de tempo disponível dos membros para trabalho. Uma das dificuldades da equipe é a de selecionar os projetos a que dará continuidade da melhor forma, ou seja, de modo a otimizar seu desempenho em competição.

Para este trabalho, buscou-se um tipo de problema de otimização que pudesse atender a essa necessidade. Uma boa opção é o **Problema da Mochila**, descrito na seção a seguir:

3.2 – Problema da Mochila

Como explicitado na seção 1.3 – **Complexidade dos problemas de Pesquisa Operacional**, mesmo para a categoria NP (não-polinomial), para alguns problemas já existem abordagens eficazes e algoritmos para solução. Um exemplo é o **Problema da Mochila**, que é um problema de decisão associado (NP-completo). Pode-se verificar se uma escolha é solução para este problema em tempo polinomial, mas não se conhece um método garantidamente polinomial para computar tal solução. Assim, o problema de otimização da mochila é um problema NP-difícil, ou seja, pelo menos tão difícil quanto o de decisão.

O problema da mochila em sua formalização mais simples é enunciado em [1] da seguinte forma: é dado um conjunto de n itens diferentes, cada um com um certo peso a_i , e uma mochila de capacidade total igual a b . Cada item tem um valor associado, f_i . Deseja-se escolher as quantidades (inteiras) dos n itens diferentes que devem ser armazenados na mochila de forma a maximizar o valor total dos itens escolhidos.

O problema da mochila pode ser formulado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^n f_i x_i \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_{i=1}^n a_i x_i \leq b, \\ & x_i \in \mathbb{N}, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Pode-se também considerar que existem limitantes superiores nas quantidades disponíveis para cada item $0 \leq x_i \leq c_i$, $i = 1, \dots, n$.

Outra formulação considera que existe apenas um exemplar de cada item disponível, que é a abordagem 0-1 do problema da mochila:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^n f_i x_i \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_{i=1}^n a_i x_i \leq b, \\ & x_i \in \mathbb{B}, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Os conceitos de peso, capacidade e valor permanecem os mesmos. É possível formular o problema da mochila na forma 0-1 com os limitantes máximos para cada item

estabelecidos (por exemplo, $c_i = \lfloor b/a_i \rfloor$), pois podemos considerar c_i cópias “distintas” do item i . Se a variável for igual a 1, o item foi selecionado e, se for 0, não.

Algumas premissas devem ser consideradas para os dados de entrada do Problema da Mochila e de suas variações, apresentadas por [6]:

- Devem haver pelo menos dois itens avaliados ($n \geq 2$);
- O peso total dos itens não pode exceder a capacidade total da mochila $a_i \leq b, i = 1, \dots, n$;
- Todos os valores e pesos dos itens são positivos: $f_i > 0, a_i > 0, i = 1, \dots, n$.

3.3 – Aplicação do Problema da Mochila e Limitações de sua Versão Tradicional

O **Problema da Mochila** pode ser atribuído à necessidade de otimização da equipe referente à escolha de projetos durante o ciclo de desenvolvimento do **PBU20**. Comparando o problema em sua forma original e na forma adaptada para aplicação para a Equipe UNICAMP Baja SAE, os n itens considerados para se colocar dentro da mochila serão os n projetos da equipe (se $x_i = 1$, a equipe dará continuidade ao projeto i e, se $x_i = 0$, não). Visto que alguns projetos são essenciais para dar continuidade ao projeto (e não se referem a melhorias desejadas pela equipe), estes serão desconsiderados da lista, pois já farão parte do escopo de projeto.

Os valores associados aos itens (projetos) f_i serão os valores estimados pela equipe de impacto positivo de cada projeto nas provas da competição descritas em **2.2.2.2 – Descrição das provas – Competição Nacional**. As pontuações máximas de cada prova (apresentadas em **2.2.2.1 – Avaliação – Competição Nacional** servirão como pesos para esses valores na função objetivo do problema. Visto que projetos da diretoria administrativa têm difícil correlação direta com as pontuações da competição, estes também serão desconsiderados nesta análise, serão mantidos na lista apenas projetos técnicos ou de impacto direto em provas da competição como apresentação e relatório de projeto.

Na seção **3.1 – Necessidade de otimização – Equipe UNICAMP Baja SAE**, as principais limitações do problema específico do Baja são descritas como sendo o

orçamento e o tempo disponível dos membros para trabalho. Como os membros estão alocados nas seis áreas técnicas (**CCS** – Carenagens, Compósitos e Segurança, **EFE** – Estrutura, Fixadores e Ergonomia, **ELT** – Elétrica, **FRE** – Freios, **PWT** – *Powertrain* ou **SED** – Suspensão e Direção), faz sentido que a limitação de tempo disponível dos membros seja dividida entre seis. Dessa forma, há sete restrições listadas para o problema do Baja, enquanto o problema tradicional só traz um peso a_i associado a cada item. Também deve haver sete capacidades totais, sendo que o problema tradicional traz apenas uma capacidade total da mochila b .

É necessário, então, que haja uma modificação no Problema da Mochila tradicional. Como é um tipo de problema muito utilizado, uma variação do problema já foi formulada em diferentes literaturas e será apresentada a seguir.

3.4 – Problema da Mochila Multidimensional

Há uma variação do problema da mochila tradicional, o problema da mochila multidimensional, apresentado em [6], que contém múltiplas restrições de peso em vez de uma e, portanto, um conjunto de mais de um recurso.

A generalização da forma do problema fica então:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^n f_i x_i \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \leq b_j, \\ & x_i \in \mathbb{B}, \\ & i = 1, \dots, n \quad | \quad j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Como já explicitado na seção **3.2 – Problema da Mochila**, é assumido que f_i , a_{ji} e b_j são valores positivos inteiros para $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, m$. É permitido que $a_{ji} = 0$ para alguns i e j , contanto que $\sum_{j=1}^m a_{ji} \geq 1$ seja verdadeiro para todos os itens $j = 1, \dots, m$.

3.5 – Definições do Problema

O problema, agora em sua variação multidimensional, segue a forma enunciada na seção anterior e tem os seguintes termos:

- Conjunto de n projetos adicionais listados pela equipe (projetos adicionais são aqueles não considerados essenciais. Também são desconsiderados àqueles da diretoria administrativa sem relação direta com as pontuações das provas da competição);
- Variável x_i associada a cada projeto $i = 1, \dots, n$, sendo $x_i \in \mathbb{B}$;
- Valor f_i associado a cada projeto $i = 1, \dots, n$ (relacionado à importância do projeto e seu impacto nas pontuações das provas da competição);
- Conjunto de m dimensões de restrições (sendo $m = 7$ neste caso, sendo seis dimensões referentes aos tempos demandados por cada área e um o custo do projeto);
- Restrição a_{ji} para $j = 1, \dots, m$ e $i = 1, \dots, n$, sendo a condição $\sum_{j=1}^m a_{ji} \geq 1$ obrigatória para todo $j = 1, \dots, m$:
 - Tempo demandado estimado da área CCS a_{1i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$;
 - Tempo demandado estimado da área EFE a_{2i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$;
 - Tempo demandado estimado da área ELT a_{3i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$;
 - Tempo demandado estimado da área FRE a_{4i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$;
 - Tempo demandado estimado da área PWT a_{5i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$;
 - Tempo demandado estimado da área SED a_{6i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$;
 - Custo estimado a_{7i} para cada projeto $i = 1, \dots, n$ (é importantes ressaltar que se o projeto tem demandas referentes a materiais, componentes e/ou serviços que a equipe recebe como patrocínio, estas não serão consideradas como custos visto que a equipe não terá que gastar recursos financeiros).

- Conjunto de capacidades b_j para $j = 1, \dots, m$ dimensões de restrição:
 - Tempo total disponível dos membros da área CCS no ano para projetos adicionais b_1 ;
 - Tempo total disponível dos membros da área EFE no ano para projetos adicionais b_2 ;
 - Tempo total disponível dos membros da área ELT no ano para projetos adicionais b_3 ;
 - Tempo total disponível dos membros da área FRE no ano para projetos adicionais b_4 ;
 - Tempo total disponível dos membros da área PWT no ano para projetos adicionais b_5 ;
 - Tempo total disponível dos membros da área SED no ano para projetos adicionais b_6 ;
 - Orçamento separado pela equipe destinado aos projetos adicionais (não necessários para os projetos essenciais) b_7 .

3.5.1 – Objetivo do Problema

Como explicitado em **3.1 – Necessidade de otimização – Equipe UNICAMP Baja SAE**, uma das dificuldades da Equipe UNICAMP Baja SAE no início de um novo ciclo de projeto é otimizar a seleção de projetos a que dará continuidade no decorrer do ano a fim de obter um bom desempenho na competição nacional.

O objetivo do desenvolvimento deste trabalho é auxiliar a equipe na seleção desses projetos por meio da solução de um problema de otimização do tipo **Problema da Mochila Multidimensional**. Será empregada a metodologia descrita no **Capítulo 4** para que, a partir de uma lista de projetos (**3.5.2 – Definição de Projetos**), seus valores (**3.5.3 – Definição de Valores Associados**) e pesos associados (**3.5.4 – Definição de Pesos Associados**), além das restrições de recursos da equipe (**3.5.5- Definição de Capacidades**), seja possível chegar a uma solução ótima do problema. Deverão ser considerados, ao final, as fragilidades da formulação do problema em questão (**3.5.6 – Fragilidades do Problema Forumado**). A lista de projetos, assim como seus valores e pesos associados, foi definida antes do cálculo de capacidades.

3.5.2 – Definição de Projetos

A lista de projetos do problema foi definida junto à equipe e é apresentada a seguir. É importante ressaltar novamente que são considerados apenas os projetos denominados adicionais, isto é, não essenciais para continuidade da participação da Equipe em competições, com foco em melhorias. Os projetos essenciais, como fabricação de componentes para montagem final do carro sem alterações significativas em comparação ao protótipo anterior, terão que ser realizados de qualquer forma e não podem ser descartados. Assim, não entram na análise de escolha.

1. **Reforma pista de testes:** tornar o terreno mais próximo com o encontrado em competição para testes mais válidos dos componentes, sistemas e protótipo como um todo (planejamento, materiais, reforma e teste de seu funcionamento);
2. **Aquisição de amortecedores FOX:** possibilita maior liberdade de projeto e variação constante da mola, adaptabilidade às diferentes condições das provas (compra e planejamento de alterações decorrentes da alteração do tipo de amortecedor, reprojeto);
3. **Vídeos montagens subsistemas:** facilita aprendizado de montagem a todos os membros, de modo que todos os membros no *box* da competição tenham conhecimento de todos os subsistemas (planejamento, gravação, edição, estudo);
4. **Padronização temas apresentações:** interligar melhor apresentações para possível colocação na prova final de apresentação (estudo das apresentações e de métodos de melhoria e padronização e possíveis alterações necessárias);
5. **Curso Excel:** maior conhecimento da ferramenta pode facilitar organização e execução de projetos (compra do serviço de algum programa de cursos, planejamento das aulas para os membros);
6. **Nova caixa de redução:** nova caixa de redução com melhor desempenho em vez de reutilizar atual (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, validação e testes);
7. **Aquisição Snorkel:** possibilita melhor desempenho em provas com poças de lama (planejamento, compra, adaptação à estrutura e testes);
8. **Pneus novos:** pneus novos permitem melhor aderência ao solo e melhor desempenho em obstáculos (compra);
9. **Banco novo:** banco mais ergonômico que proporcione melhor conforto ao piloto durante pilotagem (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura, validação e testes);

10. **Encosto de cabeça regulável:** tornar o encosto mais ergonômico independente do piloto (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura e validação);
11. **Dispositivo para banco regulável:** tornar o banco mais ergonômico independente do piloto (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura e validação);
12. **Discos de freio novos (nova geometria):** otimizar massa, desempenho e custo (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, validação e testes);
13. **Pinças novas (nacionais):** fim da dependência de importações do componente e bom desempenho do sistema (compra e planejamento de alterações decorrentes da alteração do tipo de pinça, reprojeção);
14. **Modificações fixações freios:** facilitar acesso e manutenção do sistema (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura fixadores, validação e testes);
15. **Modificações fixações *powertrain*:** facilitar acesso e manutenção do sistema (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura fixadores, validação e testes);
16. **Dispositivo para coluna do volante regulável:** tornar o volante mais ergonômico independente do piloto (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura e validação);
17. **Reposicionamento pedais:** facilitar acesso do piloto e melhorar ergonomia , nivelando ambos os pedais (planejamento, projeto, manufatura fixadores e validação);
18. **Reposicionamento bateria:** facilitar montagem e acesso a cilindro mestre (planejamento, projeto, manufatura fixadores e validação);
19. **Pedal acelerador novo:** reduzir força de acionamento, melhorar ergonomia e eficácia (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, validação e testes);
20. **Mudança de acionamento – Cilindro Mestre próprio:** mudar razão de alavanca e melhorar eficácia do sistema, sem dependência de compras (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, validação e testes);
21. **Mudança design chapéu (carenagem superior):** melhorar design e atratividade carenagens, facilitando identificação do veículo nas provas ao mesmo tempo (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura e validação);

22. **Assoalho interno ergonômico:** fornecer apoio para pés do piloto quando não estão nos pedais, melhorando ergonomia (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura e validação);
23. **Painel acoplado ao volante:** facilitar visualização das informações do veículo (planejamento, esboço, projeto detalhado, compra componentes, manufatura e montagem, testes em placa padrão, validação);
24. **Memória embarcada no sistema:** possibilidade de armazenamento de dados no carro (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, testes);
25. **Adição de acelerômetro no sistema:** aquisição de parâmetros de aceleração lateral nos testes de limiar de tombamento e *skid pad* (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compra módulo, manufatura, testes);
26. **Mudança de alcance da telemetria:** mudanças para otimizar alcance e processamento de dados (testes de alcance, mudança posição antena, otimização de códigos, testes);
27. **Troca de chicote:** reduzir ruído com cabos blindados (planejamento, esboço, compras, manufatura, validação e testes);
28. **Novo pedal de freio de nylon:** pedal sem rótula, reduzir peso com material (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, validação e testes);
29. **Mecanismo de cambagem:** mecanismo nas bandejas que facilite mudança de cambagem durante testes e provas na competição (planejamento, esboço, definição de geometria, manufatura, testes);
30. **Sistema de ajuste pré-carga:** facilitar e tornar mais rápido o procedimento de pré-carga (planejamento, esboço, compras de célula de carga e arduínos, manufatura, testes);
31. **Nova proteção CVT** (transmissão continuamente variável): melhor vedação e redução de massa, novo design (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura, validação e testes);
32. **Bancada CVT:** realização de testes variando *setups* e forças resistivas, possibilitar escolha de melhor *setup* para cada prova (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura, validação e testes);
33. **Teste de impacto frontal carenagem:** submeter corpos de prova de *honeycomb* e fibra de vidro ao choque com pesos (busca de laboratório, revisão metodologia, testes, análise e relatório);
34. **Teste de vibração carro:** acelerar motor a diferentes rotações para avaliar a frequência de vibração dentro do *cockpit* do veículo, análise ergonômica (busca

