



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

TESE DE DOUTORADO

**MCCP-PUB/BR: UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DE
PROJETOS PARA O SETOR PÚBLICO BRASILEIRO**

Marcos Luiz Lins Filho

**NATAL-RN
2019**

MARCOS LUIZ LINS FILHO

**MCCP-PUB/BR: UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DE
PROJETOS PARA O SETOR PÚBLICO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração (PPGA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) como requisito para obtenção do título de Doutor em Administração, na área de Gestão Organizacional.

Orientador: Manoel Veras de Sousa Neto, Dr.

**NATAL-RN
2019**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro Ciências Sociais Aplicadas - CCSA

Filho, Marcos Luiz Lins.

MCCP-PUB/BR: um modelo de classificação da complexidade de projetos para o setor público brasileiro / Marcos Luiz Lins Filho. - 2019.

270f.: il.

Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Administrativas. Natal, RN, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Veras de Sousa Neto.

1. Gestão de projetos - Tese. 2. Complexidade de projetos - Tese. 3. Modelo de classificação - Tese. 4. Aprendizagem de máquina - Tese. 5. Máquinas de vetores de suporte - Tese. I. Neto, Manoel Veras de Sousa. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/Biblioteca do CCSA

CDU 005.53

MARCOS LUIZ LINS FILHO

**MCCP-PUB/BR: UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DE
PROJETOS PARA O SETOR PÚBLICO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração (PPGA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) como requisito para obtenção do título de Doutor em Administração, na área de Gestão Organizacional.

Orientador: Manoel Veras de Sousa Neto, Dr.

Natal-RN, 29 de julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Manoel Veras de Sousa Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Presidente

Prof. Dr. Marcos Fernando Machado de Medeiros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Examinador Interno

Prof. Dr. André Moraes Gurgel
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Examinador Interno

Prof. Dr. Benny Kramer Costa
Universidade Nove de Julho (UNINOVE)
Examinador Externo à instituição

Prof. Dr. Nicolau Reinhard
Universidade de São Paulo (USP)
Examinador Externo à instituição

*À minha esposa Roberta por me acompanhar
e me motivar a buscar sempre o meu melhor.*

*Aos meus pais pelos ensinamentos, exemplos de vida
e por mostrar-me a importância da educação.*

*Aos demais familiares, pela compreensão da minha ausência
durante essa etapa de vida.*

*Aos meus colegas de turma, pelo sentimento de perseverança e
apoio nos momentos de angústia e pelas etapas que ultrapassamos juntos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar em todos os momentos da minha vida, os bons e os ruins.

À Roberta, minha esposa, que sempre se fez presente e nunca hesitou em demonstrar, durante toda essa jornada, todo o amor que sente por mim, além de uma imensurável compreensão e incentivo em todos os momentos de dificuldades. Te amo.

À minha família, em especial aos meus pais, pela educação e incentivo aos estudos durante todos os anos da minha vida e por demonstrar-me, com exemplos, o valor e a importância do conhecimento. A minha irmã Janaína e meu primo Thiago, que sempre me incentivaram a não desistir quando em alguns momentos a motivação apresentava os sinais do cansaço.

Ao professor e orientador Dr. Manoel Veras, pelo pragmatismo e objetividade na condução da orientação e que com competência e simplicidade soube me motivar para o cumprimento das etapas até esta defesa.

Um agradecimento especial aos meus colegas de turma que compartilharam comigo os bons e maus momentos desse período de doutoramento. Um agradecimento especial ao meu amigo Gilson pelos incontáveis dias de diálogo, compartilhamento de informações e espírito de perseverança que me ajudaram bastante durante a pesquisa.

Agradeço também aos professores do PPGA, em especial, aos membros internos da banca na figura dos professores André Morais Gurgel e Marcos Fernando Machado de Medeiros, por todas as contribuições e sugestões dadas para melhoria do trabalho de pesquisa. Meu agradecimento especial também aos demais professores convidados a compor a banca nesta etapa de conclusão do trabalho.

Meu agradecimento também a todos os colaboradores do PPGA que sempre estiveram prontos e dispostos a ajudar em todas as minhas demandas durante esses anos do doutorado. Meu muito obrigado a Thiago, Gilberto, Delma e Marcel, vocês também fazem parte dessa conquista. Agradeço ainda ao Instituto Federal da Bahia - IFBA, instituição na qual trabalho atualmente, pela compreensão de colegas e gestores, além do apoio nesta fase de conclusão.

Por fim, meu agradecimento especial a Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, pela oportunidade de vivenciar esse longo período aprendizado, que se transformou em admiração e respeito por esta instituição, tanto pelas pessoas, quanto pela função social que realiza e representa com maestria. E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por ter financiado a pesquisa de doutorado que resultou nessa tese. Muito obrigado.

