



Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Departamento de Engenharia de Produção



## **Trabalho de Conclusão de Curso**

# **UM MODELO DINÂMICO ESTOCÁSTICO PARA O GERENCIAMENTO DA CARTEIRA DE PROJETOS DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS**

**Samuel Martins Drei**

**João Monlevade, MG  
2018**

**Samuel Martins Drei**

**UM MODELO DINÂMICO ESTOCÁSTICO PARA O  
GERENCIAMENTO DA CARTEIRA DE PROJETOS  
DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva

Coorientadora: Prof. Dra. Luciana Paula Reis

**Universidade Federal de Ouro Preto  
João Monlevade  
2018**



### ATA DE DEFESA

Aos 08 dias do mês de fevereiro de 2018, às 17 horas, na sala B204 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo (a) aluno (a) SAMUEL MARTINS DREI, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Thiago Augusto de Oliveira Silva (Orientador), Luciana Paula Reis(co-orientadora), Mônica do Amaral e Marco Antônio Bonelli Júnior. O (a) aluno (a) apresentou o trabalho intitulado: UM MODELO DINÂMICO ESTOCÁSTICO PARA O GERENCIAMENTO DA CARTEIRA DE PROJETOS DE NOVOS PRODUTOS. A comissão examinadora deliberou, pela:

↳ De desenvolvimento

Aprovação

( ) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: \_\_\_\_\_

( ) Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: \_\_\_\_\_

( ) Reprovação

do(a) aluno (a), com a nota 10,0. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP12/2015 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) aluno(a).

João Monlevade, 08 de fevereiro de 2018.

Thiago Augusto de Oliveira Silva

Professor(a) Orientador(a)

Luciana Paula Reis

Professor(a) Co-orientador(a)

Mônica do Amaral

Convidado(a)

Marco Antônio Bonelli Júnior

Convidado(a)

Aluno (a): Samuel Martins Dreier



## ANEXO IX - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado Um modelo Dinâmico estocástico para o gerenciamento da carteira de projetos de design <sup>ovolvimento de novos produtos</sup> é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 15 de fevereiro de 2018.

Samuel Martins Dreier  
Nome completo do aluno

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer a algumas pessoas que, se não fossem elas, eu não teria chegado aqui. À toda minha família, em especial, irmãos Wagner e Maria Paula, minha avó, Magda, minha tia, Magna, meu padrasto, Paulo e, principalmente, minha mãe, Valeska.

Também gostaria de agradecer meus amigos, de Ubá, que sempre estiveram comigo. Aos amigos que coletei ao longo da graduação, do 13.1 e do DA mais maravilhoso do mundo. Além de muitos outros que conheci e ainda vou conhecer.

Agradeço à melhor república do mundo, Toca do Lobo, e a todos meus conterrâneos da mesma, antigos e atuais, Carlos Júnior, Eduardo, Ewertton, Leonardo e Yuri. E, também, à república Boate Azul, Carlos Eduardo, Diego, Erick, João Paulo e Otávio, pela amizade e companheirismo.

Também gostaria de agradecer ao meu querido amigo e orientador Thiago Silva, por toda paciência, carinho, risadas e ensinamentos ao longo de, praticamente, toda minha graduação.

Por fim, dedico esse trabalho ao meu amigo Lucas e meu avô Dirceu, que não puderam estar aqui comigo.

*"Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina"*

*– Cora Coralina*

# Resumo

O processo de desenvolvimento de projetos de novos produtos é geralmente custoso para uma empresa, tendo em vista da série de decisões que devem ser tomadas ao longo do funil de inovação para atingir um portfólio que irá trazer o melhor retorno possível, dentro das restrições dadas. Dessa forma, esse trabalho objetivou desenvolver um modelo matemático capaz de auxiliar na tomada de decisão relativa a esse desenvolvimento, analisando qual carteira de projetos tem viabilidade econômica, visando à maximização dos lucros. Através de uma pesquisa bibliográfica, foram obtidos dados referentes a outros modelos presentes na literatura, bem como as lacunas existentes e, assim, foi criado um modelo, com o auxílio da programação dinâmica estocástica, que incorpora características consideradas importantes, pois geram uma maior aproximação da realidade, tais como incertezas, dinamicidade e limite de recursos. Por fim, foi criado um exemplo para ilustrar uma política aplicada ao modelo e testar seu comportamento.

**Palavras-chave:** Processo de desenvolvimento de novos produtos, funil de inovação, programação dinâmica estocástica, dinamicidade.

# Abstract

The process of developing new products's projects is usually costly for a company, in view of the series of decisions that have to be taken over the development pipeline to achieve a portfolio that will bring the best possible payback, within the given constraints. In this way, this work objected develop a mathematical model that is able to help in the decision taken relative to the development, analyzing which project portfolio has economic viability, aiming the profits maximization. Through a bibliography research, data were obtained referring to another models in the literature, as well existing gaps and, so, the model was created, with the help of the dynamic stochastic programming, that incorporates characteristics considered important, because they generate a closer approximation to the reality, such as uncertainties, dynamism and resource limits. Lastly, an example was created to illustrate a policy applied to the model and test its behavior.

**Keywords:** New product development process, development pipeline, dynamic stochastic programming, dynamism.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Funil de Desenvolvimento . . . . .	7
Figura 2 – Parâmetros de forma e escala . . . . .	30
Figura 3 – Estado inicial . . . . .	33
Figura 4 – Pós decisão . . . . .	34
Figura 5 – Estado pós transição . . . . .	36

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Aspectos considerados no funil de desenvolvimento . . . . .	12
Tabela 1 – Aspectos considerados (continuação) . . . . .	13
Tabela 2 – Decisões tomadas no funil de desenvolvimento . . . . .	15
Tabela 3 – Decisões do presente trabalho . . . . .	16
Tabela 4 – Aspectos do presente trabalho . . . . .	16
Tabela 5 – Conjuntos do modelo proposto . . . . .	26
Tabela 6 – Parâmetros do modelo proposto . . . . .	27
Tabela 7 – Variáveis do modelo proposto . . . . .	27
Tabela 8 – Parâmetros de entrada dos projetos . . . . .	31
Tabela 9 – Parâmetros dos modos . . . . .	31
Tabela 9 – Parâmetros dos modos (continuação) . . . . .	32
Tabela 10 – Valores das variáveis . . . . .	34
Tabela 10 – Valores das variáveis (continuação) . . . . .	35
Tabela 11 – Parâmetros dos novos projetos . . . . .	36

# Lista de abreviaturas e siglas

GDP - Gestão de Desenvolvimento de Produtos;

PDP - Processo de Desenvolvimento de Produtos;

SDP - Sistema de Desenvolvimento de Produtos;

VPL - Valor Presente Líquido.

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>1</b>
1.1.1	Objetivo Geral	1
1.1.2	Objetivos Específicos	1
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>2</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Sistema de desenvolvimento de produtos</b>	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>Portfólio de desenvolvimento</b>	<b>6</b>
<b>3.3</b>	<b>Níveis de decisão</b>	<b>7</b>
<b>3.4</b>	<b>Trabalhos correlatos</b>	<b>8</b>
3.4.1	Aspectos dos trabalhos	10
3.4.1.1	Dependência	11
3.4.1.2	Avaliação de retorno	11
3.4.1.3	Restrição de recursos	11
3.4.1.4	Setup dos projetos	11
3.4.1.5	Divisibilidade	11
3.4.1.6	Limite de execução de um projeto	12
3.4.1.7	Limite de recursos	12
3.4.2	Decisões incorporadas nos modelos	13
3.4.2.1	Gerenciamento de projetos	13
3.4.2.2	Alocação de recursos	13
3.4.2.3	Sequenciamento de projetos	14
3.4.3	Dinamicidade	15
3.4.4	Posicionamento do presente trabalho	15
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Programação dinâmica</b>	<b>17</b>
4.1.1	Processo de decisão de Markov	17
4.1.2	Equação de Bellman	17
4.1.3	As três Maldições da dimensão	18

<b>5</b>	<b>DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA DA GESTÃO DA CARTEIRA DE PROJETOS DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>Características do modelo . . . . .</b>	<b>20</b>
5.1.1	Dinamicidade . . . . .	20
5.1.2	Estocasticidade . . . . .	20
5.1.3	Horizonte . . . . .	20
<b>5.2</b>	<b>Projetos e modos . . . . .</b>	<b>20</b>
5.2.1	Áreas . . . . .	20
5.2.2	Independência entre projetos . . . . .	21
5.2.3	Divisibilidade . . . . .	21
5.2.4	Duração de cada etapa . . . . .	21
5.2.5	Restrição de recursos . . . . .	21
5.2.5.1	Modos . . . . .	21
5.2.5.2	Limite de orçamento para cada projeto . . . . .	22
5.2.6	Função de retorno . . . . .	22
<b>5.3</b>	<b>Objetivo do modelo . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>5.4</b>	<b>Decisões . . . . .</b>	<b>22</b>
5.4.1	Gerenciamento dos projetos . . . . .	22
5.4.2	Alocação de recursos . . . . .	22
5.4.3	Sequenciamento dos projetos . . . . .	23
5.4.3.1	Início de um projeto . . . . .	23
5.4.3.2	Dividir um projeto . . . . .	23
<b>5.5</b>	<b>Estágio . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>5.6</b>	<b>Estado . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>5.7</b>	<b>Incertezas . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>5.8</b>	<b>Transição . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>5.9</b>	<b>Modelagem do subproblema de otimização associado . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>EXEMPLO DE APLICAÇÃO . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>38</b>

# 1 Introdução

Os projetos de desenvolvimento de novos produtos em empresas de inovação, passam simultaneamente por uma série de filtros e estágios seletivos, nos quais os mesmos irão competir por recursos de processamento. A decisão de escolha de um determinado projeto nem sempre é fácil, tendo em vista os vários cenários que múltiplos produtos podem gerar.

Além disso, há uma variação em como essa seleção de projetos é feita, logo as empresas do ramo de inovação e desenvolvimento, geralmente passam por dificuldades para determinar uma carteira de projetos adequada para seu investimento.

Uma vez que importantes decisões são tomadas no início do processo de desenvolvimento de produtos (PDP), quando há grande incerteza, e tais decisões correspondem a 85% dos custos finais do produto (ROZENFELD et al., 2006), é necessário procurar métodos que auxiliem na tomada de decisão do desenvolvimento do mesmo.

A partir desta relevância, há uma oportunidade latente em estudar e analisar os cenários criados pelos projetos de produto em desenvolvimento, através da pesquisa operacional, por meio da modelagem matemática e simulação, auxiliando na tomada de decisão e criação de políticas ótimas específicas voltadas para os moldes da empresa, levando em consideração a sua estratégia diante de seus concorrentes.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo matemático capaz de auxiliar na tomada de decisão relativa aos projetos de desenvolvimento de novos produtos, analisando qual carteira dos mesmos tem viabilidade econômica, visando a maximização dos lucros.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar e comparar modelos existentes na literatura;
- ✓ Identificar lacunas nos modelos propostos;
- ✓ Identificar as variáveis e os aspectos importantes para compor o modelo que considera a natureza dinâmica e não somente o objetivo de maximização final;
- ✓ Criar um exemplo para testar o comportamento do modelo proposto.

## 1.2 Justificativa

A dinamicidade e mutabilidade do mercado fazem com que as empresas de inovação se atenham à forma de utilização dos seus recursos disponíveis, tendo em vista que a escolha de uma carteira de produtos viáveis deve atender às necessidades dos consumidores, ser produzida em tempo hábil para o mercado e considerar os recursos e as restrições existentes.

Um dos recursos mais recorrentes, quando o assunto é o desenvolvimento de novos produtos, é o orçamento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) que uma empresa está disposta a manter. O limite desse orçamento é muito controverso, pois ele vem atrelado, geralmente, a uma grande incerteza, que, por mais que o mesmo possa gerar lucro para a empresa em questão, quando ele não for administrado de maneira correta, pode acarretar riscos que perduram durante um grande horizonte de tempo, constituindo prejuízos para as organizações (BROMILEY et al., 2017).

Para Cuervo-Cazurra e Un (2010) o desafio de estabelecer um orçamento de P&D é muito mais intrínseco, tendo em vista que os autores separam as empresas em: (i) As que sempre investem em P&D formalmente, (ii) as que nunca investem em P&D e as que eventualmente investem, subdivididas em (iii) que começam, (iv) param ou (v) que variam seu investimento em P&D. Assim, é necessário que as organizações, a priori, determinem sua classificação de acordo com sua estratégia competitiva.

A partir desse contexto, e levando em conta que as empresas de inovação sempre irão operar com um determinado orçamento de P&D, dada a própria natureza e relação do mesmo com a criação de novos produtos (BROMILEY et al., 2017), a dificuldade enfrentada por elas na gestão de seu portfólio se torna significativa, devido aos múltiplos projetos e às várias fontes de incertezas associadas à carteira dos mesmos em desenvolvimento.