- de laboratório, revisão metodologia, preparo do veículo e instrumentação, testes, análise e relatório);
35. **Análise modal estrutura:** vibração do veículo a diferentes frequências (reservar máquina laboratório FEM, revisão metodologia, preparo do veículo e instrumentação, testes, análise e relatório);
 36. **Estudo de visibilidade:** identificar possíveis melhorias para o campo de visão do piloto (revisão metodologia, testes, análise, relatório);
 37. **Formato volante ergonômico:** aumentar conforto do piloto conduzindo o veículo (planejamento, esboço, projeto detalhado, manufatura, validação e testes);
 38. **Desenvolvimento modelo vertical:** conhecimento sobre os componentes, configurações e posicionamento para melhorar desempenho dos sistemas (estudo, desenvolvimento, simulações e testes);
 39. **Estudo pneus:** conhecimento sobre os componentes e escolha para melhorar desempenho dos sistemas (estudo, desenvolvimento, simulações e testes);
 40. **Modelagem CVT:** conhecimento sobre o componente, configurações e posicionamento para melhorar desempenho do sistema (estudo, desenvolvimento, simulações e testes);
 41. **Análise de arrasto carenagens:** analisar design e formato das carenagens e influência no comportamento dinâmico, possibilitar melhora (aquisição ferramentas, revisão metodologia, preparo do veículo e instrumentação, testes, análise e relatório);
 42. **Treinamento de técnicas de apresentação:** treinamento de técnicas para melhorar desempenho dos apresentadores nas provas de apresentação de projeto (estudo, treinamento e simulações);
 43. **Material de apoio – padronização apostilas:** facilitar acesso e apresentação das informações nas provas de apresentação (estudo, planejamento, esboço e modificações apostilas);
 44. **Molde spill:** possibilitar construção fora do carro, facilitar manutenção posterior (planejamento, esboço, projeto, compras, manufatura, testes);
 45. **Mecanismo bandeirola:** melhorar robustez do componente que deve permanecer no veículo durante todas as provas e pode sofrer danos em caso de capotamento (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura, validação e testes);
 46. **Mudança material carenagens laterais:** melhorar robustez, design e acabamento dos componentes (planejamento, esboço, projeto detalhado, compras, manufatura, validação e testes);

47. **Mecanismo de montagem capô:** novo mecanismo para facilitar e tornar mais rápido o acesso a componentes relevantes que podem precisar de manutenção durante testes e provas (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura, validação e testes);
48. **Mudança de sensor de combustível:** melhorar confiança na informação de nível de combustível (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura fixadores e testes);
49. **Instalação GPS:** possibilitar análises em testes e provas (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura fixadores e testes);
50. **Sensor giroscópio:** permite realizar testes cruzando informações de outros sensores, analisar abordagens de manobra em obstáculos diversos (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura fixadores e testes);
51. **Sensor de rotação nas 4 rodas:** obtenção de informações de rotação, velocidade, aceleração do veículo (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura dispositivos fixadores e testes);
52. **Sensor curso nos pedais:** potenciômetro angular ou sensor de efeito *hall* contínuo para ver eficácia de acionamento e aproveitamento de desempenho do componente (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura dispositivos fixadores e testes);
53. **Treinamento adicional piloto:** melhorar conhecimento do piloto sobre carro e desempenho nas provas (planejamento e treinamento);
54. **Criação de protocolos de manutenção:** facilita aprendizado de manutenção a todos os membros, de modo que todos os membros no *box* da competição tenham conhecimento de todos os subsistemas (planejamento, confecção, edição e estudo);
55. **Treinamento de piloto para montagem:** melhorar conhecimento sobre montagem de subsistemas, agilizar montagem durante enduro e provas se necessário (planejamento e treinamento);
56. **Dispositivos para reduzir vibração em piloto:** aumentar conforto do piloto (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura dispositivos e testes);
57. **Botões de comunicação piloto-box:** facilitar comunicação de piloto e outros membros para identificação de problemas do carro e soluções (planejamento, esboço, projeto detalhado, compra componentes, manufatura e montagem, testes em placa padrão e validação);

58. **Vedação melhorada do motor contra lama:** garantir bom funcionamento do motor sem resíduos de lama (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura dispositivo vedação e testes);
59. **Diferencial *powertrain*:** melhorar desempenho dinâmico, estabilidade em curvas, evitar rodas patinando em poças (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
60. **Camos no pedal acelerador:** melhorar força linear e comportamento sistema (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
61. **Coxim do motor:** aumentar conforto do piloto com redução de vibrações (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
62. **Barra acoplável SED:** aumentar rigidez traseira e tornar regulável (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
63. **Estudo *bumpsteer*:** estudo de influências de configurações de ângulos como *caster* e *kingpin* no desempenho da suspensão e direção (planejamento, estudo, simulações, análises e relatórios);
64. **Sistema de refrigeração da CVT:** garantir funcionamento correto da CVT pelas quatro horas de enduro (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
65. **Entre-eixos variável:** melhorar desempenho do sistema, configurações para provas (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
66. **Homocinética sem folga:** melhorar confiabilidade do componente, menor perda de eficiência na transmissão (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, compras, manufatura e testes);
67. **Mudança posição pinça traseira:** melhorar desempenho sistema freios (planejamento, esboço, projeto detalhado, simulações, manufatura dispositivos fixadores e testes);
68. **Análise CFD (Computational Fluid Dynamics) discos de freio:** análise de temperatura para otimizar sistema (planejamento, projeto, simulação térmica, estudo *software* e testes);
69. **Estudo impacto turismo – Apresentação Vendas:** impacto da situação atual do país no turismo e, portanto, impacto na comercialização de Bajas (planejamento, contatos e estudos);

70. **Estudo de análise de riscos – Apresentação Vendas:** análise de cenários e riscos, impacto viabilidade (planejamento, estudos, construção ferramentas e testes);
71. **Nova pesquisa de mercado:** pesquisa feita com público entusiasta automotivo *off-road* para auxílio da conceituação do protótipo de competição e de produção em massa na apresentação de vendas;
72. **Novo plano de marketing pós pandemia:** criação de estratégias para sucesso da empresa Baja no período pós pandemia para apresentação de vendas;
73. **Novo plano de investimento – Apresentação Vendas:** plano de apresentação para possíveis investidores fictícios da empresa de produção em massa Baja;
74. **Estudo de investimentos acionistas para plano adicional – Apresentação Vendas:** análise de comparação de investimentos para possíveis investidores fictícios da empresa de produção em massa Baja;
75. **Plano de franquias – Apresentação Vendas:** estudo para implementação de franquias no cenário de sucesso da empresa Baja;
76. **Estudo de produção fora do Brasil – Apresentação Vendas:** análise de viabilidade de expansão do projeto;
77. **Estudo marketing mercado automotivo – criação de portfólio – Apresentação de Vendas:** estruturação de planos de marketing para divulgação da marca fictícia da empresa Baja para relatório e apresentação;
78. **Atualização de estudo cenário brasileiro – Apresentação Vendas:** análise de oportunidades e viabilidade de entrada de nova empresa automotiva, auxílio para estratégias;
79. **Otimização do ponto de reboque:** definição de novo ponto de reboque para otimização na prova de tração;
80. **Troca de material (alumínio) para as peças *firewall*:** troca de material para melhorar resistência, acabamento e facilidade de manufatura;
81. **Novo método de adesivagem carenagens:** método para melhor qualidade de acabamento das carenagens e maior duração;
82. **Novo método de revestimento para banco, encosto e volante:** novos materiais e método de fabricação dos revestimentos para maior duração em ambiente de competição, além de melhor acabamento;
83. **Mudança material *honeycomb* assoalho externo:** melhorar resistência do assoalho para proteção dos componentes frontais;
84. **Pneus *Carlisle* para provas específicas:** compra de outro conjunto de pneus de melhor qualidade e maior aderência para provas que requerem o perfil específico;

- 85. **Compra de novo modelo bateria:** melhorar autonomia da bateria para painel, *kill switch* e telemetria;
- 86. **Método de termoformagem para carenagens laterais:** troca de método para possibilitar novos formatos curvos da carenagem;
- 87. **Compra CVT:** modelo de melhor desempenho, ainda é necessário estudo e modelagem;
- 88. **Alteração de material proteção CVT para aramida:** material mais resistente a temperatura e impactos, adequado para proteção do componente;
- 89. **Aquisição rodas DWT:** novas rodas sem gastos e defeitos, melhor acabamento;
- 90. **Novo método de molde para chapéu:** maior facilidade de manufatura e possibilidade de explorar novos formatos de design.

3.5.3 – Definição de Valores Associados

Os valores associados f_{ki} para $i = 1, \dots, n$ são notas de 1 a 10 atribuídas aos n projetos na perspectiva de cada uma das provas $k = 1, \dots, 10$ (representadas na **Tabela 1** pelos números associados de acordo com a lista abaixo). A equipe analisou a importância de cada projeto na melhora de desempenho em cada prova.

Lista de provas representadas na Tabela 1 e suas respectivas pontuações:

1. Relatório de projeto **(120)**
2. Avaliação Projeto Dinâmico **(20)**
3. Apresentação de Projeto **(180)**
4. Aceleração **(45)**
5. Retomada **(45)**
6. Tração **(45)**
7. Super prime **(30)**
8. Suspensão **(70)**
9. Manobrabilidade **(45)**
10. Enduro **(400)**

Tabela 1 – Valores associados aos projetos para cada prova da competição

Projetos		Avaliação de Projeto (320)			Eventos dinâmicos (280)					Enduro (400)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Reforma pista de testes	2	8	2	2	2	5	4	8	5	8
2	Aquisição de amortecedores - FOX	2	7	3	2	2	2	5	8	2	7
3	Vídeos montagens subsistemas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4
4	Padronização temas apresentações	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
5	Curso Excel	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
6	Nova caixa de redução	2	6	4	8	8	8	5	7	4	7
7	Aquisição Snorkel	2	5	3	0	0	0	0	5	0	4
8	Pneus novos	0	3	0	5	4	6	4	5	5	4
9	Banco novo	2	8	4	2	2	3	4	4	4	5
10	Encosto de cabeça regulável	2	8	4	2	2	3	4	4	4	5
11	Dispositivo para banco regulável	2	8	3	2	2	3	4	3	3	5
12	Discos de freio novos (nova geometria)	2	6	3	3	3	5	5	5	6	4
13	Pinças novas (nacionais)	1	4	2	2	2	2	3	4	3	3
14	Modificações fixações freios	1	2	2	3	3	3	2	2	2	4
15	Modificações fixações <i>powertrain</i>	1	2	2	3	3	3	3	2	2	4
16	Dispositivo para coluna do volante regulável	2	7	3	2	2	4	4	4	7	5
17	Reposicionamento pedais	1	7	2	5	5	5	5	5	5	5
18	Reposicionamento bateria	1	5	1	3	3	3	3	3	3	3
19	Pedal acelerador novo	1	6	2	5	5	5	3	5	4	6
20	Mudança de acionamento - Cilindro Mestre próprio	2	6	4	8	8	7	3	5	5	5
21	Mudança design chapéu	2	4	4	0	0	0	0	0	0	1
22	Assoalho interno ergonômico	2	6	3	1	1	3	3	4	3	4
23	Painel acoplado a volante	3	8	4	6	6	6	4	6	6	6
24	Memória embarcada no sistema	1	6	2	3	3	3	3	4	3	2
25	Adição de acelerômetro no sistema	2	4	3	5	5	5	2	2	3	2
26	Mudança de alcance telemetria	2	7	3	1	1	1	3	5	3	7
27	Troca de chicote	1	4	2	1	1	1	2	4	3	4
28	Novo pedal de freio de nylon	2	5	3	2	2	3	4	5	6	5
29	Mecanismo de cambagem	1	4	3	3	3	3	4	6	4	7

30	Sistema de ajuste pré-carga	1	3	1	3	3	3	3	6	3	6
31	Nova proteção CVT	1	2	3	2	2	3	3	5	2	4
32	Bancada CVT	3	3	4	6	6	5	3	4	2	4
33	Teste de impacto frontal carenagem	2	2	3	2	2	2	4	5	1	6
34	Teste de vibração carro	3	6	4	2	2	3	3	3	3	4
35	Análise modal estrutura	2	5	3	3	3	2	2	3	2	3
36	Estudo de visibilidade	2	6	3	3	3	3	4	4	4	4
37	Formato volante ergonômico	2	7	3	3	3	3	3	3	4	3
38	Desenvolvimento modelo vertical	3	6	4	1	1	1	3	6	3	5
39	Estudo pneus	3	5	3	5	5	5	4	5	5	4
40	Modelagem CVT	3	6	4	8	8	8	5	6	5	5
41	Análise de arrasto carenagens	2	2	3	4	4	1	1	1	2	2
42	Treinamento de técnicas de apresentação	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0
43	Material de apoio - padronização apostilas	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0
44	Molde <i>spill</i>	2	3	3	1	1	1	1	1	1	2
45	Mecanismo bandeirola	1	2	2	3	3	3	3	4	3	7
46	Mudança material carenagens laterais	1	3	3	1	1	1	1	3	1	3
47	Mecanismo de montagem capô	3	7	4	3	3	3	3	4	3	6
48	Mudança sensor de combustível	2	3	3	2	2	2	2	3	2	6
49	Instalação GPS	3	4	4	2	2	0	2	4	2	6
50	Sensor giroscópio	3	2	4	1	1	2	2	4	3	4
51	Sensor de rotação nas 4 rodas	2	4	3	2	2	5	2	2	2	3
52	Sensor curso nos pedais	2	4	3	6	6	5	3	3	3	3
53	Treinamento adicional piloto	0	4	0	4	4	6	5	5	6	5
54	Criação protocolos de manutenção	3	2	5	2	2	2	2	3	2	3
55	Treinamento de piloto para montagem	0	2	0	1	1	1	1	2	1	5
56	Dispositivos para reduzir vibração em piloto	2	5	2	2	2	2	2	3	2	4
57	Botões de comunicação piloto- <i>box</i>	3	6	4	1	1	3	3	5	3	7
58	Vedação melhorada do motor contra lama	1	2	2	2	2	2	2	4	2	4
59	Diferencial <i>powertrain</i>	3	7	4	4	4	5	5	6	5	6
60	Camos no pedal acelerador	1	5	2	6	6	4	4	3	4	3
61	Coxim do motor	1	5	2	2	2	2	3	3	3	4
62	Barra acoplável SED	1	4	2	2	2	4	4	5	5	4

63	Estudo <i>bumpsteer</i>	3	5	4	2	2	3	4	5	5	4
64	Sistema de refrigeração da CVT	1	2	2	2	2	1	1	3	1	4
65	Entre-eixos variável	1	2	2	5	5	5	2	3	2	3
66	Homocinética sem folga	1	3	2	6	6	6	2	3	2	3
67	Mudança posição pinça traseira	1	3	2	1	3	2	3	3	4	3
68	Análise CFD discos de freio	2	2	3	2	4	2	2	2	4	2
69	Estudo impacto turismo - Apresentação Vendas	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0
70	Estudo de análise de riscos - Apresentação Vendas	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0
71	Nova pesquisa de mercado	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0
72	Novo plano de marketing - pós pandemia	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0
73	Novo plano de investimento - Apresentação Vendas	1	0	6	0	0	0	0	0	0	0
74	Estudo investimentos acionistas - Apresentação Vendas	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0
75	Planos de franquias - Apresentação Vendas	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0
76	Estudo produção fora do Brasil - Apresentação Vendas	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0
77	Estudo marketing mercado automotivo - portfólio Apresentação Vendas	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0
78	Estudo cenário brasileiro - Apresentação Vendas	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0
79	Otimização ponto de reboque	4	3	4	0	0	4	0	0	0	0
80	Troca de material (alumínio) para duas peças <i>firewall</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
81	Novo método de adesivagem carenagens	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
82	Novo revestimento banco, encosto, volante	0	2	4	0	0	0	2	0	0	1
83	Mudança material <i>honeycomb</i> assoalho externo	2	0	1	0	0	0	3	4	0	2
84	Pneus <i>Carlisle</i> para provas específicas	1	0	2	0	0	0	3	3	0	2
85	Compra de novo modelo bateria	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
86	Método de termoformagem para carenagens laterais	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
87	Compra CVT	1	2	4	6	6	5	2	3	0	4
88	Alteração de material proteção CVT para aramida	0	0	3	0	0	0	0	3	0	5
89	Aquisição rodas dwt	0	0	2	0	0	0	0	3	0	2
90	Novo método de molde para chapéu	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0

Posteriormente, para calcular o valor total final de cada projeto do conjunto, cada valor associado f_{ki} é multiplicado pela variável x_i e pela pontuação da prova (quanto maior a pontuação máxima da prova, maior o impacto final do valor positivo f_i , o que justifica a multiplicação pela pontuação da prova), ou seja:

$$\sum_{k=1}^p v_p \sum_{i=1}^n f_{ki} x_i$$

sendo $p = 10$ o número de provas e v_p o valor (pontuação máxima) de cada prova.