RESUMO

Compreender o constructo “Complexidade de projetos” tem desafiado pesquisadores e profissionais desde que o estudo de Baccarini (1996) deu início a debates mais aprofundados sobre a temática. Dentro desse contexto, o desenvolvimento de métodos e ferramentas, que possam contribuir diretamente para inserção da dimensão complexidade nas práticas de gestão de projetos, tem esbarrado na dificuldade de mensurá-la. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo geral construir um modelo de classificação da complexidade de projetos para o setor público brasileiro. Para tanto, considerou-se como base a percepção de 16 especialistas e 118 profissionais da área de gestão de projetos que atuam ou já atuaram em projetos públicos. A pesquisa foi dividida em duas etapas. Na primeira, mapeou-se, inicialmente, um conjunto com 96 fatores de complexidade identificados a partir de uma revisão sistemática da literatura. Esses fatores foram avaliados através de questionários por 16 especialistas e 118 profissionais que identificaram os dez fatores de maior relevância para a complexidade de projetos públicos. Na segunda etapa, aplicaram-se técnicas de aprendizagem de máquina com máquinas de vetores de suporte para construir um modelo de classificação da complexidade de projetos. No modelo, definiram-se três níveis para classificação da complexidade de um projeto: baixa, média e alta. O modelo foi validado por meio de 17 experimentos divididos em três rodadas e teve como base um conjunto contendo 36 casos de teste, onde se avaliou o nível de acurácia média de classificação. Quanto aos resultados da pesquisa, foram propostos dois novos conceitos, sendo um para gerenciamento de projetos e outro para complexidade de projetos. Propôs-se um modelo teórico contendo 11 dimensões e 96 fatores de complexidade de projetos com base numa revisão sistemática da literatura. Identificaram-se os dez fatores de complexidade de maior relevância para projetos públicos na opinião de especialistas e profissionais brasileiros da área de gestão de projetos. E, finalmente, construiu-se e validou-se o M CCP-PUB/BR (Modelo de Classificação da Complexidade de Projetos para o setor Público Brasileiro) por meio de técnicas de aprendizagem de máquina e refinamentos que resultaram numa acurácia de 100% nas predições feitas para os 36 elementos presentes no conjunto de teste. Com base nos resultados, concluiu-se que o uso da aprendizagem de máquina para classificação da complexidade de projetos demonstrou viabilidade e capacidade de contribuir para ampliar a inserção da dimensão complexidade nas práticas de gestão de projetos.

Palavras-chaves: Gestão de projetos. Complexidade de projetos. Modelo de classificação. Aprendizagem de Máquina. Máquinas de Vetores de Suporte.

ABSTRACT

Understanding the "Project Complexity" construct has challenged researchers and professionals since the study of Baccarini (1996) initiated in-depth discussions on the subject. Within this context, the development of methods and tools, which can directly contribute to the insertion of the complexity dimension in the project management practices, has run into the difficulty of measuring it. In this sense, this research had as general objective to construct a classification model of the Project Complexity for the Brazilian public sector. To do so, it was considered as the basis the perception of 16 specialists and 118 professionals in the area of management project who act or have already acted in public projects. The research was divided into two stages. In the first, we initially mapped a set of 96 complexity factors identified from a systematic review of the literature. These factors were evaluated through questionnaires by 16 experts and 118 professionals who identified the ten most relevant factors for the complexity of public projects. In the second stage, machine learning techniques were applied with support vector machines to construct a classification model of the Project Complexity. In the model, three levels were defined to classify the complexity of a project: low, medium and high. The model was validated by 17 experiments divided in three rounds and was based on a set containing 36 test cases, where the average accuracy level of classification was evaluated. As for the research results, two new concepts were proposed, one for project management and the other for project complexity. It was proposed a theoretical model containing 11 dimensions and 96 project complexity factors based on a systematic review of the literature. It was identified the ten most relevant complexity factors for public projects in the opinion of Brazilian specialists and professionals in the area of project management. Finally, the MCCP-PUB / BR (*Project Complexity Classification Model for the Brazilian Public Sector*) was constructed and validated through machine learning techniques and refinements that resulted in 100% accuracy in the predictions made for 36 elements present in the test set. Based on the results, it was concluded that the use of machine learning to classify the complexity of projects demonstrated the feasibility and ability to contribute to increase the insertion of the dimension complexity in the project management practices.

