



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS



FELIPPE PEREIRA LUCIO MARTINS

MODELO PRÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO DE PORTFÓLIO E SELEÇÃO DE PROJETOS ACADÊMICOS

Limeira
2018

FELIPPE PEREIRA LUCIO MARTINS

MODELO PRÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO DE PORTFÓLIO E SELEÇÃO DE PROJETOS ACADÊMICOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura, na área de Pesquisa Operacional e Gestão de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Edmundo Inácio Junior

Coorientador: Prof. Dr. Aníbal Tavares de Azevedo

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO FELIPPE PEREIRA LUCIO MARTINS ORIENTADA PELO PROF. DR. EDMUNDO INÁCIO JUNIOR E COORIENTADA PELO PROF. DR. ANÍBAL TAVARES DE AZEVEDO.

Limeira
2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Renata Eleuterio da Silva - CRB 8/9281

M366m Martins, Felipe Pereira Lucio, 1983-
Modelo prático para otimização de portfólio e seleção de projetos acadêmicos / Felipe Pereira Lucio Martins. – Limeira, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Edmundo Inácio Junior.
Coorientador: Aníbal Tavares de Azevedo.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Ciência e tecnologia. 2. Inovação. 3. Projetos acadêmicos. 4. Problema da mochila (Matemática). 5. Processo decisório por critério múltiplo. I. Inácio Junior, Edmundo. II. Azevedo, Aníbal Tavares, 1977-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Practical model for portfolio optimization and selection of academic projects

Palavras-chave em inglês:

Science and technology

Innovation

Backpack problem (Mathematics)

Decision making by multiple criteria

Área de concentração: Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura

Banca examinadora:

Edmundo Inácio Junior [Orientador]

Priscila Cristina Berbert Rampazzo

Ruy de Quadros Carvalho

Data de defesa: 18-06-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia de Produção e de Manufatura

Autor: Felipe Pereira Lucio Martins

Título: Modelo prático para otimização de portfólio e seleção de projetos acadêmicos.

Natureza: Defesa de dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Manufatura na área de Pesquisa Operacional

Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas

Aprovado em: 18/06/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edmundo Inácio Júnior – Presidente
Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP)

Prof^a. Dra. Priscila Cristina Berbert Rampazzo – Avaliadora
Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP)

Prof. Dr. Ruy de Quadros Carvalho – Avaliador
IG (UNICAMP)

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros da Comissão encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Ao meu filho Theo. Desde o começo, fomos só eu e você.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus orientadores, Prof. Dr. Edmundo Inácio Junior e ao Prof. Dr. Aníbal Tavares. As inúmeras reuniões, conversas de corredor, dificuldades e Skypes. Vocês me ensinaram a pescar ao invés de apenas me darem o peixe.

Às aulas de Análise Multicritério do Prof. Dr. Leonardo Tomazeli Duarte e Prof. Dr. Cristiano Torezzan.

Ao Prof. Dr. Washington Oliveira, pela oportunidade de ser PED em sua disciplina e por ter me concedido a gratificante experiência em lecionar Estatística II para duas turmas na graduação da UNICAMP. Também agradeço a atenção e camaradagem que sempre dispendeu. As correções, conselhos e observações que apontou neste trabalho quando membro da banca de qualificação foram imprescindíveis para sua conclusão.

Ao meu padrasto Prof. Dr. Luiz Camolesi Junior. Obrigado por ser o modelo de acadêmico e ser humano que eu almejo ser. Obrigado pelas dicas e por me encorajar em tudo.

Aos meus pais (Itália Regina Pereira Camolesi e Mauricio Lucio Martins) e irmã (Maria Alice Pereira Camolesi). Literalmente, sem vocês nada disso seria possível. Obrigado pelo apoio, a paciência e o investimento. Do fundo do meu coração obrigado.

À Bianca, que chegou aos quarenta e cinco minutos do segundo tempo e ganhou o jogo.

Obrigado ao meu filho amado Theo. O pedaço de mundo que eu estou fazendo é para você.

Por fim agradeço a vida. Ela não é generosa o tempo todo, mas quando o é, realmente compensa todo o tempo que não foi.

RESUMO

O Brasil tem uma longa tradição de investir proporcionalmente mais no ensino superior do que na educação básica e média. Embora seja de conhecimento que a porcentagem de matrículas da população de 18 a 24 anos na educação superior – Taxa Líquida de Matrícula – seja de apenas 18,1% em 2015 (cf. observatório do PNE meta para 2024 é de 33%), o sistema de pós-graduação e pesquisa brasileiro é o maior e mais amadurecido da América Latina. No mesmo ano de 2015 mais de 325.320 alunos de pós graduação iniciaram pesquisas em diferentes linhas. De acordo com relatório publicado pela CGEE, se em 1996 pouco menos de 3.000 pessoas receberam o título de doutor, em 2014 foram concedidos 16.729 títulos, crescimento este de 486,2%. No que tange os alunos de mestrado, os números passaram de 10.482 títulos em 1996 para 50.206 no ano de 2014. É palpável a importância que a pesquisa representa neste cenário. Pesquisa esta que fomenta a produção acadêmica, e é força geradora de inovação e desenvolvimento científico e tecnológico para o país. O sucesso de tais empreendimentos jaz não só no ato de execução da pesquisa *per se*, mas também na gestão do processo de concessão dos recursos por parte das instituições financiadoras. Saber gerenciar esses recursos de forma parcimoniosa e se respeitando o impacto de cada pesquisa em seu campo são, entre vários, fatores decisivos na continuidade e perpetuação da atividade de pesquisa acadêmica e de desenvolvimento em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). Tendo como pano de fundo tal temática, este trabalho tem como objetivo, utilizando técnicas de programação inteira e métodos de apoio à decisão multicritério, criar um modelo prático que contemple características de flexibilidade orçamentária para cada projeto de pesquisa e que seja útil para selecionar e alocar a distribuição de orçamento a projetos de pesquisa acadêmica. Dessa forma, a nova metodologia visa dar mais clareza a uma prática recorrente e realizada a posteriori na qual os projetos são selecionados, mas frequentemente não recebem todo o valor a que pleitearam. A metodologia permite que os requerentes relacionem um índice de satisfação em acordo com o montante recebido e, portanto, auxilia o tomador de decisão a saber qual o nível de alocação de recursos é adequado para cada projeto em acordo com as expectativas dos requerentes.

Palavras-chave: Otimização de Portfólio, CT&I, Projetos Acadêmicos, Knapsack Problem, Problema da Mochila, PROMETHEE, Métodos de Apoio à Decisão Multicritério

ABSTRACT

Brazil has a long tradition of investing proportionately more in higher education than in basic and average education. Although it is known that the percentage of enrollments of the population aged 18 to 24 years in higher education - net enrollment rate - is only 18.1% in 2015 (see PNE observatory target for 2024 is 33%), system of postgraduate and Brazilian research is the largest and most matured in Latin America. In the same year of 2015 more than 325,320 graduate students began researches in different lines. According to a report published by the CGEE, if in 1996 just under 3,000 people received the doctoral degree, in 2014 16,729 titles were awarded, an increase of 486.2%. With regard to masters students, the numbers went from 10,482 titles in 1996 to 50,206 in the year 2014. It is palpable the importance that the research represents in this scenario. Research that fosters academic production, and is a force that generates innovation and scientific and technological development for the country. The success of such undertakings lies not only in the execution of the research per se, but also in the management of the process of granting resources by the financing institutions. Knowing how to manage these resources in a parsimonious way and respecting the impact of each research in its field are, among several factors, decisive factors in the continuity and perpetuation of the activity of academic research and development in Science, Technology and Innovation (CT & I). Based on this theme, the objective of this work is to create a practical model that uses characteristics of budgetary flexibility for each research project, and which is useful for selecting and allocating resources, using whole programming techniques and multicriteria decision support methods the distribution of budget to academic research projects. Thus, the new methodology aims to give more clarity to a recurring and a posteriori practice in which the projects are selected, but often do not receive all the value they have applied for. The methodology allows applicants to relate a satisfaction index to the amount received and thus helps the decision maker to know what level of resource allocation is appropriate for each project in accordance with the expectations of the applicants.

Keywords: Portfolio Optimization, Innovation, Academic Projects, Knapsack Problem, PROMETHEE, Multicriteria Decision Analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS ACADÊMICOS	15
2.1.1	GESTÃO DE PORTFÓLIO: PROCESSOS DE DECISÃO.	15
2.1.2	NATUREZA DOS PROJETOS ACADÊMICOS – CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (CT&I)	17
2.1.3	FERRAMENTAS PARA SELEÇÃO DE PROJETOS	23
3	METODOLOGIA	29
3.1	INTRODUÇÃO AO PROBLEMA DA MOCHILA	29
3.1.1	PROGRAMAÇÃO DINÂMICA	32
3.1.2	RELAXAMENTO LINEAR	34
3.2	MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	35
3.2.1	MÉTODO PROMETHEE I E II	36
3.2.2	CONJUGAÇÃO DOS MÉTODOS PROMETHEE I E II E OTIMIZAÇÃO INTEIRA: O MÉTODO PROMETHEE V	39
4	APLICAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS	41
4.1	ELABORAÇÃO DE CRITÉRIOS E APLICAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE (I E II)	41
4.2	AJUSTE E OTIMIZAÇÃO 0-1 DOS FLUXOS TOTAIS	43
4.3	OTIMIZAÇÃO POR RELAXAMENTO LINEAR	46
4.4	FUNÇÃO DE PREFERÊNCIA COMO NÍVEL DE SATISFAÇÃO – MODELO MISTO	47
4.4.1	COMPARAÇÃO DOS DADOS	52
4.4.2	ALGUNS CENÁRIOS	55
4.4.3	LIMITES DO MODELO	61
5	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O caráter exógeno como característica solitária da ciência e tecnologia acadêmicas para o sistema econômico, já não existe mais. A pesquisa acadêmica tem se transformado em objeto integrado ao ciclo econômico de inovação e crescimento (Debackere, 2000). Por um lado, empresas viram seus olhos para a academia em busca de novidades tecnológicas, rupturas e novos conceitos. De outro, instituições acadêmicas começam a perceber tanto o impacto de suas pesquisas, quanto o potencial em mudar o cenário econômico. E este potencial é bem-vindo para aliviar as pressões de orçamento que surgem na manutenção de um programa de pesquisa.

Conforme a pressão econômica cresce no âmago da pesquisa acadêmica, universidades devem lidar em como conciliar caráter exógeno (invenções propelas por curiosidade) e endógeno (invenções propelas pelo mercado) da pesquisa acadêmica.

O engajamento e envolvimento ativo da Universidade nos processos emergentes de inovação e empreendedorismo industrial, pode dificultar a Gerência da Pesquisa e Desenvolvimento em âmbito acadêmico. Desta forma, o processo requer então contexto apropriado, estrutura e procedimentos intrínsecos à Universidade, para que os valores fundamentais do ensino e pesquisa sejam complementados.

Debackere (2000) relaciona o contexto descrito acima à cultura e história que se desenvolveu internamente à instituição acadêmica. Seu “DNA”. Características inerentes à instituição que fazem ela ser o que é e ao mesmo tempo, moldam e configuram as normas, valores e atitudes de pesquisadores acadêmicos em combinar pesquisa “endógena” e “exógena” e esforços de inovação. Molda as atitudes ao procurar por oportunidades como pesquisas que sejam mercadologicamente relevantes dentro de pesquisas que sejam propelas por curiosidade. A estrutura está relacionada aos mecanismos apropriados organizacionais e de incentivo; enquanto o processo se relaciona com as operações da criação de conhecimento do dia a dia e gerenciamento da inovação dentro do ambiente acadêmico. Os processos centrais para a gestão

de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) são a propriedade intelectual e criação de novos empreendimentos.

O resultado da pesquisa é continuamente estimado e seu financiamento é realizado através da qualidade da pesquisa realizada. Pesquisadores individuais assim como grupos completos de pesquisadores e instituições são avaliados em intervalos constantes. Nos dias atuais existe desta forma, um padrão dominante de performance, avaliação e monitoramento de pesquisa (DEBACKERE 2000).

No Brasil, a atividade de pesquisa acadêmica é intrinsicamente ligada às universidades, instituições que são em sua natureza, produtores de conhecimento científico. Tal conhecimento gerado neste ambiente, tanto por docentes e discentes de graduação e pós-graduação, mostram uma preocupação focada no rigor científico. Rigor científico este que pode ser inclusive utilizado na elaboração de ferramentas e métodos para auxiliar a manutenção e operacionalização da própria pesquisa acadêmica, como será visto mais adiante no presente trabalho.

Um aspecto fundamental da atividade de pesquisa é a comunicação do conhecimento produzido aos pesquisadores, aos profissionais de diversas áreas e à população em geral. A comunicação ocorre tanto em canais formais como informais.

O canal de publicação mais utilizado pelos pesquisadores para divulgar seus trabalhos é a publicação de artigos científicos em periódicos. Praticamente toda produção técnica e científica é publicada em periódicos científicos. Os artigos julgados e publicados em tais periódicos formam o padrão de pulverização da pesquisa acadêmico-científica nas diversas áreas do conhecimento. Tais “produtos” são um dos possíveis indicadores do desenvolvimento da ciência de um país ou do desempenho individual de um cientista ou instituição (patentes e registros de software, por exemplo, podem ser outros exemplos de indicadores de desenvolvimento). As revistas, ou periódicos, científicos são considerados os principais modelos dentre os canais de comunicação disponíveis na ciência, servindo para representar o meio de divulgação dos registros de resultados e elaboração teóricas da pesquisa científica.

A operacionalização de toda essa massa crítica de conhecimento dá-se através da sistematização das atividades de pesquisa em empreendimentos planejados que (Carmona, Galvão da Silva, Pires da Silva, Soares, & Cruz Conceição, 2014) definem como Projetos de Pesquisa.

Um projeto se resume a um conjunto de ações que se relacionam entre si e planos para o alcance de objetivos e resultados, dadas restrições de tempo e orçamento.

Possuem vida útil já definida e seu objetivo é a criação de algo, sendo produto, serviço ou conhecimento teórico-científico. No âmbito empresarial, os projetos podem ser desenvolvidos em qualquer nível organizacional, podendo envolver apenas uma ou diversas equipes com várias pessoas. Cada projeto tem começo, meio e fim definidos por um cronograma pré-estabelecido. Devido à sua possível complexidade, os projetos são capazes de envolver inteiras unidades isoladas das organizações ou atravessar fronteiras organizacionais (como por exemplo, consórcios e parcerias). Desta forma, os projetos são frequentemente classificados como componentes críticos da estratégia de negócio da organização (PMI, 2000). Um tipo especial de projeto que se relaciona diretamente com a atividade de pesquisa científica é o projeto de inovação.

Em países que possuem uma economia consolidada, a trindade Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) é produto de um ambiente que realiza conhecimento que influencie o setor produtivo, especialmente por meio das áreas de pesquisa e desenvolvimento.

Uma das consequências do progresso tecnológico é o desenvolvimento econômico, gerado através do aumento da produtividade e competitividade das empresas, conseqüentemente elevando a qualidade de vida da população. Se não promovem desenvolvimento real, o progresso tecnológico e a atividade inovativa das empresas pode agir como um amortecedor para os efeitos destrutivos da crise econômica.

De acordo com a Pesquisa de Inovação 2014 (IBGE, 2016) nas empresas, o sucesso da inovação tecnológica depende, em grande parte, de quesitos como a estrutura da mão de obra, a estratégia de escolha do melhor portfólio, as parcerias com instituições de ensino superior e outras empresas do setor e acima

de tudo, a organização interna da empresa. O fomento de inovações está fortemente correlacionado à criação, internamente, de um ambiente no qual as ideias criativas possam surgir e serem praticadas com rigor técnico eficaz, e os conhecimentos tanto tecnológicos como de gestão, possam ser acumulados.