A **Tabela 2** a seguir apresenta os valores da **Tabela 1** já multiplicados pelas pontuações máximas das provas e, na última coluna, os valores são somados para obtenção do valor total por projeto:

Tabela 2 – Valores associados aos projetos multiplicados por pontuações das provas

P R O J	Avaliação de Projeto (320)			Eventos dinâmicos (280)						Enduro (400)	Soma
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
1	240	160	360	90	90	225	120	560	225	3200	5270
2	240	140	540	90	90	90	150	560	90	2800	4790
3	240	40	360	90	90	90	60	140	90	1600	2800
4	0	0	1620	0	0	0	0	0	0	0	1620
5	600	0	900	0	0	0	0	0	0	0	1500
6	240	120	720	360	360	360	150	490	180	2800	5780
7	240	100	540	0	0	0	0	350	0	1600	2830
8	0	60	0	225	180	270	120	350	225	1600	3030
9	240	160	720	90	90	135	120	280	180	2000	4015
10	240	160	720	90	90	135	120	280	180	2000	4015
11	240	160	540	90	90	135	120	210	135	2000	3720
12	240	120	540	135	135	225	150	350	270	1600	3765
13	120	80	360	90	90	90	90	280	135	1200	2535
14	120	40	360	135	135	135	60	140	90	1600	2815
15	120	40	360	135	135	135	90	140	90	1600	2845
16	240	140	540	90	90	180	120	280	315	2000	3995
17	120	140	360	225	225	225	150	350	225	2000	4020
18	120	100	180	135	135	135	90	210	135	1200	2440

19	120	120	360	225	225	225	90	350	180	2400	4295
20	240	120	720	360	360	315	90	350	225	2000	4780
21	240	80	720	0	0	0	0	0	0	400	1440
22	240	120	540	45	45	135	90	280	135	1600	3230
23	360	160	720	270	270	270	120	420	270	2400	5260
24	120	120	360	135	135	135	90	280	135	800	2310
25	240	80	540	225	225	225	60	140	135	800	2670
26	240	140	540	45	45	45	90	350	135	2800	4430
27	120	80	360	45	45	45	60	280	135	1600	2770
28	240	100	540	90	90	135	120	350	270	2000	3935
29	120	80	540	135	135	135	120	420	180	2800	4665
30	120	60	180	135	135	135	90	420	135	2400	3810
31	120	40	540	90	90	135	90	350	90	1600	3145
32	360	60	720	270	270	225	90	280	90	1600	3965
33	240	40	540	90	90	90	120	350	45	2400	4005
34	360	120	720	90	90	135	90	210	135	1600	3550
35	240	100	540	135	135	90	60	210	90	1200	2800
36	240	120	540	135	135	135	120	280	180	1600	3485
37	240	140	540	135	135	135	90	210	180	1200	3005
38	360	120	720	45	45	45	90	420	135	2000	3980
39	360	100	540	225	225	225	120	350	225	1600	3970
40	360	120	720	360	360	360	150	420	225	2000	5075
41	240	40	540	180	180	45	30	70	90	800	2215
42	0	100	1620	0	0	0	0	0	0	0	1720
43	240	0	1080	0	0	0	0	0	0	0	1320
44	240	60	540	45	45	45	30	70	45	800	1920
45	120	40	360	135	135	135	90	280	135	2800	4230
46	120	60	540	45	45	45	30	210	45	1200	2340
47	360	140	720	135	135	135	90	280	135	2400	4530
48	240	60	540	90	90	90	60	210	90	2400	3870
49	360	80	720	90	90	0	60	280	90	2400	4170
50	360	40	720	45	45	90	60	280	135	1600	3375
51	240	80	540	90	90	225	60	140	90	1200	2755
52	240	80	540	270	270	225	90	210	135	1200	3260
53	0	80	0	180	180	270	150	350	270	2000	3480

54	360	40	900	90	90	90	60	210	90	1200	3130
55	0	40	0	45	45	45	30	140	45	2000	2390
56	240	100	360	90	90	90	60	210	90	1600	2930
57	360	120	720	45	45	135	90	350	135	2800	4800
58	120	40	360	90	90	90	60	280	90	1600	2820
59	360	140	720	180	180	225	150	420	225	2400	5000
60	120	100	360	270	270	180	120	210	180	1200	3010
61	120	100	360	90	90	90	90	210	135	1600	2885
62	120	80	360	90	90	180	120	350	225	1600	3215
63	360	100	720	90	90	135	120	350	225	1600	3790
64	120	40	360	90	90	45	30	210	45	1600	2630
65	120	40	360	225	225	225	60	210	90	1200	2755
66	120	60	360	270	270	270	60	210	90	1200	2910
67	120	60	360	45	135	90	90	210	180	1200	2490
68	240	40	540	90	180	90	60	140	180	800	2360
69	360	0	900	0	0	0	0	0	0	0	1260
70	480	0	1260	0	0	0	0	0	0	0	1740
71	600	0	1260	0	0	0	0	0	0	0	1860
72	480	0	900	0	0	0	0	0	0	0	1380
73	120	0	1080	0	0	0	0	0	0	0	1200
74	120	0	720	0	0	0	0	0	0	0	840
75	240	0	540	0	0	0	0	0	0	0	780
76	360	0	540	0	0	0	0	0	0	0	900
77	360	0	720	0	0	0	0	0	0	0	1080
78	480	0	900	0	0	0	0	0	0	0	1380
79	480	60	720	0	0	180	0	0	0	0	1440
80	0	0	180	0	0	0	30	0	0	0	210
81	0	0	900	0	0	0	0	0	0	0	900
82	0	40	720	0	0	0	60	0	0	400	1220
83	240	0	180	0	0	0	90	280	0	800	1590
84	120	0	360	0	0	0	90	210	0	800	1580
85	120	20	0	0	0	0	0	0	0	400	540
86	120	0	360	0	0	0	0	0	0	0	480
87	120	40	720	270	270	225	60	210	0	1600	3515
88	0	0	540	0	0	0	0	210	0	2000	2750

89	0	0	360	0	0	0	0	210	0	800	1370
90	480	0	900	0	0	0	0	0	0	0	1380

3.5.4 – Definição de Pesos Associados

Os pesos associados estimados a_{ji} para $j = 1, \dots, m$ e $i = 1, \dots, n$ são apresentados na **Tabela 3**, os tempos demandados por área em horas e o custo em reais. Na última linha são apresentadas as somas dos n pesos $\sum a_{1i}$, $\sum a_{2i}$, $\sum a_{3i}$, $\sum a_{4i}$, $\sum a_{5i}$, $\sum a_{6i}$ e $\sum a_{7i}$.

Tabela 3 – Pesos associados aos projetos

Projetos	CCS	EFE	ELT	FRE	PWT	SED	Custo (R\$)
1 Reforma pista de testes	24	24	41	32	49	49	120
2 Aquisição de amortecedores - FOX	0	0	0	0	0	50	6000
3 Vídeos montagens subsistemas	10	4	8	8	10	10	0
4 Padronização temas apresentações	5	5	5	5	5	5	0
5 Curso Excel	120	120	200	160	240	240	1400
6 Nova caixa de redução	0	0	0	0	400	0	500
7 Aquisição Snorkel	5	10	0	0	30		780
8 Pneus novos	0	0	0	0	0	4	1200
9 Banco novo	38	24	0	0	0	0	280
10 Encosto de cabeça regulável	18	24	0	0	0	0	120
11 Dispositivo para banco regulável	14	28	0	0	0	0	100
12 Discos de freio novos (nova geometria)	0	0	0	70	0	0	420
13 Pinças novas (nacionais)	0	0	0	60	0	0	600
14 Modificações fixações freios	0	0	0	0	0	0	400
15 Modificações fixações <i>powertrain</i>	0	0	0	0	0	0	200
16 Dispositivo para coluna do volante regulável	0	10	0	0	0	30	200
17 Reposicionamento pedais	0	20	0	5	5	0	150
18 Reposicionamento bateria	0	5	5	0	0	0	150
19 Pedal acelerador novo	0	0	0	200	0	0	1000

20	Mudança de acionamento - Cilindro Mestre próprio	0	0	0	250	0	0	1400
21	Mudança design chapéu	84	0	0	0	0	0	400
22	Assoalho interno ergonômico	30	12	0	10	10	0	160
23	Painel acoplado a volante	0	0	0	0	0	40	200
24	Memória embarcada no sistema	0	0	30	0	0	0	60
25	Adição de acelerômetro no sistema	0	0	90	0	0	30	35
26	Mudança de alcance telemetria	0	0	60	0	0	0	120
27	Troca de chicote	4	4	70	0	0	0	200
28	Novo pedal de freio de nylon	0	0	0	200	0	0	3000
29	Mecanismo de cambagem	0	0	0	0	0	30	100
30	Sistema de ajuste pré-carga	0	0	5	0	0	40	200
31	Nova proteção CVT	80	0	0	0	80	0	400
32	Bancada CVT	0	0	50	0	250	0	200
33	Teste de impacto frontal carenagem	40	0	0	0	0	0	0
34	Teste de vibração carro	0	36	0	0	0	0	0
35	Análise modal estrutura	0	60	0	0	0	0	0
36	Estudo de visibilidade	6	6	6	0	0	0	0
37	Formato volante ergonômico	12	12	6	0	0	15	140
38	Desenvolvimento modelo vertical	0	0	0	0	0	300	0
39	Estudo pneus	0	0	0	0	0	100	80
40	Modelagem CVT	0	0	100	0	400	0	100
41	Análise de arrasto carenagens	36	0	0	0	0	0	80
42	Treinamento de técnicas de apresentação	10	10	10	10	10	10	300
43	Material de apoio - padronização apostilas	12	12	12	12	12	12	0
44	Molde <i>spill</i>	36	6	0	0	4	0	100
45	Mecanismo bandeirola	24	12	0	0	0	0	140
46	Mudança material carenagens laterais	28	4	0	0	0	0	240
47	Mecanismo de montagem capô	18	0	0	0	0	0	80
48	Mudança sensor de combustível	0	0	60	0	0	0	200
49	Instalação GPS	0	0	50	0	0	0	140
50	Sensor giroscópio	0	0	50	0	0	0	70

51	Sensor de rotação nas 4 rodas	0	0	35	5	0	10	180
52	Sensor curso nos pedais	0	0	20	10	0	0	200
53	Treinamento adicional piloto	0	0	4	8	8	8	0
54	Criação protocolos de manutenção	12	6	10	10	12	12	0
55	Treinamento de piloto para montagem	4	1	3	3	4	4	0
56	Dispositivos para reduzir vibração em piloto	8	20	0	0	8	0	200
57	Botões de comunicação piloto-box	0	0	40	0	0	0	150
58	Vedação melhorada do motor contra lama	10	0	0	0	10	0	80
59	Diferencial <i>powertrain</i>	0	50	0	0	300	50	1800
60	Camos no pedal acelerador	0	15	0	0	25	0	300
61	Coxim do motor	0	0	0	0	80	0	270
62	Barra acoplável SED	0	0	0	0	0	60	100
63	Estudo <i>bumpsteer</i>	0	0	0	0	0	100	0
64	Sistema de refrigeração da CVT	0	0	0	0	80	0	180
65	Entre-eixos variável	0	0	0	0	200	0	150
66	Homocinética sem folga	0	0	0	0	60	0	200
67	Mudança posição pinça traseira	0	20	0	80	20	0	250
68	Análise CFD discos de freio	0	0	0	60	0	0	200
69	Estudo impacto turismo - Apresentação Vendas	0	0	0	10	20	10	300
70	Estudo de análise de riscos - Apresentação Vendas	0	0	0	10	10	20	0
71	Nova pesquisa de mercado	0	0	0	20	20	20	200
72	Novo plano de marketing - pós pandemia	0	0	0	30	30	20	0
73	Novo plano de investimento - Apresentação Vendas	0	0	0	40	40	40	0
74	Estudo investimentos acionistas - Apresentação Vendas	0	0	0	40	40	30	600
75	Planos de franquias - Apresentação Vendas	0	0	0	20	20	20	0
76	Estudo produção fora do Brasil - Apresentação Vendas	0	0	0	30	30	30	0
77	Estudo marketing mercado automotivo - portfólio Apresentação Vendas	0	0	0	15	30	20	0

78	Estudo cenário brasileiro - Apresentação Vendas	0	0	0	30	10	10	0
79	Otimização ponto de reboque	0	60	0	0	20	0	80
80	Troca de material (alumínio) para duas peças <i>firewall</i>	50	0	0	0	10	0	700
81	Novo método de adesivagem carenagens	25	0	0	0	0	0	1000
82	Novo revestimento banco, encosto, volante	30	20	0	0	0	10	400
83	Mudança material <i>honeycomb</i> assoalho externo	70	20	0	0	0	0	440
84	Pneus <i>Carlisle</i> para provas específicas	0	0	0	0	0	10	2100
85	Compra de novo modelo bateria	0	0	30	0	0	0	300
86	Método de termoformagem para carenagens laterais	30	20	0	0	0	0	1400
87	Compra CVT	0	10	0	0	80	0	5000
88	Alteração de material proteção CVT para aramida	20	0	0	0	20	0	900
89	Aquisição rodas dwt	0	0	0	0	0	20	1300
90	Novo método de molde para chapéu	120	20	0	0	0	0	600
TOTAL:		1033	710	1000	1443	2692	1469	41345

Alguns projetos relacionados a apresentação de vendas demandam tempo das áreas técnicas FRE, PWT e SED pois os membros envolvidos no desenvolvimento da apresentação este ano em específico fazem parte dessas três áreas.

3.5.5 – Definição de Capacidades

Para definição das capacidades b_j para $j = 1, \dots, 6$, ou seja, as capacidades referentes ao tempo total disponível dos membros (em horas) para projetos adicionais, as seguintes considerações são feitas:

- Tempo dedicado em média por um membro à equipe durante uma semana em período letivo = **15 horas**;
- Tempo dedicado em média por um membro à equipe durante uma semana nos meses de férias da graduação = **40 horas**;
- Um mês = **4,34524 semanas**;

- **Nove** meses são considerados como período letivo e **três** como meses de férias da graduação;
- A cada mês de férias da graduação, os membros tiram uma semana de folga, ou seja, não realizam atividades da equipe;
- Parcela do tempo que em média é destinada aos projetos adicionais = **1/6** (ou **16,67%**).

Tabela 4 – Capacidades de tempo total disponível por área

Área	Membros	Horas Totais / Ano	Horas Projetos Adicionais / Ano
CCS	3	2964	494
EFE	3	2964	494
ELT	5	4940	823
FRE	3	2964	494
PWT	6	5928	988
SED	6	5928	988

A capacidade b_7 , referente ao orçamento destinado pela equipe aos projetos adicionais, é estimada R\$ 8.000,00.