Portanto, este trabalho se justifica por visar a criação de um modelo matemático que poderá auxiliar na tomada de decisão das empresas de inovação, analisando a carteira de projetos em desenvolvimento com o objetivo de otimizar seu tempo e uso de recursos e, por consequência, aumentar seu lucro, tendo em vista a necessidade de melhoria para suprir os requisitos do mercado.

## 1.3 Organização do trabalho

Este trabalho foi dividido da seguinte maneira: o Capítulo 1 traz uma breve introdução, de forma a contextualizar o trabalho como um todo, apresentando seus objetivos, justificativa e sua organização. No Capítulo 2, é explicitada a metodologia utilizada para a execução e sustentação do presente trabalho. O Capítulo 3 é referente à revisão bibliográfica, que trás a base teórica na qual este trabalho foi construído. Já o Capítulo 4 contém a fundamentação teórica voltada para a programação dinâmica. O Capítulo 5 apresenta a descrição do problema da carteira de novos produtos, através da caracterização do modelo proposto, bem como a modelagem matemática

desse modelo, seguida do Capítulo 6, que detalha didaticamente seu funcionamento e, por fim, as conclusões no Capítulo 7.

## 2 Metodologia de pesquisa

De acordo com Cervo et al. (2007) a pesquisa se dá através da necessidade de sanar dúvidas criadas pelos problemas, sejam eles práticos ou teóricos, através de processos científicos com o intuito de gerar uma conclusão. Esses três elementos – problema, método científico e resposta – são indispensáveis para a metodologia de pesquisa, em específico o método científico utilizado, considerando a necessidade de alcançar as respostas para os objetivos explicitados.

Esta pesquisa pode ser classificada, de acordo com Turrioni e Mello (2012), de natureza empírica, tendo os resultados inseridos na resolução de problemas reais, com uma abordagem quantitativa, ou seja, transformando as informações obtidas em medidas quantificáveis e, por fim, quanto ao objetivo, ela tem caráter normativo, que visa, prioritariamente, desenvolver ações para melhorar os resultados disponíveis em literatura.

Levando em conta o cenário da Engenharia de Produção, que envolve uma gama de decisões acerca das diversas atividades desenvolvidas simultaneamente (MORABITO; PUREZA, 2012) atrelada a urgência de receber respostas, torna-se necessário utilizar processos científicos com o objetivo de otimizar a dinamicidade das atividades. Ao encontro desse ideal, a Pesquisa Operacional auxilia na obtenção de resultados, pois segundo Morabito e Pureza (2012), a modelagem gera um aperfeiçoamento na curva de aprendizagem, pois os resultados empíricos tem frequente repetição, o que leva a diminuição do tempo necessário para a sua execução.

Assim, para integrar essas características citadas, primeiramente, foi feita uma busca na literatura para adquirir conhecimento do que já é tratado em modelos similares, como por exemplo, decisões imprescindíveis e aspectos considerados, além de pontos que a literatura não contempla. Por fim, uma análise foi feita de todos esses conjuntos para decidir o que seria válido empregar no modelo final a ser construído. E, por fim, a construção propriamente dita deste modelo, bem como um exemplo de sua aplicação para entender melhor as características intrínsecas presentes nele.

## 3 Revisão de literatura

### 3.1 Sistema de desenvolvimento de produtos

O Sistema de Desenvolvimento de Produtos (SDP) é entendido pelas ações de entrada, processamento e saída, levando em consideração o mercado e a tecnologia. A Gestão desse sistema (GDP) engloba o conjunto de atividades relacionadas ao gerenciamento, envolvendo as decisões e as ações, que tem como objetivo alcançar os resultados de sucesso esperado. Alcançar esse sucesso significa coordenar os agentes internos e externos à empresa, de forma a trabalharem cooperativamente, gerando no sistema os esforços e competências grupais e individuais (CHENG, 2007).

A respeito da concepção de produtos, existem cinco características básicas que devem ser levadas em consideração: Quais são os valores dos atributos do produto, qual será o seu conceito, quais serão as variantes desse produto, qual seu *design* e, por fim, qual será a forma física do produto. Portanto, as decisões de desenvolvimento iniciais definem, não apenas as especificações do produto e a configuração física básica do mesmo, como também suas extensões, como os serviços de ciclo de vida e os suprimentos pós-venda (KRISHNAN; ULRICH, 2001).

O PDP consiste, basicamente, em um conjunto de ações que tem como objetivo alcançar as características do projeto de um produto e de seu processo de produção, para que seja possível produzi-lo. Atingir esse conhecimento é possível, por meio do estudo das necessidades do mercado e das possibilidades tecnológicas e, também, levar em conta as estratégias competitivas e de produto relacionadas à empresa (ROZENFELD et al., 2006). A empresa, com o PDP, tem a possibilidade de criar produtos novos, dentro das exigências do mercado consumidor em menor tempo, atendendo à constante evolução da tecnologia e dos requisitos do ambiente institucional (CLARK; WHEELWRIGHT, 2010).

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) é a ponte que conecta as empresas ao mercado e, por consequência, o mesmo tem um papel importante de identificar – e muitas vezes até antecipar – as necessidades desse mercado, criando soluções, por meio dos projetos de produtos em desenvolvimento, que as sanem. Assim, a competitividade das empresas depende diretamente do PDP, devido à crescente internacionalização dos mercados, aumento da diversidade e variedade dos produtos e redução dos seus ciclos de vida no mercado (ROZENFELD et al., 2006).

O modelo do PDP, adotado por Rozenfeld et al. (2006), se divide em três macrofases que são: (i) Pré-desenvolvimento que é a etapa responsável pelo planejamento estratégico dos projetos de produtos, (ii) desenvolvimento, onde ocorre o planejamento do projeto do produto em si e, por fim, o (iii) pós-desenvolvimento, que acompanha o desempenho do produto no mercado e descontinua o mesmo.

Os projetos de desenvolvimento de produtos, para Rozenfeld et al. (2006), podem ser

classificados de acordo com sua inovação, seja ela voltada para mudanças no processo da empresa ou para inovações do produto voltadas para o mercado. Têm-se, portanto: os projetos radicais, que trazem modificações significativas para o projeto do produto ou em algum processo existente da empresa. Os projetos plataforma ou próxima geração, que trazem alterações válidas no projeto do produto e/ou do processo, contudo não apresentam tecnologias ou materiais novos. E, por fim, os projetos incrementais ou derivados, que criam produtos e processos derivados, com mudanças pequenas relativas aos já existentes.

Para Clark e Wheelwright (2010) existem algumas características do desenvolvimento de produto que são imperativas, tais como velocidade, eficiência e qualidade. Empresas que embarcam nesses imperativos aproveitam de uma vantagem significativa de mercado, pois eles, não só abrem novos mercados e atraem novos consumidores, como também alavancam ativos existentes e melhoram a capacidade de desenvolvimento da organização.

## 3.2 Portfólio de desenvolvimento

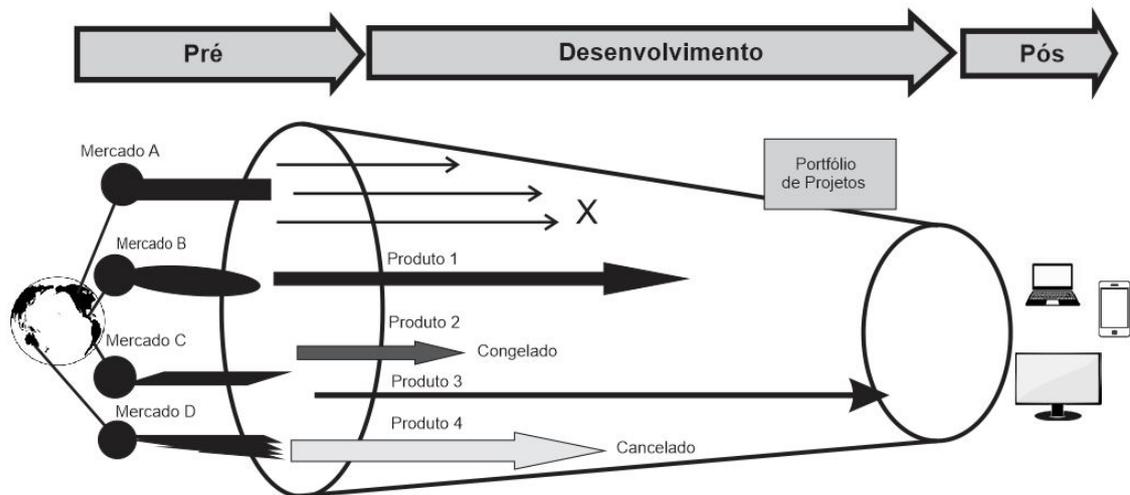
Considerando esse contexto, existe a variedade de projetos em desenvolvimento simultâneo nas empresas de inovação. Rozenfeld et al. (2006) pontua que a organização, a priori, na fase de pré-desenvolvimento, determina qual será o mercado consumidor que ela irá focar e, conseqüentemente, quais projetos de produto que serão levados adiante em seu desenvolvimento. Assim, tem-se o processo de seleção, em estágios, onde os projetos irão competir por recursos simultaneamente, e ao final, os que forem mais economicamente viáveis, se tornam produtos concretos a serem desenvolvidos.

Dado o fato de que estabelecer o PDP de um único produto já é uma tarefa desafiadora, quando vários projetos em desenvolvimento paralelo são levados em conta, considerando a dinamicidade e incerteza do sistema, a dificuldade é elevada, uma vez que há complexidade de alocação de recursos limitados em vários períodos, além de a tomada de decisão afetar, não só o momento da mesma, como também os períodos subsequentes (LOCH; KAVADIAS, 2002).

Para melhor trabalhar o PDP simultâneo, foi desenvolvido o conceito de Funil de Desenvolvimento, ou Funil de Inovação, no qual, primeiramente, tem-se um número grande de ideias, que são selecionadas – por intermédio de estágios de decisões gerenciais – em um número menor de projetos de produtos, que, por sua vez, resultam em um número ainda menor para o desenvolvimento em paralelo e, por fim, apenas alguns produtos são lançados no mercado (ROZENFELD et al., 2006). A Figura 1 mostra este processo através da ilustração de um funil de inovação, explicitando os diferentes requisitos de mercado.

Devem-se alcançar três objetivos na construção do portfólio de uma empresa: A maximização do valor econômico, o balanceamento da carteira e a diminuição dos riscos. O processo de gerenciamento que ocorre no funil auxilia bastante no desdobramento estratégico das empresas, e por conseqüência na obtenção desses objetivos, tendo em vista que o mesmo representa diferentes etapas do desenvolvimento de projetos de novos produtos em um mesmo portfólio

Figura 1 – Funil de Desenvolvimento



Fonte – Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

(ROZENFELD et al., 2006).

Ainda assim, cada projeto pode ter problemas, dificuldades e históricos muito pessoais. Portanto, o desenvolvimento dos mesmos não é uma atividade corriqueira (ROZENFELD et al., 2006). Para Clark e Wheelwright (2010), todos os envolvidos na atividade acerca do PDP se deparam com complexidade e incerteza como obstáculos para alcançar um desenvolvimento rápido, eficiente e de alta qualidade.

Contudo, existem alguns estudos, que utilizam de melhores práticas, por exemplo, buscando explorar tendências de administração acerca do gerenciamento de múltiplos projetos de produtos e, assim, tentar auxiliar em sua tomada de decisão (SCHMIDT et al., 2009).

### 3.3 Níveis de decisão

O gerenciamento eficiente é uma peça fundamental para o objetivo de trabalhos como esse, uma vez que ele irá ditar as decisões que são tomadas ao longo do funil e, assim, obter a carteira ótima de projetos de produto. Para que tal gerenciamento ocorra, é necessário que suas decisões estejam alinhadas com os objetivos da empresa, bem como sejam devidamente separadas em decisões operacionais, táticas e estratégicas.