Um dos *cases* mais proeminentes em como a inovação, e muito mais importante, como a questão da decisão frente aos investimentos conscientes e baseados em critérios cuidadosamente elaborados e avaliados pode impactar no futuro de uma instituição é aquele da Kodak. A empresa foi a primeira a criar a câmera digital, porém em meados da década de 90 quando a tecnologia foi criada, seu maior lucro provinha da venda de produtos químicos utilizados nos filmes que eles mesmos forneciam. O receio de se desviar daquilo que fazia muito bem e o atraso em investir na inovação deu espaço para outras empresas tomarem o mercado. A entrada tardia no mercado que eles mesmos possibilitaram, acarretou em concorrentes com câmeras e soluções muito superiores. A situação só piorou com a popularização dos *smartphones* e as câmeras integradas cada vez melhores.

As empresas atualmente possuem uma grande fatia de seu orçamento para atividades que promovam a redução de custos, melhora de produtividade, criação de novos produtos, novos processos, etc. O fato importante não consiste em realizar ou não os projetos, mas sim em quais projetos realizar com o orçamento disposto e, mais importante, como escolher aqueles que trarão maior retorno financeiro com menor risco. Assim, otimizar um portfólio de projetos torna-se uma atividade que, de acordo com o método utilizado e o tipo de projeto a ser considerado, pode gerar retornos organizacionais completamente diferentes.

Para que tal processo seja possibilitado, um dos fatores principais é a forma que a instituição/organização consegue recursos para financiar a atividade de pesquisa.

Nos dias atuais, em todo o mundo, o financiamento à pesquisa nas universidades depende de iniciativas de captação de verba externa feitas por pesquisadores individuais, grupos de pesquisadores ou da própria Universidade. Em alguns grupos de Universidades, decisões sobre investimentos em pesquisa com recursos próprios são realizados com o objetivo de cumprir projetos estratégicos

de expansão em áreas do conhecimento planejadas pelos colegiados. Muitas vezes, tais investimentos são resultados de fundos próprios ou de campanhas de captação privada de recursos realizadas com propósitos definidos.

Tal sistema no Brasil, é bastante diferenciado, não se observando políticas monolíticas de instituições de apoio à pesquisa que pudessem colocar em risco autonomias pessoais ou institucionais. Deve-se adicionar ainda que os grupos que julgam projetos são, em geral, compostos por docentes universitários, eles próprios preocupados com a defesa da autonomia.

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma ferramenta para que os recursos sejam geridos de forma que ao mesmo tempo levem em consideração um ranking de melhores projetos e a alocação dos recursos financeiros de forma a respeitar certas restrições, tais como questões políticas de escolha do próprio tomador de decisão, satisfação geral do portfólio e restrição de verba por segmentação de área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Seleção de Portfólio de Projetos Acadêmicos

2.1.1 Gestão de Portfólio: Processos de Decisão.

Gerenciamento de Portfólio de Projetos segundo a definição de Cooper *et al.* (2001), é um processo decisório, no qual a revisão e atualização de uma lista de projetos é constante. Em tal processo é rotina a avaliação, seleção e priorização de novos projetos; a aceleração, não priorização ou cancelamento de projetos existentes e a alocação ou realocação de recursos para projetos ativos. O processo decisório no portfólio é marcado pela incerteza, mudança de informação, dinamismo no cenário de oportunidades, múltiplos objetivos e considerações estratégicas, interdependência entre projetos e múltiplos tomadores de decisões e locais.

Este processo de decisão também engloba ou sobrepõem um número de processos de tomada de decisão internos ao negócio, incluindo revisões periódicas de todos os projetos do portfólio e suas comparações entre si, realizando decisões de realização ou cancelamento de projetos rotineiramente e desenvolvendo novas estratégias de produtos e serviços para o negócio, com decisões estratégicas de alocação de recursos.

Segundo Kruglianskas (2009), um centro de pesquisa e desenvolvimento eficaz deve não apenas contar com recursos financeiros e materiais, mas também com uma equipe de pesquisadores que sejam competentes, criativos e com a motivação de continuamente gerar ideias para projetos que tenham o potencial de rentabilidade. Assim, uma característica básica e inerente a centros de pesquisa eficazes é a disponibilidade de menos recursos para execução do que de ideias para projetos. Por esse motivo, o processo de avaliação e seleção de projetos tem um papel de extrema importância, pois, necessariamente, deve-se tomar a decisão de realizar um projeto em detrimento de outro.

Os autores ainda apontam que o estabelecimento de critérios para a tomada de decisão é um dos fatores fundamentais para o processo de avaliação e seleção de projetos. Tais critérios podem ser bastante diferentes, podendo abranger quesitos variados como estratégias mercadológicas, financeiras, etc. Cada centro de pesquisa, de acordo com suas características deverá desenvolver seus próprios critérios, visando explicitar os aspectos mais relevantes a se considerar na decisão de avaliar e selecionar seus projetos. Porém, alerta que a geração de uma lista de critérios extensa pode significar um custo alto demais na obtenção futura de informações para sua utilização no processo de avaliação e seleção dos projetos, ou seja, o problema não é apenas gerar um número alto de critérios, mas sim, aqueles que são altamente relevantes.

Dentre os métodos disponíveis, existe uma gama que vai de simples métodos qualitativos até complexos métodos quantitativos. Todo centro de pesquisa, entretanto, tenta desenvolver modelos de triagem ou conjuntos de modelos que permitam fazer as melhores escolhas entre as alternativas, dadas as restrições de tempo e orçamento.

Modelos de seleção de projeto consistem em duas classes gerais, de acordo com Pinto e Loiola (2007): numéricos e não numéricos.

Modelos numéricos procuram usar números como dados de entrada para o processo de decisão envolvido na seleção de projetos. Tais valores podem ser derivados tanto externos à organização quanto dados internos à organização. Ambas alternativas de entrada de dados podem ser corretas ou não. A opinião de um expert sobre um assunto pode ser subjetiva, porém acurada. A medida de um agrimensor pode ser objetiva, mas se estiver incorretamente calibrada, pode fornecer a informação errada. Muitos processos de seleção para modelos de triagem envolvem a análise combinada de dados objetivos e subjetivos com a consequente tomada de decisão.

Modelos não numéricos, por outro lado, não envolvem números como dados de entrada, confiando em outros tipos de critérios. Tais critérios são em essência mais qualitativos, como imposição de uma liderança, peculiaridades de especialistas, necessidade ou emergência da situação/cenário, peculiaridade da fabricação de produto/serviço, comparação de benefícios (via priorização, especialistas, percepção ou perspectiva do cliente, etc.). São modelos em que o

viés político acaba sendo predominante. No presente trabalho, procuramos uma metodologia que equilibre o citado viés político com o mais técnico/matemático. Companhias, e instituições de fomento à pesquisa gastam grandes quantidades de tempo e esforço tentando fazer as melhores decisões de seleção de projeto possíveis. Tais decisões são tipicamente realizadas levando em consideração os objetivos gerais da liderança da companhia e de seu objetivo estratégico ou as questões políticas/institucionais inerentes à agência de fomento. Tais objetivos podem ser bem complexos e refletir um grande número de fatores externos que podem afetar as atividades de pesquisa. A lista de fatores que podem ser considerados quando se avalia alternativas de projetos e critérios para sua seleção é enorme. Em termos gerais, no caso das empresas pode-se olhar para os fatores de risco, comerciais e operacionais. Nas instituições de fomento, podemos considerar questões de inclusão, fatores políticos e setoriais. Importante neste momento uma análise um pouco mais aprofundada da natureza dos projetos acadêmicos e um pouco do panorama de como se relacionam com estas instituições.

2.1.2 Natureza dos Projetos Acadêmicos – Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I)

A criação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) em 1985 foi outro momento importante, no qual a temática da CT&I recebeu políticas mais claras e abertas, além de ser vista como um fator cada vez mais estratégico para o desenvolvimento socioeconômico do país. De acordo com o Relatório de Gestão de 2010 (BRASIL, 2010) de autoria do MCT, não era suficiente apenas o financiamento, mas também o estabelecimento de metas com alcance e escopo amplos.

As metas internas que foram colocadas para o setor nas décadas seguintes, passaram a expressar o que estava em vigência no cenário internacional. Metas estas que adotaram a lógica de transformação do conhecimento em fator de produção e conseqüentemente em fator primordial para a geração de riqueza. Assim, as atividades que mais agregam valor (e por conseqüência geram riqueza) seriam aquelas geradas pela inovação.

Ainda de acordo com Santos e Moraes (2013), o MCT em sua publicação “Livro Branco: ciência, tecnologia e inovação (BRASIL, 2002), elencou os objetivos que a Política Nacional de Ciência e Tecnologia viria a adotar. Dentre eles: a) criar ambiente favorável à inovação no País; b) ampliar a capacidade de inovação e expandir a base científica e tecnológica nacional; c) consolidar, aperfeiçoar e modernizar o aparato institucional de CT&I; d) integrar todas as regiões ao esforço nacional de capacitação para CT&I; e) desenvolver uma base ampla de apoio e envolvimento da sociedade na Política Nacional de CT&I; f) transformar CT&I em elemento estratégico da política de desenvolvimento nacional.

Os autores também afirmam que a política atual para o desenvolvimento do campo, de acordo com o Plano de Ação em CT&I – PACTI 2007-2010 confirma o panorama descrito ao, em suas premissas básicas, denotar que: a) existe uma forte correlação entre o grau de desenvolvimento de um país e seu esforço em CT&I expresso pelos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e pela dimensão de sua comunidade de pesquisa; b) os países com economias desenvolvidas tem forte atividade de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas empresas financiadas por elas próprias e pelo governo.; c) alguns países mudaram drasticamente seu padrão de desenvolvimento econômico por meio de políticas industriais articuladas com as políticas de CT&I; d) o Brasil encontra-se em “situação intermediária” no mundo, em termos de capacidade produtiva e acadêmica, mas dispõe de “massa crítica” para uma gradual aproximação aos níveis tecnológicos das economias desenvolvidas (BRASIL, 2007).

Um dos fatores importantes para dar força motriz a tal política foi, por exemplo, durante o governo Itamar, o surgimento da ideia dos atualmente chamados fundos setoriais/FNDCT; mecanismos para dar suporte aos centros de pesquisa das estatais para que pudessem sobreviver após os processos de privatização (PACHECO, 2002). No governo seguinte, a criação e regulamentação da grande maioria dos fundos se efetivou, constituindo assim os mecanismos de obtenção de receita e alocação de recursos. Os fundos setoriais foram criados com o objetivo de contribuir para a construção de uma política nacional de CT&I de longo prazo, caracterizando-se, em última instancia, como uma obra de “engenharia financeira”, reformulando assim a estrutura de financiamento de

C&T e engendrando, assim, uma nova modalidade de organização da política nacional de CT&I (PACHECO, 2002) .

Nas palavras de (Salles Filho, 2002, p. XX), a idealização e operacionalização de tais fundos,

[...] procurou traçar alternativas ao equacionamento destes problemas, com o estabelecimento de um padrão de financiamento a longo prazo e o estímulo da participação empresarial e sua interação com universidades e institutos de pesquisa.

Pacheco (2007) coloca que os fundos setoriais foram criados na perspectiva de mudar o cenário de financiamento em CT&I no país, e de alterar a relação do Ministério de Ciência e Tecnologia e suas agências de fomento (CNPq e FINEP) com os demais órgãos setoriais do governo federal. Disto está a orientação de que os recursos destinados a esses fundos deveriam ser direcionados para o financiamento de programas de fomento à pesquisa científica e ao desenvolvimento tecnológico do setor produtivo (Kannebley Júnior, Carolo, & Negri, 2013).

A criação de tais fundos também representou um avanço tanto ao garantir maior aporte de recursos financeiros para a formação de recursos humanos e fomento à pesquisa, como ao definir como beneficiários dos recursos financeiros instituições de ensino, pesquisa e/ou empresas (Santos & Moraes, 2013).

Os dados da Tabela 1 permitem a conclusão que a criação dos fundos setoriais tem contribuído significativamente para o fomento e evolução da área de CT&I doméstica. Atualmente, tal área constitui-se como principal fonte indutora e de financiamento da produção do conhecimento.

Ano	Ciência e Tecnologia (C&T) - em milhões de R\$ correntes						
	Total	P&D			Atividades Científicas e Técnicas Correlatas		
		Total	Orçamento Executado	Ensino Superior	Total	Orçamento Executado	Ensino Superior
2000	15.839,10	12.560,70	9.349,30	3.211,40	3.278,40	3.278,40	-
2001	17.659,60	13.973,00	10.444,40	3.528,60	3.686,60	3.686,60	-
2002	19.756,80	15.032,00	10.957,40	4.074,60	4.724,80	4.724,80	-
2003	22.278,80	17.169,00	12.590,30	4.578,70	5.109,80	5.109,80	-
2004	25.437,70	18.861,60	14.109,40	4.752,20	6.576,10	6.576,10	-

2005	28.179,80	21.759,30	16.764,30	4.995,00	6.420,50	6.420,50	-
2006	30.540,90	23.807,00	18.018,30	5.788,70	6.733,90	6.733,90	-
2007	37.468,20	29.416,40	21.331,00	8.085,40	8.051,80	8.051,80	-
2008	45.420,60	35.110,80	25.730,80	9.380,00	10.309,80	10.309,80	-
2009	51.398,40	37.285,30	27.713,10	9.572,20	14.113,10	14.113,10	-
2010	62.223,30	45.072,80	33.662,60	11.410,20	17.150,50	17.150,50	-
2011	68.155,00	49.875,80	35.981,50	13.894,30	18.279,20	18.279,20	-
2012	76.432,70	54.254,60	38.547,60	15.707,00	22.178,10	22.178,10	-
2013	85.646,40	63.748,60	45.149,00	18.599,60	21.897,80	21.897,80	-
2014	96.316,60	73.387,60	51.616,90	21.770,70	22.929,00	22.929,00	-
2015	98.302,10	76.531,80	57.455,10	19.076,70	21.770,30	21.770,30	-

Tabela 1 – Dispendio nacional em ciência e tecnologia (C&T), em valores correntes, por atividade, 2000-2015. Extraído de (BRASIL, 2017).

Importante também observar como o investimento em pesquisa é significativo através de dados de investimentos em bolsas de pesquisa fornecidos pelos CNPq através da evolução dos gastos e pela magnitude dos dispêndios apenas do ano de 2017, conforme observado na Figura 1.

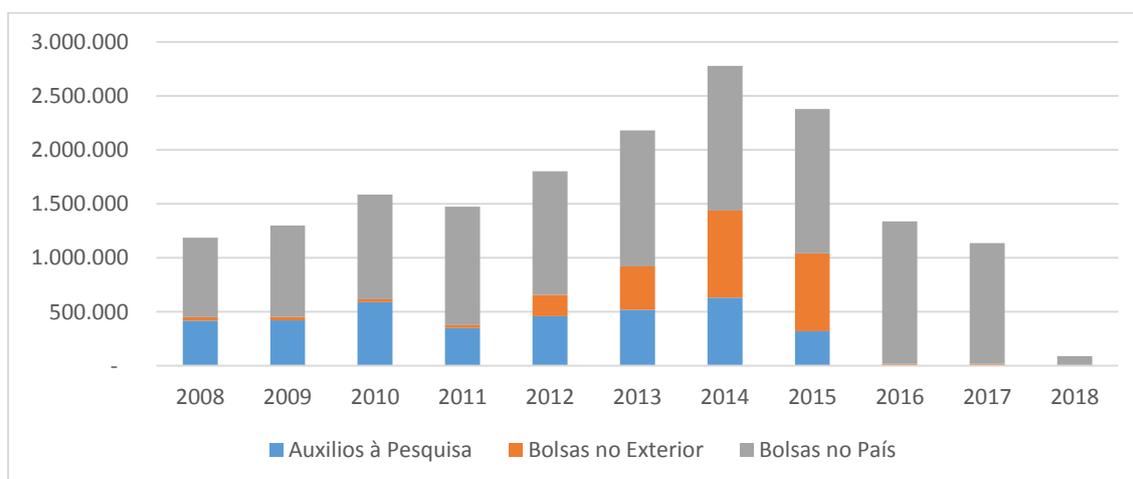


Figura 1 – Auxílio à Pesquisa e Bolsas concedidas. Consolidação de valores por modalidade (valores em mil reais). Dados extraídos e gráfico adaptado de (CNPq, 2017).