3.5.6 – Fragilidades do Problema Formulado

É importante ressaltar que há **fragilidades do problema formulado**, como, por exemplo:

- As capacidades b_j para $j = 1, \dots, 6$, ou seja, os tempos disponíveis das seis áreas técnicas para projetos adicionais são estimadas e os números considerados podem sofrer alterações ao longo do ano por motivos como:
 - Maior tempo demandado para os projetos essenciais do que o usual;
 - O tempo disponível por semana (tanto em período letivo como meses de férias) é uma média estimada de tempo dedicado dos membros da equipe, alguns deles podem ter menor ou maior dedicação, ou seja, mais ou menos horas empreendidas nos projetos adicionais.
- Como já explicitado, são considerados apenas projetos com impacto direto nas provas da competição, assim, projetos exclusivamente da diretoria

administrativa são desconsiderados (e também a contagem dos membros dessa diretoria);

- Os valores associados f_i (para $i = 1, \dots, n$), multiplicados pelas variáveis x_i e pelos pesos das provas, consideram apenas as pontuações máximas das provas e não as possíveis penalizações, tanto nas provas de suspensão, manobrabilidade e enduro como nas provas de segurança (estática e dinâmica).

Capítulo 4

Metodologia

4.1 – Métodos Computacionais

Algoritmos gerais para a resolução de problemas **PLI** podem ser categorizados em duas classes, como explicitado em [1], cada uma contendo diferentes casos: os métodos baseados em plano de corte, derivados do *Simplex*, e os enumerativos, baseados na enumeração inteligente de todas as possíveis soluções.

4.2 – Algoritmo *Branch-and-Bound*

A estratégia *Branch-and-Bound* é a base para a maioria dos *solvers* de problemas de PLI, uma das mais bem-sucedidas presentes na literatura para este tipo de problema, como explicitado em [1]. Em [4] a estratégia é colocada de forma simples como uma maneira organizada de abordar problemas difíceis dividindo-os em dois ou mais subproblemas menores (e, portanto, mais fáceis).

O método é baseado na enumeração inteligente das soluções de um PLI, o que quer dizer que não é necessário investigar todas as soluções factíveis, mas apenas algumas que são boas candidatas. O nome do método se refere à combinação de *branch*, particionamento inteligente do conjunto factível, e *bound*, construção de

limitantes inferiores bem construídos e que servem para demonstração de otimalidade sem uma busca exaustiva.

É possível encontrar uma solução mais facilmente considerando o problema de PLI em sua forma relaxada, ou seja, um problema PL com um limitante inferior, que tem a forma:

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f^T x \\ \text{sujeito a} \quad & Ax = b, \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

Na etapa de *branching* (ramificação), uma das variáveis de $x^{(0)}$ é escolhida para ser a variável de ramificação e dividir o problema original em dois problemas mutuamente excludentes. A solução do problema original é necessariamente a solução ótima de um dos subproblemas, pois $x_i \leq x_i^{(0)}$ ou $x_i \geq x_i^{(0)}$ deve ser satisfeita. Cada um dos subconjuntos é investigado com relaxação da restrição de integralidade e se a solução não for inteira, há uma nova ramificação. Busca-se uma solução ótima nos ramos de uma árvore de decisão, mostrada na **Figura 3**:

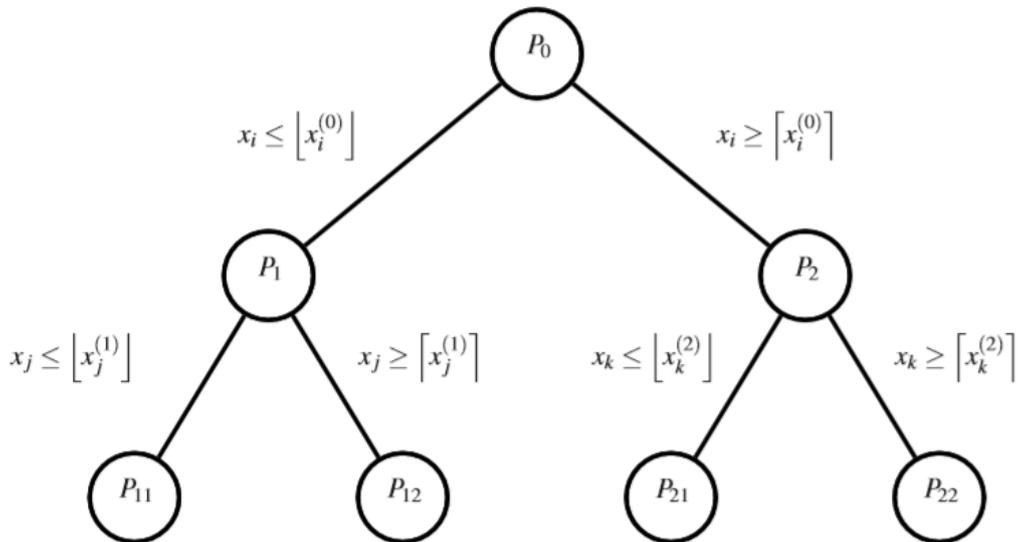


Figura 3: Árvore de busca criada por ramificações no método *Branch-and-Bound* [1]

As soluções subótimas encontradas nas ramificações são usadas na etapa *bounding* para eliminação precoce de ramos não promissores, diminuindo esforço na busca por soluções. Caso a solução ótima de um subproblema seja pior do que uma

solução inteira conhecida (candidata a ótima), o ramo pode ser eliminado. Se a solução for melhor do que a fornecida pelo problema P_1 na árvore [Figura 3], esta elimina o ramo definido por P_1 .

As variáveis para as quais a ramificação (etapa *branching*) ainda não foi executada são chamadas variáveis livres, como explicitado em [6]. A estrutura de *Branch-and-Bound* resulta na chamada busca em profundidade (*depth-first search* ou DFS). Uma estratégia diferente seria a busca pela melhor solução (*best-first search*) em que primeiramente é investigado o subproblema com o maior limite superior, com intuito de levar mais rapidamente a um limite inferior melhorado. Essa segunda estratégia, entretanto, demanda estrutura de dados explícita para armazenar os subproblemas considerados e o espaço consumido pode vir a ser exponencialmente grande.

Há dois fatores importantes para a eficiência do método *Branch-and-Bound*: uma boa solução inteira inicial possivelmente construída por uma heurística que pode ajudar a eliminar diversos ramos não-ótimos e a forma com que a árvore de busca é percorrida também tem grande influência sobre o número de PLs que devem ser resolvidos.

4.2.1 – *Branch-and-Bound* para o Problema da Mochila

O primeiro algoritmo *Branch-and-Bound* para o problema da mochila foi apresentado em 1967 por Kolesar [7] e, desde então, diversas variantes do algoritmo foram apresentadas em literatura, em geral baseadas em busca em profundidade para limitar o número de nós em qualquer etapa da enumeração. Uma estratégia “gulosa” em que as variáveis livres mais eficientes são considerados em cada nó de ramificação levam, em geral, aos melhores tempos de solução. Os algoritmos assumem que os itens estão ordenados de acordo com as eficiências (de maior para menor). Para problemas de maiores dimensões, é suficiente ordenar apenas um subconjunto de itens.

Entre os algoritmos *Branch-and-Bound*, há distinção entre duas variantes, como explicitado em [6]: o método *primal*, que adiciona itens a uma mochila inicialmente vazia até a restrição de peso ser excedida, e o *Primal-Dual* que aceita soluções não viáveis em etapa de transição. A princípio, poderia haver também o método *Dual* em que todos os itens são colocados na mochila e, então, itens são repetidamente removidos em um processo *Branch-and-Bound*.

A maioria dos métodos primais são baseados no quadro proposto por Horowitz e Sahni [8], uma formulação recursiva no qual o algoritmo se ramifica para cada etapa para as variáveis livres mais eficientes. Para cada variável livre x , $x = 1$ é investigado antes de $x = 0$ de acordo com o princípio “guloso”. A variável local melhorada é usada para indicar se uma solução melhor foi encontrada nos presentes nós e o algoritmo *Primal-Branch* retorna o valor melhorado.

O algoritmo MT1 proposto por Martello e Toth [9] é baseado no quadro de Horowitz e Sahni [8], assim como *Primal-Branch*, com diferenças principalmente no limite superior a um novo critério de dominância para pular nós que não melhoram a solução. Uma comparação de diversos algoritmos baseados no mesmo quadro são apresentados em obra posterior de Martello e Toth [10], mostrando que o MT1 em geral requer o menor tempo para chegar na solução.

O algoritmo *Primal-Dual* foi desenvolvido por Pisinger [11]. O algoritmo *Primal-Dual-Branch* insere repetidamente um item na solução se a soma de pesos atuais for menor que a capacidade da mochila, caso contrário remove um item. Assim, é necessário apenas considerar as mochilas preenchidas apropriadamente. Por outro lado, soluções não viáveis devem ser consideradas na etapa de transição, conceito relacionado com balanceamento da solução, uma técnica que limita a busca. Pisinger [12] mostrou que, usando balanceamento, diversos problemas da mochila são solucionáveis em tempo linear contanto que os pesos e valores sejam limitados por uma constante. Assim como *Primal-Branch*, o *Primal-Dual-Branch* retorna se uma solução melhor foi encontrada no presente nó.

4.2.2 – Branch-and-Bound para o Problema da Mochila Multidimensional

Algoritmos clássicos de *Branch-and-Bound* podem ser aplicados para problema da mochila multidimensional. Um algoritmo especial dedicado a esse tipo de problema específico com variáveis inteiras sem limites inferior e superior foi construído por Cabot [13] e este utiliza processo de Fourier-Motzkin de eliminação (também conhecido como método FME criado por Joseph Fourier e Theodore Motzkin [14]) para construir os limites das variáveis.

Um algoritmo *Branch-and-Bound* para o problema multidimensional foi apresentado por Thesen [15] em 1975 e se concentra em particular em economizar

espaço de memória e em 1979 um modelo mais elaborado foi dado por Shih [16]. Um algoritmo mais eficiente foi apresentado por Gavish e Pirkul [17], em que, antes da enumeração, são executadas reduções seguindo algumas ideias e estudos cujos resultados são apresentados em [17].

Como o tempo consumido para computação de um limite superior é bem maior para um problema multidimensional que para aquele de uma dimensão, os autores de [17] também incluem a possibilidade de não computar um novo limite para cada nó na árvore de busca *Branch-and-Bound*. Os limites foram computados por relaxação e diferentes estratégias para atualizar os conjuntos de multiplicadores durante a execução do algoritmo foram comparados. Durante a execução, passos adicionais de redução podem ser aplicados para fixar os valores das variáveis e uma extensão de métodos para os casos binários pode ser encontrada em Pirkul e Narasimhan [18].

Uma abordagem iterativa que traz solução para uma sequência de programas lineares (derivada das relaxações de programação linear para problema multidimensional da mochila) foi apresentada por Soyster, Lev e Slivka [19]. A construção de programas lineares sucessivos está relacionada aos modelos apresentados em [20, 21], pensados especialmente para problemas com muitas variáveis, mas poucas dimensões. Experimentos computacionais indicam que algoritmos propostos não são extremamente satisfatórios para computar soluções ótimas para cada instância, mas pode-se esperar encontrar soluções viáveis bem próximas à ótima em tempo razoável.

4.3 – Código Genérico para Problema da Mochila

OR-Tools (*Operational Research Tools*) é um software de código aberto do Google Developers [22] voltado para otimização de diversos problemas considerados difíceis de PO, incluindo problemas de PLI. Há diversos *solvers* disponíveis para usuários aplicarem a seus problemas modelados, nas linguagens Python, C++, Java e C#. Os passos básicos para solução de um problema, independente da linguagem, são apresentados em [23]:

- Importação do *solver*;
- Criação de variáveis;
- Definição de Restrições;

- Definição da função objetivo;
- Declaração do *solver*;
- Chamada do *solver* e exibição de resultados.

Um dos problemas para os quais o OR-Tools apresenta códigos de apoio para modelos é o Problema da Mochila, em [24]. Um programa genérico, em linguagem Python, será apresentado a seguir, passo a passo, para exemplificar a aplicação:

1. Importação das bibliotecas necessárias para o código:

```
from __future__ import print_function
from ortools.algorithms import pywrapknapsack_solver
```

O código complementar de “pywrapknapsack_solver” é apresentado pronto pelo OR-Tools em [25] e está no **Anexo A1**. O código pode ser aplicado na solução de problemas da mochila do tipo 0-1 e multidimensional, além do tradicional.

2. Criação de dados:

```
values = [360, 83, 59, 130, 431, 67, 230, 52, 93, 125, 670, 892,
600, 38, 48, 147, 78, 256, 63, 17, 120, 164, 432, 35, 92, 110,
22, 42, 50, 323, 514, 28, 87, 73, 78, 15, 26, 78, 210, 36, 85,
189, 274, 43, 33, 10, 19, 389, 276, 312]

weights = [[7, 0, 30, 22, 80, 94, 11, 81, 70, 64, 59, 18, 0, 36,
3, 8, 15, 42, 9, 0, 42, 47, 52, 32, 26, 48, 55, 6, 29, 84, 2, 4,
18, 56, 7, 29, 93, 44, 71, 3, 86, 66, 31, 65, 0, 79, 20, 65, 52,
13]]

capacities = [850]
```

São criados três vetores (um com valores dos itens, um com vetores pesos e outro com única entrada para capacidade da mochila).

3. Declaração do *solver* (especializado para problemas da mochila):

```
solver = pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver(
    pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver.
    KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER,
    'KnapsackExample')
```

A opção “KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER” especifica a utilização do solver baseado no algoritmo *Branch-and-Bound* para solução do problema. Essa opção suporta um grande número de itens com diversas dimensões. É importante ressaltar que todos os valores de entrada têm que ser inteiros.

4. Chamada do *solver* e exibição de resultados:

```
solver.Init(values, weights, capacities)
computed_value = solver.Solve()
packed_items = []
packed_weights = []
total_weight = 0
print('Total value =', computed_value)
for i in range(len(values)):
    if solver.BestSolutionContains(i):
        packed_items.append(i)
        packed_weights.append(weights[0][i])
        total_weight += weights[0][i]
print('Total weight:', total_weight)
print('Packed items:', packed_items)
print('Packed weights:', packed_weights)
```

O programa inicializa o *solver* e depois o chama com `computed_value = solver.Solve()`. O valor total da solução ótima é computado em `computed_value`. O programa pega, então, os índices dos itens selecionados para a mochila da seguinte forma:

```
packed_items = [x for x in range(0, len(weights[0]))
                if solver.BestSolutionContains(x)]
```

Como `solver.BestSolutionContains(x)` retorna `TRUE` se o item `x` é incluído na solução, `packed_items` é uma lista dos itens selecionados e `packed_weights` são os pesos dos itens selecionados.