Ao que se faz presente na literatura, relativo à decisão operacional, seria o sequenciamento de projetos, ou seja, o modelo proposto levar em consideração, na ordem cronológica:

1. Quando iniciar um projeto: Carazo et al. (2010), Li et al. (2015), Li et al. (2016) e Tian et al. (2016);
2. Ordem de desenvolvimento de um projeto: Carazo et al. (2010) e Tian et al. (2016);

3. Preempção de um projeto: Li et al. (2015), Li et al. (2016) e Tian et al. (2016).

Em relação à decisão tática, o que se destaca na literatura e que é fundamental para a construção dos modelos, é a alocação de recursos entre projetos, que, basicamente, decide quanto alocar em cada projeto ou de que forma dividir os recursos disponíveis na empresa. Essa decisão é imperativa nos trabalhos, tendo em vista que as empresas trabalham com limitações de recursos, sejam eles renováveis ou não renováveis, portanto deve-se ser o mais assertivo possível quando essa decisão é trabalhada ((COFFIN; TAYLOR, 1996), (LOCH; KAVADIAS, 2002), (STUMMER; HEIDENBERGER, 2003), (CARAZO et al., 2010), (FIGUEIREDO; LOIOLA, 2012), (LI et al., 2015), (LI et al., 2016), (TIAN et al., 2016), (FIGUEIREDO; LOIOLA, 2017)). Por fim, a decisão estratégica observada na literatura é a de gerenciamento de projetos. Esse gerenciamento determina a capacidade da carteira de duas maneiras distintas:

1. Em cada estágio do modelo: Figueiredo e Loiola (2012) e Figueiredo e Loiola (2017);
2. De forma global: Li et al. (2015), Li et al. (2016) e Tian et al. (2016).

A Tabela 2 apresentada na seção 3.4 sumariza essas decisões no contexto dos trabalhos correlatos que ela apresenta.

### 3.4 Trabalhos correlatos

Dado o processo de desenvolvimento de novos produtos apresentado, existem modelos na literatura que já tratam dele, com a intenção de auxiliar na tomada de decisão. Primeiramente, Figueiredo e Loiola (2012) apresenta um estudo que tem como objetivo fornecer discernimento nas políticas de gerenciamento e tomada de decisões no funil de desenvolvimento do produto através da análise da dinâmica subjacente e determinar qual estratégia permite um melhor desempenho.

Dessa forma, ele, dinamicamente, determina quantos projetos de produtos são apropriados para cada etapa do funil, de forma a aperfeiçoá-lo e, conseqüentemente, estabelecer uma metodologia baseada em simulações para acessar o gerenciamento do funil de desenvolvimento do produto bem como as considerações sobre o rendimento, qualidade do projeto e reavaliação da alocação de recursos entre eles.

Assim as análises foram através da criação de uma condição experimental conduzida para gerar dados. Foi criada uma condição para determinar o comportamento do modelo e gerar políticas na presença de um *trade-off* entre utilização da capacidade e criação de valor. O estudo base do artigo usa pequenas perturbações nos parâmetros no modelo calibrado apresentado. Um caso sensitivo foi adicionado ao caso base citado: foi gerado um cenário o qual há total liberação dos projetos, ou seja, todos eles são aprovados, representando uma condição extrema do teste.

Novamente, Figueiredo e Loiola (2017) trabalharam acerca da seleção de projetos de

produtos no funil de inovação, através do estudo do impacto financeiro do uso de simples e básicas heurísticas de introdução de projetos no desempenho financeiro do desenvolvimento de um produto no funil.

Logo, verificou-se que uma heurística de aumento ou diminuição gradual de introdução de projetos funciona melhor do que a heurística baseada no alvo, na qual o direcionamento do ajuste pode ser alterado. Pôde-se observar também que ter um alvo para a criação de valor acrescenta complexidade considerável ao problema porque os atrasos no processo criam dificuldades em decidir o direcionamento certo dos ajustes, indicando que, na ausência de um modelo para determinar as políticas ótimas, os gerentes do funil de portfólio da empresa devem ajustar as taxas de introdução de projetos de forma gradual.

Por fim, observou-se que o tamanho dos ajustes periódicos foi o principal motor de precisão em tal processo de decisão na empresa; um ajuste menor é mais preciso, mas leva mais tempo para convergir. Um ajuste maior converge mais rápido, mas com menor precisão. Além disso, uma política de introdução de projetos consistente e estável produz melhores resultados do que as políticas que variam em termos da taxa de introdução ideal.

Loch e Kavadias (2002), por sua vez, objetivou desenvolver um modelo de programação dinâmica de escolha de portfólio em que a análise marginal é usada para iluminar a estrutura qualitativa de políticas ótimas.

Tal modelo conseguiu obter duas contribuições principais: Primeiramente, na vertente teórica, ofereceu um dos primeiros modelos compreensíveis de estratégia de alocação de recursos para o desenvolvimento de produto com soluções fechadas. E por fim, no âmbito gerencial, as características da solução podem ser traduzidas em diretrizes gerenciais qualitativas. Para a obtenção dessas contribuições, as análises foram feitas a partir de um exemplo numérico baseado em uma situação real da indústria de diamantes. A partir do mesmo foi explicitada a saída do modelo.

Li et al. (2015) desenvolveu um modelo de seleção de projetos em um portfólio, em um horizonte de planejamento com múltiplos períodos de tempo, levando em conta divisibilidade, reinvestimentos, custo de setup, restrição de cardinalidade e relação de precedência no agendamento. Assim, com o modelo exposto, a divisibilidade dos projetos foi formalmente analisada pela primeira vez no artigo em questão.

Em outra análise, Li et al. (2016) trouxe um modelo que leva em consideração divisibilidade como uma estratégia e interdependência de projetos, além de utilizar restrições como benefícios de sinergia, perda competitiva, orçamento, cardinalidade e relação de precedência.

Dessa forma, as contribuições desse trabalho foram 2 principais: i) A primeira delas diz respeito ao fato da divisibilidade e da interdependência do projeto serem simultaneamente incorporadas em um modelo de seleção de portfólio de projetos pela primeira vez. Para atingir esse objetivo, ampliou-se a interdependência clássica entre os projetos totalmente executados para aquela entre partes de projetos. ii) A segunda contribuição é que uma representação de programação inteira mista mista é derivada para cálculos eficientes do modelo estendido.

A fim de propor um modelo que facilita a obtenção de portfólios eficientes alinhados com os objetivos buscados pela empresa, além do seu agendamento a respeito do tempo ótimo de lançamento de cada projeto do portfólio, Carazo et al. (2010) trouxe um modelo que aborda a seleção de projetos em um portfólio, bem como o agendamento dos mesmos ao longo do desenvolvimento e alocação de recursos.

O mesmo leva em consideração a disponibilidade desigual de recursos não consumidos de um período para o seguinte e as relações que um projeto pode assumir com o outro de um período para o próximo.

Tian et al. (2016) objetivou construir três modelos para seleção no problema de seleção de projetos no funil. Cada modelo levando em consideração um conceito de perda atrelado ao conceito de divisibilidade, sendo: i) perda de recurso, ii) perda de tempo e iii) a junção de i e ii. Dessa forma, os modelos, além de utilizar os conceitos de divisibilidade e perda, utilizam também as seguintes características: restrição de carga de trabalho, capital de giro, restrição de cardinalidade e relação de precedência.

Stummer e Heidenberger (2003) descreveu uma abordagem de três fases para ajudar os gerentes de P&D a obter o portfólio de projetos mais atrativo. Essa abordagem de três fases atende muitas facetas da gestão de portfólio de novos produtos. Começando com um procedimento de triagem que retém projetos dignos de avaliação adicional e, assim, mantém o número de projetos dentro de um tamanho gerenciável. Depois, um modelo de programação linear inteira desenvolvido para a segunda fase identifica todas as carteiras eficientes. E, na fase final, um procedimento interativo exige participação imediata do decisor garantindo que as preferências (implícitas) sejam representadas com precisão.

Por fim, Coffin e Taylor (1996) apresentou uma heurística para o problema de seleção de um portfólio de produtos que leva em consideração, não só as características básicas requeridas nos novos produtos, como também o tempo de desenvolvimento dos mesmos.

Essa heurística considerou o tempo de desenvolvimento desses novos produtos, uma vez que a maior parte dos modelos de seleção não leva isso em conta, contudo esse ponto é relevante, já que tais produtos podem gastar muito tempo, tendo que ser substituídos e, assim, o modelo, na realidade, alcança apenas um portfólio semi-ótimo.

### 3.4.1 Aspectos dos trabalhos

O problema da gestão do portfólio de novos produtos é recorrente na literatura, principalmente quando o enfoque é tentar criar ferramentas que auxiliem na tomada de decisão dos gestores, com o intuito de atingir uma política ótima para tal problema. Assim, é notório que se estude e analise meios de melhorar os modelos já existentes na literatura.

Tendo isso em vista, os modelos da literatura têm aspectos levados em consideração que se diferem na forma que são tratados, justamente devido às características encontradas dentro de cada problema e seu objetivo específico.

#### 3.4.1.1 Dependência

A dependência entre os projetos pode se originar através da disputa entre recursos no processo de desenvolvimento, pois uma vez que eles são limitados, a execução de determinado projeto de produto está suscetível à mudanças causadas por outros. Além disso, a dependência pode estar relacionada ao mercado, uma vez que os requisitos de mercados distintos podem ser similares, ao ponto de um produto suprir a necessidade de ambos e fazer determinado projeto de produto ser desconsiderado.

Para Loch e Kavadias (2002) a dependência entre projetos é feita de forma a determinar o orçamento de cada um dos mesmos. Enquanto, para Li et al. (2016) a dependência entre projetos é usada com o intuito de otimizar recursos e aumentar retornos. Já para Stummer e Heidenberger (2003) essa dependência é utilizada para determinar a entrada (ou não) de novos projetos para o desenvolvimento.

#### 3.4.1.2 Avaliação de retorno

Enquanto Figueiredo e Loiola (2012), Figueiredo e Loiola (2017), Carazo et al. (2010) e Stummer e Heidenberger (2003) focam em uma abordagem que calcula o valor presente líquido (VPL) dos projetos, Loch e Kavadias (2002) opta por uma vertente que calcula a taxa de juros ajustada ao risco do negócio. Além dos citados, Li et al. (2015), Li et al. (2016) e Tian et al. (2016) fazem múltiplos cenários com a união desses aspectos e, também, o cálculo da taxa de juros básica.

#### 3.4.1.3 Restrição de recursos

Relativo à restrição de recursos não renováveis, Figueiredo e Loiola (2012) e Figueiredo e Loiola (2017) projetam uma alocação dinâmica, que tem como base o todo o horizonte de planejamento. Loch e Kavadias (2002), por sua vez, testa os projetos a cada período com base em seu retorno marginal e Li et al. (2015), Li et al. (2016), Carazo et al. (2010), Tian et al. (2016) e Stummer e Heidenberger (2003) avaliam essa restrição de forma estática em cada período. Vale ressaltar que Carazo et al. (2010) faz a mesma análise para os recursos renováveis.

#### 3.4.1.4 Setup dos projetos

Ademais, o setup do projeto, levado em conta por Li et al. (2015), Li et al. (2016) e Tian et al. (2016), representa os custos necessários para a fabricação dos produtos escolhidos para o portfólio final. Vale ressaltar que esses autores consideram que, uma vez escolhido o portfólio, ele não pode ser mais alterado para que, dentre outros motivos, o custo de setup não aumente.

#### 3.4.1.5 Divisibilidade

A divisibilidade se caracteriza por permitir que os projetos em desenvolvimento possam ser congelados por um determinado período de tempo. Esse congelamento é caracterizado nos

modelos de Li et al. (2015), Li et al. (2016) e Tian et al. (2016) através do não investimento de recursos para com o projeto congelado e, quando for alcançado o limite máximo de congelamento, deve-se decidir por descongelá-lo, continuando assim seu processo de desenvolvimento, ou cancelá-lo.

#### 3.4.1.6 Limite de execução de um projeto

Os limites máximo e mínimo por período, são os limites de tempo que cada projeto tem para ser executado em determinada fase do funil de desenvolvimento. Eles são expressos por variáveis que se ajustam a partir das outras características encontradas no modelo, como por exemplo, limite máximo de orçamento por período ((LI et al., 2015), (LI et al., 2016), (TIAN et al., 2016)).

#### 3.4.1.7 Limite de recursos

Por fim, Coffin e Taylor (1996) pontua que, além do limite de recursos para o portfólio, como um todo, deve-se limitar a quantidade consumida de recursos de um projeto por etapa ao longo do funil, para que não haja uma captação desproporcional comparada aos demais projetos.