Também importante destacar a queda vertiginosa em financiamento que a pesquisa vem sofrendo desde o ano de 2015, além da queda na concessão à Bolsas no país e no exterior.

Dado a magnitude do montante dos recursos que são movimentados e dos prováveis cenários de prosseguimento da já característica escassez de recursos,

é visível a importância de que o modo de gerenciamento de tais recursos se configura em atividade crítica para a otimalidade da operação de fomento à pesquisa.

Fundamental, para justificar a utilização do modelo que este trabalho propõe aplicar, ressaltar o papel da universidade na criação e disseminação de novos conhecimentos e tecnologias. De acordo com Chiarini e Vieira (2012), através de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento e engenharia, a Universidade pode ser encarada como vetor e pulverizador do conhecimento científico-tecnológico além de fomento de políticas pró-desenvolvimento.

Segundo trabalhos como (Pavitt, 1991) e (Rosenberg & Nelson, 1994), a universidade, além de formar pessoas qualificadas, predetermina a capacidade de assimilação de novos conhecimentos pela sociedade ao elevar o conjunto de compreensão de tecnologias e conhecimentos externos pela sociedade, elevando desta forma, a sua própria capacidade de utilizar tais conhecimentos. Isso acarreta a capacidade da sociedade em produzir novos conhecimentos; não agindo apenas passivamente como emuladora do que é criado externamente. De acordo com Perez (2001) as universidades acabam impactando o crescimento da economia devido a excelência em pesquisa avançada e ao aumento do estoque de recursos humanos, afinal tais recursos são fator determinante do desenvolvimento: é preciso força de trabalho capacitada em assimilar conhecimento com um ritmo consistente com as mudanças tecnológicas. Esse combo de oferta de recursos humanos capacitados e aumento de reserva de conhecimento científico acaba gerando inversões técnico-econômicas crescentes. Além disso as pesquisas geradas pela universidade são aplicadas diretamente no setor produtivo, criando ganhos competitivos para empresas que conseguem obter, na indústria, inovações tecnológicas através da utilização direta do conhecimento científico.

Segundo Nelson e Mazzoleni (2006), a geração de novos conhecimentos nas universidades tem se tornado alvo, embora ainda embrionário, do interesse de empresas privadas e do próprio setor público, graças ao reconhecimento que um sistema efetivo de pesquisa pública é parte relevante da estrutura institucional necessária para que alcancemos o resto do mundo. O sistema educacional tem

papel primordial em construir competências e formar as bases do processo de inovação (Lundvall & Christensen, 1998).

A interação entre empresas privadas e universidade, de acordo com Cristhina e Chimendes (2009) é de vital importância pois auxilia no estudo da existência da política de CT&I. Para Meyer-Krahmer e Schmoch (1998), a partir dos anos 80, a relação universidade / empresa se intensifica com o desenvolvimento de diversos mecanismos que refletem a criação e a transmissão de tecnologia e de conhecimento, caracterizando assim um fluxo entre conhecimento e técnica.

São complexas as relações entre e os papéis que cada agente envolvido na produção do conhecimento toma, somado ao papel inerente da sociedade em absorver o que tais agentes produzem. Em algumas economias, o regime de incentivo para pesquisa é desalinhado. Existe uma baixa esperança de transferência para aplicações na indústria e comércio a fim de gerar ganhos de competitividade e produtividade do conhecimento gerado publicamente. Além disso, segundo Dahlman, Alberto Rodríguez e Salmi (2008), grande parte das pesquisas não está orientada a resultados, e o caso brasileiro não seria diferente, o que demonstra o hiato existente entre produção científica e inovação tecnológica.

Tal desequilíbrio é agravado, pois o principal meio de produção de conhecimento na América Latina é a Universidade (Arocena & Sutz, 2001), sendo que outros institutos contribuem de forma não tão incisiva para o processo. Se as universidades ainda são encaradas como instituições desacopladas do mercado – pois teoricamente não entenderiam sua dinâmica – a relação universidade-empresa se enfraquece e a troca de comunicação entre ambas é debilitada (Chiarini & Vieira, 2012).

Importante apontar a necessidade da aplicação de ferramental voltado para tomada de decisão em atividades empresariais no auxílio da Universidade e dos órgãos de fomento (FAPESP, CNPq, etc.), em gerir os processos necessários para garantir a Pesquisa, chave para o fomento de CT&I.

Tais processos internos - como seleção e otimização financeira de portfólio de projetos - apesar de almejarem diferentes objetivos com relação aos seus análogos na Empresa, trilharam alguns caminhos semelhantes - uma alocação

ótima dos recursos - e podem utilizar ferramentas que podem ser aproveitadas para tal.

2.1.3 Ferramentas para Seleção de Projetos

Pinto e Loiola (2007) enfatiza que é necessário a reflexão de dois pontos acerca do uso de qualquer abordagem de tomada de decisão em seleção de projetos. Primeiramente, segundo o autor, o mais completo modelo no mundo ainda é apenas uma representação parcial da realidade da instituição. A potencial lista de *inputs* em qualquer modelo de decisão de seleção de projetos é literalmente ilimitada; tanto que, na verdade, deve-se reconhecer esta verdade antes de explorar a seleção de projetos para não se assumir erroneamente que seja possível dado tempo e esforço suficientes, identificar todos os problemas relevantes contidos. Segundo, embutido em cada modelo de decisão existem ambos os fatores objetivos e subjetivos. Podem-se formar opiniões baseadas em dados objetivos; pode-se ainda derivar modelos de decisão complexos baseadas em dados subjetivos. Existe um lugar para ambos os inputs de dados - objetivos e subjetivos em qualquer modelo de triagem útil.

Dentre as várias abordagens citadas, sem dúvida a financeira sempre representou uma das mais utilizadas. Boer (2002) mostra que a avaliação financeira em pesquisa mudou de forma crítica desde meados da década de 80, com novos critérios de financiamento, maior abordagem sobre o risco e novas ferramentas para avaliar e medir o capital intelectual. Partindo dos modelos já consolidados de fluxo de caixa descontado, surgiram os modelos de aplicação de opções reais e dissecação daquilo que forma o risco. A popularização da informatização também ajudou o processo de renovação dos modelos de seleção de projetos, com o surgimento de bases de dados online, simulações computadorizadas de Monte Carlo¹ e a Internet como ferramenta disponível.

¹ Denomina-se método de Monte Carlo o conjunto de métodos estatísticos que, baseando-se em massivas amostragens aleatórias para obtenção de resultados numéricos, com alta frequência de iterações nas simulações, calcula probabilidades heurísticamente. O nome Monte Carlo é uma alusão ao processo de registro dos resultados reais em jogos de casino. Método utilizado em simulações estocásticas com aplicações em física, matemática, biologia, economia, etc.

Boer (2003) ainda cita que, na realidade empresarial, em termos financeiros, todo plano de projeto tem como objetivo um retorno financeiro, representado por seu Valor Presente Líquido, que, no entanto, é reduzido pela desvalorização do poder de compra, pelo risco de falha técnica e pelo custo do projeto em si. Tais fatores criam a necessidade do seletor tomar decisões sobre se o projeto irá ou não ser realizado, caso o mesmo esteja gerando valor, e quanto investir. O julgamento para tal, segundo o autor, não deve ser puramente linear, pois deve incluir a flexibilidade gerencial na resposta às constantes mudanças no mercado ou no panorama tecnológico.

Mesmo que o julgamento não precise ser puramente linear, e que o *feeling* deva ser fator importante na decisão, ainda sim, faz-se necessária uma ferramenta objetiva e linear, que possa dar respaldo para as decisões subjetivas gerenciais e assim conseguir um resultado melhor, através da análise de vários paradigmas.

A complexidade na tomada de decisão já era confirmada por Baker e Pound (1964) que explica o fato de que o processo decisório na seleção de projetos envolve a alocação de recursos organizacionais, como recursos financeiros, habilidades e instalações destinados à um conjunto de propósitos como a pesquisa científica e desenvolvimento de novos produtos e serviços. A decisão é importante porque pode implicar um compromisso de investimento considerável. Além disto, a decisão ocasionalmente irá ter um impacto significativo na posição financeira futura e viabilidade da organização. Ao mesmo tempo, existem tipicamente mais projetos que os recursos disponíveis podem suportar. Existe ainda, muitas incertezas inerentes na tentativa de prever potenciais resultados de projeto. Por estas razões, dentre outras, é difícil estruturar as alternativas de forma que perfaçam uma alocação dita "ótima".

Um dos fatores que justifica a afirmação de dificuldade apresentada acima relaciona-se com o complexo mecanismo intrínseco que a seleção de projetos de ciência e tecnologia incorpora. De acordo com Bordley (1998) tem sido tradicionalmente formulado como um problema de otimização com restrições. Modelos de medição de benefícios são frequentemente utilizados como inputs para o modelo de otimização. Estes modelos focam-se em decisões que são feitas a partir de um particular nível organizacional e em um particular ponto no

tempo. Assumem critérios fixos (obtidos de poderes decisórios acima) e alternativas (vindas de baixo) e não possuem mecanismos dentro do ciclo de planejamento para alterar o problema (ou seja, obter novos critérios, objetivos, alternativas).

Finney e Mitroff (1986) também possuem uma perspectiva que corrobora a complexidade do problema da seleção de projetos. Segundo os autores, existem vários tipos de problemas. Os mais simples são aqueles nos quais as várias soluções já são conhecidas. O problema então é normalmente encontrar quais potenciais soluções são as mais efetivas. Porém, os problemas mais difíceis são normalmente muito complicados, mal estruturados e mal formulados. As soluções básicas não são claras ou claramente conhecidas.

Porém, Carazo et al. (2010) enfatiza que existem na literatura uma grande variedade de métodos para seleção de projetos. Métodos como *scoring*, de utilidade Multi-atributo ou “MAUT” e Analytic Hierarchy Process - AHP (Saaty, 1994) são alguns que perfazem o conjunto dos problemas de métodos de apoio à decisão multicritério, juntamente com os métodos de *outranking* PROMETHEE (Brans & Mareschal, 2005) e ELECTRE (Figueira, Mousseau, & Roy, 2004) os quais através de pesos e critérios determinados, dadas as alternativas de projetos, tem-se um ordenamento (ou *ranking*). Os recursos então seriam distribuídos dadas as prioridades determinadas pelo ranking resultante. Entretanto, esta abordagem assume que os projetos candidatos são independentes, o que no caso nem sempre é verdade, e sua inter-relação ocasionalmente demonstra que os melhores projetos individuais não necessariamente resultam no melhor portfólio. Estes métodos também não são exclusivamente aplicáveis quando existem situações com múltiplas restrições (ou seja, recursos, estratégias ou restrições políticas), sendo necessários outras abordagens de otimização para resolver o problema. Tais limitações levaram ao crescente interesse em modelos de programação matemática pois tais modelos integram tais restrições no problema de seleção de projetos. Este interesse é suportado através de avanços em procedimentos técnicos usados para resolver os modelos gerados.

Muitos trabalhos enfatizam a importância de levar em consideração a interdependência entre projetos para uma adequada seleção de portfólio de projetos.

O modo em que tais modelos têm evoluído ultimamente reflete a tentativa em lidar com os diferentes aspectos envolvidos na seleção de portfólio de projetos de tal modo que o processo de tomada de decisão ganhe rigor e transparência. Tais modelos também precisam ser flexíveis o bastante para serem aceitos pelos tomadores de decisão.

Segundo Ghasemzadeh e Archer Michael (2000) dentro de todas as técnicas que estão disponíveis, as técnicas de otimização representam a ferramenta quantitativa mais fundamental para a seleção de portfólio de projetos e endereçam aos problemas mais importantes em sua modelagem. Entretanto, de acordo com os autores, tais técnicas têm falhado em ganhar aceitação dos usuários, e poucas abordagens de modelagem, de uma variedade de abordagens de otimização desenvolvidas são utilizadas como auxílio à tomada de decisão nesta área. Os autores também fazem uma crítica importante, afirmando que a ciência gerencial falhou em implementar modelos de seleção de projeto, pois são propostos cada vez mais sofisticação com menos impacto prático. Uma das maiores razões pelas quais os autores defendem a falha dos modelos de otimização tradicional é que tais modelos prescrevem soluções para problemas de seleção de portfólio de projetos sem incorporar o julgamento, experiência e conhecimento do tomador de decisão.

Desta forma é importante que ao construir-se um framework para seleção de portfólio de projetos leve-se em consideração: i) que o modelo simultaneamente considere todos os diferentes critérios na determinação do projeto mais adequado; ii) leve em consideração as melhores características dos métodos já existentes ao decompor o processo em uma série de atividades flexíveis e lógicas ; iii) aplique as técnicas mais apropriadas em cada estágio e; iv) envolva a participação dos tomadores de decisão.

Podemos expandir a mesma ideia para instituições de ensino superior. De acordo com Aparecida Vitoreli, Lima Gerolamo e Carpinetti (2010) apesar da vasta literatura sobre gestão de projetos, poucos trabalhos acabam abordando o gerenciamento de projetos de pesquisas acadêmicas, nos quais buscam em

bases dados como *Science Direct* e o *Scopus* resultam em poucos trabalhos encontrados (Ernø-Kjølhede, 2000; HART, 1995; Zhang, Ma, Zhong, Zhang, & Wang, 2006). Segundo os autores, acredita-se que os projetos de pesquisas acadêmicas também podem ser beneficiados com a utilização de técnicas e ferramentas da gestão de projetos empresariais.

Os benefícios do uso de tais ferramentas no cenário acadêmico são tão significativos que os autores sugerem em seu artigo o desenvolvimento de pesquisas voltadas à criação de frameworks ou modelos para a utilização de ferramentas e/ou técnicas da gestão de projetos no gerenciamento de projetos de pesquisa acadêmica. É essa a lacuna que o presente trabalho se propõe a contribuir ao elaborar um modelo para a otimização de um portfólio de projetos de pesquisa acadêmicos.

Alocar recursos para um conjunto de atividades é visto como análogo a um investidor ou gerente financeiro alocar capital a um conjunto de oportunidades de investimentos. No caso empresarial, o objetivo é identificar um conjunto bem equilibrado de investimentos que possuam maior retorno e menor risco. Porém, em atividades de pesquisa acadêmicas, o desafio está em distribuir de forma ótima o orçamento existente de forma que todos os projetos viáveis consigam ser contemplados com uma verba suficiente e melhor distribuída.

Quando programação matemática é aplicada ao problema, alguns desafios de distribuição podem ser resolvidos usando programação dinâmica, porém a complexidade do problema aumenta exponencialmente com o número de restrições. Alguns autores como Minoux (1986) e Beaujon, Marin e McDonald (2001) oferecem alguns algoritmos especiais que foram desenvolvidos com o objetivo de resolver problemas grandes e práticos em tempo razoável.