Keywords: Project management. Project complexity. Classification model. Machine Learning. Support Vector Machine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triângulo de Ferro do Gerenciamento de Projetos	35
Figura 2. Matriz de Objetivos e Métodos	55
Figura 3. Matriz de Concordância e Certeza de Stacey	57
Figura 4. Modelo de Complexidade de Projetos de Baccarini.	59
Figura 5. Modelo de Complexidade de Projetos de Williams.	61
Figura 6. Modelo de Complexidade de Projetos de Williams - Williams (2002).	61
Figura 7. Taxonomia de Complexidade para Projetos de Desenvolvimento de Sistemas da Informação	63
Figura 8. Modelo de Complexidade de Projetos de Remington & Pollack.....	65
Figura 9. Correlação entre grupos e características da complexidade.	66
Figura 10. Modelo de Complexidade de Brockmann & Girmscheid.	67
Figura 11. Famílias (dimensões) da Complexidade de Projetos - Vidal & Marle (2008).	69
Figura 12. Diagrama de Famílias e tipos de complexidade.	69
Figura 13. Subcategorias do TOE <i>framework</i>	70
Figura 14. Categorias e subcategorias do TOE framework.	71
Figura 15. Modelo de Complexidade de Projetos de Gul & Khan.	72
Figura 16. Modelo de Complexidade de Projetos de Sedaghat-seresht, Fazli, & Mozaffari. 73	
Figura 17. Modelo de Complexidade de Projetos de Dunovic et al. (2014).....	75
Figura 18. Marcos históricos da Complexidade de Projetos	77
Figura 19. Primeira versão do framework de complexidade de projetos.	79
Figura 20. Etapas de aplicação do Método Delphi.	80
Figura 21. Framework de Complexidade de Projetos após refinamento.	81
Figura 22. Escala de classificação da Complexidade de Projetos	83
Figura 23. Cubo da Complexidade de Projetos de Transporte.	87
Figura 24. Escala K de Complexidade de Projetos.....	88
Figura 25. Tela da <i>Project Management Complexity Assessment Tool</i> - PMCAT.....	90
Figura 26. Seleção de Scores de Complexidade para cada Indicador de Complexidade.	92
Figura 27. Etapas de construção e uso de um Modelo de Classificação baseado em Aprendizagem de Máquina.	97
Figura 28. Hiperplano de separação.	99
Figura 29. Representação gráfica do conceito de margem.	99
Figura 30. Conceito de Margem.	105

Figura 31. Espaço de características linearmente separável.	106
Figura 32. Margem de um limite de Decisão.....	107
Figura 33. Hiperplano de Separação com dados linearmente separáveis.	108
Figura 34. a) SVM Linear de Margens Rígidas - Nenhum dos pontos ultrapassam as margens da região que separa as classes; b) SMV Linear de Margens Suaves - Alguns pontos podem ultrapassar a margem definida.	109
Figura 35. Exemplo de padrão linearmente (B) e não-linearmente (C) separáveis.	111
Figura 36. Processo de transformação de dados não-linearmente para um espaço de características.	112
Figura 37. Desenho da Pesquisa.	119
Figura 38. Macroetapas do ProKnow-C.	121
Figura 39. Diagrama de passos para a Seleção do Portfólio Bibliográfico.	122
Figura 40. Filtros de Seleção.	124
Figura 41. Distribuição percentual por Tipo de Publicação.	129
Figura 42. Quantidade de publicações por ano.....	130
Figura 43. Etapas de construção do Modelo Teórico da Pesquisa.....	135
Figura 44. Modelo Teórico da Pesquisa - Dimensões da Complexidade de Projetos.	136
Figura 45. Etapas da Coleta de Dados com Especialistas.....	145
Figura 46. Escala de Nível de Influência.	147
Figura 47. Detecção de Outliers pela Distância de Mahalanobis.	158
Figura 48. Estudo comparativo entre os Rankings (Especialistas <i>versus</i> Profissionais).	161
Figura 49. Gráfico do Método do Cotovelo (<i>Elbow Method</i>).....	170
Figura 50. Histórico de Iterações da Análise de Agrupamentos.....	171
Figura 51. Representação dos centros finais dos agrupamentos.....	172
Figura 52. Distribuição de elementos por agrupamento (<i>cluster</i>).	172
Figura 53. Estatísticas descritivas dos fatores de complexidade de projetos.....	174
Figura 54. Matrizes de Confusão - 1ª Rodada de Experimentos.	183
Figura 55. Matrizes de Confusão - 2ª Rodada de Experimentos.	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dissertações e Teses sobre Complexidade de Projetos.....	26
Tabela 2. Definições de Complexidade de Projetos	50
Tabela 3. Variáveis do atributo de complexidade da escala de classificação	82
Tabela 4. Fatores e Sub-fatores de complexidade.....	84
Tabela 5. Conjunto de dados de inadimplência de clientes da loja X.....	96
Tabela 6. Exemplos de Funções kernel.....	113
Tabela 7. Strings de busca utilizadas na pesquisa.....	122
Tabela 8. Bases de dados selecionadas para a pesquisa.....	123
Tabela 9. Resultados da busca por palavras-chaves nas Bases de Dados.....	124
Tabela 10. Resultados Fase 1: Filtro por Título.....	125
Tabela 11. Resultados Fase 2: Filtro por Resumo	126
Tabela 12. Resultados Fase 3: Filtro por Duplicidade	126
Tabela 13. Resultados Fase 4: Filtro por Leitura Integral.....	127
Tabela 14. Distribuição do Portfólio Bibliográfico por tipo de publicação.....	129
Tabela 15. Distribuição de publicações científicas (artigos e dissertações/teses) por períodos de publicação	131
Tabela 16. <i>Distribuição das Publicações por periódico</i>	131
Tabela 17. Fatores de complexidade e suas dimensões	136
Tabela 18. Perfil dos Especialistas.....	141
Tabela 19. Perfil dos Respondentes - Especialistas em Gerenciamento de Projetos Públicos	150
Tabela 20. Perfil dos Respondentes - Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos.....	152
Tabela 21. Critério Z-Score para detecção de outliers.....	155
Tabela 22. Ranking de Fatores de Complexidade (Especialistas)	156
Tabela 23. Ranking de Fatores de Complexidade (Profissionais)	159
Tabela 24. Ranking dos dez fatores de complexidade de maior relevância	161
Tabela 25. Ordem das Etapas - Identificação dos Fatores de Complexidade	163
Tabela 26. Percurso Metodológico da Pesquisa.....	166
Tabela 27. Quantidade de Agrupamentos e somatório dos erros quadráticos	169
Tabela 28. Classificação da complexidade de projetos e valor de representação na base de dados	172
Tabela 29. Cálculo da acurácia – Algoritmos de Classificação	177