A Tabela 1 sumariza os aspectos apresentados e os autores que os utilizam em seus modelos:

Tabela 1 – Aspectos considerados no funil de desenvolvimento

	Coffin e Taylor (1996)	Loch e Kavadias (2002)	Stummer e Heidenberger (2003)	Carazo et al. (2010)	Figueiredo e Loiola (2012)	Li et al. (2015)	Li et al. (2016)	Tian et al. (2016)	Figueiredo e Loiola (2017)
<b>(In)dependência entre projetos ou mercados</b>		X					X		
<b>Avaliação de retorno dos projetos:</b> Medida por (i) cálculo do VPL, (ii) taxa de juros básica ou (iii) taxa de juros ajustada ao risco do negócio.		X(iii)	X(i)	X(i)	X(i)	X(i),(ii),(iii)	X(i),(ii),(iii)	X(i),(ii),(iii)	X(i)
<b>Avaliação do retorno do portfólio</b>						X		X	X
<b>Restrição de recursos não renováveis:</b> (i) Financeiros, no início ou ao longo do horizonte, ou (ii) materiais.		X(i)	X(i)	X(i),(ii)	X(i)	X(i)	X(i)	X(i)	X(i)
<b>Restrição de recursos renováveis:</b> (i) Humanos ou (ii) maquinário.				X(i),(ii)					
<b>Setup do projeto</b>						X	X	X	
<b>Divisibilidade</b>						X	X	X	

Tabela 1 – Aspectos considerados (continuação)

	Coffin e Taylor (1996)	Loch e Kavadias (2002)	Stummer e Heidenberger (2003)	Carazo et al. (2010)	Figueiredo e Loiola (2012)	Li et al. (2015)	Li et al. (2016)	Tian et al. (2016)	Figueiredo e Loiola (2017)
<b>Limites para execução do projeto:</b> (i)Máximo por período ou (ii)mínimo por período.						X(i),(ii)	X(i),(ii)	X(i),(ii)	
<b>Limite de recursos, por etapa, destinado a um projeto durante todo o horizonte</b>	X								
<b>Incertezas:</b> De natureza relacionada ao (i) orçamento dos projetos ou (ii) agendamento de projetos.	X(i)	X(i)	X(i)	X(i),(ii)	X(i)	X(i)	X(i)	X(i),(ii)	X(i)

### 3.4.2 Decisões incorporadas nos modelos

Assim como as características são determinantes e recorrentes nos modelos estudados da literatura, as decisões ao longo do funil também devem ser levadas em consideração para a obtenção do objetivo final.

#### 3.4.2.1 Gerenciamento de projetos

A priori, tem-se a determinação da capacidade de forma dinâmica, ou seja, o número de projetos que vão ser desenvolvidos em cada estágio. Figueiredo e Loiola (2012) e Figueiredo e Loiola (2017) usam de um limiar de seleção em cada etapa do funil, assim esse limiar é determinado por algumas características, por exemplo, complexidade dos projetos. À medida que se passa uma etapa do funil, toma-se a decisão de reavaliar esse limiar, com o intuito de selecionar os projetos que irão continuar ou não.

#### 3.4.2.2 Alocação de recursos

Relativo ao quanto alocar em cada projeto, isto é, qual a melhor forma de dividir os recursos, cada autor segue sua linha particular de decisão. Enquanto Figueiredo e Loiola (2012) analisa de forma dinâmica para decidir quanto alocar em cada projeto ativo, levando em conta a quantidade de projetos existentes no funil, Figueiredo e Loiola (2017) usa, de forma dinâmica também, uma heurística baseada em alvo com o intuito de avaliar o VPL de cada projeto em cada etapa. Se um investimento foi feito e o retorno não foi satisfatório, decide-se por recalcular a alocação de recursos.

Loch e Kavadias (2002), por sua vez, cria um conjunto de orçamentos fixos para cada linha de desenvolvimento do portfólio. Cada um desses orçamentos é alocado decidindo beneficiar a linha de desenvolvimento com maior retorno marginal.

Já Coffin e Taylor (1996) tem uma abordagem mais simples, por se tratar de uma heurística, que apenas decide um limite de orçamento para o processo como um todo, mas não faz distinção na hora de separar por projetos. Tian et al. (2016) segue uma linha similar, contudo decide essa quantidade fixa pré-determinada para cada período.

Li et al. (2015) aplica um investimento inicial no começo do modelo. Depois disso, o investimento é calculado pelo VPL de cada período e o modelo decide em qual projeto será aplicado a quantidade de investimento, dependendo da proporção de retorno esperado. Todavia, para Li et al. (2016), os benefícios de cada projeto consistem no retorno individual, somados dos possíveis retornos de coesão e dos retornos de perda competitiva. Esses benefícios são revisitados a cada período do modelo, com um limite estipulado para eles, e a partir desse valor, o modelo toma a decisão de alocação proporcional à esse retorno esperado.

Para Carazo et al. (2010), a alocação é decidida em cada período e, caso não seja consumido totalmente os recursos, e exista um projeto que tenha coesão com algum outro em desenvolvimento, pode-se transferir o restante dos recursos para ele no período seguinte. Por fim, Stummer e Heidenberger (2003) também aloca os recursos em cada período, contudo é levado em consideração o VPL para que o modelo tome a decisão de alocar o recurso em determinado projeto.

#### 3.4.2.3 Sequenciamento de projetos

Ao que diz respeito a quando iniciar um projeto, Li et al. (2015), Li et al. (2016), Tian et al. (2016) e Carazo et al. (2010) decidem iniciar os projetos no início do modelo, contudo apenas Li et al. (2016) e Carazo et al. (2010) também decidem inserir projetos quando se tem a possibilidade de aumentar o número de projetos interdependentes, assim aumenta-se o ganho por coesão.

Ainda voltado para o sequenciamento, contudo pertinente à ordem de produção do projeto, Carazo et al. (2010) e Tian et al. (2016) decidem essa ordem depois de definir o portfólio completo de projetos a serem produzidos e determinar se algum deles depende do outro para ser executado. Por fim, a decisão de preempção dos projetos se dá, para Li et al. (2015) e Li et al. (2016) por vários motivos, dentre eles a necessidade de aumentar o retorno ou o limite de projetos por determinado período.

A Tabela 2 mostra as decisões que os autores citados levam em consideração, bem como o nível hierárquico em que elas se encontram relativo ao planejamento:

Tabela 2 – Decisões tomadas no funil de desenvolvimento

	<b>DECISÃO ES-TRATÉGICA:</b> Gerenciamento de projetos: Determinar a capacidade da carteira (i) em cada estágio do modelo ou (ii) de forma global.	<b>DECISÃO TÁTICA:</b> (i) Alocação de recursos entre projetos: Decide quanto alocar em cada projeto ou de que forma dividir os recursos.	<b>DECISÃO OPE-RACIONAL:</b> Sequenciamento dos projetos: O modelo leva em consideração na ordem de execução (i) quando dar início a um projeto, (ii) a ordem de produção de um projeto ou (iii) preempção do projeto.
Coffin e Taylor (1996)		X	
Loch e Kavadias (2002)		X	
Stummer e Heidenberger (2003)		X	
Carazo et al. (2010)		X	X(i),(ii)
Figueiredo e Loiola (2012)	X(i)	X	
Li et al. (2015)	X(ii)	X	X(i),(iii)
Li et al. (2016)	X(ii)	X	X(i),(iii)
Tian et al. (2016)	X(ii)	X	X(i),(ii),(iii)
Figueiredo e Loiola (2017)	X(i)	X	

### 3.4.3 Dinamicidade

Os modelos dispostos na literatura, ainda, podem ser classificados como dinâmicos ou estáticos. Um modelo é dito dinâmico quando a sua tomada de decisão leva em conta períodos anteriores, ou seja, ele se aperfeiçoa baseando-se nos próprios estados que foram atingidos após suas transições e, com isso, há uma melhora na tomada de decisão, portanto tem-se a oportunidade de encontrar uma política melhor para o problema em questão.

Os únicos autores citados que utilizam da dinamicidade ao longo do problema da carteira de projetos de novos produtos são Figueiredo e Loiola (2012) e Figueiredo e Loiola (2017), de forma que ela é explicitada na alocação de recursos ao longo do funil. Dessa forma, é analisada a decisão do estado anterior e a relação entre retorno esperado e retorno atingido e, se necessário, há uma mudança na tomada de decisão atual, ou seja, na política tomada pelo modelo.

Figueiredo e Loiola (2012) ainda pontua que, por mais que haja uma melhora no modelo quando ele tem caráter dinâmico, em termos de proximidade com a realidade, ele se torna custoso de ser tratado, do ponto de vista da tomada de decisões.

### 3.4.4 Posicionamento do presente trabalho

Assim, após a análise literária apresentada, o presente estudo contém as seguintes decisões apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Decisões do presente trabalho

	<b>DECISÃO ES-TRATÉGICA:</b> Gerenciamento de projetos: Determinar a capacidade da carteira (i) em cada estágio do modelo ou (ii) de forma global.	<b>DECISÃO TÁTICA:</b> Alocação de recursos entre projetos: Decide quanto alocar em cada projeto ou de que forma dividir os recursos.	<b>DECISÃO OPE-RACIONAL:</b> Sequenciamento dos projetos: O modelo leva em consideração na ordem de execução (i) quando dar início a um projeto, (ii) a ordem de produção de um projeto ou (iii) preempção do projeto.
Presente trabalho	X(i)	X	X(i),(iii)

Tais decisões estarão associadas aos seguintes aspectos considerados apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Aspectos do presente trabalho

	<b>(In)dependência entre projetos ou mercados</b>	<b>Avaliação de retorno dos projetos:</b> Medida por (i) cálculo do VPL, (ii) taxa de juros básica ou (iii) taxa de juros ajustada ao risco do negócio.	<b>Avaliação do retorno do portfólio</b>	<b>Restrição de recursos não renováveis:</b> (i) Financeiros, no início ou ao longo do horizonte, ou (ii) materiais.	<b>Restrição de recursos renováveis</b>
Presente trabalho	X	X(i)	X	X(i)	
	<b>Setup do projeto</b>	<b>Divisibilidade</b>	<b>Límites para execução do projeto</b>	<b>Límite de recursos, por etapa, destinado a um projeto durante todo o horizonte</b>	
Presente trabalho		X		X	

Este modelo terá como diferencial, além da própria união dos tópicos supracitados, a decisão de fazer, ou não, determinado projeto, abandonar um projeto e acelerar um projeto. Além disso, suas decisões serão tratadas de forma dinâmica.

Ele também terá como aspectos risco dos projetos, tempo de desenvolvimento e balanceamento por área do projeto. Por fim, ele irá conter incertezas de retorno de mercado, recursos, performance, requisitos de mercado e cronograma baseadas em Huchzermeier e Loch (2001), além da incerteza de chegada de novos projetos.

## 4 Fundamentação teórica

### 4.1 Programação dinâmica

Problemas de decisões sequenciais, ou seja, problemas que alteram sua decisão a partir de novas informações ao longo do tempo são encontrados em vários contextos, dentre elas, o investimento de capital em determinado portfólio. Tanto a formulação quanto a resolução destes problemas podem ser custosas. Assim, a programação dinâmica estocástica pode ser mais adequada, pois incorpora tanto as incertezas que o problema pode estar sujeito na realidade, quanto a dinamicidade (POWELL, 2007).

#### 4.1.1 Processo de decisão de Markov

Para Powell (2007) a teoria do processo de decisão de Markov pode ser utilizada para discernir características estruturais que podem simplificar, drasticamente, os algoritmos computacionais, ajudando a resolver programas dinâmicos e estocásticos. Assim, é necessário considerar:

- Um espaço  $S$  discreto;
- Um conjunto de ações  $a \in A$ , das quais é possível calcular um custo (minimização) ou uma contribuição (maximização) dado por  $C(s, a)$ ;
- Por fim, que exista uma matriz de transição  $p_t(S_{t+1}|S_t, a_t)$  que dê a probabilidade de transição do estado presente  $S_t$  para o estado  $S_{t+1}$ .

#### 4.1.2 Equação de Bellman

A equação de Bellman propõe a resolução dos problemas dinâmicos de uma forma que leva em conta probabilidade de determinada ação ser tomada e, conseqüentemente, o retorno dessa ação e os valores que ela irá assumir. De acordo com Powell (2007) a equação padrão de Bellman, que resulta em recursividade, é dada da seguinte forma:

$$V_t(S_t) = \max_{a_t \in A_t} (C_t(S_t, a_t) + \gamma * \sum_{s' \in S} \mathbb{P}(S_{t+1} = s' | S_t, a_t) V_{t+1}(s')) \quad (4.1)$$

Dessa forma, o valor  $V_t$  no estado  $S_t$  será igual o valor máximo em  $a \in A_t$ , que são todas as ações possíveis naquele determinado período  $t$ , dentro das restrições do problema, dos custos ou das contribuições relacionados ao estado e sua ação, somados com a multiplicação de um fator de desconto  $\gamma$  e o somatório da probabilidade de se estar em determinado estado futuro multiplicando o valor de retorno daquele próximo estado.

Além dessa forma padrão apresentada, a equação de Bellman também pode ser escrita da seguinte maneira:

$$V_t(S_t) = \max_{a_t \in A_t} (C_t(S_t, a_t) + \gamma * \mathbb{E}\{V_{t+1}(S_{t+1})|S_t\}) \quad (4.2)$$

Onde, simplesmente, usa-se, ao invés do somatório das probabilidades, uma expectativa em função do possível próximo estado. A partir disso, os problemas podem ser resolvidos por indução retroativa. Essa versão da equação também é chamada de *Equação de Bellman na forma de esperança matemática*.