Tais conceitos e ferramentas teóricas que usualmente são usados por empresas aplicados ao contexto de projetos de pesquisa serão necessários para a realização do foco do presente trabalho: aplicar os modelos e algoritmos de otimização inteira e decisão multicritério para fornecer ao órgão de fomento/ financiador (CNPq, FAPESP, etc.) uma alternativa de modelo para a otimização e seleção de seus projetos acadêmicos. Modelos de otimização visam maximizar ou minimizar certo objetivo dadas certas restrições de recursos e demandas de especialistas. A metodologia apresentada neste trabalho propõe que o modelo

otimizado seja então refinado com as demandas políticas do cenário demandante.

Uma porção significativa dos recursos de financiamento para a execução de pesquisa são concedidos por meio de editais lançados pelas instituições de fomento (CNPq, FAPESP, etc.) que utilizam diversos critérios que vão desde a avaliação de mérito por revisão por pares a um conjunto de indicadores diversos, passando-se pelos critérios de publicações e experiência prévia do solicitante. Desta forma será necessária primeiramente um enfoque metodológico multicritério para se descobrir um ranking de projetos considerados melhores de acordo com tais critérios. Consequentemente, tais melhores projetos serão utilizados como dados de entrada para um modelo de programação inteira chamado "problema da mochila" ou "knapsack problem", que proverá uma das possíveis soluções ótimas para quais projetos serão escolhidos e quanto do orçamento será alocado para cada projeto.

A racionalidade do problema do órgão de fomento no financiamento de projetos de pesquisa consiste em que os recursos disponibilizados pelos editais são sempre menores que o montante de recursos solicitados pelos candidatos. Nesse sentido, o objetivo do modelo abordado neste trabalho seria otimizar a alocação dos recursos de forma a: i) utilizar todos o recurso do edital; ii) selecionar os melhores projetos (segundo determinados critérios) para sua execução. Isso otimizaria a efetividade dos recursos públicos. Além disso, traz à gestão uma ferramenta adicional para a realização da *accountability* do processo, ou seja, da prestação de contas à comunidade de como o processo é realizado.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução ao Problema da Mochila

Cada aspecto da vida humana é crucialmente determinado pelo resultado de decisões. Enquanto que decisões particulares podem ser baseadas em emoções ou gosto pessoal, o complexo ambiente profissional do século 21 requer um processo decisório no qual pode ser formalizado e validado independente dos indivíduos envolvidos. Desta forma, procura-se uma formulação quantitativa de todos os fatores que influenciam uma decisão e também o resultado do processo decisório.

A fim de atingir-se este objetivo, deve existir a possibilidade de representar o efeito de qualquer decisão através de valores numéricos. No caso mais básico, o resultado do processo decisório deve ser medido por um único valor representando ganho, lucro, perda, custo ou outra categoria de dado. A comparação destes valores induz uma ordem total no conjunto de todas opções disponíveis para o processo decisório. Achar a opção que possua o maior ou o menor valor pode ser difícil devido ao conjunto de opções disponíveis possivelmente ser extremamente grande e/ou não explicitamente conhecido. Frequentemente, apenas são conhecidas as condições que caracterizam as opções disponíveis, ao invés do conjunto geral das opções de escolhas teoricamente disponíveis.

A forma mais simples possível de decisão é aquela entre duas alternativas. Tal decisão binária é formulada em um modelo quantitativo como uma variável binária $x \in \{0,1\}$ com significado de que quando $x = 1$ significa escolher a primeira alternativa e $x = 0$ indica a rejeição da primeira alternativa e consequentemente a seleção da segunda opção.

Muitos processos práticos de decisão podem ser representados por uma combinação apropriada de várias decisões binárias. Isto significa que os problemas de decisão no geral consistem em escolher uma entre duas alternativas para um grande número de decisões binárias as quais cada uma podendo influenciar a outra. Na versão básica de um modelo de decisão linear,

o resultado do processo de decisão completo é avaliado através de uma combinação linear dos valores associados com cada uma das decisões binárias. A fim de conseguir interdependência na paridade entre decisões, pode-se levar em conta também uma função quadrática usada para representar o resultado do processo de decisão. Na prática, pode ser bem complicado de estabelecer a viabilidade de uma seleção particular de alternativas devido ao fato de que decisões binárias podem influenciar ou até mesmo contradizer uma a outra.

Formalmente, o modelo linear binário de decisão pode ser definido por n variáveis binárias $x_j \in \{0,1\}$ as quais correspondem à seleção da j -ésima alternativa binária e através de valores de lucro p_j que indicam um valor de utilidade para cada alternativa j escolhida. De acordo com (Varian, 2003) basicamente o conceito do valor de utilidade “passou a ser visto como um modo de descrever as preferências”, ou seja, no problema da mochila, cada alternativa j possui um valor associado p_j que exprime o quão melhor ou pior esta alternativa é comparada aos outras. Antecipando o método, neste trabalho, o valor p_j em nosso modelo será substituído por $\phi(a)$, ou seja, o valor de saída do método multicritério PROMETHEE II que exprime o *ranking* de cada alternativa.

Sem perder a generalidade pode-se assumir que após uma atribuição adequada das j alternativas às duas possibilidades de atribuição $x_j = 1$ e $x_j = 0$, sempre resultará $\sum p_j x_j \geq 0$. O lucro geral associado à escolha em particular para todas as n decisões binárias é dado pela soma de todos os valores p_j para todas as decisões onde a primeira alternativa foi selecionada.

Consideremos problemas de decisão nos quais a viabilidade de uma particular seleção de alternativas possa ser avaliada pela combinação linear de coeficientes para cada decisão binária. Neste modelo, a viabilidade de uma seleção de alternativas é determinada pela restrição da capacidade da seguinte forma: a seleção de cada alternativa j requer um peso associado w_j . Uma seleção de alternativas é factível se a soma dos pesos de todas as decisões binárias não exceda um limite dado da capacidade c . Tal condição pode ser escrita como $\sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c$. Considerando este processo de decisão como um problema de otimização, no qual o lucro geral deve ser o maior possível. Temos então o Problema da Mochila ou *Knapsack Problem* (KP).

Esta característica do problema permite a seguinte interpretação do Problema da Mochila o qual é mais ilustrativo do que o visto anteriormente. Consideremos um alpinista que está organizando sua mochila para uma escalada e deve decidir quais itens deve levar com ele. Ele possui um grande número de objetos disponíveis, os quais podem ser úteis em sua jornada. Cada um destes itens numerados de 1 a n devem fornecer uma certa quantidade de conforto ou benefício o qual é medido por um número positivo p_j . O peso w_j de cada objeto que o alpinista coloca na mochila aumenta a carga que ele deve carregar. Ele quer limitar o peso total de sua mochila, desta forma, fixa a carga máxima da mochila pela capacidade c .

A fim de resultar em uma apresentação mais intuitiva, o presente trabalho usará esta interpretação de Mochila, bem como usará o presente jargão “colocar itens na mochila” ao invés de “combinação de decisões binárias”. Ao invés de fazer um número de decisões binárias iremos nos referir à seleção de subconjuntos de itens do conjunto de itens $N := \{1, \dots, n\}$.

Desta forma, o problema da Mochila pode ser formalmente definido da seguinte maneira: nos é dado uma instância do problema da Mochila com o conjunto de itens $N := \{1, \dots, n\}$, consistindo de n itens j , em que para cada item j estão associados o lucro p_j e o peso w_j , com $j = 1, \dots, n$ e a capacidade de valor c (normalmente estes valores são números inteiros positivos). Assim, o objetivo é selecionar um subconjunto de N tal que o lucro total dos itens selecionados seja maximizado e o peso total não exceda c .

De forma alternativa, um Problema da Mochila pode ser modelado de acordo com a seguinte formulação de programação linear inteira (ou binária) (KP):

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n p_j x_j \\ \text{s. a.:} \quad & \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c, \\ & x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

Define-se o vetor de solução ótima por $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ e o valor de solução ótima por z^* . O conjunto X^* denota o conjunto de soluções ótimas, ou seja, $x^* \in X^*$.

Analisando o problema sob o foco da otimização de carteira de projetos, supomos que temos um orçamento total c para financiar projetos. Tal montante deve ser distribuído por uma quantidade n de projetos, sendo cada projeto denotado por j , ($j = 1, \dots, n$). Para cada projeto j temos associado um valor de utilidade ou retorno p_j , e um orçamento solicitado w_j .

3.1.1 Programação Dinâmica

Uma estratégia indireta para chegarmos à solução do Problema da Mochila consiste em resolver apenas um pequeno subproblema do modelo e então estender esta solução iterativamente até o problema completo estar resolvido. Desta forma, o curso de ação é não lidar com todos os n itens de uma só vez, mas adicionar ao problema os itens em etapas de modo a considerar suas soluções de forma iterativa. Esta é a ideia básica que leva ao uso do conceito de Programação Dinâmica.

A técnica de programação dinâmica é uma abordagem para resolução de problemas que aparece como uma ferramenta bem útil em muitas áreas da Pesquisa Operacional. Basicamente, pode ser aplicada quando uma solução ótima consiste da combinação das soluções ótimas de subproblemas. (Bellman, 1957) mostra uma introdução extensiva ao campo da programação dinâmica, inclusive introduzindo os modelos recursivos descritos à seguir.

Assume-se que a solução ótima de um problema da mochila reduzido já tenha sido calculada para um subconjunto de itens e para todas suas capacidades até c ; ou seja, para a capacidade total do problema. A seguir, adiciona-se um item a este subconjunto e então é verificado se é necessário modificar a solução ótima para o subconjunto maior. Esta verificação pode ser realizada utilizando as soluções do problema da mochila com capacidades menores. Para preservar tal vantagem, calcula-se a possível mudança da solução ótima novamente para todas as capacidades. Este procedimento de adição de itens é iterado até finalmente todos os itens serem considerados e então, a solução ótima para todos os itens ser encontrada.

Kellerer et al. (2004) descreve formalmente o subproblema de (KP) consistindo no conjunto de itens $\{1, \dots, j\}$ e em uma capacidade $d \leq c$. Para $j = 0, \dots, n$ e $d = 0, \dots, c$ seja $(KP_j(d))$ definido como

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{l=1}^j p_l x_l \\ \text{s. a.:} \quad & \sum_{l=1}^j w_l x_l \leq d, \\ & x_l \in \{0,1\}, \quad l = 1, \dots, j, \end{aligned}$$

com solução ótima de valor $z_j(d)$. Por conveniência o subconjunto de todos os itens que entram para $KP_j(d)$ é representado por um conjunto $x_j(d)$.

Se $z_{j-1}(d)$ é conhecido para todos os valores de capacidade $d = 0, \dots, c$, então podemos considerar um item adicional j e calcular a solução para $z_j(d)$ pela seguinte fórmula recursiva

$$z_j(d) = \begin{cases} z_{j-1}(d), & \text{se } d < w_j, \\ \max\{z_{j-1}(d), z_{j-1}(d - w_j) + p_j\}, & \text{se } d \geq w_j. \end{cases}$$

A recursão acima também é chamada de Recursão de Bellman (Bellman, 1957). O caso $d < w_j$ significa que foi considerada uma mochila que é muito pequena para conter o item j . Assim, o item j não muda a solução ótima $z_{j-1}(d)$. Se o item j couber na mochila, existem duas opções possíveis: ou o item j não entra na mochila e a solução $z_{j-1}(d)$ permanecerá a mesma ou o item j é adicionado à mochila, o qual contribui com p_j ao valor da solução, porém diminuindo a capacidade residual para os itens do conjunto $\{1, \dots, j-1\}$ até $d - w_j$. Obviamente, esta capacidade residual deverá ser completada com o maior valor de lucro (profit) possível. A melhor solução possível para esta capacidade reduzida é dado por $z_{j-1}(d - w_j)$. Tomando o máximo destas duas escolhas assegura a solução ótima para $z_j(d)$. O conteúdo dos conjuntos $x_j(d)$ segue exatamente estas considerações. Sempre que $z_j(d)$ é calculado como $z_{j-1}(d - w_j) + p_j$ tem-se $x_j(d) := x_{j-1}(d - w_j) \cup \{j\}$. Em todos os outros casos tem-se apenas $x_j(d) := x_{j-1}(d)$.

Ao se iniciar com $z_0(d) := 0$ para $d := 0, \dots, c$ e calcular os valores $z_j(d)$ pela recursão de Bellman de $j = 1$ até $j = n$ produz-se a solução ótima geral de (KP) na forma de $z_n(c)$. Desde que considera-se os valores de solução como funções dos valores de capacidade, esta versão é chamada de *programação dinâmica* por pesos (Kellerer et al., 2004).

3.1.2 Relaxamento Linear

Uma variação importante do problema da mochila, que posteriormente se mostrará relevante no presente trabalho é o Relaxamento Linear também chamado de Problema da Mochila Fracionário.

Essa alternativa ao problema original é derivada ao incluirmos no intervalo de valores de x_j todos aqueles reais e não-negativos ao invés de apenas os inteiros. No caso do problema original, isto significa que $x_j \in \{0,1\}$, $j = 1, \dots, n$, é substituído por $0 \leq x_j \leq 1$ para $j = 1, \dots, n$, desta forma conjugando o problema

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n p_j x_j \\ \text{s. a.:} \quad & \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c, \\ & 0 \leq x_j \leq 1, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

A solução para a mochila fracionária pode ser computada de forma simples pois o problema possui as “propriedades de escolha gulosa” (Kellerer et al., 2004), ou seja, um ótimo global pode ser encontrado ao realizarmos uma série de escolhas “gulosas” (ótimo local).

Por escolhas gulosas entendemos colocar na mochila os itens em ordem decrescente de eficiência, assim conseguindo o maior valor por cada unidade de peso em cada passo.

Para determinar a eficiência e_j do item j calculamos $e_j = \frac{p_j}{w_j}$, com sua ordem decrescente se configurando para cada item $j = 1, \dots, n$, como

$$\frac{p_1}{w_1} \geq \frac{p_2}{w_2} \geq \dots \geq \frac{p_n}{w_n}.$$

Se ao adicionarmos o item à mochila e tal item exceder o valor de sua capacidade, a execução do algoritmo guloso é interrompida e a capacidade residual $c - \sum_{j=1}^{s-1} w_j$ é preenchida com a apropriada parte fracionária do item s .

3.2 Métodos de Apoio à Decisão Multicritério

Dentro do campo da Pesquisa Operacional, os chamados Métodos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA – *Multicriteria Decision Analysis*) têm evoluído em quase três décadas como uma disciplina de extrema importância. O desenvolvimento dos MCDA é baseado no fato de que decisões no mundo real raramente são efetuadas e concretizadas levando por base um único objetivo, critério ou ponto de vista. O campo da decisão multicritério é voltado para o desenvolvimento de metodologias apropriadas que possam dar suporte aos tomadores de decisão em situações nas quais múltiplos e conflitantes fatores de decisão (objetivos, critérios, etc.) devem ser considerados simultaneamente (Zopounidis & Doumpos, 2002).

O MCDA propõe uma grande variabilidade de metodologias para tratar problemas de tomada de decisão de diferentes tipos. As diferenças entre tais metodologias envolvem a forma do modelo, o processo de desenvolvimento do modelo e seu escopo de aplicação. As linhas de pesquisa em MCDA consistem nos seguintes tópicos:

- Programação Matemática Multiobjetivo;
- Teoria do Valor / Utilidade Multi-atributo;
- Relações de Sobreclassificação (Métodos de *Outranking*);
- Análise de Desagregação de Preferência.

Os métodos de sobreclassificação, paradigma utilizado neste trabalho, nasceram em meados da década de 60 através do desenvolvimento dos vários métodos ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) (Figueira et al., 2004). Desde então, os métodos de sobreclassificação têm sido amplamente utilizados por pesquisadores de MCDA, principalmente na Europa. Todas as

técnicas de sobreclassificação operam em dois grandes estágios. O primeiro envolve o desenvolvimento de uma relação de sobreclassificação. O segundo estágio envolve a exploração desta relação com o intuito de realizar a avaliação das alternativas para fins de escolha, ordenação e classificação.