Tabela 30. Conjuntos de Treinamento - 3a Rodada de Experimentos.....	179
---	-----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Risco Empírico.....	103
Equação 2. Risco Funcional / Estrutural.....	103
Equação 3. Equação da reta	104
Equação 4. Equação do hiperplano.....	104
Equação 5. Restrições do problema de otimização.....	108
Equação 6. Função <i>kernel</i>	113
Equação 7. Função de decisão multiclases.....	114
Equação 8. Acurácia de um Modelo Preditivo	180

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AM	Aprendizagem de Máquina
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
APM	<i>Association of Project Management</i>
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCTA	<i>Central Computer and Telecommunications Agency</i>
CP	Complexidade de Projetos
CPM	<i>Critical Path Method</i>
DEMATEL	<i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
GP	Gerenciamento de Projetos
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IC	Índice de Complexidade
IPMA	<i>International Project Management Association</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MCCP-PUB/BR	Modelo de Classificação da Complexidade de Projetos para o Setor Público Brasileiro
NC	Nível de Complexidade
NPM	<i>New Public Management</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-Operation and Development</i>
OGC	<i>Office of Government Commerce</i>
PCAM	<i>Project Complexity Assessment and Management</i>
PCMAT	<i>Project Management Assessment Tool</i>
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PRINCE2	<i>Projects In Controlled Environments</i>
PROKNOW-C	<i>Knowledge Development Process – Constructivist</i>
SLT	<i>Statistical Learning Theory</i>
SVC	<i>Support Vector Classifier</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TAE	Teoria do Aprendizado Estatístico

UKBOK

UK Body of Knowledge

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo Geral.....	23
1.2.2 Objetivos Específicos.....	23
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	23
1.3.1 Contribuição Científica	24
1.3.2 Contribuição Prática.....	28
1.4 ESTRUTURA DA TESE	29
2. REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS	31
2.1.1 Definição de projeto.....	31
2.1.2 Conceito de Gerenciamento de Projetos	33
2.1.3 Gerenciamento de Projetos no setor público	36
2.2. TEORIA DA COMPLEXIDADE E A COMPLEXIDADE DE PROJETOS	40
2.2.1 Complexidade: um novo paradigma para a Ciência.....	40
2.2.2 Teoria do caos e da complexidade	43
2.2.3 Conceito de Complexidade de Projetos.....	46
2.2.4 Modelos de Complexidade de Projetos	53
2.2.5 Modelos de mensuração da complexidade de projetos	75
2.3 APRENDIZAGEM DE MÁQUINA	92
2.3.1 Conceitos Básicos	92
2.3.2 Problemática de Classificação.....	96
2.3.3 Máquina de Vetores de Suporte (<i>Support Vector Machine</i> – SVM).....	98
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	116
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	116
3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	120
3.2.1 Seleção do Portfólio Bibliográfico.....	121
3.2.2 Análise do Portfólio Bibliográfico	128
3.3 MODELO TEÓRICO DA PESQUISA	133
3.4 SELEÇÃO DA AMOSTRA	140
3.4.1 Seleção de Amostra – Especialistas em Projetos Públicos.....	140
3.4.2 Seleção de Amostra – Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos	142