### 4.1.3 As três Maldições da dimensão

As dimensões, em programação dinâmica, estão ligadas às ações que podem ser tomadas, aos possíveis resultados de cada decisão e ao estado propriamente dito de cada ação. Dessa forma, as maldições da dimensão podem se manifestar devido à quantidade existente em cada conjunto de dimensões, bem como às combinações entre as dimensões.

Para Powell (2007) as maldições da dimensão são descritas da seguinte forma:

1. Dimensão de estados: Se um conjunto de estados qualquer  $S_t$  tem  $K_1$  dimensões, e caso  $S_{tk_1}$  podem ter  $O$  valores, então é possível que o problema em questão tenha  $O^{K_1}$  diferentes estados;
2. Dimensão de saída: Seja uma variável aleatória  $X_t$  que tenha  $K_2$  dimensões. Se  $X_{tk_2}$  puder assumir  $N$  saídas, então a dimensão de saída desse problema pode ter  $N^{K_2}$  saídas;
3. Dimensão de ação: Levando em conta um vetor de decisão  $D_t$  que pode ter  $K_3$  dimensões. Se  $D_{tk_3}$  pode ter  $M$  saídas, assim é possível ter  $M^{K_3}$  saídas.

Em suma, um estágio  $t$  pode ter  $O^{K_1}$  possíveis valores que levam a até  $O^{K_1} * N^{K_2} * M^{K_3}$  estados no estágio  $t + 1$ . Isto demonstra o rápido crescimento da dimensão do problema, em especial, para situações reais.

Nestes casos, a indução retroativa não funciona, portanto é necessário métodos de aproximação. Para alguns casos, é possível definir políticas ótimas monótonas de maneira analítica. Mesmo com esses limitantes, a ideia por trás do processo de decisão de Markov fornece uma orientação relativa ao comportamento e as informações críticas dos algoritmos de problemas mais gerais que se aproximam do mundo real. Além disso, o processo de decisão de Markov pode conseguir identificar a estrutura de políticas monótonas, que são políticas nas quais as decisões aumentam ou diminuem à medida que o número de estados cresce (POWELL, 2007).

Os problemas dinâmicos e estocásticos demandam, em sua maioria, uma capacidade computacional muito elevada, o que gera um tempo inviável de resolução dos seus problemas.

A programação dinâmica, contudo, já identificou vários problemas aplicáveis que evitam as maldições da dimensão, por terem um conjunto pequeno de ações, expectativas facilmente computáveis e/ou dimensões espaciais pequenas (POWELL, 2007).

## 5 Descrição e modelagem do problema da gestão da carteira de projetos de desenvolvimento de novos produtos

### 5.1 Características do modelo

#### 5.1.1 Dinamicidade

O modelo apresentado neste trabalho tem caráter dinâmico, uma vez que ele se reavalia de forma contínua, ou seja, em determinado período de tempo os aspectos que o compõem serão revisados de forma a atingir o objetivo principal, que é o de maximizar o retorno do portfólio de projetos de produto a serem lançados.

#### 5.1.2 Estocasticidade

O modelo também conta com a característica de ser estocástico. Dessa forma, ele é dependente de uma ou mais variáveis aleatórias. Tais variáveis estarão ligadas a alguns parâmetros de constituem o modelo e não podem ser determinados a priori, como por exemplo, o valor de retorno do projeto em seu lançamento.

#### 5.1.3 Horizonte

Este modelo tratará o problema do gerenciamento da carteira de projetos de desenvolvimento de novos produtos com um horizonte infinito, portanto, a transição de estados se dará por estágios e não por tempo decorrido.

### 5.2 Projetos e modos

#### 5.2.1 Áreas

Os projetos em desenvolvimento, geralmente, pertencem a diferentes áreas de mercado. Assim, caso haja uma baixa no retorno de uma determinada área a empresa será capaz de suprir os custos com os lucros de outras e, assim, evitar ter prejuízo. Logo, o modelo presente terá um balanceamento por área dos projetos, que está ligado a um limite mínimo, em percentual, do consumo de recursos para cada área, garantindo assim a manutenção e desenvolvimento de um portfólio mais heterogêneo.

## 5.2.2 Independência entre projetos

A dependência entre os projetos em desenvolvimento está no modelo proposto representada pelo orçamento total disponível. Uma vez que este é limitado, o aumento dos custos de determinado projeto influencia diretamente nos outros que estão em desenvolvimento simultâneo, portanto cria-se uma correlação entre eles.

## 5.2.3 Divisibilidade

O modelo também incorporará a possível divisibilidade dos projetos, uma vez que essa é uma característica muito importante, relativa à tomada de decisão, já que ela abre um leque de possibilidades ainda maior. Pode-se congelar um projeto, por exemplo, por estratégia de dedicar mais recursos em outro projeto que tenha um possível retorno futuro mais rentável ou, ainda, pode-se congelar um projeto por escassez de recursos. Em todos os casos, o modelo terá parâmetros de tempo de congelamento de tempo máximo de congelamento de cada projeto, pois caso o tempo proposto atinja um limite, o projeto deve ser abandonado ou continuado.

## 5.2.4 Duração de cada etapa

O funil de inovação é separado por etapas, nas quais acontece o progresso da execução de cada projeto de produto. Esse progresso, por sua vez, é delimitado por períodos que são peculiares de cada projeto, de forma que cada um deles tem uma lista de tempos que contém os períodos necessários para que um projeto passe de uma etapa para a outra do funil.

Portanto, a progressão dos projetos se dá através da passagem de um estágio para o outro, que coincide com a duração de um período dos projetos.

## 5.2.5 Restrição de recursos

O recurso do presente modelo é não renovável, mais especificamente, o orçamento total que é disponibilizado em cada empresa para a pesquisa e desenvolvimento de projetos de novos produtos. Uma vez que esse orçamento é limitado, o custo de cada projeto será uma característica importante na tomada de decisão do modelo.

As decisões relativas aos recursos estão associadas, por sua vez, ao limite de orçamento para cada projeto e aos modos que esse projeto pode ser executado.

### 5.2.5.1 Modos

Os modos que os projetos contêm são distintos em suas características, pois serão elas que irão ditar a forma que determinado projeto será executado ao longo do funil de inovação. Sendo assim, dependendo de seus atributos, cada modo tem uma necessidade de recursos distinta e, portanto, tem um custo de execução maior ou menor, em comparação aos demais. Deste modo,

é importante que o modelo decida qual o melhor modo usar para executar um projeto, de forma a atingir seus objetivos.

#### 5.2.5.2 Limite de orçamento para cada projeto

O limite de recursos de cada projeto é representado através de uma restrição no sub-problema do modelo de forma que o limite de recursos restringirá o consumo máximo de cada projeto, em percentual, do total disponível. Dessa forma, não haverá uma grande captura de recursos por apenas um projeto, e assim, não haverá uma desproporcionalidade no portfólio gerado.

#### 5.2.6 Função de retorno

Outro aspecto considerado é a avaliação de retorno do projeto, que é contabilizada por uma função que depende do desempenho esperado de cada projeto, bem como o tempo residual para seu lançamento. Esse retorno será levado em conta apenas para projetos que forem lançados. Assim, apenas no estágio final do desenvolvimento dos novos produtos que ele terá um valor maior que zero. Ademais, o risco do projeto está diretamente ligado a este parâmetro, já que os projetos lançados estão sujeitos às incertezas que afetam seu retorno.

### 5.3 Objetivo do modelo

O objetivo deste modelo é determinar um portfólio de projetos de produto em desenvolvimento que irá maximizar o lucro, de forma que esse lucro é dado pela diferença do retorno final, dependente do desempenho esperado de cada projeto e do seu tempo residual de lançamento, bem como dos custos de execução de cada projeto.

### 5.4 Decisões

#### 5.4.1 Gerenciamento dos projetos

A decisão de gerenciamento de projetos, voltada para determinar a capacidade da carteira, será definida em cada estágio do modelo de forma dinâmica, ou seja, a capacidade da carteira será reavaliada em cada transição que o modelo passar, de forma que o parâmetro principal que determinará essa capacidade será o orçamento alocado em cada etapa do funil.

#### 5.4.2 Alocação de recursos

A alocação de recursos será feita de forma a decidir de qual modo o projeto de produto será executado naquela etapa do funil. Tendo em vista os diferentes custos que cada modo tem

e os retornos esperados de cada projeto, o modelo deve determinar qual é a melhor forma de executar o projeto de maneira a atingir um maior retorno.

### 5.4.3 Sequenciamento dos projetos

#### 5.4.3.1 Início de um projeto

Os projetos que forem inseridos no modelo terão seu início, de forma simultânea, no primeiro estágio, porém seus termos não serão concomitantes uma vez que cada um deles necessita de um tempo de execução diferente dados suas características e necessidades de recursos. Ainda assim, o modelo também aceitará a entrada de novos projetos enquanto outros já estão em desenvolvimento. Contudo, para esse trabalho, essas novas entradas serão exemplificadas como um processo estocástico.

#### 5.4.3.2 Dividir um projeto

A decisão de dividir ou não determinado projeto também está alinhada com o objetivo do modelo. Caso não haja um retorno esperado válido para aquele determinado momento do projeto, este pode ser congelado até que tenha-se uma melhora no panorama do mercado. Vale ressaltar que os projetos têm um limite de congelamento máximo, de forma que, quando atingido, o modelo decide por continuar ou abandonar tal projeto.

## 5.5 Estágio

O estágio pode ser definido como o período de tempo no qual o sistema pode ser reavaliado. Sendo assim, para o problema em questão, que tem horizonte infinito, o estágio será determinado como o instante de tomada de decisão e representado por  $t \in \mathbb{N}$ .

## 5.6 Estado

O estado, como o nome já diz, assimila as informações necessárias para descrever, bem como avaliar, o sistema no instante corrente em questão. Dado o problema da carteira de projetos de novos produtos em desenvolvimento, o estado, caracterizado como  $S^{(t)}$ , contém os seguintes parâmetros:

- Etapa de desenvolvimento que o projeto  $p$  se encontra: O conjunto  $P_e^{(t)}$  reúne todos os projetos que estão em determinada etapa  $e \in E$  do funil de inovação;
- Orçamento: O parâmetro  $or^{(t)}$  foi criado para expressar a quantidade de recurso total investido pela empresa;

- Características dos projetos  $p$ : Os projetos também fazem parte do estado, portanto suas características devem ser consideradas, que são o custo do projeto  $c_{e,m,p}^{(t)}$ , a função de retorno esperado de cada projeto  $F_p^{(t)}$ , que, por sua vez, depende do desempenho esperado de cada projeto  $d_p^{(t)}$  e do tempo residual para a próxima etapa  $\tau_p^{(t)}$ . Além dos citados, os projetos também têm limite de tempo de congelamento  $cgmax_p^{(t)}$ , o tempo acumulado de congelamento  $cgt_p^{(t)}$  e da divisibilidade, ou não,  $div_p^{(t)}$  dos projetos.

Assim, é possível apresentar o estado do problema pela seguinte forma:

$$S^{(t)} = (P_e^{(t)}, qn^{(t)}) \quad (5.1)$$

## 5.7 Incertezas

O retorno de um produto é incerto tendo em vista que seu valor é dependente de uma série de fatores atrelados às decisões que são tomadas ao longo do funil. A transição de um estado para o outro envolve análises que, muitas vezes, não contém informações conhecidas para auxiliar o responsável pelo desenvolvimento dos projetos simultâneos a determinar qual o melhor caminho a ser seguido.

O modelo engloba as incertezas presentes em Huchzermeier e Loch (2001), que pontuam que o valor de um projeto está em função de cinco variabilidades:

1. Retorno de mercado: Está atrelado a um conjunto de fatores totalmente imprevisíveis, tais como as decisões dos concorrentes, mudanças demográficas, produtos substitutos, previsão de vendas, dentre outros. Logo, o resultado desse produto no mercado só pode ser projetado, e não garantido;
2. Recursos: A previsão dos recursos utilizados ao longo do desenvolvimento dos projetos nem sempre é algo assertivo pois, muitas vezes, seus custos podem ser maiores do que os cálculos iniciais ou, até mesmo, menores do que a quantidade dedicada àquele projeto;
3. Performance: O desempenho ao longo da execução de um projeto também é incerto uma vez que o modo de execução será reavaliado entre os estados e suas transições. Além disso, quanto mais inovador o produto for, maior será a incerteza relativa à ele, bem como seu comportamento ao decorrer de sua produção;
4. Requisitos de mercado: Essa incerteza está atrelada à forma de contato entre as empresas e os consumidores. Muitas vezes, o que é desenvolvido dentro de empresas de inovação e, conseqüentemente, lançado, não é aquilo que o mercado espera. Logo, o retorno daquele projeto será comprometido, uma vez que os custos para desenvolvê-lo já foram despendidos;

5. Cronograma: Por fim, a incerteza do cronograma está relacionada com a previsão do lançamento do produto no mercado. Caso ocorra algum atraso, devido à uma série de fatores, pode ocorrer uma diminuição significativa no retorno financeiro para a empresa.