Uma relação de sobreclassificação pode ser definida como uma relação binária usada para estimar a força da preferência de uma alternativa a por outra b . Em comparação com outras técnicas (como por exemplo a Teoria de Valor / Agregação), as técnicas de sobreclassificação possuem duas vantagens especiais:

- Um método de sobreclassificação não é necessariamente transitivo²;
- Métodos de sobreclassificação consideram (juntamente com as relações de Preferência e Indiferença) a relação de Incomparabilidade, a qual surge quando compara-se alternativas com características muito especiais e com desempenho diverso sobre os critérios.

Os métodos mais populares que implementam o modelo de sobreclassificação são a família de métodos composta pelo já citado ELECTRE (Roy, 1991), assim como aquele utilizado neste trabalho, o método PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) (Brans & Mareschal, 2005), ambos com diferentes variantes no que tange a escolha, ordenação e classificação de problemas (Douplos & Grigoroudis, 2013). O PROMETHEE será utilizado pois ao contrário do ELECTRE, incorpora o problema da mochila no modelo PROMETHEE V.

3.2.1 Método PROMETHEE I e II

O método PROMETHEE consiste na construção e exploração de relações de sobreclassificação de valores de critérios para alternativas. A construção da relação de sobreclassificação bem como a obtenção de um ordenamento (parcial ou total) requerem o conhecimento de alguns conceitos importantes.

² Supomos que exista um valor $p(a, b)$ que expressa o valor numérico da intensidade da preferência do decisor pela alternativa a em relação à alternativa b . Um julgamento transitivo significa que, dadas as alternativas a_i , a_j e a_k , $p(a_i, a_k) = p(a_i, a_j) \cdot p(a_j, a_k)$.

Seja w_j o peso de cada critério j definidos através de um processo de elicitação ou através de métodos mais técnicos como AHP e sejam a e b duas alternativas a se comparar:

O método PROMETHEE I define uma estrutura de preferência baseada em comparações par-a-par. Neste caso, são considerados desvios resultantes de comparações entre duas alternativas em um critério particular. Para desvios pequenos, o tomador de decisão alocará uma preferência pequena para a melhor alternativa e até possivelmente, nenhuma preferência se ele considerar tal desvio insignificante. Quanto maior o desvio, maior a preferência. Não há objeção em considerar que tais preferências são números reais variando entre 0 e 1. Isto significa que para cada critério, o tomador de decisão tem em mente a seguinte função

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)], \forall a, b \in A,$$

onde:

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b),$$

e para o qual:

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1.$$

onde $g_j(a)$ representa o desempenho da alternativa a no critério j e $g_j(b)$ o desempenho da alternativa b no mesmo critério j .

Obtendo $P_j(a, b)$ para cada critério, é definido o grau de sobreclassificação $\pi(a, b)$, ou seja, o grau em que a alternativa a é preferível à alternativa b . Da mesma forma, $\pi(b, a)$ é o grau em que a alternativa b é preferível à alternativa a . Tais valores são chamados de índice de preferência multicritério (Cavalcante & Almeida, 2005). O valor do índice de preferência, para $a, b \in A$ dá-se por:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j, \quad e$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j.$$

Como cada alternativa compete com $n - 1$ outras alternativas, o saldo destas competições pode ser expresso por dois fluxos.

O primeiro fluxo, $\phi^+(a)$ é chamado de fluxo de saída, também considerado como a soma das linhas da matriz formada pelos graus de sobreclassificação. Quanto maior $\phi^+(a)$, melhor a alternativa. É definido por

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x).$$

O segundo fluxo, $\phi^-(a)$ é chamado de fluxo de entrada, também considerado como a soma das colunas da matriz formada pelos graus de sobreclassificação. Quanto menor $\phi^-(a)$, melhor a alternativa. É definido por

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a).$$

São justamente os fluxos que são considerados como scores para a obtenção de uma ordem, a princípio parcial.

Para o caso de uma relação na qual a é preferível à b :

$$aPb \Rightarrow \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b), & \text{ou} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b), & \text{ou} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b). \end{cases}$$

Para o caso de uma relação na qual a é indiferente à b :

$$aIb \Rightarrow \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b).$$

Para o caso de uma relação na qual a não é comparável à b (relação de incomparabilidade):

$$aJb \Rightarrow \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) > \phi^-(b), & \text{ou} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b). \end{cases}$$

O método PROMETHEE II consiste na estrutura de preferência que não contém a relação binária aJb , ou seja, a relação de incomparabilidade, proporcionando desta forma, uma ordenação total:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

$$\begin{cases} aPb \Rightarrow \phi(a) > \phi(b) \\ aIb \Rightarrow \phi(a) = \phi(b) \end{cases}$$

Desde que as propriedades do fluxo de ordem total se mantenham, sejam elas:

$$-1 \leq \phi(a) \leq 1,$$

$$\sum_{a \in A} \phi(a) = 0.$$

Quanto maior o valor de $\phi(a)$, melhor é a alternativa. Este fluxo induz um ranking completo de alternativas. Quando $\phi(a) > 0$, a está sobreclassificando mais todas as alternativas em todos os critérios, quando $\phi(a) < 0$, a está sendo mais sobreclassificado.

Em aplicações no mundo real, é recomendado que ambos – analistas e tomadores de decisão – considerem ambos métodos PROMETHEE I e II. O ranking completo é relativamente simples, mas a análise de possíveis incomparabilidades é geralmente benéfica na finalização de uma melhor decisão (Brans & Mareschal, 2005).

3.2.2 Conjugação dos Métodos PROMETHEE I e II e Otimização Inteira: O Método PROMETHEE V

Com o intuito de desenvolver um modelo que primeiramente forneça um ranking de melhores projetos e que o orçamento disponível seja disponibilizado de maneira ótima entre estes projetos, devemos realizar a combinação do método PROMETHEE com a otimização inteira.

No procedimento básico do método PROMETHEE, o problema era fornecer ao tomador de decisão as melhores alternativas. Porém, agora, o problema se torna mais complexo: várias alternativas devem ser selecionadas com restrições particulares.

O procedimento PROMETHEE V consiste em dois passos:

- (1) Primeiramente, o problema multicritério sem as restrições é elaborado, sendo aplicados os procedimentos PROMETHEE I e II na definição do fluxo total $\phi(a)$;

(2) Após a obtenção dos fluxos totais, as restrições são integradas ao problema considerando o seguinte problema de otimização inteira 0-1:

$$\max z = \sum_{a \in A} \phi(a)x_a.$$

Onde x_a representa a variável binária. Assume 1 se a é selecionada e 0 caso contrário, e sujeito às restrições necessárias do problema expressas em termos da variável de decisão x_a (Abu-Taleb & Mareschal, 1995). Observa-se deste modo que o PROMETHEE V é a utilização do modelo de programação inteira descrito em seção anterior deste trabalho na maximização dos fluxos totais $\phi(a)$, (substituindo no caso apresentado os valores de p_j) sujeitos a restrições particulares de cada problema.

No caso do problema descrito neste trabalho, ou seja, a otimização de portfólio de projetos acadêmicos, inicialmente aplicaremos o PROMETHEE I e II para obtenção do ranking de n melhores projetos, e a seguir, utilizaremos os fluxos totais (valores de saída do método PROMETHEE II) como valores a serem otimizados pelo modelo de otimização inteira, sujeitos à uma restrição inicialmente orçamentária (PROMETHEE V) para obtermos um portfólio com a distribuição de orçamento que atenda ao máximo os melhores projetos.

Iniciamos com a restrição orçamentária:

$$s. a.: \quad \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c,$$

$$x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n.$$

No qual c consiste na restrição de orçamento representada como a verba disponível dos editais de pesquisa; w_j o orçamento solicitado de cada projeto e x_j a variável binária que pode ser 1 no caso do orçamento solicitado ser incorporado na capacidade orçamentária do portfólio (caso do projeto entrar na mochila) ou 0 no caso do orçamento solicitado não ser incorporado na capacidade orçamentária do portfólio (caso do projeto não entrar na mochila).

4 APLICAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS

4.1 Elaboração de Critérios e Aplicação do método PROMETHEE (I e II)

Para iniciar a aplicação do modelo, primeiramente deverão ser definidos os critérios dos quais serão avaliados cada projeto acadêmico. No momento da escrita desta seção, o autor ainda não teve acesso ao método de elicitação dos critérios por parte dos especialistas.

Desta forma foram escolhidos cinco critérios genéricos (A, B, C, D e E) dos quais cada critério consiste em uma avaliação de 1 a 7³.

Para a fase de testes do modelo, foram gerados 20 projetos artificiais com orçamentos solicitados gerados artificialmente através de distribuição normal entre R\$ 10.000,00 e R\$ 50.0000,00 e notas (de 1 a 7) distribuídas de forma aleatória. O valor de R\$ 300.000,00 foi atribuído à capacidade orçamentária do portfólio, conforme observado na Tabela 2.

Projetos	A	B	C	D	E	Verba (R\$)	Projetos	A	B	C	D	E	Verba (R\$)
P1	6	5	4	6	3	14.740,00	P11	2	5	2	6	1	34.949,00
P2	7	1	3	2	6	19.714,00	P12	7	1	5	2	1	23.998,00
P3	1	6	6	4	5	43.159,00	P13	7	2	5	6	4	49.053,00
P4	7	7	6	5	4	23.240,00	P14	4	1	2	2	6	45.941,00
P5	5	5	2	7	7	45.144,00	P15	6	1	1	7	7	45.911,00
P6	1	6	4	7	3	11.086,00	P16	1	6	4	3	1	14.379,00
P7	2	6	4	4	6	31.095,00	P17	3	5	7	2	4	11.644,00
P8	4	3	5	1	6	33.663,00	P18	7	3	3	2	4	35.145,00
P9	7	5	5	2	3	13.317,00	P19	6	7	5	5	1	20.962,00
P10	7	2	6	2	4	46.204,00	P20	7	1	2	4	3	20.296,00

³ Necessário explicitar a importância e o cuidado com a escolha e elaboração dos critérios e pesos para a aplicação prática do modelo. Os especialistas devem executar o procedimento de elicitação de critérios levando em consideração cada problema de forma a realmente expressar, através dos critérios, os fatores que impactam a importância e a avaliação de cada alternativa. Tais critérios podem ser tanto quantitativos quanto qualitativos e sua ordem de grandeza pode expressar uma importância crescente (quanto maior o valor do critério, melhor a alternativa e vice e versa), quanto decrescente (quanto menor o valor do critério, melhor a alternativa e vice e versa), além de ordens de grandezas diferentes entre os critérios. O método PROMETHEE recebe quaisquer tipos de critérios e consegue tratá-los e incorporá-los ao modelo para a obtenção dos fluxos totais. Como neste trabalho não houve o processo de elicitação por parte de especialistas (e a preocupação dos resultados não era a de ter um ranking específico, mas sim de validar o modelo utilizando a função de preferência como satisfação de utilização de recursos) foram utilizados critérios genéricos com notas de 1 a 7 a fim da obtenção simplificada porém consistente dos fluxos totais para a otimização. Não devemos, entretanto, descartar nem tratar de forma leviana todo o processo metodológico de elaboração e planejamento de critérios, pois é fundamental para o resultado desejado do modelo.

Tabela 2. Dados de nota por critério e Orçamento, simulados através de distribuição normal com média 4,14 e desvio-padrão amostral de 2,06 (para as notas) e média 29.182 e desvio-padrão amostral 13.378,84 (para as verbas).

Como ainda não existe elicitação de critérios por parte dos especialistas, para a rodada de testes inicial do modelo, os pesos de cada critério foram determinados como iguais a 0,2; ou seja; cada critério possui o mesmo peso, respeitando a definição de que a soma dos pesos dos critérios não seja maior que 1 (Saaty, 1994). Importante ressaltar que ao atribuir valores de pesos aleatórios, os resultados preliminares certamente mudariam, porém, para não incluir mais uma variável de aleatoriedade nos testes, decidiu-se manter os pesos iguais.

Após a primeira rodada do PROMETHEE I e II temos como resultado os fluxos totais, observados na Tabela 3. Os modelos deste trabalho foram implementados utilizando linguagem Python 3.6.0 para os métodos multicritério e Mochilas binárias e fracionária. Os modelos mistos foram implementados usando o solver CPLEX. Todos os testes rodados por um notebook Intel Core i7-5500U com processador de 2.40 Gz e 8 GB de RAM.

	$\phi(\alpha)$		$\phi(\alpha)$
P1	0,052631579	P11	-0,294736842
P2	-0,105263158	P12	-0,242105263
P3	0,189473684	P13	0,242105263
P4	0,547368421	P14	-0,357894737
P5	0,221052632	P15	0,021052632
P6	0,021052632	P16	-0,273684211
P7	0,115789474	P17	0,031578947
P8	-0,105263158	P18	-0,105263158
P9	0,031578947	P19	0,168421053
P10	0,094736842	P20	-0,252631579

Tabela 3. Fluxos totais de cada Projeto após aplicação do método PROMETHEE II.

Após a obtenção de cada fluxo total, ordenamos os projetos em função do maior fluxo ao menor, obtendo assim, o *ranqueamento* dos projetos com base nos critérios, demonstrados na Tabela 4.

	$\phi(a)$		$\phi(a)$
P4	0,547368421	P6	0,021052632
P13	0,242105263	P15	0,021052632
P5	0,221052632	P2	-0,105263158
P3	0,189473684	P8	-0,105263158
P19	0,168421053	P18	-0,105263158
P7	0,115789474	P12	-0,242105263
P10	0,094736842	P20	-0,252631579
P1	0,052631579	P16	-0,273684211
P9	0,031578947	P11	-0,294736842
P17	0,031578947	P14	-0,357894737

Tabela 4. Fluxos totais ordenados, fornecendo o ranking dos melhores projetos.

4.2 Ajuste e Otimização 0-1 dos Fluxos Totais

Um dos problemas encontrados inicialmente para efetivamente aplicar o PROMETHEE V consiste na característica inerente do modelo de programação inteira – apresentado nas seções anteriores – em não inserir no portfólio todos os itens que possuam valor de fluxo total negativo, já que incluir tal item significaria num decréscimo da função objetivo do modelo. Ou seja, projetos que possuem valores de fluxo total negativos não são considerados na otimização pelo Problema da Mochila.

Porém, de acordo com as definições do método PROMETHEE, os fluxos totais com valores negativos indicam apenas que tal item pertence a uma ordem e que está sendo sobreclassificado por outros itens.

Um dos métodos de sanar tal problema é apresentado por (Mavrotas, Diakoulaki, & Caloghirou, 2006) e consiste em transformar os fluxos totais provenientes do PROMETHEE II em scores não-negativos ao subtrair o menor valor presente no vetor de fluxos totais, de cada um dos valores presentes no mesmo vetor.

Vale ressaltar, entretanto, a crítica aos métodos de transformação de escala, conforme indicado por (De Almeida & Vetschera, 2012) os quais podem tender ao favor de portfólios com um número grande de projetos, já que o PROMETHEE V é sensível a transformações de escala.

Após o ajuste dos sinais, os valores de $\phi'(a)$ se configuram conforme a Tabela 5.

	$\phi'(a)$		$\phi'(a)$
P4	0,905263158	P6	0,378947368
P13	0,6	P15	0,378947368
P5	0,578947368	P2	0,252631579
P3	0,547368421	P8	0,252631579
P19	0,526315789	P18	0,252631579
P7	0,473684211	P12	0,115789474
P10	0,452631579	P20	0,105263158
P1	0,410526316	P16	0,084210526
P9	0,389473684	P11	0,063157895
P17	0,389473684	P14	0

Tabela 5. Fluxos totais com valores ajustados.