O programa exemplo completo é, então:

```
from __future__ import print_function
from ortools.algorithms import pywrapknapsack_solver

def main():

    solver = pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver(
```

```

pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver.
KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER,
'KnapsackExample')

values = [360, 83, 59, 130, 431, 67, 230, 52, 93, 125, 670,
892, 600, 38, 48, 147, 78, 256, 63, 17, 120, 164, 432, 35, 92,
110, 22, 42, 50, 323, 514, 28, 87, 73, 78, 15, 26, 78, 210, 36,
85, 189, 274, 43, 33, 10, 19, 389, 276, 312]

weights = [[7, 0, 30, 22, 80, 94, 11, 81, 70, 64, 59, 18, 0,
36, 3, 8, 15, 42, 9, 0, 42, 47, 52, 32, 26, 48, 55, 6, 29, 84,
2, 4, 18, 56, 7, 29, 93, 44, 71, 3, 86, 66, 31, 65, 0, 79, 20,
65, 52, 13]]

capacities = [850]

solver.Init(values, weights, capacities)
computed_value = solver.Solve()

packed_items = []
packed_weights = []
total_weight = 0
print('Total value =', computed_value)
for i in range(len(values)):
    if solver.BestSolutionContains(i):
        packed_items.append(i)
        packed_weights.append(weights[0][i])
        total_weight += weights[0][i]
print('Total weight:', total_weight)
print('Packed items:', packed_items)
print('Packed weights:', packed_weights)

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Como saída, o programa retorna:

```

Total value = 7534

Total weight: 850

Packed items: [0, 1, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18,
19, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 38, 39, 41, 42, 44,
47, 48, 49]

```

```
Packed_weights: [7, 0, 22, 80, 11, 59, 18, 0, 3, 8, 15, 42, 9, 0, 47, 52, 26, 6, 29, 84, 2, 4, 18, 7, 71, 3, 66, 31, 0, 65, 52, 13]
```

Sendo “*total value*” o valor total da mochila na configuração final com itens selecionados, “*total weight*” o peso final da mochila, “*packet items*” o vetor com o índice dos itens selecionados para a mochila e “*packed_weights*” os respectivos pesos dos itens.

4.4 – Código para o Problema de Otimização Baja

O esqueleto do programa apresentado em 4.3 – **Código genérico para Problema da Mochila** foi utilizado para solução do problema apresentado no **Capítulo 3**. As devidas alterações foram feitas de modo que o código se adequasse às definições do problema, explicitadas na seção 3.5 – **Definições do Problema**. Um arquivo em *Excel* foi utilizado para organizar todas as informações de pesos, valores e capacidades e montar os vetores de *input*.

O vetor **values** contém os valores da última coluna da **Tabela 2**, enquanto os vetores CCS, EFE, ELT, FRE, PWT, SED e Custo, que compõem o vetor **weights**, são formados pelos pesos das colunas da **Tabela 3**. As capacidades do vetor **capacities** foram apresentados na seção 3.5.5 – **Definição de Capacidades**. Foi acrescentado como *output* que não estava no código genérico o “Número projetos” para informar sobre a quantidade de projetos que foi efetivamente escolhida.

```
from __future__ import print function
from ortools.algorithms import pywrapknapsack_solver

def main():

    solver = pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver(
        pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver.
        KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER,
        'KnapsackExample')

    values = [5270, 4790, 2800, 1620, 1500, 5780, 2830, 3030,
4015, 4015, 3720, 3765, 2535, 2815, 2845, 3995, 4020, 2440, 4295,
4780, 1440, 3230, 5260, 2310, 2670, 4430, 2770, 3935, 4665, 3810,
3145, 3965, 4005, 3550, 2800, 3485, 3005, 3980, 3970, 5075, 2215,
```

1720, 1320, 1920, 4230, 2340, 4530, 3870, 4170, 3375, 2755, 3260, 3480, 3130, 2390, 2930, 4800, 2820, 5000, 3010, 2885, 3215, 3790, 2630, 2755, 2910, 2490, 2360, 1260, 1740, 1860, 1380, 1200, 840, 780, 900, 1080, 1380, 1440, 210, 900, 1220, 1590, 1580, 540, 480, 3515, 2750, 1370, 1380]

CCS = [24, 0, 10, 5, 120, 0, 5, 0, 38, 18, 14, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 84, 30, 0, 0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 80, 0, 40, 0, 0, 6, 12, 0, 0, 0, 36, 10, 12, 36, 24, 28, 18, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 12, 4, 8, 0, 10, 50, 25, 30, 70, 0, 0, 30, 0, 20, 0, 120]

EFE = [24, 0, 4, 5, 120, 0, 10, 0, 24, 24, 28, 0, 0, 0, 0, 10, 20, 5, 0, 0, 0, 12, 0, 0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 36, 60, 6, 12, 0, 0, 0, 0, 10, 12, 6, 12, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 6, 1, 20, 0, 0, 50, 15, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 20, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 60, 0, 0, 20, 20, 0, 0, 20, 10, 0, 0, 20]

ELT = [41, 0, 8, 5, 200, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 5, 0, 0, 0, 30, 90, 60, 70, 0, 0, 5, 0, 50, 0, 0, 0, 6, 6, 0, 0, 100, 0, 10, 12, 0, 0, 0, 0, 60, 50, 50, 35, 20, 4, 10, 3, 0, 40, 30, 0, 0, 0, 0, 0]

FRE = [32, 0, 8, 5, 160, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 70, 60, 0, 0, 0, 5, 0, 200, 250, 0, 10, 0, 0, 0, 0, 0, 200, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 5, 10, 8, 10, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 80, 60, 10, 10, 20, 30, 40, 40, 20, 30, 15, 30, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

PWT = [49, 0, 10, 5, 240, 400, 30, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 5, 0, 0, 0, 10, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 80, 250, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 400, 0, 10, 12, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 8, 12, 4, 8, 0, 10, 300, 25, 80, 0, 0, 80, 200, 60, 20, 0, 20, 10, 20, 30, 40, 40, 20, 30, 30, 10, 20, 10, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 80, 20, 0, 0]

SED = [49, 50, 10, 5, 240, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 30, 0, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 30, 0, 0, 0, 30, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 15, 300, 100, 0, 0, 10, 12, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 8, 12, 4, 0, 0, 0, 50, 0, 0, 60, 100, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 20, 20, 20, 40, 30, 20, 30, 20, 10, 0, 0, 0, 10, 0, 10, 0, 0, 0, 0, 20, 0]

Custo = [120, 6000, 0, 0, 1400, 500, 780, 1200, 280, 120, 100, 420, 600, 400, 200, 200, 150, 150, 1000, 1400, 400, 160, 200, 60, 35, 120, 200, 3000, 100, 200, 400, 200, 0, 0, 0, 0, 140, 0, 80, 100, 80, 300, 0, 100, 140, 240, 80, 200, 140, 70, 180, 200, 0, 0, 0, 200, 150, 80, 1800, 300, 270, 100, 0, 180, 150, 200, 250, 200,

```
300, 0, 200, 0, 0, 600, 0, 0, 0, 0, 80, 700, 1000, 400, 440, 2100,  
300, 1400, 5000, 900, 1300, 600]
```

```
weights = [CCS, EFE, ELT, FRE, PWT, SED, Custo]
```

```
capacities = [494, 494, 823, 494, 988, 988, 8000]
```

```
solver.Init(values, weights, capacities)
```

```
computed_value = solver.Solve()
```

```
packed_items = []
```

```
packed_weights1 = [] #CCS
```

```
packed_weights2 = [] #EFE
```

```
packed_weights3 = [] #ELT
```

```
packed_weights4 = [] #FRE
```

```
packed_weights5 = [] #PWT
```

```
packed_weights6 = [] #SED
```

```
packed_weights7 = [] #Custo
```

```
total_weight1 = 0 #CCS
```

```
total_weight2 = 0 #EFE
```

```
total_weight3 = 0 #ELT
```

```
total_weight4 = 0 #FRE
```

```
total_weight5 = 0 #PWT
```

```
total_weight6 = 0 #SED
```

```
total_weight7 = 0 #Custo
```

```
print('Valor total =', computed_value)
```

```
for i in range(len(values)):
```

```
    if solver.BestSolutionContains(i):
```

```
        packed_items.append(i)
```

```
        packed_weights1.append(weights[0][i])
```

```
        packed_weights2.append(weights[1][i])
```

```
        packed_weights3.append(weights[2][i])
```

```
        packed_weights4.append(weights[3][i])
```

```
        packed_weights5.append(weights[4][i])
```

```
        packed_weights6.append(weights[5][i])
```

```
        packed_weights7.append(weights[6][i])
```

```
        total_weight1 += weights[0][i]
```

```
        total_weight2 += weights[1][i]
```

```
        total_weight3 += weights[2][i]
```

```
        total_weight4 += weights[3][i]
```

```
        total_weight5 += weights[4][i]
```

```
        total_weight6 += weights[5][i]
```

```
        total_weight7 += weights[6][i]
```

```
print('Tempo CCS:', total_weight1)
print('Tempo EFE:', total_weight2)
print('Tempo ELT:', total_weight3)
print('Tempo FRE:', total_weight4)
print('Tempo PWT:', total_weight5)
print('Tempo SED:', total_weight6)
print('Custo total:', total_weight7)
print('Projetos selecionados:', packed_items)
print(Número projetos:', len(packed_items))

if __name__ == '__main__':
    main()
```

Capítulo 5

Resultados e discussões

5.1 – *Output* do programa de otimização do problema Baja

O *output* do código apresentado na seção 4.4 – **Código para o Problema de Otimização Baja** é mostrado a seguir. O “**Valor total**” é a soma dos valores dos projetos selecionados pelo programa e, embora não seja possível fazer inferências diretas a partir deste número em si, que é subjetivo, este será útil na análise comparativa da seção 5.3 – **Análise Comparativa de Resultados (com e sem modelo de pesquisa operacional)** . Além disso, o *output* mostra os tempos totais demandados pelas áreas e custo total, todos referentes aos projetos selecionados. Em seguida, é apresentado o vetor de projetos selecionados e o número total de projetos contidos no vetor. Os números referentes a cada projeto começam desde 0, e não 1, pois a primeira posição de um vetor na linguagem Python é 0. Assim, o número 0 dentro de “**Projetos selecionados**” se refere ao projeto 1, o número 1 ao projeto 2 e assim por diante.