Essas incertezas se manifestam através da função de retorno, que só será maior que zero na etapa final de execução do projeto em questão. Portanto,  $F_p^{(t)}(d, \tau)$  é determinada pelas incertezas de retorno de mercado e requisitos de mercado. Além disso, os parâmetros que compõem essa função, que são o desempenho esperado  $d_p^{(t)}$  e o tempo residual  $\tau_p^{(t)}$ , também estão atrelados às incertezas de performance e cronograma, respectivamente.

Já a incerteza de disponibilidade de recursos que podem ser despendidos para os projetos em desenvolvimento está representada pelos modos  $M_p$  contidos no modelo. Uma vez que a necessidade de recursos dele é fixa, a decisão de fazer um projeto com determinado modo é feita pelo modelo.

Além das incertezas presentes em Huchzermeier e Loch (2001), o modelo desenvolvido contém incerteza em relação à chegada de um novo projeto no início de um estágio, uma vez que essa chegada é representada por um processo estocástico e, em acréscimo, esse novo projeto irá causar um impacto incerto nos outros já em desenvolvimento, dependendo das suas características.

## 5.8 Transição

A função de transição do problema determina como o sistema progride em seus estágios de decisão. Logo, ela determina a dinâmica do processo como um todo. Sendo assim, para o problema apresentado, o estado  $S^{(t)}$  terá uma evolução em três momentos principais.

Primeiramente, no tempo residual de um projeto  $p$  para a mudança de etapa, representado por  $\tau_p^{(t)}$ , sua transição se dá por meio de uma função que engloba o modo  $m$  que o projeto  $p$  está sendo executado e o próprio tempo residual do período anterior. Isso acontece pois o tempo de lançamento varia de acordo com a decisão da forma que determinado projeto vai ser executado, bem como os outros projetos em desenvolvimento e os recursos disponíveis para eles. Ademais, ela ainda depende das incertezas, devido a probabilidade de atraso. Dessa forma:

$$\tau_p^{(t+1)} = f(m_p^{(t)}, \tau_p^{(t)}) \quad (5.2)$$

Além disso, essa dinâmica também ocorre com a função de retorno do projeto  $F_p^{(t)}$  que está ligada ao desempenho do produto, de acordo com seu modo de execução, e seu tempo remanescente para lançamento. Além disso, esse retorno considera, também, a correlação de produtos já existentes e em desenvolvimento. Portanto:

$$F_p^{(t+1)} = f(d_p^{(t)}, \tau_p^{(t)}) \quad (5.3)$$

Finalmente, o conjunto  $P$  também passa pela transição de estados. Uma vez que ele representa todos os projetos  $p$  em desenvolvimento no funil, a cada momento que as decisões são reavaliadas, projetos podem ser lançados, congelados e até mesmo cessados, bem como um novo projeto pode ser introduzido no início do estágio. Vale ressaltar que o conjunto  $P_c$  representa todos os projetos que estão congelados em determinado estágio. Assim, esses projetos não vão sofrer transições internas, embora possam sofrer transições externas relacionadas com o mercado.

## 5.9 Modelagem do subproblema de otimização associado

Para apresentar a modelagem relativa ao subproblema de otimização associado ao estágio corrente é necessário, primeiramente, estabelecer os conjuntos, parâmetros e variáveis necessários. A Tabela 5 reúne todos os conjuntos necessários do modelo, além dos já citados previamente:

Tabela 5 – Conjuntos do modelo proposto

Símbolo	Descrição
$A^{(t)}$	Conjunto de áreas dos projetos em desenvolvimento
$E^{(t)}$	Conjunto de etapas do funil de inovação
$P^{(t)}$	Conjunto de projetos de produto em desenvolvimento
$P_a^{(t)}$	Conjunto de projetos por área de desenvolvimento, de forma que $\bigcup_{\forall a \in A} P_a^{(t)} = P^{(t)}$
$P_e^{(t)}$	Conjunto de projetos por etapa do funil, de forma que $\bigcup_{\forall e \in E} P_e^{(t)} = P^{(t)}$
$P_c^{(t)}$	Conjunto de projetos que podem ser congelados, de forma que $P_c^{(t)} \subseteq P^{(t)}$
$P_l^{(t)}$	Conjunto de projetos que podem ser lançados, caso sejam desenvolvidos até sua última etapa, de forma que $P_l^{(t)} \subseteq P^{(t)}$
$M_p^{(t)}$	Conjunto de modos de execução de cada projeto $p \in P^{(t)}$

A partir disso, são dispostos os parâmetros do problema em questão, sumarizados na Tabela 6:

Tabela 6 – Parâmetros do modelo proposto

Símbolo	Descrição
$c_{e,m,p}^{(t)}$	Custo do modo de operação $m \in M_p^{(t)}$ no projeto $p \in P^{(t)}$
$F_p^{(t)}$	Função de retorno do produto $p \in P_l$ que depende do desempenho esperado e o tempo residual, de forma que $F_p^{(t)}$ só será maior que zero na etapa final de execução de $p$
$or^{(t)}$	Orçamento disponível
$d_p^{(t)}$	Variação do desempenho esperado pelo produto $p \in P_l^{(t)}$
$\delta_m^{(t)}$	Variação do desempenho esperado pelo modo $m \in M_p$
$Psucesso_m^{(t)}$	Probabilidade de sucesso do modo $m \in M_p$
$Patraso_m^{(t)}$	Probabilidade de atraso do modo $m \in M_p$
$ecestagio_m$	Variação da economia de estágio do modo $m \in M_p$
$\phi$	Limite máximo percentual de alocação de recursos
$\beta$	Limite mínimo percentual de alocação de recursos por área
$cgmax_p$	Limite de tempo de congelamento do projeto $p \in P^{(t)}$
$cgt_p^{(t)}$	Informa o tempo acumulado de congelamento do produto $p \in P^{(t)}$
$div_p$	Informa se pode ou não dividir o projeto $p \in P^{(t)}$
$\tau_p^{(t)}$	Tempo residual de mudança para a próxima etapa do projeto $p \in P^{(t)}$

Já, em relação às variáveis, no total são cinco, das quais três são binárias e duas são contínuas, apresentadas na Tabela 7:

Tabela 7 – Variáveis do modelo proposto

Símbolo	Descrição
$y_p^{(t)}$	Variável binária, que tem o valor 1 caso o projeto seja abandonado e 0 caso contrário
$f_p^{(t)}$	Variável binária, que tem o valor 1 caso o projeto seja congelado e 0 caso contrário
$w_{m,p}^{(t)}$	Variável binária, que tem o valor 1 caso o projeto continue sendo executado de modo $m \in M_p$ ou 0 caso contrário
$tn_e^{(t)}$	Quantidade de orçamento alocado na etapa do funil $e \in E$

Dada as informações expostas, a construção que representa o subproblema de otimização é dada por:

$$V(s) = \max_{u \in U} \sum_{p \in P_l^{(t)}} \sum_{m \in M_p^{(t)}} F_p^{(t)} * w_{m,p}^{(t)} - \sum_{e \in E^{(t)}} tn_e^{(t)} \quad (5.4)$$

Sujeito ao conjunto de restrições expresso por  $U$ , tal que:

$$y_p^{(t)} + \sum_{m \in M_p^{(t)}} w_{m,p}^{(t)} = 1, \quad \forall p \in P^{(t)} \setminus \{P_c^{(t)}\} \quad (5.5)$$

$$y_p^{(t)} + f_p^{(t)} + \sum_{m \in M_p^{(t)}} w_{m,p}^{(t)} = 1, \quad \forall p \in P_c^{(t)} \quad (5.6)$$

$$\sum_{m \in M_p^{(t)}} \sum_{p \in P_e^{(t)}} w_{m,p}^{(t)} * c_{e,m,p}^{(t)} \leq tn_e^{(t)}, \quad \forall e \in E^{(t)} \quad (5.7)$$

$$w_{m,p}^{(t)} * c_{e,m,p}^{(t)} \leq \phi * tn_e^{(t)}, \quad \forall e \in E^{(t)}, \forall m \in M_p^{(t)}, \forall p \in P_e^{(t)} \quad (5.8)$$

$$\sum_{m \in M_p^{(t)}} \sum_{p \in P_a^{(t)}} w_{m,p}^{(t)} * c_{e,m,p}^{(t)} \geq \sum_{e \in E^{(t)}} \beta * tn_e^{(t)}, \quad \forall a \in A^{(t)} : P_a \neq \emptyset \quad (5.9)$$

$$\sum_{e \in E^{(t)}} tn_e^{(t)} \leq or^{(t)} \quad (5.10)$$

$$y_p^{(t)} \in \{0, 1\} \quad (5.11)$$

$$f_p^{(t)} \in \{0, 1\} \quad (5.12)$$

$$w_{m,p}^{(t)} \in \{0, 1\} \quad (5.13)$$

$$tn_e^{(t)} \in \mathbb{Z}_+ \quad (5.14)$$

A função objetivo, representada por 5.4, busca maximizar o retorno em um estado  $s$  do problema, através da diferença entre o retorno e a quantidade de recurso alocada por período, no qual as variáveis  $u$  estão em função do conjunto de restrições  $U$ .

As restrições 5.5 e 5.6 dizem respeito ao status do projeto  $p$ . Enquanto a restrição 5.6 garante que um projeto pode estar ativo - de determinado modo  $m \in M_p^{(t)}$  - abandonado, ou congelado, para todos os projetos que estejam inclusos no conjunto  $P_c^{(t)}$ , ou seja, que podem ser congelados, a restrição 5.5 impõe a mesma condição, contudo no conjunto  $P^{(t)}$  excluindo  $P_c^{(t)}$ . Logo, ela é aplicada para todos os projetos em desenvolvimento, menos para aqueles que podem ser congelados.

A restrição 5.7 determina a alocação de recursos por etapa do funil. A necessidade de recursos  $c_{e,m,p}^{(t)}$  relativa ao modo de execução do projeto  $p$  ativo em  $w_{m,p}^{(t)}$  deve ser menor ou igual a quantidade de recursos alocados  $tn_e^{(t)}$  em determinada etapa do funil  $e \in E^{(t)}$ .

Também deve haver restrições que controlem a quantidade alocada, em percentual, de recursos nos projetos, de forma individual, por etapa do funil. Assim, a restrição 5.8 assume esse papel, controlando os recursos não renováveis.

A restrição 5.9 foi criada para manter o balanceamento de áreas dentro do funil de desenvolvimento do modelo. Dessa forma, determinada área deve consumir, pelo menos uma porcentagem do total de recursos disponíveis, representada por  $\beta$ .

Deve-se utilizar, no máximo, a quantidade de orçamento disponível, logo a restrição 5.10 impõem que o somatório da quantidade de recursos alocados ao longo do funil deve ser menor ou igual ao orçamento total  $or^{(t)}$ .

Por fim, as restrições 5.11 à 5.14 dizem respeito aos domínios de cada variável do modelo.

## 6 Exemplo de aplicação

Com o objetivo de validar e exemplificar didaticamente o funcionamento do modelo desenvolvido, estipulou-se manualmente uma instância contendo os parâmetros necessários, sendo esses aplicados em uma simulação.

Primeiramente, o funil de inovação continha duas etapas de desenvolvimento, para poder estipular projetos em diferentes modos de execução e, assim, avaliar o comportamento deste modelo.

Para determinar alguns parâmetros, foram utilizadas como base as equações 6.1 e 6.2 de Silva e Santiago (2009) que expressam o retorno de mercado no lançamento de um produto no período  $T$  e o volume após lançamento, respectivamente:

$$F_T = [M - m]_T = \int_T^\infty P(t) * V(t) * e^{-it} dt = (M - m) * e^{(-t/a)^k} \quad (6.1)$$

$$\prod(x_n, T_n) = (M - m) * \exp^{-(T_n/a)^k} * P(x_n \geq R) + m \quad (6.2)$$

Nas quais,  $F = M - m$  representa o máximo de retorno que o mercado irá gerar, dado que as expectativas do produto foram atendidas e  $P(x_n \geq R)$  representa a probabilidade do desempenho do produto  $x_n$  ser maior ou igual que os requisitos esperados pelo mercado  $R$ .

Portanto, para os dados de entrada, o conjunto de projetos carrega consigo informações indispensáveis para compor a instância, que são o retorno máximo ( $M$ ) do projeto, o retorno mínimo ( $m$ ) do projeto, o parâmetro de escala ( $a$ ) e o parâmetro de forma ( $k$ ).