3.5 COLETA E VERIFICAÇÃO DE DADOS	144
3.5.1 Coleta e Verificação de Dados – Especialistas em Projetos Públicos.....	144
3.5.2 Coleta e Verificação de Dados – Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos	147
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	149
3.6.1 Perfil dos Respondentes	149
3.6.2 Fatores de Complexidade de Projetos	153
3.7 PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA.....	164
4. MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DE PROJETOS.....	167
4.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS	167
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	173
4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS	174
4.4 SELEÇÃO DA TÉCNICA DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA	175
4.5 PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS	178
4.6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	180
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	188
5.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	189
5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	191
5.3 TRABALHOS FUTUROS	193
5.4 CONCLUSÕES	194
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	197
APÊNDICE A – Publicações selecionadas para o portfólio bibliográfico (1ª Etapa)	208
APÊNDICE B – Publicações selecionadas para o portfólio bibliográfico (2ª Etapa)	212
APÊNDICE C – Mapeamento de Fatores de Complexidade de Projetos.....	215
APÊNDICE D – Questionário de Pesquisa – Aplicação com Especialistas.....	222
APÊNDICE E – Tabulação de Dados – Aplicação de Questionário com Especialistas	235
APÊNDICE F – Cálculo de Média, Desvio Padrão e Média Normalizada dos Fatores (Questionário com Especialistas).....	244
APÊNDICE G – Questionário de Pesquisa – Aplicação com Profissionais.....	248
APÊNDICE H – Tabulação de dados dos Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos	251
APÊNDICE I – Cálculo de Média, Desvio Padrão e Média Normalizada dos Fatores (Questionário com Profissionais).....	255
APÊNDICE J – Detecção de Outliers – Distância de Mahalanobis – SPSS (Output)	256
APÊNDICE K – Associação dos Agrupamentos usando o K-Means	260
APÊNDICE L – Código Fonte – Método do Cotovelo (<i>Elbow Method</i>)	262
APÊNDICE M – Código Fonte – Algoritmo de Classificação (<i>Support Vector Machine - SVM</i>).....	263

APÊNDICE N – Resultados dos Experimentos.....	265
---	-----

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo, apresenta-se a temática da pesquisa e identificam-se as lacunas presentes na literatura científica, que servirão de base para formulação do problema de pesquisa e dos seus objetivos. Na sequência, discorre-se sobre as justificativas e a relevância da pesquisa. Por fim, detalha-se a estrutura da tese.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA

Desde o século XVII, as organizações, de modo geral, já atuavam a partir de uma perspectiva mecanicista de mundo, na qual a base de sustentação esteve associada ao conceito de racionalismo científico. Essa visão teórica partia do princípio que a realidade podia ser explicada, em sua completude, baseando-se unicamente em teorias matemáticas e leis da física. Alguns autores mencionam que foi nessa época que Frederick Taylor e outros estudiosos atribuíram às organizações a ideia de que estas funcionariam como máquinas, dentro de uma ótica reducionista, onde não se dava atenção aos aspectos mais ligados ao ser humano e as suas relações (Siffert, 2009; Tôrres, 2005; Vieira, Martins, & Gonçalves, 2014). Havia nessa época, uma convicção por parte dos cientistas, que independente da complexidade dos sistemas, tudo poderia ser explicado e reduzido à leis físicas e teorias matemáticas que tornavam simples o que se apresentava como complexo (Siffert, 2009).

Já no século XX, em meados da década de 70, essa visão começou a ser substituída por uma visão mais voltada para o aspecto econômico. Nesta nova fase, a Tecnologia da Informação assumiu um papel relevante no contexto organizacional e iniciou-se um processo de remodelagem da visão predominantemente mecanicista para uma visão com o olhar voltado para o mercado, onde a informação possuía um papel substancial dentro do processo organizacional (Tôrres, 2005).