```
Valor total = 190695
```

```
Tempo CCS: 487
```

```
Tempo EFE: 448
```

```
Tempo ELT: 670
```

```
Tempo FRE: 472
```

Tempo PWT: 892

Tempo SED: 985

Custo total: 7975

Projetos selecionados: [0, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 78]

Número projetos: 62

Dos 90 projetos, **62** foram selecionados. A seguir é apresentado o conjunto de projetos e aqueles que foram selecionados estão destacados:

1. Reforma pista de testes;
2. Aquisição de amortecedores *FOX*;
3. Vídeos montagens subsistemas;
4. Padronização temas apresentações;
5. Curso Excel;
6. Nova caixa de redução;
7. Aquisição Snorkel;
8. Pneus novos;
9. Banco novo;
10. Encosto de cabeça regulável;
11. Dispositivo para banco regulável;
12. Discos de freio novos (nova geometria);
13. Pinças novas (nacionais);
14. Modificações fixações freios;
15. Modificações fixações *powertrain*;
16. Dispositivo para coluna do volante regulável;
17. Reposicionamento pedais;
18. Reposicionamento bateria;
19. Pedal acelerador novo;
20. Mudança de acionamento – Cilindro Mestre próprio;
21. Mudança design chapéu (carenagem superior);
22. Assoalho interno ergonômico;
23. Painel acoplado ao volante;
24. Memória embarcada no sistema;

25. Adição de acelerômetro no sistema;
26. Mudança de alcance da telemetria;
27. Troca de chicote;
28. Novo pedal de freio de nylon;
29. Mecanismo de cambagem;
30. Sistema de ajuste pré-carga;
31. Nova proteção CVT;
32. Bancada CVT;
33. Teste de impacto frontal carenagem;
34. Teste de vibração carro;
35. Análise modal estrutura;
36. Estudo de visibilidade;
37. Formato volante ergonômico;
38. Desenvolvimento modelo vertical;
39. Estudo pneus;
40. Modelagem CVT;
41. Análise de arrasto carenagens;
42. Treinamento de técnicas de apresentação;
43. Material de apoio – padronização apostilas;
44. Molde *spill*;
45. Mecanismo bandeirola;
46. Mudança material carenagens laterais;
47. Mecanismo de montagem capô;
48. Mudança de sensor de combustível;
49. Instalação GPS;
50. Sensor giroscópio;
51. Sensor de rotação nas 4 rodas;
52. Sensor curso nos pedais;
53. Treinamento adicional piloto;
54. Criação de protocolos de manutenção;
55. Treinamento de piloto para montagem;
56. Dispositivos para reduzir vibração em piloto;
57. Botões de comunicação piloto-*box*;
58. Vedação melhorada do motor contra lama;
59. Diferencial *powertrain*;
60. Camos no pedal acelerador;
61. Coxim do motor;

62. Barra acoplável SED;
63. Estudo *bumpsteer*;
64. Sistema de refrigeração da CVT;
65. Entre-eixos variável;
66. Homocinética sem folga;
67. Mudança posição pinça traseira;
68. Análise CFD discos de freio;
69. Estudo impacto turismo – Apresentação Vendas;
70. Estudo de análise de riscos – Apresentação Vendas;
71. Nova pesquisa de mercado;
72. Novo plano de marketing pós pandemia;
73. Novo plano de investimento – Apresentação Vendas;
74. Estudo de investimentos acionistas para plano adicional – Apresentação Vendas;
75. Plano de franquias – Apresentação Vendas;
76. Estudo de produção fora do Brasil – Apresentação Vendas;
77. Estudo marketing mercado automotivo – criação de portfólio – Apresentação de Vendas;
78. Atualização de estudo cenário brasileiro – Apresentação Vendas;
79. Otimização do ponto de reboque;
80. Troca de material (alumínio) para as peças *firewall*;
81. Novo método de adesivagem carenagens;
82. Novo método de revestimento para banco, encosto e volante;
83. Mudança material *honeycomb* assoalho externo;
84. Pneus *Carlisle* para provas específicas;
85. Compra de novo modelo bateria;
86. Método de termoformagem para carenagens laterais;
87. Compra CVT;
88. Alteração de material proteção CVT para aramida;
89. Aquisição rodas DWT;
90. Novo método de molde para chapéu;

5.2 – Análise do *Output* e Ações da Equipe

A **Tabela 5** a seguir mostra uma comparação entre as capacidades consideradas no problema e o quanto é previsto ser utilizado de cada uma delas no cenário em que a equipe siga com a sugestão de projetos selecionados pelo programa. Foi adicionada uma linha de tempo total das áreas técnicas em que são somados os tempos demandados / utilizados das seis áreas CCS, EFE, ELT, FRE, PWT e SED.

Tabela 5 – Comparação entre capacidades e previsão de utilização

	Capacidade	Utilizado	% (Utilizado/Capacidade)
Tempo CCS (h)	494	487	98,6%
Tempo EFE (h)	494	448	90,7%
Tempo ELT (h)	823	670	81,4%
Tempo FRE (h)	494	472	95,6%
Tempo PWT (h)	988	892	90,3%
Tempo SED (h)	988	985	99,7%
Tempo total (h)	4281	3954	92,4%
Custo total (R\$)	8000	7975	99,7%

É possível notar que todas as capacidades estão sendo utilizadas em mais de 90%, com exceção do tempo disponível da área ELT. Desse modo, os membros da área poderiam dedicar o tempo sobrando (153 horas) para algum projeto sem custos (visto que não há orçamento sobrando para projetos adicionais, como visto na **Tabela 5**) que não foi listado inicialmente, havendo necessidade de planejamento da área e análise de viabilidade do novo projeto. Outra alternativa seria todos os membros das seis áreas se juntarem com as horas totais disponíveis sobrando (327 horas) para realizarem um dos projetos listados (ou não listados) também sem custos, o que requereria uma orientação dos membros com menos conhecimento da(s) área(s) de maior envolvimento naquele projeto.

É importante lembrar que os valores de capacidade e de demanda de tempo por projeto são estimativas que foram feitas com auxílio dos membros da Equipe UNICAMP Baja SAE. Assim, há a possibilidade de essa **% (Utilizado/Capacidade)** ser menor ou maior do que os valores da **Tabela 5**, havendo cenários futuros possíveis em que não haverá tempo sobrando, que falte tempo para realizar todos os projetos escolhidos ou que sobre mais tempo ainda, sendo possível incluir mais projetos na lista de escolhidos. O mesmo é válido para a capacidade e pesos referentes aos custos e orçamento

reservado para projetos adicionais. Algumas das principais causas de mudança de cenário podem ser modificações em projetos essenciais, que podem demandar mais ou menos recursos do que o previsto no início do ano (devido a alterações no regulamento da competição ou de defeito de componentes durante testes, por exemplo). Além disso, outros imprevistos podem acontecer afetando tanto projetos essenciais como adicionais, como saída de membros, novas parcerias com empresas patrocinadoras, entre outros.

Visto que o programa depende de muitas estimativas, é recomendado que, no caso de alterações significativas, a equipe rode o programa em outros momentos ao longo do ano, ajustando os vetores de *input*. Para isso, é necessário que pelo menos um dos membros tenha o computador preparado para rodar o programa (com *python* instalado, assim como as bibliotecas utilizadas). Além disso, os membros terão acesso a ferramenta em *Excel* utilizada para preparar os dados de *input*.

5.3 – Análise Comparativa de Resultados (com e sem modelo de pesquisa operacional)

Para verificar a eficácia do modelo de otimização, a seguir será feita uma comparação do *output* do programa e do que provavelmente seria escolhido pela equipe sem auxílio de métodos da pesquisa operacional.

O critério que seria adotado inicialmente pela equipe (já utilizado para competições anteriores), se baseia na escolha de projetos priorizando seus valores agregados, com algumas adaptações. O planejamento não envolve avaliação prévia de custos e tempos demandados, mas esses fatores continuam sendo limitantes para realização de fato desses projetos, de modo que é algo a ser considerado nas decisões da equipe ao longo do ano, em momentos de início no momento de início de novos projetos.

Inicialmente, então, são listados os projetos abaixo, na **Tabela 6**, em ordem decrescente de soma de valores associados, sendo que as somas já foram apresentadas anteriormente na **Tabela 2**. Não se sabe que método de avaliação exatamente a equipe usaria para criar essa ordem para os projetos, mas como já foi estabelecido o método de notas apresentado em **3.5.3 – Definição de Valores**

Associados, o mesmo será aplicado aqui para tornar a comparação possível, visto que as considerações principais seriam as mesmas (impacto nas provas).

Tabela 6 – Projetos listados por ordem decrescente de valores associados

Projetos		Soma valores
6	Nova caixa de redução	5780
1	Reforma pista de testes	5270
23	Painel acoplado a volante	5260
40	Modelagem CVT	5075
59	Diferencial <i>powertrain</i>	5000
57	Botões de comunicação piloto- <i>box</i>	4800
2	Aquisição de amortecedores - <i>FOX</i>	4790
20	Mudança de acionamento - Cilindro Mestre próprio	4780
29	Mecanismo de cambagem	4665
47	Mecanismo de montagem capô	4530
26	Mudança de alcance telemetria	4430
19	Pedal acelerador novo	4295
45	Mecanismo bandeirola	4230
49	Instalação GPS	4170
17	Reposicionamento pedais	4020
9	Banco novo	4015
10	Encosto de cabeça regulável	4015
33	Teste de impacto frontal carenagem	4005
16	Dispositivo para coluna do volante regulável	3995
38	Desenvolvimento modelo vertical	3980
39	Estudo pneus	3970
32	Bancada CVT	3965
28	Novo pedal de freio de nylon	3935
48	Mudança sensor de combustível	3870
30	Sistema de ajuste pré-carga	3810
63	Estudo <i>bumpsteer</i>	3790
12	Discos de freio novos (nova geometria)	3765
11	Dispositivo para banco regulável	3720
34	Teste de vibração carro	3550

87	Compra CVT	3515
36	Estudo de visibilidade	3485
53	Treinamento adicional piloto	3480
50	Sensor giroscópio	3375
52	Sensor curso nos pedais	3260
22	Assoalho interno ergonômico	3230
62	Barra acoplável SED	3215
31	Nova proteção CVT	3145
54	Criação protocolos de manutenção	3130
8	Pneus novos	3030
60	Camos no pedal acelerador	3010
37	Formato volante ergonômico	3005
56	Dispositivos para reduzir vibração em piloto	2930
66	Homocinética sem folga	2910
61	Coxim do motor	2885
15	Modificações fixações <i>powertrain</i>	2845
7	Aquisição Snorkel	2830
58	Vedação melhorada do motor contra lama	2820
14	Modificações fixações freios	2815
3	Vídeos montagens subsistemas	2800
35	Análise modal estrutura	2800
27	Troca de chicote	2770
51	Sensor de rotação nas 4 rodas	2755
65	Entre-eixos variável	2755
88	Alteração de material proteção CVT para aramida	2750
25	Adição de acelerômetro no sistema	2670
64	Sistema de refrigeração da CVT	2630
13	Pinças novas (nacionais)	2535
67	Mudança posição pinça traseira	2490
18	Reposicionamento bateria	2440
55	Treinamento de piloto para montagem	2390
68	Análise CFD discos de freio	2360
46	Mudança material carenagens laterais	2340
24	Memória embarcada no sistema	2310
41	Análise de arrasto carenagens	2215

44	Molde <i>spill</i>	1920
71	Nova pesquisa de mercado	1860
70	Estudo de análise de riscos - Apresentação Vendas	1740
42	Treinamento de técnicas de apresentação	1720
4	Padronização temas apresentações	1620
83	Mudança material <i>honeycomb</i> assoalho externo	1590
84	Pneus Carlisle para provas específicas	1580
5	Curso Excel	1500
21	Mudança design chapéu	1440
79	Otimização ponto de reboque	1440
72	Novo plano de marketing - pós pandemia	1380
78	Estudo cenário brasileiro - Apresentação Vendas	1380
90	Novo método de molde para chapéu	1380
89	Aquisição rodas dwt	1370
43	Material de apoio - padronização apostilas	1320
69	Estudo impacto turismo - Apresentação Vendas	1260
82	Novo revestimento banco, encosto, volante	1220
73	Novo plano de investimento - Apresentação Vendas	1200
77	Estudo marketing mercado automotivo - portfólio Apresentação Vendas	1080
76	Estudo produção fora do Brasil - Apresentação Vendas	900
81	Novo método de adesivagem carenagens	900
74	Estudo investimentos acionistas - Apresentação Vendas	840
75	Planos de franquias - Apresentação Vendas	780
85	Compra de novo modelo bateria	540
86	Método de termoformagem para carenagens laterais	480
80	Troca de material (alumínio) para duas peças <i>firewall</i>	210

A ideia seria a equipe ir selecionando os projetos ao longo do ano por ordem de prioridade da lista da **Tabela 6**, até atingir algum dos limites de tempo ou custo. Assim, para análise, os projetos foram adicionados, um a um, a uma lista de “projetos selecionados”. Cada vez que um dos limites de capacidade era ultrapassado, o último projeto era retirado da lista e desconsiderado e, então, o próximo projeto era adicionado para análise. A **Tabela 7** abaixo é um apoio para esse método de escolha de projetos.

Assim que a soma de uma das colunas de pesos é excedida, é considerado que um limite foi ultrapassado.

Tabela 7 – Pesos dos projetos por ordem decrescente de valores associados

Projetos	Soma valores	CCS (h)	EFE (h)	ELT (h)	FRE (h)	PWT (h)	SED (h)	Total (h)	Custo (R\$)
6	5780	0	0	0	0	400	0	400	500
1	5270	24	24	41	32	49	49	219	120
23	5260	0	0	0	0	0	40	40	200
40	5075	0	0	100	0	400	0	500	100
59	5000	0	50	0	0	300	50	400	1800
57	4800	0	0	40	0	0	0	40	150
2	4790	0	0	0	0	0	50	50	6000
20	4780	0	0	0	250	0	0	250	1400
29	4665	0	0	0	0	0	30	30	100
47	4530	18	0	0	0	0	0	18	80
26	4430	0	0	60	0	0	0	60	120
19	4295	0	0	0	200	0	0	200	1000
45	4230	24	12	0	0	0	0	36	140
49	4170	0	0	50	0	0	0	50	140
17	4020	0	20	0	5	5	0	30	150
9	4015	38	24	0	0	0	0	62	280
10	4015	18	24	0	0	0	0	42	120
33	4005	40	0	0	0	0	0	40	0
16	3995	0	10	0	0	0	30	40	200
38	3980	0	0	0	0	0	300	300	0
39	3970	0	0	0	0	0	100	100	80
32	3965	0	0	50	0	250	0	300	200
28	3935	0	0	0	200	0	0	200	3000
48	3870	0	0	60	0	0	0	60	200
30	3810	0	0	5	0	0	40	45	200
63	3790	0	0	0	0	0	100	100	0
12	3765	0	0	0	70	0	0	70	420
11	3720	14	28	0	0	0	0	42	100
34	3550	0	36	0	0	0	0	36	0
87	3515	0	10	0	0	80	0	90	5000

36	3485	6	6	6	0	0	0	18	0
53	3480	0	0	4	8	8	8	28	0
50	3375	0	0	50	0	0	0	50	70
52	3260	0	0	20	10	0	0	30	200
22	3230	30	12	0	10	10	0	62	160
62	3215	0	0	0	0	0	60	60	100
31	3145	80	0	0	0	80	0	160	400
54	3130	12	6	10	10	12	12	62	0
8	3030	0	0	0	0	0	4	4	1200
60	3010	0	15	0	0	25	0	40	300
37	3005	12	12	6	0	0	15	45	140
56	2930	8	20	0	0	8	0	36	200
66	2910	0	0	0	0	60	0	60	200
61	2885	0	0	0	0	80	0	80	270
15	2845	0	0	0	0	0	0	40	200
7	2830	5	10	0	0	30		45	780
58	2820	10	0	0	0	10	0	20	80
14	2815	0	0	0	0	0	0	80	400
3	2800	10	4	8	8	10	10	50	0
35	2800	0	60	0	0	0	0	60	0
27	2770	4	4	70	0	0	0	78	200
51	2755	0	0	35	5	0	10	50	180
65	2755	0	0	0	0	200	0	200	150
88	2750	20	0	0	0	20	0	40	900
25	2670	0	0	90	0	0	30	120	35
64	2630	0	0	0	0	80	0	80	180
13	2535	0	0	0	60	0	0	60	600
67	2490	0	20	0	80	20	0	120	250
18	2440	0	5	5	0	0	0	10	150
55	2390	4	1	3	3	4	4	19	0
68	2360	0	0	0	60	0	0	60	200
46	2340	28	4	0	0	0	0	32	240
24	2310	0	0	30	0	0	0	30	60
41	2215	36	0	0	0	0	0	36	80
44	1920	36	6	0	0	4	0	46	100

71	1860	0	0	0	20	20	20	60	200
70	1740	0	0	0	10	10	20	40	0
42	1720	10	10	10	10	10	10	60	300
4	1620	5	5	5	5	5	5	30	0
83	1590	70	20	0	0	0	0	90	440
84	1580	0	0	0	0	0	10	10	2100
5	1500	120	120	200	160	240	240	1080	1400
21	1440	84	0	0	0	0	0	84	400
79	1440	0	60	0	0	20	0	80	80
72	1380	0	0	0	30	30	20	80	0
78	1380	0	0	0	30	10	10	50	0
90	1380	120	20	0	0	0	0	140	600
89	1370	0	0	0	0	0	20	20	1300
43	1320	12	12	12	12	12	12	72	0
69	1260	0	0	0	10	20	10	40	300
82	1220	30	20	0	0	0	10	60	400
73	1200	0	0	0	40	40	40	120	0
77	1080	0	0	0	15	30	20	65	0
76	900	0	0	0	30	30	30	90	0
81	900	25	0	0	0	0	0	25	1000
74	840	0	0	0	40	40	30	110	600
75	780	0	0	0	20	20	20	60	0
85	540	0	0	30	0	0	0	30	300
86	480	30	20	0	0	0	0	50	1400
80	210	50	0	0	0	10	0	60	700
TOTAL:	258055	1033	710	1000	1443	2692	1469	8467	41345

Dos 90 projetos, **30** foram selecionados. A seguir é apresentado o conjunto de projetos e aqueles que foram selecionados estão destacados:

1. Reforma pista de testes;
2. Aquisição de amortecedores FOX;
3. Vídeos montagens subsistemas;
4. Padronização temas apresentações;
5. Curso Excel;
6. Nova caixa de redução;
7. Aquisição Snorkel;

8. Pneus novos;
9. Banco novo;
10. Encosto de cabeça regulável;
11. Dispositivo para banco regulável;
12. Discos de freio novos (nova geometria);
13. Pinças novas (nacionais);
14. Modificações fixações freios;
15. Modificações fixações *powertrain*;
16. Dispositivo para coluna do volante regulável;
17. Reposicionamento pedais;
18. Reposicionamento bateria;
19. Pedal acelerador novo;
20. Mudança de acionamento – Cilindro Mestre próprio;
21. Mudança design chapéu (carenagem superior);
22. Assoalho interno ergonômico;
23. Painel acoplado ao volante;
24. Memória embarcada no sistema;
25. Adição de acelerômetro no sistema;
26. Mudança de alcance da telemetria;
27. Troca de chicote;
28. Novo pedal de freio de nylon;
29. Mecanismo de cambagem;
30. Sistema de ajuste pré-carga;
31. Nova proteção CVT;
32. Bancada CVT;
33. Teste de impacto frontal carenagem;
34. Teste de vibração carro;
35. Análise modal estrutura;
36. Estudo de visibilidade;
37. Formato volante ergonômico;
38. Desenvolvimento modelo vertical;
39. Estudo pneus;
40. Modelagem CVT;
41. Análise de arrasto carenagens;
42. Treinamento de técnicas de apresentação;
43. Material de apoio – padronização apostilas;
44. Molde *spill*;

45. Mecanismo bandeirola;
46. Mudança material carenagens laterais;
47. Mecanismo de montagem capô;
48. Mudança de sensor de combustível;
49. Instalação GPS;
50. Sensor giroscópio;
51. Sensor de rotação nas 4 rodas;
52. Sensor curso nos pedais;
53. Treinamento adicional piloto;
54. Criação de protocolos de manutenção;
55. Treinamento de piloto para montagem;
56. Dispositivos para reduzir vibração em piloto;
57. Botões de comunicação piloto-*box*;
58. Vedação melhorada do motor contra lama;
59. Diferencial *powertrain*;
60. Camos no pedal acelerador;
61. Coxim do motor;
62. Barra acoplável SED;
63. Estudo *bumpsteer*;
64. Sistema de refrigeração da CVT;
65. Entre-eixos variável;
66. Homocinética sem folga;
67. Mudança posição pinça traseira;
68. Análise CFD discos de freio;
69. Estudo impacto turismo – Apresentação Vendas;
70. Estudo de análise de riscos – Apresentação Vendas;
71. Nova pesquisa de mercado;
72. Novo plano de marketing pós pandemia;
73. Novo plano de investimento – Apresentação Vendas;
74. Estudo de investimentos acionistas para plano adicional – Apresentação Vendas;
75. Plano de franquias – Apresentação Vendas;
76. Estudo de produção fora do Brasil – Apresentação Vendas;
77. Estudo marketing mercado automotivo – criação de portfólio – Apresentação de Vendas;
78. Atualização de estudo cenário brasileiro – Apresentação Vendas;
79. Otimização do ponto de reboque;

- 80. Troca de material (alumínio) para as peças *firewall*;
- 81. Novo método de adesivagem carenagens;
- 82. Novo método de revestimento para banco, encosto e volante;
- 83. Mudança material *honeycomb* assoalho externo;
- 84. Pneus *Carlisle* para provas específicas;
- 85. Compra de novo modelo bateria;
- 86. Método de termoformagem para carenagens laterais;
- 87. Compra CVT;
- 88. Alteração de material proteção CVT para aramida;
- 89. Aquisição rodas DWT;
- 90. Novo método de molde para chapéu;

A seguir é feita uma comparação entre as capacidades consideradas no problema e o quanto é previsto ser utilizado de cada uma no **cenário 1** (utilizando modelo de pesquisa operacional) e no **cenário 2** (sem o modelo). Foi adicionada uma linha de tempo total das áreas técnicas em que são somados os tempos demandados / utilizados das seis áreas CCS, EFE, ELT, FRE, PWT e SED.

Tabela 8 – Comparação entre capacidades e previsão de utilização (Cenários 1 e 2)

	Capacidade	Utilizado Cenário 1	% Cenário 1	Utilizado Cenário 2	% Cenário 2
Tempo CCS (h)	494	487	98,6%	173	35,0%
Tempo EFE (h)	494	448	90,7%	210	42,5%
Tempo ELT (h)	823	670	81,4%	338	41,1%