Desta forma, ao introduzirmos como parâmetros os valores dos fluxos totais $\phi(a)$ com o ajuste de sinal realizado para a recursão de Bellman resolver o modelo

$$\max z = \sum_{j=1}^n \phi'(a)x_j,$$

Sujeito à restrição orçamentária

$$s. a.: \sum_{j=1}^n Orçamentoj . x_j \leq 300000,$$

$$x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n.$$

Teremos o resultado retratado na Tabela 6. Os projetos que receberem 1 são aqueles que entrarão no portfólio e terão verba concedida. Aqueles que receberem 0, não entrarão no portfólio e conseqüentemente não terão verba concedida.

Projetos	Orçamento (R\$) solicitado	0/1	Orçamento (R\$) alocado 0/1
P1	14.740,00	1	14.740,00
P2	19.714,00	1	19.714,00
P3	43.159,00	1	43.159,00

P4	23.240,00	1	23.240,00
P5	45.144,00	1	45.144,00
P6	11.086,00	1	11.086,00
P7	31.095,00	1	31.095,00
P8	33.663,00	0	0,00
P9	13.317,00	1	13.317,00
P10	46.204,00	0	0,00
P11	34.949,00	0	0,00
P12	23.998,00	0	0,00
P13	49.053,00	1	49.053,00
P14	45.941,00	0	0,00
P15	45.911,00	0	0,00
P16	14.379,00	1	14.379,00
P17	11.644,00	1	11.644,00
P18	35.145,00	0	0,00
P19	20.962,00	1	20.962,00
P20	20.296,00	0	0,00
Total			297.533,00

Tabela 6. Resultado da aplicação do algoritmo de programação dinâmica implementado em Python para solução da mochila 0/1.

Como observado na tabela 6, o algoritmo de Programação Dinâmica forneceu uma solução ao modelo de programação inteira 0/1 distribuindo a verba pelo portfólio baseado em valores de $\phi(a)$ e alocando a maior quantidade de projetos dada a restrição de orçamento. O orçamento total alocado foi de R\$ 297.533,00 dos R\$ 300.000,00 disponíveis do edital.

Algumas observações devem ser feitas a partir dos resultados obtidos. Apesar do modelo de mochila 0-1 ter realizado uma distribuição orçamentária, existe um resíduo orçamentário (R\$ 2.467,00) proveniente do total que não foi alocado a nenhum projeto devido à natureza inteira do modelo. Caso não haja mais projetos que se adequem à restrição de terem orçamento menor ou igual ao total do orçamento disponível, o modelo inteiro não introduz o item no portfólio, ou seja, existe uma fração do orçamento de algum projeto que poderia completar o portfólio. Esta condição seria mais adequada para o caráter inclusivo da distribuição de verba por parte do órgão de fomento à pesquisa que estiver provendo o recurso, pois incluiria mesmo que de forma parcial outro projeto que no caso do modelo inteiro estaria fora da mochila.

Por este motivo o modelo da mochila 0-1 não se adequa totalmente às necessidades do modelo de distribuição e alocação de verba e otimização de portfólio para projetos acadêmicos de caráter inclusivo. Devemos utilizar então uma variação do problema da mochila, ou seja, o Problema da Mochila Fracionário ou Relaxamento Linear do Problema da Mochila.

4.3 Otimização por Relaxamento Linear

Utilizando o modelo de relaxamento linear do problema da mochila descrito na seção 3.1.2, são utilizados os fluxos totais na função objetivo. Contudo, desta vez, a restrição dos valores de x_j não mais prevê que tais valores sejam inteiros, mas sim, qualquer valor entre 0 e 1.

Tal mudança no domínio das variáveis denota algumas alterações consideráveis no cenário de resolução do modelo. Primeiramente, o modelo não mais se configura em um problema de programação inteira, o que acarreta (do ponto de vista computacional) numa performance mais eficiente e resolução mais simples no cálculo da solução ótima. Mais importante, o modelo garante que 100% do orçamento disponível será alocado, conforme Tabela 7.

Projetos	Orçamento (R\$) solicitado	0/1	Orçamento (R\$) alocado 0/1	Fracionária	Orçamento (R\$) Alocação fracionária
P1	14.740,00	1	14.740,00	1	14.740,00
P2	19.714,00	1	19.714,00	1	19.714,00
P3	43.159,00	1	43.159,00	1	43.159,00
P4	23.240,00	1	23.240,00	1	23.240,00
P5	45.144,00	1	45.144,00	1	45.144,00
P6	11.086,00	1	11.086,00	1	11.086,00
P7	31.095,00	1	31.095,00	1	31.095,00
P8	33.663,00	0	0,00	0	0,00
P9	13.317,00	1	13.317,00	1	13.317,00
P10	46.204,00	0	0,00	0,3646	16.846,00
P11	34.949,00	0	0,00	0	0,00
P12	23.998,00	0	0,00	0	0,00
P13	49.053,00	1	49.053,00	1	49.053,00
P14	45.941,00	0	0,00	0	0,00

P15	45.911,00	0	0,00	0	0,00
P16	14.379,00	1	14.379,00	0	0,00
P17	11.644,00	1	11.644,00	1	11.644,00
P18	35.145,00	0	0,00	0	0,00
P19	20.962,00	1	20.962,00	1	20.962,00
P20	20.296,00	0	0,00	0	0,00
Total			297.533,00		300.000,00

Tabela 7. Resultado da aplicação do algoritmo da mochila fracionária e comparação ao o resultado do algoritmo de programação dinâmica 0/1.

Como observado na tabela 7, (e já visto na seção anterior) o portfólio otimizado pelo algoritmo de Recursão de Bellman, ou seja, aquele que foi otimizado levando em consideração o paradigma 0-1, realmente distribuiu de forma ótima seu orçamento entre os 20 projetos de acordo com os valores de $\phi(a)$. Contudo, neste exemplo, não integralizou totalmente o orçamento do edital de R\$ 300.000,00 já que o próprio conceito de mochila inteira 0-1 impede que um item seja introduzido utilizando uma fração de x_j .

Isso muda com o algoritmo de relaxamento, observado na coluna “Fracionária”. Observa-se que o Projeto P10 não havia entrado na mochila na solução do algoritmo 0-1, porém com o algoritmo de relaxamento linear conseguimos preencher a capacidade residual com 36,46% (uma fração de 0,3646 de x_j) do valor do orçamento solicitado de P10, integralizando 100% do valor do edital. O modelo entretanto sacrifica o projeto P16, que havia entrado na distribuição de recurso na rodada do algoritmo 0-1, e que agora não é contemplado.

4.4 Função de Preferência como Nível de Satisfação – Modelo Misto

Um dos conceitos mais importantes do método PROMETHEE é a utilização de uma função matemática que expressa a estrutura de preferência do tomador de decisão baseada em comparações de alternativas para a par. Neste caso, são considerados os desvios entre as avaliações de duas alternativas em um critério particular, conforme visto na seção 3.2.1. As funções de preferência podem se configurar em várias formas, dependendo do que o tomador de decisão tem em mente para cada critério.

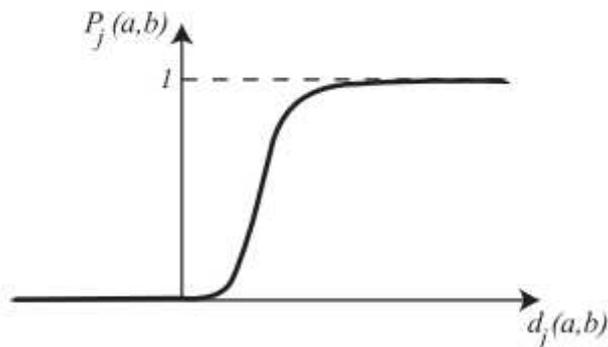


Figura 2 - Função de Preferência extraída de (Brans & Mareschal, 2005)

Na figura 2, a curva expressa o *feeling* do tomador de decisão perante os desvios $d_j(a, b)$ entre as alternativas a e b para cada critério j .

O importante a se destacar neste caso, é que a função de preferência utilizada no método PROMETHEE expressa matematicamente um *comportamento* do tomador de decisão interno ao processo de elaboração do *ranking*.

Tal característica intrínseca do método PROMETHEE pode ser expandida para expressar outros tipos de comportamentos. A função de preferência apresentada por Brans e Mareschal (2005) no PROMETHEE pode expressar, por exemplo, o conceito de *satisfação de uso de recursos*.

Ao utilizarmos a função de preferência para modelar a satisfação, podemos expressar o comportamento do *solicitante de recursos*. Tal função expressaria a satisfação do solicitante em utilizar um certo nível de recursos.

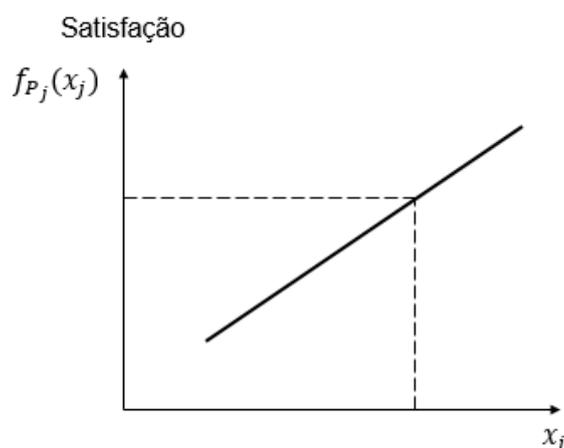


Figura 3. Função de Satisfação

A curva acima expressa a satisfação na utilização de um nível x_j de recursos; para $j = 1, 2, 3 \dots n$ projetos.

Importante destacar que a função de preferência não mede a alocação de recursos, mas exprime um modo no qual o tomador de decisão permite ter a perspectiva de quem pede o recurso. Isso se configuraria em um ferramental mais político e inclusivo.

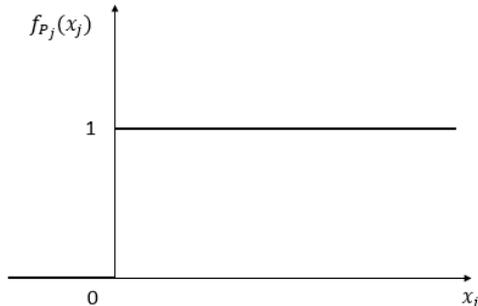
Como visto anteriormente, podemos desta forma adaptar a função de preferência do PROMETHEE substituindo os desvios por uma variável x_j que expressa o nível de recursos a serem utilizados por cada projeto j :

$$f_{P_j}(x_j) = x_j,$$

onde

$$0 \leq f_{P_j}(x_j) \leq 1.$$

Na Tabela 8, alguns tipos de função de preferência:

Comportamento	Definição
<p data-bbox="379 1234 448 1279">Função Usual</p> 	$f_{P_j}(x_j) = \begin{cases} 0, & x_j \leq 0 \\ 1, & x_j > 0 \end{cases} \quad (A)$

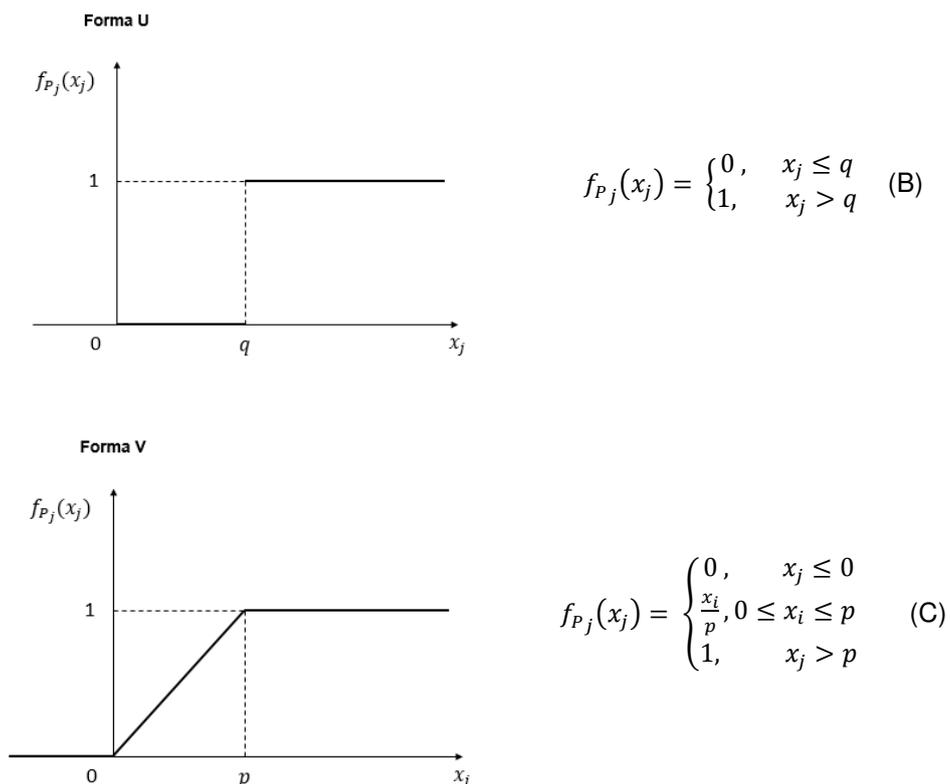


Tabela 8. Adaptado de (Brans & Mareschal, 2005)

No caso (A) da tabela acima (usual), podemos interpretar que um dado projeto j por exemplo, possui a mesma satisfação dado qualquer nível de utilização de recurso. Ou seja, ele possui a mesma satisfação recebendo integralmente ou qualquer fração do que solicitou. Tal função de preferência (conforme podemos ver no gráfico) consistiria em um valor de x_i variando entre 0 e 1.

Diferente do caso (B) (forma U), no qual a satisfação muda drasticamente a partir de um certo nível q . Neste caso, inclusive, o solicitante do projeto não aceita (ou a verba não “satisfaz” o projeto) abaixo de um nível q de recurso, criando a situação na qual não seja possível o projeto entrar na mochila devido à sua satisfação particular.

Em (C) denominada forma V ou linear, a utilização de qualquer nível x_j entre 0 e p proporciona uma satisfação crescente. Para níveis acima de p , a satisfação será a mesma para qualquer nível de recurso. Para fins de testes da função linear neste trabalho, usaremos $p = 1$ para denominar uma satisfação crescente até o nível máximo solicitado.

A satisfação pode também se configurar em algo do tipo “tudo ou nada” na qual a variável de decisão será binária e o recurso ou é provido de forma integral ou não é provido de nenhuma maneira.

Outras funções de preferências podem ser modeladas dada a particularidade do projeto, inclusive não-lineares. Importante destacar que tal função de preferência pode ser modelada para cada projeto, ou seja, cada solicitante possui um comportamento diferente perante a utilização de recursos de seu projeto.

O modelo utilizando a função de preferência como índice de satisfação, adapta a função objetivo apresentada na seção 4.2 da seguinte forma:

$$\max z = \sum_{j=1}^n \phi'(a) f_{P_j}(x_j),$$

$$\text{s. a. :} \quad Ax_j = b, \quad (1)$$

$$Cx_j \leq d, \quad (2)$$

$$Mx_j \geq f, \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, n \quad (4) \text{ ou}$$

$$0 \leq x_j \leq 1. \quad (5)$$

Tal função objetivo maximiza os fluxos totais provenientes do PROMETHEE II, com os valores já normalizados conforme visto na seção 4.2. A variável de decisão, neste caso, se configura na função de preferência que depende do nível de satisfação em utilização do recurso de cada projeto. A restrição (1) pode ser chamada de **Restrição de Capacidade** e assegura que todo recurso financeiro disponível seja alocado entre os projetos. A restrição (2) denominada **Restrição de Categorização/Setorização** indica o máximo de recursos financeiros que o tomador de decisão deve distribuir por categoria/setor de projeto, ou seja, o máximo de alocação financeira de recursos por categoria/setor. Em (3), também chamada de **Restrição de Valor Mínimo** o modelo determina valores mínimos a alocar por projeto ou por setor/categoria. Por fim, as restrições (4) e (5) indicam que as variáveis de decisão podem ser binárias ou reais, permitindo que os dois tipos de mochila anteriormente vistos sejam trabalhados no mesmo modelo.