Neste novo contexto, a dinâmica organizacional que esteve até então focada puramente nos processos de trabalho internos, passou a dividir espaço também com as informações vindas do ambiente externo. Neste sentido, enxergou-se a importância do mercado, principalmente, como um gerador de informações relevantes e que poderiam dar suporte ao processo de tomada de decisão. Foi nesse mesmo período, que os conceitos de eficácia e competitividade começaram a assumir maior protagonismo no dia a dia dos gestores. Durante esta fase, há um direcionamento de esforços para que as organizações obtivessem melhores resultados e que

estes não se limitassem unicamente ao aumento dos lucros, mas também a resultados que pudessem trazer sustentabilidade ao negócio numa visão de médio e longo prazos.

No entanto, mesmo diante da mudança ocorrida a partir da inserção da informação (interna e externa) ao processo organizacional, a visão reducionista no dia a dia das atividades ainda persistia. Durante esse período, permanecia muito ativa a ideia de que os processos ocorriam dentro de uma linearidade. Havia uma compreensão de uma exata correspondência entre causa e efeito, que desconsiderava a presença de quaisquer outras interferências que pudessem vir a influenciar a linearidade do processo.

Porém, em paralelo a essa visão de mundo econômica, novos debates sobre formas alternativas de pensar o mundo emergiam entre os pesquisadores. Conceber o mundo a partir de uma ótica não-linear tornava-se uma temática cada vez mais presente no universo acadêmico, principalmente, com o surgimento da Teoria do Caos e de outras teorias e conceitos associados, que também são conhecidos como Teoria da Complexidade (Siffert, 2009; Tôres, 2005). Daña (2014) reforça a existência dessa perspectiva quando afirma que a Teoria do Caos tornou-se um termo abrangente que agrega um conjunto de conceitos e que tem como objetivo proporcionar uma forma alternativa para descrever e explicar o comportamento de sistemas que possuem como característica a não-linearidade.

Ainda considerando essa nova perspectiva, o trabalho do meteorologista Edward Lorentz, no início da década de 60, assumiu um lugar de destaque ao propor uma nova forma enxergar o mundo a partir da incorporação de conceitos como incerteza e imprevisibilidade (Siffert, 2009). Lorentz introduziu a ideia de uma visão complexa de mundo, onde a realidade passava a ser explicada com base nos processos e nas suas relações. Ao contrário da visão mecanicista, as organizações não estariam inseridas num contexto determinístico e de total previsibilidade (Siffert, 2009; Tôres, 2005). Ponchirolli (2007) fortalece ainda mais essa compreensão quando afirma que a percepção de que o mundo é não-linear foi a mais importante contribuição nas últimas décadas do século XX.

Considerando a discussão da não-linearidade nas organizações, em especial, sobre o Gerenciamento de Projetos (GP), este é visto como uma disciplina presente no ambiente organizacional, podendo ser definido a partir de várias perspectivas (Azim, 2010; Neto & Piscopo, 2015) que contemplam diversos aspectos associados as visões de mundo (mecanicista, econômico, complexo). Winter, Smith, Morris, & Cicmil (2006) afirmaram que não existe uma única abordagem teórica para orientar e explicar o Gerenciamento de Projetos. Para estes autores, há na verdade, várias abordagens teóricas que analisam o GP tanto a partir de aspectos individualizados, como também por meio de uma visão consolidada e que enxerga a disciplina

de GP como um todo. Busca-se com isso trazer uma melhor compreensão dos desafios que surgem no dia a dia do GP e que passou a ser visto como elemento crucial para uma boa gestão organizacional (Vidal, Marle, & Bocquet, 2007a).

Para Kerzner (2014), a busca por novos métodos de gerenciamento dentro das organizações fez com que crescesse a importância do GP, que passa a ter uma maior visibilidade e amplitude devido as características presentes num novo modelo de sociedade, que se apresenta entre o final do século XX e início do século XXI, e que busca a excelência no atendimento das necessidades de seus clientes.

A partir da década de 90, a percepção entre pesquisadores e profissionais com relação a importância do conceito de complexidade no GP começa a se expandir, porém durante toda a década de 90 o universo desses trabalhos ainda era bastante incipiente e em número reduzido (Baccarini, 1996; Vidal et al., 2007a; Williams, 1999; Wood & Gidado, 2008; B. Xia & Chan, 2012; W. Xia & Lee, 2004).

Somente a partir dos anos 2000, abordagens teóricas e práticas que associavam o Gerenciamento de Projetos (GP) a Teoria da Complexidade (Remington, Zolin, & Turner, 2009) passam a ganhar maior destaque. Tal fato decorre da percepção tanto de acadêmicos quanto de profissionais que os métodos tradicionais de GP são insuficientes e carecem de abordagens mais holísticas que proporcionem novas formas de lidar com o crescente aumento da complexidade de projetos (Baccarini, 1996; Williams, 1999).