Tempo FRE (h)	494	472	95,6%	160	32,4%
Tempo PWT (h)	988	892	90,3%	985	99,7%
Tempo SED (h)	988	985	99,7%	790	80,0%
Tempo total (h)	4281	3954	92,4%	2657	62,0%
Custo total (R\$)	8000	7975	99,7%	8000	100,0%

É possível perceber que a taxa de aproveitamento do segundo cenário, em geral, é menor que do cenário 1 e, apesar de os aproveitamentos para o tempo PWT e custo serem alguns pontos percentuais maiores, nenhum dos demais é superior a 80%.

O principal ponto a se considerar na comparação é que no **cenário 1** a soma de valores para os projetos selecionados é **190.695**, enquanto no **cenário 2** esse número é **106.935**. Já foi explicitado que esse número é subjetivo, ou seja, não é possível inferir um impacto direto na pontuação de cada prova (quantos pontos exatamente seriam

acrescentados à pontuação total da equipe na competição). Mesmo assim, com uma soma de valores maior, é possível concluir que haverá um maior impacto dos projetos selecionados no **cenário 1** na pontuação da Equipe UNICAMP Baja SAE em competição nacional (quando comparado ao do **cenário 2**), o que comprova a eficácia do modelo de pesquisa operacional nessa aplicação em específico.

Devido ao baixo aproveitamento das capacidades, a equipe quis fazer uma segunda análise de comparação (entre **cenários 1 e 3**), dessa vez considerando como limitantes apenas o custo e tempo demandado total para o **cenário 3** (também sem utilização do método de pesquisa operacional, assim como o **cenário 2**). Essa análise não é ideal visto que o **cenário 3** tem os pesos mal dimensionados. Como os tempos demandados não serão separados por área, alguns membros terão que realizar atividades que não fazem parte de sua área, de modo que haverá tempos adicionais necessários para treinamentos e capacitação para prepará-los. Esse ponto será deixado de lado para facilitar a análise, mas deve ser levado em consideração na comparação dos resultados.

Assim como na análise anterior, os projetos são listados em ordem decrescente de soma de valores associados (como demonstrado na **Tabela 6**). O método também seria semelhante: a equipe adiciona, um a um, os projetos a uma lista de “selecionados” por ordem de prioridade da lista até ultrapassar um dos limites (que agora são apenas dois, o total de tempo e custo). Neste caso o último projeto é desconsiderado e então o próximo é adicionado para análise. A **Tabela 9** é usada como apoio:

Tabela 9 – Pesos dos projetos por ordem decrescente de valores associados
(Cenário 2)

Projetos	Soma valores	CCS (h)	EFE (h)	ELT (h)	FRE (h)	PWT (h)	SED (h)	Total (h)	Custo (R\$)
6	5780	0	0	0	0	400	0	400	500
1	5270	24	24	41	32	49	49	219	120
23	5260	0	0	0	0	0	40	40	200
40	5075	0	0	100	0	400	0	500	100
59	5000	0	50	0	0	300	50	400	1800
57	4800	0	0	40	0	0	0	40	150
2	4790	0	0	0	0	0	50	50	6000
20	4780	0	0	0	250	0	0	250	1400
29	4665	0	0	0	0	0	30	30	100

47	4530	18	0	0	0	0	0	18	80
26	4430	0	0	60	0	0	0	60	120
19	4295	0	0	0	200	0	0	200	1000
45	4230	24	12	0	0	0	0	36	140
49	4170	0	0	50	0	0	0	50	140
17	4020	0	20	0	5	5	0	30	150
9	4015	38	24	0	0	0	0	62	280
10	4015	18	24	0	0	0	0	42	120
33	4005	40	0	0	0	0	0	40	0
16	3995	0	10	0	0	0	30	40	200
38	3980	0	0	0	0	0	300	300	0
39	3970	0	0	0	0	0	100	100	80
32	3965	0	0	50	0	250	0	300	200
28	3935	0	0	0	200	0	0	200	3000
48	3870	0	0	60	0	0	0	60	200
30	3810	0	0	5	0	0	40	45	200
63	3790	0	0	0	0	0	100	100	0
12	3765	0	0	0	70	0	0	70	420
11	3720	14	28	0	0	0	0	42	100
34	3550	0	36	0	0	0	0	36	0
87	3515	0	10	0	0	80	0	90	5000
36	3485	6	6	6	0	0	0	18	0
53	3480	0	0	4	8	8	8	28	0
50	3375	0	0	50	0	0	0	50	70
52	3260	0	0	20	10	0	0	30	200
22	3230	30	12	0	10	10	0	62	160
62	3215	0	0	0	0	0	60	60	100
31	3145	80	0	0	0	80	0	160	400
54	3130	12	6	10	10	12	12	62	0
8	3030	0	0	0	0	0	4	4	1200
60	3010	0	15	0	0	25	0	40	300
37	3005	12	12	6	0	0	15	45	140
56	2930	8	20	0	0	8	0	36	200
66	2910	0	0	0	0	60	0	60	200
61	2885	0	0	0	0	80	0	80	270

15	2845	0	0	0	0	0	0	40	200
7	2830	5	10	0	0	30		45	780
58	2820	10	0	0	0	10	0	20	80
14	2815	0	0	0	0	0	0	80	400
3	2800	10	4	8	8	10	10	50	0
35	2800	0	60	0	0	0	0	60	0
27	2770	4	4	70	0	0	0	78	200
51	2755	0	0	35	5	0	10	50	180
65	2755	0	0	0	0	200	0	200	150
88	2750	20	0	0	0	20	0	40	900
25	2670	0	0	90	0	0	30	120	35
64	2630	0	0	0	0	80	0	80	180
13	2535	0	0	0	60	0	0	60	600
67	2490	0	20	0	80	20	0	120	250
18	2440	0	5	5	0	0	0	10	150
55	2390	4	1	3	3	4	4	19	0
68	2360	0	0	0	60	0	0	60	200
46	2340	28	4	0	0	0	0	32	240
24	2310	0	0	30	0	0	0	30	60
41	2215	36	0	0	0	0	0	36	80
44	1920	36	6	0	0	4	0	46	100
71	1860	0	0	0	20	20	20	60	200
70	1740	0	0	0	10	10	20	40	0
42	1720	10	10	10	10	10	10	60	300
4	1620	5	5	5	5	5	5	30	0
83	1590	70	20	0	0	0	0	90	440
84	1580	0	0	0	0	0	10	10	2100
5	1500	120	120	200	160	240	240	1080	1400
21	1440	84	0	0	0	0	0	84	400
79	1440	0	60	0	0	20	0	80	80
72	1380	0	0	0	30	30	20	80	0
78	1380	0	0	0	30	10	10	50	0
90	1380	120	20	0	0	0	0	140	600
89	1370	0	0	0	0	0	20	20	1300
43	1320	12	12	12	12	12	12	72	0

69	1260	0	0	0	10	20	10	40	300
82	1220	30	20	0	0	0	10	60	400
73	1200	0	0	0	40	40	40	120	0
77	1080	0	0	0	15	30	20	65	0
76	900	0	0	0	30	30	30	90	0
81	900	25	0	0	0	0	0	25	1000
74	840	0	0	0	40	40	30	110	600
75	780	0	0	0	20	20	20	60	0
85	540	0	0	30	0	0	0	30	300
86	480	30	20	0	0	0	0	50	1400
80	210	50	0	0	0	10	0	60	700
TOTAL:	258055	1033	710	1000	1443	2692	1469	8467	41345

Dos 90 projetos, **41** foram selecionados. A seguir é apresentado o conjunto de projetos e aqueles que foram selecionados estão destacados:

1. Reforma pista de testes;
2. Aquisição de amortecedores *FOX*;
3. Vídeos montagens subsistemas;
4. Padronização temas apresentações;
5. Curso Excel;
6. Nova caixa de redução;
7. Aquisição Snorkel;
8. Pneus novos;
9. Banco novo;
10. Encosto de cabeça regulável;
11. Dispositivo para banco regulável;
12. Discos de freio novos (nova geometria);
13. Pinças novas (nacionais);
14. Modificações fixações freios;
15. Modificações fixações *powertrain*;
16. Dispositivo para coluna do volante regulável;
17. Reposicionamento pedais;
18. Reposicionamento bateria;
19. Pedal acelerador novo;
20. Mudança de acionamento – Cilindro Mestre próprio;
21. Mudança design chapéu (carenagem superior);

22. Assoalho interno ergonômico;
23. Painel acoplado ao volante;
24. Memória embarcada no sistema;
25. Adição de acelerômetro no sistema;
26. Mudança de alcance da telemetria;
27. Troca de chicote;
28. Novo pedal de freio de nylon;
29. Mecanismo de cambagem;
30. Sistema de ajuste pré-carga;
31. Nova proteção CVT;
32. Bancada CVT;
33. Teste de impacto frontal carenagem;
34. Teste de vibração carro;
35. Análise modal estrutura;
36. Estudo de visibilidade;
37. Formato volante ergonômico;
38. Desenvolvimento modelo vertical;
39. Estudo pneus;
40. Modelagem CVT;
41. Análise de arrasto carenagens;
42. Treinamento de técnicas de apresentação;
43. Material de apoio – padronização apostilas;
44. Molde *spill*;
45. Mecanismo bandeirola;
46. Mudança material carenagens laterais;
47. Mecanismo de montagem capô;
48. Mudança de sensor de combustível;
49. Instalação GPS;
50. Sensor giroscópio;
51. Sensor de rotação nas 4 rodas;
52. Sensor curso nos pedais;
53. Treinamento adicional piloto;
54. Criação de protocolos de manutenção;
55. Treinamento de piloto para montagem;
56. Dispositivos para reduzir vibração em piloto;
57. Botões de comunicação piloto-*box*;
58. Vedação melhorada do motor contra lama;

59. Diferencial *powertrain*;
60. Camos no pedal acelerador;
61. Coxim do motor;
62. Barra acoplável SED;
63. Estudo *bumpsteer*;
64. Sistema de refrigeração da CVT;
65. Entre-eixos variável;
66. Homocinética sem folga;
67. Mudança posição pinça traseira;
68. Análise CFD discos de freio;
69. Estudo impacto turismo – Apresentação Vendas;
70. Estudo de análise de riscos – Apresentação Vendas;
71. Nova pesquisa de mercado;
72. Novo plano de marketing pós pandemia;
73. Novo plano de investimento – Apresentação Vendas;
74. Estudo de investimentos acionistas para plano adicional – Apresentação Vendas;
75. Plano de franquias – Apresentação Vendas;
76. Estudo de produção fora do Brasil – Apresentação Vendas;
77. Estudo marketing mercado automotivo – criação de portfólio – Apresentação de Vendas;
78. Atualização de estudo cenário brasileiro – Apresentação Vendas;
79. Otimização do ponto de reboque;
80. Troca de material (alumínio) para as peças *firewall*;
81. Novo método de adesivagem carenagens;
82. Novo método de revestimento para banco, encosto e volante;
83. Mudança material *honeycomb* assoalho externo;
84. Pneus *Carlisle* para provas específicas;
85. Compra de novo modelo bateria;
86. Método de termoformagem para carenagens laterais;
87. Compra CVT;
88. Alteração de material proteção CVT para aramida;
89. Aquisição rodas DWT;
90. Novo método de molde para chapéu;

A seguir é feita a comparação entre as capacidades consideradas no problema e o quanto é previsto ser utilizado de cada uma no **cenário 1** (utilizando modelo de pesquisa

operacional) e no **cenário 3** (sem o modelo e considerando como limitantes apenas custo e tempo total demandado). As linhas das seis áreas CCS, EFE, ELT, FRE, PWT e SED foram mantidas na **Tabela 10** apenas para análise posterior da escolha de projetos.

Tabela 10 – Comparação entre capacidades e previsão de utilização (Cenários 1 e 3)

	Capacidade	Utilizado Cenário 1	% Cenário 1	Utilizado Cenário 3	% Cenário 3
Tempo CCS (h)	494	487	98,6%	225	45,6%
Tempo EFE (h)	494	448	90,7%	322	65,2%
Tempo ELT (h)	823	670	81,4%	504	61,2%
Tempo FRE (h)	494	472	95,6%	705	142,7%
Tempo PWT (h)	988	892	90,3%	1545	156,4%
Tempo SED (h)	988	985	99,7%	940	95,1%
Tempo total (h)	4281	3954	92,4%	4241	99,1%
Custo total (R\$)	8000	7975	99,7%	7970	99,6%

É possível perceber nessa segunda comparação que a taxa de aproveitamento do terceiro cenário é superior a 99% para os dois limitantes da análise (tempo total e custo total). No entanto, como esperado, a distribuição de tempo demandado específico das áreas não é proporcional às capacidades, de modo que haja dois aproveitamentos próximos de 150% enquanto outros três estão abaixo de 70%. Devido a esse desequilíbrio, alguns membros teriam que ser realocados para certos projetos, provavelmente membros das áreas CCS, EFE e ELT para projetos das áreas FRE e PWT, o que demandaria tempo adicional de capacitação e readequação de cronogramas de cada área.

Além de o **cenário 3** apresentar **diversos pontos desfavoráveis**, a soma total de valores dos projetos selecionados é **150.070**, ainda **menor** do que a soma **190.695** do **cenário 1**. É possível inferir que, com uma soma maior, o impacto positivo das escolhas do cenário 1 é superior ao do cenário 3, sendo importante realçar ainda que as considerações feitas no cenário 1 são mais adequadas para a análise. Assim, novamente é comprovada a eficácia do modelo de pesquisa operacional na aplicação para seleção de projetos da Equipe UNICAMP Baja SAE com foco em melhor desempenho em competição nacional.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 – Conclusão do Trabalho

A proposta deste trabalho era auxiliar a Equipe UNICAMP Baja SAE na otimização da escolha de projetos ao longo do ano, com foco no desempenho em competição, por meio da aplicação de métodos de solução de problemas de Pesquisa Operacional. Ao fim do **Capítulo 5 – Resultados e Discussões** foi possível concluir que a proposta inicial foi cumprida de maneira satisfatória após análise do *output* do programa (seção **5.2 – Análise do Output e Ações da Equipe**) e das comparações feitas na seção **5.3 – Análise Comparativa de Resultados (com e sem modelo de pesquisa operacional)**.

Uma resolução satisfatória de um **problema de pesquisa operacional** requer dois pontos fundamentais: o primeiro é uma **boa definição do problema** (com todas as considerações necessárias feitas de maneira correta e o mais fiel à realidade do problema possível); o segundo é a **utilização de um algoritmo bem formulado e adequado à aplicação em questão**. Para o problema explorado neste trabalho, buscou-se uma metodologia eficaz para sua resolução, que possibilitasse abordar todas as considerações desejadas durante a sua formulação. Um algoritmo baseado no método de **Branch-and-Bound** (de programação linear inteira) foi avaliado como a melhor escolha para o tipo de problema considerado (**Problema de Otimização da Mochila Multidimensional**). Além disso, foi feito um processo detalhado e minucioso

para definição dos *inputs* de valores, pesos e capacidades de cada item (ou projeto) junto à equipe, de modo que o programa representasse o problema real da melhor maneira possível.

Dos 90 projetos considerados, **62** foram selecionados pelo modelo desenvolvido. Deverá haver um acompanhamento da equipe ao longo do ciclo de projeto para verificar se os tempos e custos dos projetos estão de acordo com o previsto, além das considerações de capacidades. Ao fim do ciclo de projeto do Protótipo Baja Unicamp 2020, será feita uma análise da efetividade real do modelo de otimização, verificando tanto a qualidade da definição do problema como do algoritmo. Assim será decidido se o programa continuará a ser usado nos próximos ciclos.

6.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Como já explicitado anteriormente, o intuito do trabalho é ter uma aplicação real para auxiliar a Equipe UNICAMP Baja SAE ao longo do ciclo de um projeto. Assim, é esperado que o modelo possa ser útil não apenas no desenvolvimento do PBU20, mas também nos ciclos futuros da equipe.

Na seção **5.2 – Análise do Output e Ações da Equipe** já foi abordada uma recomendação para que, no caso de alterações significativas das informações de *input*, a equipe rode o programa em outros momentos ao longo do ano, fazendo os ajustes necessários. Além disso, há a possibilidade de implementação de melhorias no modelo no caso de comprovação da efetividade dessa primeira versão ao final (ou ao longo) do ciclo de projeto. Algumas ideias para melhorias futuras já foram levantadas e serão apresentadas a seguir:

- **Adicionar projetos de gestão e da área administrativa:** é necessário avaliar a viabilidade, já que teria que haver alguma metodologia para verificar impacto desses projetos de uma forma mais direta nas pontuações das provas da competição;
- **Classificar projetos em diferentes categorias de atividade:** alguns projetos demandam um maior nível de conhecimento que outros, assim não é possível contar com o tempo disponível de todos os membros da área para todos os projetos. No caso da adição dessa classificação, deverá ser avaliada a

quantidade de membros que se enquadram em cada categoria de nível de conhecimento;

- **Reavaliar método de atribuição dos valores associados, considerando atual desempenho da equipe:** No modelo atual são atribuídas notas aos projetos verificando-se a importância de cada um na melhoria de desempenho em cada prova e, em seguida, os valores são multiplicados pelas pontuações máximas das respectivas provas, já que uma prova que vale mais deve ter maior atenção no momento de consideração do projeto. No entanto, não é analisado o desempenho atual da equipe nas provas da competição. Seria algo interessante a ser reavaliado visto que se a equipe já tem histórico de bom desempenho em uma determinada prova talvez esta deva receber uma menor importância na análise do que outra em que a equipe não costuma ter boa colocação, mesmo que a primeira valha mais do que a segunda. Pode ser que no atual modelo diversos projetos estejam sendo selecionados devido ao impacto positivo em uma determinada prova em que a equipe já obtém pontuação próxima à máxima possível;
- **Considerar provas que não tenham pontuação máxima:** desenvolver um método para tornar possível a consideração de provas para as quais a equipe não recebe pontos, mas pode receber penalizações (ou impedimento de seguir para as provas seguintes), como as provas de segurança.

Referências Bibliográficas

- [1] A. R. Fioravanti, M. Souza. *Otimização Matemática e Pesquisa Operacional*.
- [2] F. A. S. Maris. *Introdução à Pesquisa Operacional*. São Paulo, 2011.
- [3] Z. Lóss. *O desenvolvimento da pesquisa operacional no Brasil*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1981.
- [4] M. W. Carter, C. C. Price, G. Rabadi. *Operations Research: A Practical Introduction*. CRC Press, Second Edition, 2019.
- [5] SAE BRASIL. *Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL – RAATBSB* [S.I]: SAE BRASIL, 2018. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br>.
- [6] H. Kellerer, U. Pferschy, D. Pisinger. *Knapsack Problems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, New York, 2004.
- [7] P. J. Kolesar. *A branch and bound algorithm for the knapsack problem*. Management Science, 13:723-735, 1967.
- [8] E. Horowitz, S. Sahni. *Computing partitions with applications to the knapsack problem*. Journal of the ACM, 21:277-292, 1974.
- [9] S. Martello, P. Toth. *An upper bound for the zero-one knapsack problem and a branch and bound algorithm*. European Journal Operational Research, 1: 169-175, 1977.
- [10] S. Martello, P. Toth. *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*. J. Wiley, 1990.
- [11] D. Pisinger. *An expanding-core algorithm for the exact 0-1 knapsack problem*. European Journal Operational Research, 87: 175-187, 1995.

- [12] D. Pisinger. *Linear time algorithms for knapsack problems with bounded weights*. Journal Algorithms, 33: 1-14, 1999.
- [13] A. V. Cabot. An enumeration algorithm for knapsack problems. Operations Research, 18: 306-311, 1970.
- [14] C. W. Kessler. *Parallel Fourier-Motzkin Elimination*. Universität Trier, 1996.
- [15] A. Thesen. *A recursive branch and bound algorithm for the multidimensional knapsack problem*. Naval Research Logistics Quarterly, 22: 341-353, 1975.
- [16] W. Shih. *A branch and bound method for the multi constraint zero-one knapsack problem*. Journal of the Operational Research Society, 30: 369-378, 1979.
- [17] B. Gavish, H. Pirkul. *Efficient algorithms for solving multiconstraint zero-one knapsack problems to optimality*. Mathematical Programming, 31: 78-105, 1985.
- [18] H. Pirkul, S. Narasimhan. *Efficient algorithms for the multiconstraint general knapsack problem*. 11E Transactions, 18: 195-203, 1986.
- [19] A. L. Soyster, B. Lev, W. Slivka. *Zero-one programming with many variables and few constraints*. European Journal of Operational Research, 2: 195-201, 1978.
- [20] P. C. Gilmore, R. E. Gomory. *A linear programming approach to the cutting stock problem*. Operations Research, 9: 849-859, 1961.
- [21] P.C Gilmore, R. E. Gomory. *A linear programming approach to the cutting stock problem, part II*. Operations Research, 11: 863-888, 1963.
- [22] Google Developers. *About OR-Tools*. Disponível em: <https://developers.google.com/optimization>.
- [23] Google Developers. *Get Started with OR-Tools for Python*. Disponível em: <https://developers.google.com/optimization/introduction/python>.
- [24] Google Developers. *Knapsack Problem*. Disponível em: <https://developers.google.com/optimization/bin/knapsack>.

[25] Google Developers. Python Reference : Algorithms – Module pywrapknapsack_solver. Disponível em: https://developers.google.com/optimization/reference/python/algorithms/pywrapknapsack_solver.

Anexos

A1 – Código complementar pywrapknapsack_solver