O conceito de função de preferência representa um fator interessante de inclusão, pois, ao pleitear a verba necessária para seu projeto, o solicitante informa ao tomador de decisão qual função de preferência (dentre um rol oferecido) que mais expressa a satisfação para seu projeto. Com esta informação o tomador de decisão consegue afinar melhor sua escolha. Inclusive modelando a forma como irá expressar a satisfação conforme sua conveniência. Como cada projeto em si possui complexidade particular, eventualmente um questionário informado pelo solicitante poderia elencar quais despesas contempladas pelo seu projeto são essenciais e quais são elegíveis para o corte. Supomos que o projeto contemple, por exemplo, um certo número de bolsas, pagamento de diárias e equipamentos. Os equipamentos são essenciais, porém a partir de certo valor q , pode existir uma função linear crescente (a partir de q) que expressaria a satisfação tanto quanto maior o número de bolsas ou diárias forem concedidas.

Importante ressaltar que a escolha da função de satisfação e de um determinado valor q , significa que a partir de tal nível de satisfação, 100% do projeto será realizado.

Outra possibilidade seria um questionário que perguntasse o índice de satisfação para determinados percentuais de verba concedida. Em uma escala de 0% a 100% da verba, poderíamos ter uma escala de satisfação de 1 a 7. Para 0% da verba atribuímos 0 de satisfação (padrão), para 20% da verba atribuímos um nível de $x\%$ de satisfação. Para 40%, 60%, 80%, 85%, 90%, 95% e 100% da verba atribuímos 1 de satisfação (padrão). Posteriormente seria verificado qual das diferentes funções disponíveis possui a melhor adequação ao que foi respondido.

4.4.1 Comparação dos Dados

Continuando a aplicação da seção 4.3, os resultados com os 20 projetos, aplicando o modelo acima descrito, inicialmente temos os seguintes resultados elencados na Tabela 9.

	0/1	Frac.	Orçamento (R\$) solicitado	Orçamento (R\$) alocado 0/1	Orçamento (R\$) alocado Fracionária	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1)
P1	1	1	14.740,00	14.740,00	14.740,00	(C)	1	14.740,00
P2	1	1	19.714,00	19.714,00	19.714,00	(C)	1	19.714,00
P3	1	1	43.159,00	43.159,00	43.159,00	(C)	1	43.159,00
P4	1	1	23.240,00	23.240,00	23.240,00	(C)	1	23.240,00
P5	1	1	45.144,00	45.144,00	45.144,00	(C)	1	45.144,00
P6	1	1	11.086,00	11.086,00	11.086,00	(C)	1	11.086,00
P7	1	1	31.095,00	31.095,00	31.095,00	(C)	1	31.095,00
P8	0	0	33.663,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P9	1	1	13.317,00	13.317,00	13.317,00	(C)	1	13.317,00
P10	0	0,3646	46.204,00	0,00	16.846,00	(B) q = 0,5	0,5000	23.102,00
P11	0	0	34.949,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P12	0	0	23.998,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P13	1	1	49.053,00	49.053,00	49.053,00	(C)	0,8725	42.797,00
P14	0	0	45.941,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P15	0	0	45.911,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P16	1	0	14.379,00	14.379,00	0,00	(C)	0	0,00
P17	1	1	11.644,00	11.644,00	11.644,00	(C)	1	11.644,00
P18	0	0	35.145,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P19	1	1	20.962,00	20.962,00	20.962,00	(C)	1	20.962,00
P20	0	0	20.296,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
Orçamento Total Alocado				297.533,00	300.000,00			300.000,00

Tabela 9. Comparação dos modelos 0/1, Fracionário e Misto com índice de satisfação de P10 como descrito na Tabela 8, item (B) com valor de $q = 0,5$. Todos os modelos apenas com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos.

A tabela 9 mostra os resultados já apresentados na sessão 4.3, porém comparados com os resultados provenientes da aplicação do modelo misto apenas com a restrição de Capacidade para fins comparativos. Como visto, ao aplicar o modelo Fracionário puro, P10 recebeu 0,3646 do que solicitou. Porém, supomos que o solicitante de P10 tenha informado uma função de satisfação diferente dos outros. Que ele tenha uma satisfação linear (C) a partir de metade do que solicitou de recursos. Abaixo de 0,5, não convém iniciar seu projeto. Na nova coluna de resultados, podemos observar que pelo modelo, o projeto 10 ainda recebe o mínimo que precisa para satisfazer sua função de preferência, valor este a mais que é compensado de outro projeto (no caso P13) que havia informado uma função usual para sua satisfação (ou seja, qualquer valor

recebido entre 0 e 1) e que agora receberá 0,8725 do recurso que solicitou ao invés de sua integralidade.

Porém, supomos novamente que P13 não possua mais uma função usual, mas sim uma escolha binária para sua preferência, ou seja, o projeto (por suas particularidades) não pode abdicar destes 0,1275 de recursos que está deixando de receber. Tais resultados podem ser vistos na tabela 10.

0/1	Frac.	Orçamento (R\$) solicitado	Orçamento (R\$) alocado 0/1	Orçamento (R\$) alocado Fracionária	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1)	
P1	1	1	14.740,00	14.740,00	14.740,00	(C)	1	14.740,00
P2	1	1	19.714,00	19.714,00	19.714,00	(C)	1	19.714,00
P3	1	1	43.159,00	43.159,00	43.159,00	(C)	0,8550	36.903,00
P4	1	1	23.240,00	23.240,00	23.240,00	(C)	1	23.240,00
P5	1	1	45.144,00	45.144,00	45.144,00	(C)	1	45.144,00
P6	1	1	11.086,00	11.086,00	11.086,00	(C)	1	11.086,00
P7	1	1	31.095,00	31.095,00	31.095,00	(C)	1	31.095,00
P8	0	0	33.663,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P9	1	1	13.317,00	13.317,00	13.317,00	(C)	1	13.317,00
P10	0	0,3646	46.204,00	0,00	16.846,00	(B) q = 0,5	0,5000	23.102,00
P11	0	0	34.949,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P12	0	0	23.998,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P13	1	1	49.053,00	49.053,00	49.053,00	Binário	1	49.053,00
P14	0	0	45.941,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P15	0	0	45.911,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P16	1	0	14.379,00	14.379,00	0,00	(C)	0	0,00
P17	1	1	11.644,00	11.644,00	11.644,00	(C)	1	11.644,00
P18	0	0	35.145,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
P19	1	1	20.962,00	20.962,00	20.962,00	(C)	1	20.962,00
P20	0	0	20.296,00	0,00	0,00	(C)	0	0,00
Orçamento Total Alocado			297.533,00	300.000,00				300.000,00

Tabela 10. Comparação dos modelos 0/1, Fracionário e Misto com índice de satisfação de P10 como descrito na Tabela 8, item (B) com valor de $q = 0,5$ e P13 com índice de satisfação binário. Todos os modelos apenas com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos.

A tabela 10 mostra que, caso P13 escolha uma função de preferência que lhe permita um recebimento de recursos binário, o modelo irá compensar o fluxo adicional de tal recurso (após a otimização da função objetivo) de outro projeto

que possua uma satisfação com mais “folga”, conforme podemos observar na fração de 0,8550 concedida a P3.

4.4.2 Alguns Cenários

Outro exemplo ilustra como a flexibilidade do solicitante de recursos pode viabilizar não só o próprio recebimento de verba mas, como o de outros projetos, mantendo o nível de satisfação do portfólio equilibrado. Na tabela 11, temos o resultado do modelo para um portfólio constituído de sete projetos.

	0/1	Fracionário	Orçamento (R\$) solicitado	Orçamento (R\$) alocado 0/1	Orçamento (R\$) alocado Fracionária
P1	0	1	14.740,00	0,00	14.740,00
P2	0	0	19.714,00	0,00	0,00
P3	0	0	43.159,00	0,00	0,00
P4	1	1	23.240,00	23.240,00	23.240,00
P5	1	0	45.144,00	45.144,00	0,00
P6	1	1	11.086,00	11.086,00	11.086,00
P7	0	0,9949	31.095,00	0,00	30.934,00
Orçamento Total Alocado				79.470,00	80.000,00

Tabela 11. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelos de Mochila Binária e Fracionária. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos.

Na coluna denominada “0/1” temos o resultado em que as funções de preferência para todos os projetos consistem em funções binárias, ou seja, os projetos só aceitam receber o total da verba que solicitaram. Na coluna denominada “Fracionário” temos o resultado em que os projetos possuem a função de preferência Usual, ou seja, possuem o mesmo nível de preferência para qualquer nível de verba recebida. Ambos os casos não são ideais.

No caso binário, além de muitos projetos deixarem de receber verba, existe um resíduo financeiro sem alocação que pode variar muito dependendo do quão próximo da capacidade a soma das verbas solicitadas alcança.

No caso fracionário, como a função objetivo é maximizada, os valores integrais são alocados e o último projeto recebe uma fração que varia conforme o que resta de capacidade no orçamento.

O fato é que existe a possibilidade de que projetos importantes não sejam executados devido à falta de verba. No exemplo, o projeto P5 que possui valor substancial, deixaria de receber no caso de uma função usual.

4.4.2.1. Flexibilização I

Entretanto, supomos que o tomador de decisão dê a possibilidade ao solicitante de informar outras funções de preferência. Supomos que todos os projetos informem uma função linear crescente (C), na qual a satisfação cresça linearmente conforme maior o nível de recurso recebido. Na tabela 12 pode-se observar que P3 e P5 informaram uma função de preferência em forma U com o valor de $q = 0,5$; ou seja, que é viável para tais projetos serem realizados com 50% do valor que solicitaram.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(C)	0,10329	1.522,50	14.740,00
P2	(C)	0	0,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,5	21.579,50	43.159,00
P4	(C)	1	23.240,00	23.240,00
P5	(B) $q = 0,5$	0,5	22.572,00	45.144,00
P6	(C)	1	11.086,00	11.086,00
P7	(C)	0	0,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 12. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos. Flexibilização I.

Isso permite uma melhor distribuição da verba disponível, mantendo a satisfação geral do portfólio em equilíbrio, já que P3 e P5 recebem justamente o mínimo para que consigam realizar seu projeto e a verba é melhor redistribuída entre o restante. Entretanto, P1 recebe apenas 10,33% do que solicitou e P2 e P7 não entram no portfólio. Vale ressaltar que os resultados apresentados levaram em

consideração apenas a restrição de capacidade e não a utilização da restrição de valor mínimo por projeto.

4.4.2.2. Flexibilização II

Porém, imagina-se o cenário em que P1 não consiga realizar seu projeto com apenas esta fração. Na tabela 13.1 observa-se que P1 informou uma função de preferência que indica que com 30% do solicitado, o projeto será viável e a satisfação se mantém. Observa-se que o projeto recebe o adicional de verba e a satisfação geral é equilibrada com a retirada de parte da verba do projeto P6 que agora receberá 73,80% do que solicitou.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	0,3	4.422,00	14.740,00
P2	(C)	0	0,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,5	21.579,50	43.159,00
P4	(C)	1	23.240,00	23.240,00
P5	(B) $q = 0,5$	0,5	22.572,00	45.144,00
P6	(C)	0,738	8.186,50	11.086,00
P7	(C)	0	0,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 13.1. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos. Flexibilização II.

Digamos que hipoteticamente para fins de inclusão ou por determinação política, o edital deve distribuir um valor mínimo de R\$ 5.000,00 por projeto. A tabela 13.2 implementa tal restrição em conjunto às funções de preferência informadas.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1 e 2)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1 e 2)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	0,34	5.000,00	14.740,00
P2	(C)	0,25	5.000,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,50	21.579,50	43.159,00
P4	(C)	0,68	15.848,50	23.240,00
P5	(B) $q = 0,5$	0,50	22.572,00	45.144,00
P6	(C)	0,45	5.000,00	11.086,00

P7	(C)	0,16	5.000,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 13.2. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade e restrição (2) de valor mínimo por projeto. Flexibilização II.

4.4.2.3. Flexibilização III

Na tabela 13.1, observa-se que ainda existem dois projetos que não receberam verba. Uma maior flexibilização, conforme mostrado na tabela 14.1, mostra que ao informar sua função de preferência, tais projetos que não haviam recebido nenhuma verba, passam a receber, conforme visto com P7 e P6. Importante ressaltar que apesar de P4 estar recebendo menos com relação aos cenários anteriores, a satisfação geral do portfólio ainda se mantém equilibrada, muito devido às funções de preferência informadas a priori por cada solicitante.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	0,3	4.422,00	14.740,00
P2	(C)	0	0,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,5	21.579,50	43.159,00
P4	(C)	0,579	13.445,50	23.240,00
P5	(B) $q = 0,5$	0,5	22.572,00	45.144,00
P6	(B) $q = 0,5$	0,5	5.543,00	11.086,00
P7	(B) $q = 0,4$	0,4	12.438,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 14.1. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos. Flexibilização III.

A tabela 14.2 mostra a configuração da alocação quando inserimos a mesma restrição de valor mínimo (R\$ 5.000,00) por projeto, devido a condição política do tomador de decisão.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1 e 2)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1 e 2)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	0,34	5.000,00	14.740,00
P2	(C)	0,25	5.000,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,50	21.579,50	43.159,00
P4	(C)	0,34	7.867,50	23.240,00
P5	(B) $q = 0,5$	0,50	22.572,00	45.144,00
P6	(B) $q = 0,5$	0,50	5.543,00	11.086,00

P7	(B) $q = 0,4$	0,40	12.438,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 14.2. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade e restrição (2) de valor mínimo por projeto. Flexibilização III.

4.4.2.4. Flexibilização IV

Ao flexibilizarmos todo o portfólio, conforme a tabela 15.1 demonstra, podemos verificar que nenhum projeto deixa de receber verba, inclusive P2 que de acordo com o ordenamento PROMETHEE foi considerado o projeto com o menor fluxo (e conseqüentemente o projeto com a pior avaliação). P4 ainda recebe um pouco a mais do que solicitou a fim de manter o equilíbrio da satisfação do portfólio e respeitar a restrição de capacidade.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) alloc. Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	0,3	4.422,00	14.740,00
P2	(B) $q = 0,5$	0,5	9.857,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,5	21.579,50	43.159,00
P4	(B) $q = 0,2$	0,349	8.102,91	23.240,00
P5	(B) $q = 0,4$	0,4	18.057,60	45.144,00
P6	(B) $q = 0,5$	0,5	5.543,00	11.086,00
P7	(B) $q = 0,4$	0,4	12.438,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 15.1. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade para fins comparativos. Flexibilização IV.

Caso haja a condição de valor mínimo por projeto, análogo aos cenários anteriores, a configuração da alocação tomará a forma explicitada pela tabela 15.2.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1 e 2)	Orçamento (R\$) alloc. Misto c/ Restr. (1 e 2)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	0,34	5.000,00	14.740,00
P2	(B) $q = 0,5$	0,50	9.857,00	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	0,50	21.579,50	43.159,00
P4	(B) $q = 0,2$	0,32	7.524,90	23.240,00
P5	(B) $q = 0,4$	0,40	18.057,60	45.144,00

P6	(B) $q = 0,5$	0,50	5.543,00	11.086,00
P7	(B) $q = 0,4$	0,40	12.438,00	31.095,00
Orç.			80.000,00	

Tabela 15.2. Portfólio hipotético com 7 projetos. Modelo aplicado com restrição (1) de Capacidade e restrição (2) de valor mínimo por projeto. Flexibilização IV.