De acordo com Remington & Pollack (2007), todo o processo de ensino e prática de GP ainda permanecia alicerçado em conceitos tradicionais e não consideravam a complexidade do projeto como algo importante e que necessitasse de ferramentas e métodos específicos para lidar com essas características.

Nesse sentido, alguns autores citam que muitos projetos tem falhado em virtude da falta de atenção para questões ligadas diretamente a complexidade de projetos (Whitty & Maylor, 2009; Williams, 1999; W. Xia & Lee, 2004). Vale salientar que parte dessa falta de atenção remete à questões consensuais quanto ao conceito de complexidade de projetos (Baccarini, 1996; Gidado, 1996) e isso tem dificultado a compreensão de quais características devem ser observadas e acompanhadas para evitar que as falhas ocorram e comprometam o desempenho e os resultados do projeto.

Sendo assim, mesmo reconhecendo a importância da compreensão do conceito de complexidade para o gerenciamento de projetos, acadêmicos e profissionais pontuam que há também pouca preocupação na criação de instrumentos que se adequem as práticas profissionais de GP (Azim et al., 2010). Outros autores reforçam essa percepção quando

afirmam que grande parte dos estudos direcionam seus esforços, exclusivamente, em fornecer um framework teórico da complexidade de projetos e poucos tem seu foco voltado a desenvolver sistemas ou instrumentos de classificação da complexidade que possam ser realmente utilizados na prática pelos profissionais de GP (Maylor, Vidgen, & Stephen, 2008; Poveda Bautista, Diego Mas, & Leon Medina, 2018; Sinha, Kumar, & Thomson, 2006).

Diante do cenário que se apresenta, em se tratando de Gerenciamento de Projetos (GP), ainda há que se considerar as particularidades existentes entre projetos do setor público e privado. Segundo de Souza & Reinhard (2015) essa discussão sobre a aplicabilidade dos modelos de gerenciamento de projetos do setor privado ao setor público não é algo recente e já foi levantada pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organisation for Economic Co-Operation and Development* – OECD) em relatório que enfatiza as diferenças entre os projetos realizados nestes dois contextos.

Nesse sentido, o próprio Guia *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) apresentou uma extensão voltada para projetos do tipo *e-Government* com o objetivo de fornecer ao setor público um direcionamento sobre alguns princípios que pudessem nortear o gerenciamento de projetos considerando as particularidades e similaridades com os projetos do setor privado (de Lima, Cirqueira, Pinto, & de Souza, 2017; de Souza & Reinhard, 2015). A publicação enfatizou aspectos relevantes como as restrições legais existentes em projetos governamentais, o papel social e a responsabilidade perante a população, o uso de recursos públicos para financiamento do projeto e a existência de diversas partes interessadas que não estão presentes em projetos do setor privado (de Souza & Reinhard, 2015).

A iniciativa do *Project Management Institute* (PMI) reconhece a necessidade de estudos que contemplem o desenvolvimento de instrumentos e ferramentas que possam contribuir para a gestão de projetos do setor público. Essa distinção se fortalece em virtude do caráter de atendimento ao público em geral, das dificuldades decorrentes da identificação de objetivos, de uma maior quantidade de limitações legais e de um grande número de partes interessadas, características que fazem o gerenciamento de projetos do setor público ser encarado como sendo mais complexo quando comparado aos projetos do setor privado (Wirick, 2009).

Além disso, se tomarmos como base o contexto brasileiro, observa-se uma significativa carência de pesquisas que abordam esta temática, seja do ponto de vista teórico ou a partir de uma perspectiva pragmática de desenvolvimento de métodos e ferramentas que auxiliem na compreensão e classificação da complexidade de projetos, em especial no setor público. Tal fato pôde ser constatado por meio de uma revisão sistemática da literatura onde somente dois

trabalhos, em nível nacional, apresentaram uma proposta de instrumento de mensuração da complexidade de projetos. Não obstante, nenhum deles buscou compreender a complexidade de projetos na perspectiva dos profissionais que atuam diretamente com projetos ligados ao setor público brasileiro. Portanto, os instrumentos de mensuração propostos por estes trabalhos não trouxeram em seu núcleo, características e particularidades advindas da percepção de complexidade de projetos de profissionais que convivem dentro do ambiente público.