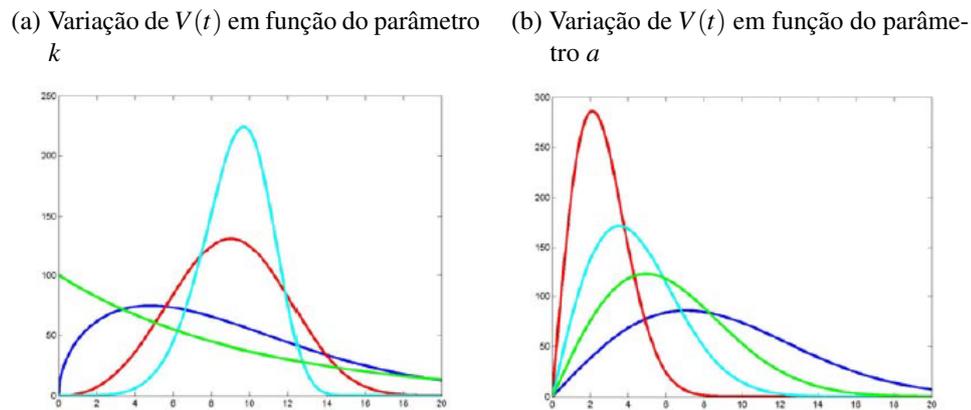
Além dos citados, os projetos também possuem média ( $\mu$ ), desvio padrão ( $dp$ ) (relacionados com a variação da expectativa de mercado), divisibilidade ( $div$ ), congelamento máximo ( $cgmax$ ), lista de tempos ( $ltemp$ ), área do projeto ( $a$ ), etapa ( $e$ ) no presente momento e seu nome.

Os retornos, tanto máximo quanto mínimo, representam um valor esperado que determinado projeto possa alcançar, ou seja, o retorno máximo está atrelado à melhor forma de desenvolvimento do projeto, enquanto o retorno mínimo exprime a quantidade mínima necessária para que o projeto não se torne inviável.

O parâmetro de forma, de acordo com Silva e Santiago (2009), altera o formato da curva de retorno da função objetivo e está relacionado à simetria entre os estágios do processo de difusão dos projetos, como mostra a Figura 2a, enquanto o parâmetro de escala está relacionado à variabilidade do volume entre as épocas do tempo, presente na Figura 2b.

Os parâmetros média e desvio padrão da expectativa de mercado relacionada aos projetos estão atrelados ao dinamismo dos padrões de consumo, pois uma vez que os requisitos de

Figura 2 – Parâmetros de forma e escala



Fonte – Silva e Santiago (2009)

mercado estão em constante mudança, as exigências dos clientes relacionadas às suas preferências também pode se alterar, portanto é necessário atrelar uma variação em cada projeto.

A divisibilidade de um projeto irá determinar se o projeto que está em desenvolvimento pode ser divisível ou não, isto é, se pode haver um congelamento na execução desse projeto, no qual não haverá investimento nele e, conseqüentemente, não haverá progressão do mesmo. O congelamento máximo estipula o limite que aquele projeto pode ficar congelado e, uma vez atingido seu valor, ou o projeto deve voltar a ser desenvolvido, ou ele é cancelado.

As listas de tempos de cada projeto determinam quantos estágios são necessários para que ele saia da etapa do funil em que se encontra e vá para a próxima. Se o projeto for executado em todos os seus estágios, ele será considerado como um projeto de produto a ser lançado.

Por fim, o projeto precisa de um nome para se identificar, bem como a etapa do funil que ele se encontra e qual sua área. Para esta instância, foi determinado que existissem duas áreas, denominadas A1 e A2. Dessa forma, todos os projetos estão inclusos em um desses dois conjuntos e há um balanceamento entre as áreas como pede o modelo.

Ademais, existem três modos que o modelo incorpora para desenvolver determinado projeto de produto no funil de inovação, denominados de continuar, melhorar e acelerar. O modo continuar, como o próprio nome já diz, decide por manter a forma de desenvolvimento que o modelo determinou no período anterior, enquanto o modo melhorar procura aperfeiçoar a performance do projeto dentro do funil e, por fim, o modo acelerar busca diminuir o tempo de execução do processo, ambos através do aumento da necessidade de recursos necessária em relação ao modo continuar.

Todos esses três modos também têm características que precisam ser determinadas previamente para a simulação, tais como a probabilidade de sucesso do modo ( $P_{sucesso_m}^{(t)}$ ), que indica que uma vez escolhido, não necessariamente a performance vai ser a máxima possível, tendo em vista várias incertezas que podem ocorrer durante o desenvolvimento. Portanto, tem-se uma probabilidade de sucesso atrelada a cada modo.

Além disso, o desempenho do modo ( $\delta_m^{(t)}$ ) também deve ser especificado para se relacionar com a característica de desempenho citada, bem como a economia de estágios ( $ecestagio_m$ ) que este modo proporciona e a probabilidade de atraso ( $Patraso_m^{(t)}$ ) que esse modo pode gerar. Além disto, cada modo terá um custo distinto, já que ele emprega diferentes características aos projetos e, por fim, seu nome.

Desta forma, foram criados cinco projetos para serem simulados com todas as características citadas acima. A Tabela 8 mostra os valores dos parâmetros de cada projeto e a Tabela 9 de cada modo:

Tabela 8 – Parâmetros de entrada dos projetos

<b>Parâmetros</b>	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p5$
Retorno máximo esperado	65	30	32	27	36
Retorno mínimo esperado	30	20	18	20	24
Parâmetro de escala	21	21	21	21	21
Parâmetro de forma	4	4	4	4	4
Média	0	0	0	0	0
Desvio Padrão	0.3	0.6	0.4	0.1	0.8
Divisibilidade	0	1	0	0	0
Congelamento máximo	0	1	0	0	0
Lista de tempos	[2,3]	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[0,1]
Área	A1	A1	A2	A2	A2
Etapa inicial	1	2	1	1	2

Vale ressaltar que os valores dos parâmetros de escala foram baseados em Silva e Santiago (2009) e, além disso, a média de todos os projetos foi fixada em zero como valor inicial.

Tabela 9 – Parâmetros dos modos

<b>Modos</b>	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p5$
<b>CONTINUAR</b>					
Probabilidade de sucesso	0.5	0.1	0.8	0.5	0.4
$\delta$ Performance	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2
Probabilidade de atraso	0.3	0.2	0.3	0.8	0.4
$\delta$ Economia de estágio	1	1	1	1	1
Necessidade de recursos	30	10	11	14	24
<b>MELHORAR</b>					
Probabilidade de sucesso	0.75	0.4	0.35	0.5	0.5
$\delta$ Performance	1	0.8	0.7	0.3	0.9
Probabilidade de atraso	0.3	0.1	0.2	0.8	0.1

Tabela 9 – Parâmetros dos modos (continuação)

<b>Modos</b>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>	<i>p4</i>	<i>p5</i>
δEconomia de estágio	1	1	1	1	1
Necessidade de recursos	40	12	15	18	36
<b>ACCELERAR</b>					
Probabilidade de sucesso	-	-	-	0.5	-
δPerformance	-	-	-	0.7	-
Probabilidade de atraso	-	-	-	0.1	-
δEconomia de estágio	-	-	-	1	-
Necessidade de recursos	-	-	-	20	-

Além dos dados citados, foram estipulados também os valores de  $\phi$  da restrição 5.8 como 0.5, ou seja, implicando que um projeto não poderá consumir mais de 50% do orçamento total que a empresa está disposta a investir, de  $\beta$  da restrição 5.9 como 0.1, portanto todas as áreas devem consumir um orçamento mínimo de 10% do total, tendo em vista que isso previne o não balanceamento de áreas e, por fim, o orçamento total como 70.

Depois de decidir e inserir os parâmetros para a simulação, o modelo pode ser testado, aplicando as incertezas nele contidas, baseadas em Huchzermeier e Loch (2001), além da incerteza de chegada de novos projetos.

Assim, a primeira incerteza, relacionada ao retorno de mercado, redefine os parâmetros de retorno máximo e mínimo dos projetos, utilizando uma distribuição de probabilidade normal, com média zero e desvio padrão igual a 5% do valor inicial. Desse valor encontrado, é tirado o máximo entre ele e zero e, o resultado, é adicionado ao valor original.

Outra incerteza é a relacionada ao desempenho do projeto ao longo do processo de desenvolvimento. É utilizada uma distribuição uniforme para gerar um valor  $e$ , se esse valor for menor ou igual à probabilidade do despenho do modo utilizado para cada projeto, a performance é acrescida de seu valor atual. Caso contrário, ela é decrescida desse mesmo valor.

A exigência de mercado compõe outra incerteza que é relativa à redefinição do parâmetro média de cada projeto, uma vez que ele está diretamente ligado ao requisito de mercado. Uma vez que essa incerteza se manifesta, o valor da média é acrescido do resultado de uma distribuição de probabilidade normal, com média zero e desvio padrão igual a 2.5% do valor do desvio padrão.

A incerteza de cronograma também é gerada através de uma distribuição uniforme. Gera-se um valor  $e$ , caso esse valor seja maior que a probabilidade de atraso ligada ao modo utilizado pelo projeto, este sofre tal atraso. Caso contrário, não há penalidade de atraso.

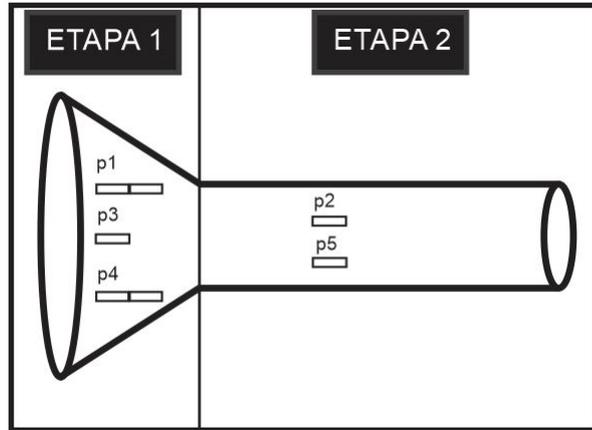
A incerteza relacionada aos recursos disponíveis é criada por meio da variação do valor corrente de recursos utilizado pelo projeto utilizando determinado modo, com um desvio normalmente distribuído, de média zero e desvio padrão igual a 5% do valor corrente.

Finalmente, a incerteza de chegada de novos projetos é feita através de um valor máximo de projetos possíveis em todo o funil de inovação. A cada transição, é inserido um novo projeto

no funil e seus parâmetros são gerados aleatoriamente dentro das características do modelo.

Tendo isso em vista, a instância com os projetos de 1 a 5 são inseridos no modelo, entrando assim em sua fase inicial. A Figura 3 ilustra essa fase.

Figura 3 – Estado inicial



Fonte – Autor

Para este exemplo, a política utilizada altera a função objetivo do subproblema em questão, incorporando os custos ao longo das etapas do funil, e não somente ao final nos projetos lançados. Dessa forma, a modelagem matemática é apresentada da seguinte maneira:

$$V(s) = \max_{u \in U} \left\{ \begin{array}{l} F_1^{(t)} * (w_{1,1}^{(t)} + w_{2,1}^{(t)}) + F_2^{(t)} * (w_{1,2}^{(t)} + w_{2,2}^{(t)}) + F_3^{(t)} * (w_{1,3}^{(t)} + w_{2,3}^{(t)}) + F_4^{(t)} * (w_{1,4}^{(t)} + w_{2,4}^{(t)} + w_{3,4}^{(t)}) + \\ F_5^{(t)} * (w_{1,5}^{(t)} + w_{2,5}^{(t)}) \end{array} \right\} \quad (6.3)$$