Um resumo das informações de alocação de verba de todos os cenários pode ser observado na tabela 16, que compara os valores de alocação para cada projeto em cada cenário utilizando cada restrição (restrição de capacidade (1) e restrição de valor mínimo (2)).

	Valor Solicitado	Flexibilização I		Flexibilização II		Flexibilização III		Flexibilização IV	
		Alocação c/ restr. 1	Alocação c/ restr. (1 e 2)	Alocação c/ restr. 1	Alocação c/ restr. (1 e 2)	Alocação c/ restr. 1	Alocação c/ restr. (1 e 2)	Alocação c/ restr. 1	Alocação c/ restr. (1 e 2)
P1	14.740,00	1.522,50	5.000,00	4.422,00	5.000,00	4.422,00	5.000,00	4.422,00	5.000,00
P2	19.714,00	0,00	5.000,00	0,00	5.000,00	0,00	5.000,00	9.857,00	9.857,00
P3	43.159,00	21.579,50	21.579,50	21.579,50	21.579,50	21.579,50	21.579,50	21.579,50	21.579,50
P4	23.240,00	23.240,00	15.848,50	23.240,00	15.848,50	13.445,50	7.867,50	8.102,91	7.524,90
P5	45.144,00	22.572,00	22.572,00	22.572,00	22.572,00	22.572,00	22.572,00	18.057,60	18.057,60
P6	11.086,00	11.086,00	5.000,00	8.186,50	5.000,00	5.543,00	5.543,00	5.543,00	5.543,00
P7	31.095,00	0,00	5.000,00	0,00	5.000,00	12.438,00	12.438,00	12.438,00	12.438,00

Tabela 16. Comparação da alocação de verba dos cenários propostos.

4.4.3 Limites do Modelo

O fato do modelo utilizando a função de preferência como índice de satisfação se constituir em um problema de programação linear que pode incorporar restrições, variáveis binárias e variáveis reais, entretanto, possui limites que ainda não foram testados, como a sensibilidade do modelo a um número muito grande de projetos e restrições. Algumas das muitas combinações de funções de preferência podem resultar na não factibilidade do problema e não encontrar uma alocação ótima, como demonstrada na tabela 17.

	Função de Preferência Informada	Modelo Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) aloc. Misto c/ Restr. (1)	Orçamento (R\$) solicitado
P1	(B) $q = 0,3$	X	X	14.740,00
P2	(B) $q = 0,5$	X	X	19.714,00
P3	(B) $q = 0,5$	X	X	43.159,00
P4	(B) $q = 0,5$	X	X	23.240,00
P5	(B) $q = 0,4$	X	X	45.144,00
P6	(B) $q = 0,5$	X	X	11.086,00
P7	(B) $q = 0,4$	X	X	31.095,00
Orç.			X	80.0000,00

Tabela 17. Uma possível combinação de Funções de Preferência sem solução pelo solver CPLEX (mensagem de erro: "PROBLEM HAS NO PRIMAL FEASIBLE SOLUTION").

No caso da tabela 17, a combinação de funções de preferências informadas criou um problema no qual a solução não é factível. Uma das alternativas para aliviar o problema seria aplicar um preenchimento automático para evitar que todos os solicitantes coloquem um valor mínimo e o problema se torne infactível. Outra medida possível para que se atenuem os problemas iniciais de factibilidade seria a incorporação da condição de que se a soma dos valores mínimos for maior que o total de recursos disponível, então, o modelo a se adotar seria o binário puro. O tomador de decisão deve levar em consideração que ocasionalmente as inúmeras combinações de restrições com funções de preferência podem concluir que não existe uma alocação que satisfaça todas as condições apresentadas e ajustar os parâmetros para tal.

5 CONCLUSÕES

Conforme os resultados observados na aplicação dos modelos da Mochila Fracionário e Binário 0/1, podemos observar que ambos os modelos de mochila são similares. Diferem-se no fato de se o item for colocado levando em consideração x_j inteiro, o algoritmo interrompe a execução quando o valor total da mochila ser menor ou igual ao valor da capacidade. Podem haver casos em que os valores podem ser integralizados totalmente, mas não necessariamente. Caso x_j não for inteiro, o valor disponibilizado pelo edital será sempre totalmente integralizado na mochila.

Ambos os modelos (fracionário e 0/1) não são suficientes entretanto, para atender a atividade de alocação de verba a projetos acadêmicos, quando utilizados em sua forma “pura”, pois não possuem flexibilidade em movimentar recursos entre projetos com necessidades diferentes, nem medir tais necessidades para que os recursos possam ser movimentados a fim de respeitar as restrições de capacidade e segmentação.

O modelo utilizando a função de preferência como índice de satisfação por projeto entretanto, possui uma flexibilidade notável ao permitir uma interação importante entre solicitante e tomador de decisão. Tal interação permite que questões antes informais ao processo de alocação de verba possam ser incorporadas ao modelo formal na forma da função de satisfação, tornando o processo mais transparente.

As funções de preferência utilizadas nos testes deste trabalho consistiram em funções lineares, entretanto, seria possível a elaboração e aplicação de outros tipos de funções com características não lineares que expressassem outros comportamentos particulares dos solicitantes. Por exemplo, em um cenário no qual existiria um limiar de saturação no qual incrementos de renda a partir deste limite não fariam diferença na satisfação, utilizaríamos uma função de preferência em curva S. Porém, por se tratarem de problemas de programação não lineares, um estudo mais detalhado acerca do tipo de meta heurísticas necessárias para a resolução do problema, será necessário.

Tal modelo não se propõe a substituir os modelos de avaliação, distribuição e alocação de verba existentes utilizados por órgãos de financiamento e fomento à pesquisa. O método PROMETHEE possui a capacidade de receber como dados de entrada qualquer natureza de critérios para obtenção dos fluxos e se adequa aos modelos de avaliação de projetos vigente. O modelo proposto neste trabalho vem agregar aos métodos já existentes um ferramental para que a tomada de decisão pelos órgãos de fomento e financiamento seja realizada incorporando as necessidades dos solicitantes (apresentadas à priori), formando um canal de comunicação entre as duas partes e proporcionando um processo de distribuição de recursos mais flexível.

Deve-se também destacar o fato da avaliação dos projetos ocorrer sem a consideração desde o início da elaboração do modelo, da possibilidade de cortes binários ou lineares de projetos. O problema é que tais cortes são feitos a posteriori e sem a informação explícita de quem pleiteia os recursos sobre os níveis de satisfação em acordo com o montante de verba liberado. Desta forma, as modificações propostas tornam o processo mais participativo e menos propenso a cortes inadequados, já que os solicitantes estão deixando claro ao financiador quanto que precisam receber para que as atividades críticas de seu projeto sejam elaboradas. Também tornam o processo de alocação mais inclusivo, pois projetos com classificações menores poderão receber recursos que o atendam.

REFERÊNCIAS

- Abu-Taleb, M. F., & Mareschal, B. (1995). Water resources planning in the Middle East: Application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81(3), 500–511. [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00007-Y](http://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00007-Y)
- Aparecida Vitoreli, G., Lima, C. H. B., Gerolamo, M. C., & Carpinetti, L. C. R. (2010). Relato da utilização de ferramentas e técnicas de gestão de projetos em um projeto de pesquisa acadêmica.
- Arocena, R., & Sutz, J. (2001). Changing knowledge production and Latin American universities. *Research Policy*, 30(8), 1221–1234. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00143-8](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00143-8)
- Baker, N. R., & Pound, W. H. (1964). R and D project selection: Where we stand. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-11(4), 124–134. <http://doi.org/10.1109/TEM.1964.6446420>
- Beaujon, G., Marin, S., & McDonald, G. (2001). Balancing and Optimizing a Portfolio of R & D Projects. *Naval Research Logistics*, 48(1), 18–40.
- Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. New Jersey: Princeton University Press.
- Boer, P. F. (2002). Financial Management of R&D. *Industrial Research Institute*.
- Boer, P. F. (2003). Risk Adjusted Valuation of R&D Projects. *Industrial Research Institute*.
- Bordley, R. F. (1998). R&D Project Selection vs. R&D Project Generation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 45(4), 407–413.
- Brans, J.-P., & Mareschal, B. (2005). PROMETHEE methods.
- BRASIL. (2002). *Livro Branco: ciência, tecnologia e inovação*. Brasília.
- BRASIL. (2007). *Ciência Tecnologia e Inovação para o desenvolvimento nacional. Plano de Ação 2007 – 2010*. Brasília.
- BRASIL. (2010). *Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Fundos Setoriais. Relatório de Gestão – 2007 -2009*. Brasília.
- BRASIL. (2017). *Fundos Setoriais. Indicadores Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação 2017*. Brasília.
- Carazo, A. F., Gómez, T., Molina, J., Hernández-Díaz, A. G., Guerrero, F. M., & Caballero, R. (2010). Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. *Computers and Operations Research*, 37(4), 630–639. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.012>
- Carmona, C. U. D. M., Galvão da Silva, T., Pires da Silva, S., Soares, C. D. V., & Cruz Conceição, L. L. (2014). Gestão de risco de projetos de inovação: Recortes teórico-empíricos. *Exacta*, 12(3), 257–267. <http://doi.org/10.5585/exactaep.v12n3.5201>

- Cavalcante, C. A. V., & Almeida, A. T. de. (2005). Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*, 25(2), 279–296. <http://doi.org/10.1590/S0101-74382005000200007>
- Chiarini, T., & Vieira, K. P. (2012). Universidades como produtoras de conhecimento para o desenvolvimento econômico: sistema superior de ensino e as políticas de CT&I. *Revista Brasileira de Economia*, 66(1), 117–132. <http://doi.org/10.1590/S0034-71402012000100006>
- CNPq. (2017). Painel de Investimentos. Retrieved March 12, 2018, from <http://cnpq.br/painel-de-investimentos>
- Cooper, R. G., & Edgett, Scott J & Kleinschmidt, E. J. (2001). Portfolio management for new product development : Results of an industry practices study portfolio management for new product development : results of an industry practices study. *R&D Management (Industrial Research Institute, Inc.)*, 13(4), 1–39. <http://doi.org/10.1111/1467-9310.00225>
- Cristhina, V., & Chimendes, G. (2009). Relacionamento com universidades e institutos de pesquisa : a visão dos empresários, 1–11.
- Dahlman, C., Alberto Rodríguez, & Salmi, J. (2008). Knowledge and Innovation for Competitiveness in Brazil *. *Globalization, Competitiveness & Governability*, 2(April 2007), 18–29. <http://doi.org/10.3232/GCG.2008.V2.N3.01>
- De Almeida, A. T., & Vetschera, R. (2012). A note on scale transformations in the PROMETHEE v method. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 198–200. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.034>
- Debackere, K. (2000). Managing academic R&D as a business at K.U. Leuven: context, structure and process. *R and D Management*, 30(4), 323–328. <http://doi.org/10.1111/1467-9310.00186>
- Doumpos, M., & Grigoroudis, E. (2013). Multicriteria Decision Aid and Artificial Intelligence Links, Theory and Applications Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Ernø-Kjølhede, E. (2000). *Project Management Theory and the Management of Research Projects. Working Papers*. Retrieved from https://ideas.repec.org/p/hhb/cbslplf/2000_003.html
- FAPESP, F. de A. à P. (2017). Os criterios de análise e priorização.
- Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B. (2004). ELECTRE METHODS.
- Finney, M., & Mitroff, I. I. (1986). *Strategic plan failures: The organization as its own worst enemy*.
- Ghasemzadeh, F., & Archer Michael G, N. P. (2000). Project portfolio selection through decision support. *Decision Support Systems*, 29, 73–88. [http://doi.org/10.1016/S0167-9236\(00\)00065-8](http://doi.org/10.1016/S0167-9236(00)00065-8)
- HART, E. (1995). Research challenges: issues in the management of research projects. *Journal of Nursing Management*, 3(6), 313–318.

<http://doi.org/10.1111/j.1365-2834.1995.tb00114.x>

- IBGE. (2016). *Pesquisa de Inovação 2014*. Retrieved from <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99007.pdf>
- Kannebley Júnior, S., Carolo, M. D., & de Negri, F. (2013). Impacto dos Fundos Setoriais sobre a produtividade acadêmica de cientistas universitários. *Estudos Econômicos (São ...)*, 43(4), 647–685. <http://doi.org/10.1590/S0101-41612013000400002>
- Kellerer, H., Pferschy, U., & Pisinger, D. (2004). *Knapsack Problems*. Springer-Verlag.
- Kruglianskas, I., & Maffini Gomes, C. (2009). Indicadores e características da gestão de fontes externas de informação tecnológica e do desempenho inovador de empresas Brasileiras. *RAC - Revista de Administração Contemporânea*, no. 2(13).
- Lundvall, B.-Å., & Christensen, J. L. (1998). *Extending and Deepening the Analysis of Innovation Systems - with Empirical Illustrations from the DISCO-project. Electronics Industry*. <http://doi.org/10.2307/1515847>
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D., & Caloghirou, Y. (2006). Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0-1 programming. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 296–308. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.069>
- Meyer-Krahmer, F., & Schmoch, U. (1998). Science-based technologies: University-industry interactions in four fields. *Research Policy*, 27(8), 835–851. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00094-8](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00094-8)
- Minoux, M. (1986). *Mathematical programming: theory and algorithms*. John Wiley & Sons.
- Nelson R, R., & Mazzoleni, R. (2006). The roles of research at universities and public labs in economic catch-up. *Working Paper Series*.
- Pacheco, A. (2002). *Universidade e Governo, professores da Unicamp no período FHC*. São Paulo: Escuta: In: Castro, Maria Helena (org.).
- Pacheco, C. A. (2007). As reformas da política nacional de ciência , tecnologia e inovação no Brasil (1999-2002). *Manual de Políticas Públicas*, 44.
- Pavitt, K. (1991). What makes basic research economically useful? *Research Policy*, 20(2), 109–119. [http://doi.org/10.1016/0048-7333\(91\)90074-Z](http://doi.org/10.1016/0048-7333(91)90074-Z)
- Perez, C. (2001). Technological change and opportunities for development as a moving target. *CEPAL Review*, (75), 109–130. http://doi.org/http://www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/revista/agrupadores_xml/aes18.xml&xsl=/agrupadores_xml/agrupa_listado-i.xsl&base=/tpl-i/top-bottom.xsl
- Pinto, F., & Loiola, E. (2007). Comportamento das Firmas em Redes de Produção. *Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, 5(1).
- PMI. (2000). A guide to the project management body of knowledge, 216.

- Rosenberg, N., & Nelson, R. R. (1994). American universities and technical advance in industry. *Research Policy*. [http://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)90042-6](http://doi.org/10.1016/0048-7333(94)90042-6)
- Roy, B. 1991. (1991). THE OUTRANKING APPROACH AND THE FOUNDATIONS OF ELECTRE METHODS.
- Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 1(December), 19–43. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>
- Salles Filho, S. (2002). Política de Ciência e Tecnologia no I PND (1972/74) e no IPBDCT (1973/74). *Revista Brasileira de Inovação*, 1(2), 397–419.
- Santos, C. de A., & Moraes, K. N. de. (2013). A produção do conhecimento e a Política Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). *Revista Série-Estudos*, 0(30), 283–301. Retrieved from <http://www.serie-estudos.ucdb.br/index.php/serie-estudos/article/view/165%0Ahttp://www.serie-estudos.ucdb.br/index.php/serie-estudos/article/download/165/199>
- Varian, H. (2003). *Microeconomia-princípios básicos* (Sexta Edição). Elsevier.
- Zhang, L., Ma, F., Zhong, C., Zhang, L., & Wang, Y. (2006). A MVCD Model and Its Application in University, 7008–7012.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria Decision Aid in Financial Decision Making: Methodologies and Literature Review. *Decis. Anal*, 11, 167–186. <http://doi.org/10.1002/mcda.333>