```
# This file was automatically generated by SWIG
(http://www.swig.org).
# Version 4.0.1
#
# Do not make changes to this file unless you know what you are
doing--modify
# the SWIG interface file instead.

from sys import version_info as _swig_python_version_info
if _swig_python_version_info < (2, 7, 0):
    raise RuntimeError("Python 2.7 or later required")

# Import the low-level C/C++ module
if __package__ or "." in __name__:
    from . import _pywrapknapsack_solver
else:
    import _pywrapknapsack_solver

try:
    import builtins as __builtin__
except ImportError:
    import __builtin__

def _swig_repr(self):
    try:
        strthis = "proxy of " + self.this.__repr__()
    except __builtin__.Exception:
        strthis = ""
    return "<%s.%s; %s >" % (self.__class__.__module__,
self.__class__.__name__, strthis,)

def _swig_setattr_nondynamic_instance_variable(set):
    def set_instance_attr(self, name, value):
        if name == "thisown":
            self.this.own(value)
        elif name == "this":
            set(self, name, value)
        elif hasattr(self, name) and
isinstance(getattr(type(self), name), property):
            set(self, name, value)
        else:
            raise AttributeError("You cannot add instance
attributes to %s" % self)
    return set_instance_attr
```

```

def _swig_setattr_nondynamic_class_variable(set):
    def set_class_attr(cls, name, value):
        if hasattr(cls, name) and not isinstance(getattr(cls,
name), property):
            set(cls, name, value)
        else:
            raise AttributeError("You cannot add class
attributes to %s" % cls)
    return set_class_attr

def _swig_add_metaclass(metaclass):
    """Class decorator for adding a metaclass to a SWIG wrapped
class - a slimmed down version of six.add_metaclass"""
    def wrapper(cls):
        return metaclass(cls.__name__, cls.__bases__,
cls.__dict__.copy())
    return wrapper

class _SwigNonDynamicMeta(type):
    """Meta class to enforce nondynamic attributes (no new
attributes) for a class"""
    __setattr__ =
_swig_setattr_nondynamic_class_variable(type.__setattr__)

class KnapsackSolver(object):
    r"""
    This library solves knapsack problems.

    Problems the library solves include:
    - 0-1 knapsack problems,
    - Multi-dimensional knapsack problems,

    Given n items, each with a profit and a weight, given a
knapsack of
    capacity c, the goal is to find a subset of items which fits
inside c
    and maximizes the total profit.
    The knapsack problem can easily be extended from 1 to d
dimensions.
    As an example, this can be useful to constrain the maximum
number of
    items inside the knapsack.
    Without loss of generality, profits and weights are assumed
to be positive.

    From a mathematical point of view, the multi-dimensional
knapsack problem
    can be modeled by d linear constraints:

        ForEach(j:1..d) (Sum(i:1..n) (weight_ij * item_i) <= c_j
            where item_i is a 0-1 integer variable.

    Then the goal is to maximize:

```

```
Sum(i:1..n) (profit_i * item_i).
```

There are several ways to solve knapsack problems. One of the most

efficient is based on dynamic programming (mainly when weights, profits and dimensions are small, and the algorithm runs in pseudo polynomial time).

Unfortunately, when adding conflict constraints the problem becomes strongly

NP-hard, i.e. there is no pseudo-polynomial algorithm to solve it.

That's the reason why the most of the following code is based on branch and bound search.

For instance to solve a 2-dimensional knapsack problem with 9 items,

one just has to feed a profit vector with the 9 profits, a vector of 2

vectors for weights, and a vector of capacities.

E.g.:

```
**Python**:
```

```
.. code-block:: c++
```

```
profits = [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ]
weights = [ [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ],
            [ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
          ]
capacities = [ 34, 4 ]
```

```
solver = pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver(
    pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver
```

```
.KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER,
```

```
    'Multi-dimensional solver')
```

```
solver.Init(profits, weights, capacities)
```

```
profit = solver.Solve()
```

```
**C++**:
```

```
.. code-block:: c++
```

```
const std::vector<int64> profits = { 1, 2, 3, 4, 5,
6, 7, 8, 9 };
```

```
const std::vector<std::vector<int64> weights =
```

```
    { { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 },
```

```
      { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 } };
```

```
const std::vector<int64> capacities = { 34, 4 };
```

```
KnapsackSolver solver(
```

```
KnapsackSolver::KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER,
```

```

        "Multi-dimensional solver");
        solver.Init(profits, weights, capacities);
        const int64 profit = solver.Solve();

**Java**:

.. code-block:: c++

        final long[] profits = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
};
        final long[][] weights = { { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
9 },
                { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 } };
        final long[] capacities = { 34, 4 };

        KnapsackSolver solver = new KnapsackSolver(
KnapsackSolver.SolverType.KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOU
ND_SOLVER,
                "Multi-dimensional solver");
        solver.init(profits, weights, capacities);
        final long profit = solver.solve();
    """

    thisown = property(lambda x: x.this.own(), lambda x, v:
x.this.own(v), doc="The membership flag")
    __repr__ = __swig_repr
    KNAPSACK_BRUTE_FORCE_SOLVER =
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_KNAPSACK_BRUTE_FORCE_SOLVE
R
    r"""
        Brute force method.

        Limited to 30 items and one dimension, this
        solver uses a brute force algorithm, ie. explores all
        possible states.
        Experiments show competitive performance for instances with
        less than
        15 items.
    """
    KNAPSACK_64ITEMS_SOLVER =
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_KNAPSACK_64ITEMS_SOLVER
    r"""
        Optimized method for single dimension small problems

        Limited to 64 items and one dimension, this
        solver uses a branch & bound algorithm. This solver is about
        4 times
        faster than KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER.
    """
    KNAPSACK_DYNAMIC_PROGRAMMING_SOLVER =
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_KNAPSACK_DYNAMIC_PROGRAMMI
NG_SOLVER
    r"""
        Dynamic Programming approach for single dimension problems

```

```

    Limited to one dimension, this solver is based on a dynamic
programming
    algorithm. The time and space complexity is  $O(\text{capacity} *
\text{number\_of\_items})$ .
    """
    KNAPSACK_MULTIDIMENSION_CBC_MIP_SOLVER =
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_KNAPSACK_MULTIDIMENSION_CB
C_MIP_SOLVER
    r"""
        CBC Based Solver

        This solver can deal with both large number of items and
several
        dimensions. This solver is based on Integer Programming
solver CBC.
    """
    KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BRANCH_AND_BOUND_SOLVER =
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_KNAPSACK_MULTIDIMENSION_BR
ANCH_AND_BOUND_SOLVER
    r"""
        Generic Solver.

        This solver can deal with both large number of items and
several
        dimensions. This solver is based on branch and bound.
    """

    def __init__(self, *args):
        _pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_swiginit(self,
_pywrapknapsack_solver.new_KnapsackSolver(*args))
        __swig_destroy__ =
_pywrapknapsack_solver.delete_KnapsackSolver

    def Init(self, profits: "std::vector< int64 > const &",
weights: "std::vector< std::vector< int64 > > const &",
capacities: "std::vector< int64 > const &") -> "void":
        r"""Initializes the solver and enters the problem to be
solved."""
        return _pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_Init(self,
profits, weights, capacities)

    def Solve(self) -> "int64":
        r"""Solves the problem and returns the profit of the
optimal solution."""
        return _pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_Solve(self)

    def BestSolutionContains(self, item id: "int") -> "bool":
        r"""Returns true if the item 'item_id' is packed in the
optimal knapsack."""
        return
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_BestSolutionContains(self,
item_id)

    def set_use_reduction(self, use_reduction: "bool") ->
"void":

```

```

        return
    _pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_set_use_reduction(self,
    use_reduction)

    def set_time_limit(self, time_limit_seconds: "double") ->
    "void":
        r"""
            Time limit in seconds.

            When a finite time limit is set the solution obtained
            might not be optimal
            if the limit is reached.
            """
        return
    _pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_set_time_limit(self,
    time_limit_seconds)

# Register KnapsackSolver in _pywrapknapsack_solver:
_pywrapknapsack_solver.KnapsackSolver_swigregister(KnapsackSolver)

```