Sujeito ao conjunto de restrições expresso por  $U$ , tal que:

$$y_1^{(t)} + w_{1,1}^{(t)} + w_{2,1}^{(t)} = 1 \quad (6.4)$$

$$y_3^{(t)} + w_{1,3}^{(t)} + w_{2,3}^{(t)} = 1 \quad (6.5)$$

$$y_4^{(t)} + w_{1,4}^{(t)} + w_{2,4}^{(t)} + w_{3,4}^{(t)} = 1 \quad (6.6)$$

$$y_5^{(t)} + w_{1,5}^{(t)} + w_{2,5}^{(t)} = 1 \quad (6.7)$$

$$y_2^{(t)} + f_2^{(t)} + w_{1,2}^{(t)} + w_{2,2}^{(t)} = 1 \quad (6.8)$$

$$30 * w_{1,1}^{(t)} + 40 * w_{2,1}^{(t)} + 11 * w_{1,3}^{(t)} + 15 * w_{2,3}^{(t)} + 14 * w_{1,4}^{(t)} + 18 * w_{2,4}^{(t)} + 20 * w_{3,4}^{(t)} \leq tn_1^{(t)} \quad (6.9)$$

$$10 * w_{1,2}^{(t)} + 12 * w_{2,2}^{(t)} + 24 * w_{1,5}^{(t)} + 36 * w_{2,5}^{(t)} \leq tn_2^{(t)} \quad (6.10)$$

$$30 * w_{1,1}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.11)$$

$$40 * w_{2,1}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.12)$$

$$11 * w_{1,3}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.13)$$

$$15 * w_{2,3}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.14)$$

$$14 * w_{1,4}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.15)$$

$$18 * w_{2,4}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.16)$$

$$20 * w_{3,4}^{(t)} \leq 0.5 * tn_1^{(t)} \quad (6.17)$$

$$10 * w_{1,2}^{(t)} \leq 0.5 * tn_2^{(t)} \quad (6.18)$$

$$12 * w_{2,2}^{(t)} \leq 0.5 * tn_2^{(t)} \quad (6.19)$$

$$24 * w_{1,5}^{(t)} \leq 0.5 * tn_2^{(t)} \quad (6.20)$$

$$36 * w_{2,5}^{(t)} \leq 0.5 * tn_2^{(t)} \quad (6.21)$$

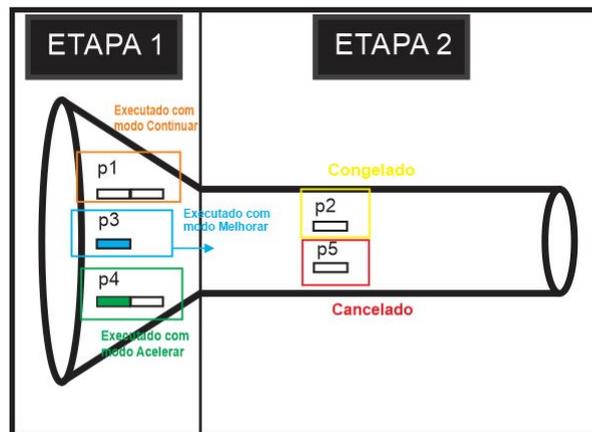
$$30 * w_{1,1}^{(t)} + 40 * w_{2,1}^{(t)} + 10 * w_{1,2}^{(t)} + 12 * w_{2,2}^{(t)} \geq 0.1 * (tn_1^{(t)} + tn_2^{(t)}) \quad (6.22)$$

$$11 * w_{1,3}^{(t)} + 15 * w_{2,3}^{(t)} + 14 * w_{1,4}^{(t)} + 18 * w_{2,4}^{(t)} + 20 * w_{3,4}^{(t)} + 24 * w_{1,5}^{(t)} + 36 * w_{2,5}^{(t)} \geq 0.1 * (tn_1^{(t)} + tn_2^{(t)}) \quad (6.23)$$

$$tn_1^{(t)} + tn_2^{(t)} \leq 70 \quad (6.24)$$

Depois de executar a instância, o modelo encontrou uma resposta ótima viável com um retorno de 109.37. Os projetos de 1 a 5, após a transição, foram submetidos à seguinte decisão ilustrada na Figura 4.

Figura 4 – Pós decisão



Fonte – Autor

Dessa forma, as variáveis do modelo proposto assumiram os seguintes valores presentes na Tabela 10:

Tabela 10 – Valores das variáveis

Variáveis	Valores no exemplo
$w_{1,1}$	1
$w_{2,1}$	0
$w_{1,2}$	0
$w_{2,2}$	0
$w_{1,3}$	0
$w_{2,3}$	1
$w_{1,4}$	0

Tabela 10 – Valores das variáveis (continuação)

Variáveis	Valores no exemplo
$w_{2,4}$	0
$w_{3,4}$	1
$w_{1,5}$	0
$w_{2,5}$	0
$f_2$	1
$y_1$	0
$y_2$	0
$y_3$	0
$y_4$	0
$y_5$	1
$tn_1$	65
$tn_2$	0

A decisão decorreu dessa forma pois, com as incertezas presentes no modelo, houve um crescimento no valor máximo esperado do projeto  $p1$  de 0.16801, que fez com que ele fosse executado com o modo continuar, necessitando de 30 de recursos. Contudo, devido à probabilidade de atraso,  $p1$  não teve nenhum ganho de estágio.

O projeto  $p4$  também teve um aumento no seu valor máximo esperado de 0.26286 e a probabilidade de sucesso do modo acelerar era de 0.7, contra 0.3 e 0.1 do modo melhorar e continuar, respectivamente. Além disso, o consumo de recursos não extrapolava nenhuma restrição e tinha um aumento pequeno entre um modo e outro, portanto o modelo decidiu por executá-lo com modo acelerar.

Assim, o modelo decidiu por executar o projeto  $p3$  com modo melhorar, pois ainda havia recurso disponível e a diferença entre o consumo do modo melhorar e continuar era de 15 para 11, respectivamente. Ademais, a probabilidade de sucesso de o modo melhorar era maior e sua probabilidade de atraso era menor, em relação ao modo continuar.

Não havendo mais recursos suficientes para executar outro projeto,  $p5$  foi cancelado, pois o consumo de recurso de seu modo melhorar era maior que o modelo permitia. Já o modo continuar ainda era muito elevado em relação aos outros projetos e, principalmente, tinha um retorno máximo esperado muito pequeno relativo à quantidade de recursos que ele necessitava.

Finalmente, o projeto  $p2$  também era desvantajoso frente aos outros, contudo o modelo decidiu por congelá-lo, pois ele tem essa opção durante um estágio e, caso não venha mais recursos no próximo, ele será cancelado.

As incertezas de criação de novos projetos também atuaram no exemplo e inseriram dois novos projetos no início do funil de desenvolvimento do modelo, denominados  $p0.0$  e  $p0.1$ . Os parâmetros, pré-definidos e gerados aleatoriamente pelo modelo estão presentes na Tabela 11:

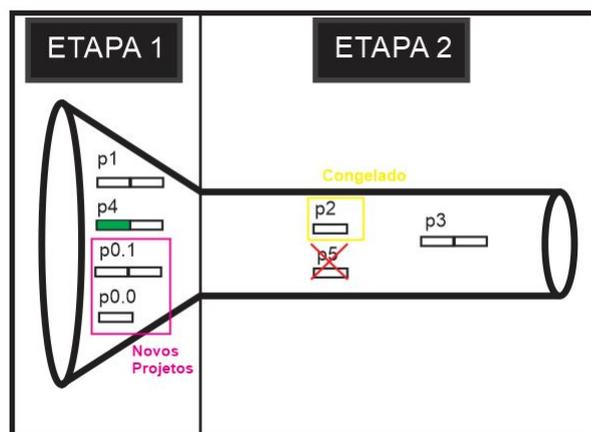
Tabela 11 – Parâmetros dos novos projetos

Parâmetros	p0.0	p0.1
Retorno máximo esperado	93.5808	87.1182
Retorno mínimo esperado	29.2467	31.3719
Parâmetro de escala	4	4
Parâmetro de forma	3	3
Média	0	0
Desvio Padrão	0.2872	0.5844
Divisibilidade	1	1
Congelamento máximo	1	1
Lista de tempos	[1,3]	[2,3]
Área	A1	A1
Etapa inicial	1	1

Além disso, o modelo também gerou os modos de execução de cada um desses novos projetos. Para o projeto p0.0, foi criado apenas o modo continuar para a primeira etapa e o modo continuar e melhorar para a segunda etapa. Já para o projeto p0.1 foram criados os modos continuar e melhorar tanto para a primeira etapa, quanto para a segunda.

Assim, após a transição de estágio e a tomada de decisão do modelo, os projetos ficaram da seguinte forma ilustrada pela Figura 5.

Figura 5 – Estado pós transição



Fonte – Autor

## 7 Conclusão

Com base em uma pesquisa na literatura, e após entender os aspectos imperativos e as lacunas que existem em modelos já propostos, o objetivo do trabalho de construir um modelo matemático, que tem como principal meta auxiliar na tomada de decisão relativa ao processo de desenvolvimento simultâneo de novos produtos, foi alcançado.

Esse modelo tem características muito importantes que são levadas em conta no contexto de empresas de inovação, tanto de características pertencentes aos projetos, tais como congelamento, tempo de desenvolvimento e diferentes áreas de cada projeto, como também particularidades que externam os próprios projetos, como retorno esperado e viabilidade econômica diante o mercado consumidor. Além disso, através do exemplo, foi possível mostrar a aderência do modelo ao contexto real e, ainda, é possível gerar um *framework* para a comparação de políticas através da simulação.

Ademais, o modelo contribui para a literatura, pois é estocástico e, com isso, leva em consideração variáveis aleatórias em seu processo de decisão, como incertezas ao longo do processo. Além disso, a decisão tomada de uma etapa para a outra é dinâmica, sendo que a transição corrente leva em consideração o desenvolvimento como um todo. Por fim, o modelo é integrado e, dessa forma, as decisões tomadas são direcionadas a todo o portfólio de projetos de produto.

Como trabalhos futuros, seria interessante desenvolver um método de solução para encontrar a política ótima aproximada com o uso da programação dinâmica estocástica, levando em consideração as características já presentes nele, bem como suas incertezas.

## Referências

- BROMILEY, P.; RAU, D.; ZHANG, Y. Is R&D risky? *Strategic Management Journal*, Wiley Online Library, v. 38, n. 4, p. 876–891, 2017.
- CARAZO, A. F.; GÓMEZ, T.; MOLINA, J.; HERNÁNDEZ-DÍAZ, A. G.; GUERRERO, F. M.; CABALLERO, R. Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. *Computers & operations research*, Elsevier, v. 37, n. 4, p. 630–639, 2010.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. d. *Metodologia científica/Amado Luiz Cervo, Pedro Alcino Bervian, Roberto da Silva.* [S.l.]: São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- CHENG, L. C. *QFD: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos.* [S.l.]: Blücher, 2007.
- CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. *Managing new product and process development: text cases.* [S.l.]: Simon and Schuster, 2010.
- COFFIN, M. A.; TAYLOR, B. W. R&D project selection and scheduling with a filtered beam search approach. *IIE transactions*, Taylor & Francis, v. 28, n. 2, p. 167–176, 1996.
- CUERVO-CAZURRA, A.; UN, C. A. Why some firms never invest in formal R&D. *Strategic Management Journal*, Wiley Online Library, v. 31, n. 7, p. 759–779, 2010.
- FIGUEIREDO, P. S.; LOIOLA, E. Enhancing new product development (npd) portfolio performance by shaping the development funnel. *Journal of technology management & innovation*, SciELO Chile, v. 7, n. 4, p. 20–35, 2012.
- FIGUEIREDO, P. S.; LOIOLA, E. The impact of project introduction heuristics on research and development performance. *RAI Revista de Administração e Inovação*, Elsevier, 2017.
- HUCHZERMEIER, A.; LOCH, C. H. Project management under risk: Using the real options approach to evaluate flexibility in R&D. *Management Science*, INFORMS, v. 47, n. 1, p. 85–101, 2001.
- KRISHNAN, V.; ULRICH, K. T. Product development decisions: A review of the literature. *Management science*, INFORMS, v. 47, n. 1, p. 1–21, 2001.
- LI, X.; FANG, S.-C.; GUO, X.; DENG, Z.; QI, J. An extended model for project portfolio selection with project divisibility and interdependency. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Springer, v. 25, n. 1, p. 119–138, 2016.
- LI, X.; FANG, S.-C.; TIAN, Y.; GUO, X. Expanded model of the project portfolio selection problem with divisibility, time profile factors and cardinality constraints. *Journal of the Operational Research Society*, Springer, v. 66, n. 7, p. 1132–1139, 2015.
- LOCH, C. H.; KAVADIAS, S. Dynamic portfolio selection of npd programs using marginal returns. *Management Science*, INFORMS, v. 48, n. 10, p. 1227–1241, 2002.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.* Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. cap. 8, p. 1–290.

- POWELL, W. B. *Approximate Dynamic Programming: Solving the curses of dimensionality*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007. v. 703.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*. [S.l.]: Editora Saraiva, 2006.
- SCHMIDT, J. B.; SARANGEE, K. R.; MONTOYA, M. M. Exploring new product development project review practices. *Journal of Product Innovation Management*, Wiley Online Library, v. 26, n. 5, p. 520–535, 2009.
- SILVA, T. A. d. O.; SANTIAGO, L. P. New product development projects evaluation under time uncertainty. *Pesquisa Operacional*, SciELO Brasil, v. 29, n. 3, p. 517–532, 2009.
- STUMMER, C.; HEIDENBERGER, K. Interactive R&D portfolio analysis with project interdependencies and time profiles of multiple objectives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, IEEE, v. 50, n. 2, p. 175–183, 2003.
- TIAN, Y.; SUN, M.; YE, Z.; YANG, W. Expanded models of the project portfolio selection problem with loss in divisibility. *Journal of the Operational Research Society*, Springer, v. 67, n. 8, p. 1097–1107, 2016.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. *Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade*. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.