Buscando trabalhar essa lacuna, essa pesquisa trará como componentes de ineditismo uma proposta de compreensão conceitual e um modelo de classificação da complexidade de projetos que contemple tanto as particularidades do contexto brasileiro, quanto a complexidade resultante da percepção dos profissionais que atuam diretamente ligados a projetos voltados para o setor público. Com base nos resultados obtidos a partir do processo de revisão sistemática, identificou-se que grande parte dos trabalhos brasileiros ligados a temática de Complexidade de Projetos seguem a linha tradicional dos trabalhos internacionais que se limitam a discutir fatores e dimensões teóricas. Poucos trabalhos apresentam alternativas para medir e classificar os projetos quanto a sua complexidade. Somado a isso, verificou-se também que não há nenhuma tese de doutorado que contemple a temática de Complexidade de Projetos em programas de pós-graduação na área de Administração, o que por si só demonstra a carência de estudos voltados para uma discussão desta temática a partir de uma visão acadêmica direcionada especificamente para a área de Gestão Organizacional.

Diante dessas constatações, torna-se relevante um trabalho de pesquisa que traga uma melhor compreensão sobre o construto de Complexidade de Projetos na visão dos profissionais que atuam com projetos no setor público brasileiro e que, adicionalmente, possa contemplar esses profissionais com um modelo de mensuração que reflita essa percepção por meio da classificação do projeto quanto a sua complexidade e que contribua para melhorar o gerenciamento de projetos.

Com base nessas demandas, esse estudo almeja responder a seguinte questão de pesquisa: ***Como classificar a complexidade de projetos no setor público brasileiro?***

Para responder a pergunta proposta por esta pesquisa, buscou-se inicialmente, por meio de uma revisão sistemática da literatura, revisitar os conceitos de complexidade de projetos presentes na literatura e propor uma definição de complexidade que serviu de referencial para a pesquisa e contribuiu para ampliar teoria sobre o conceito de complexidade. Num segundo momento, buscou-se identificar fatores que influenciavam a complexidade de projetos e propor um discussão com base na construção e validação de um modelo teórico que irá estabelecer as dimensões e os seus respectivos fatores de complexidade que nortearão o desenvolvimento do

modelo de classificação da complexidade. Num terceiro momento, e com base nos resultados obtidos na primeira etapa, estrutura-se um modelo que será responsável por classificar projetos quanto ao seu grau de complexidade. Por fim, constroi-se um debate acerca dos resultados obtidos através da aplicação do modelo de classificação da complexidade de projetos proposto por essa pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo central da pesquisa é propor um modelo de classificação de projetos a partir do seu respectivo grau de complexidade, com base na compreensão da percepção de profissionais que atuem ou já tenham atuado, de forma direta ou indireta, em projetos vinculados ao setor público brasileiro.

1.2.2 Objetivos Específicos

De forma a cumprir com o objetivo geral da pesquisa, este foi desdobrado em três objetivos específicos que almejam:

- a) Realizar uma revisão sistemática da literatura com foco na perspectiva teórica da Complexidade de Projetos buscando compreender conceitos, investigar modelos e instrumentos de mensuração;
- b) Identificar um conjunto de fatores que caracteriza a Complexidade de Projetos na visão de especialistas e profissionais da área de Gestão de Projetos do setor público brasileiro;
- c) Aplicar métodos e técnicas de aprendizagem de máquina para estruturar um modelo de classificação, que possibilite avaliar e estabelecer uma classificação para a complexidade do projeto;

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Nesta seção, discorre-se sobre as justificativas e relevância da pesquisa apontando as contribuições científicas da ampliação do debate sobre a complexidade de projetos, da carência de estudos nacionais sobre a temática e da compreensão de um construto aderente ao setor público brasileiro. No tocante as contribuições práticas, apresentam-se os aspectos importantes

do desenvolvimento de métodos e ferramentas para promover melhoria nas práticas de gerenciamento de projetos a partir de um modelo de classificação da complexidade de projetos.

1.3.1 Contribuição Científica

Durante os últimos anos, os pesquisadores acadêmicos e as organizações diretamente associadas a gestão de projetos como, por exemplo, o *Project Management Institute* (PMI) e a *International Project Management Association* (IPMA) têm reconhecido que a complexidade de projetos não é algo simples de lidar e que tende a aumentar (PMI, 2013a). Devido a essa percepção, o tema complexidade de projetos tem recebido uma significativa atenção por parte de pesquisadores e profissionais que buscam avançar na compreensão do conceito e dos diversos aspectos associados aos projetos e, respectivamente, as melhores práticas para o seu gerenciamento.

Em contrapartida, ainda se reconhece que há um grande trabalho a ser feito no sentido de incorporar os conceitos e características da complexidade a realidade dos profissionais que atuam diretamente com o gerenciamento de projetos. Esse entendimento pode em parte ser justificado pelo fato de que a complexidade pode ser vista a partir de perspectivas distintas por cada pessoa e/ou organização. Diante desse impasse, é possível, por exemplo, assumir tanto uma postura de validação da complexidade como algo relevante e que contribui para melhorar o gerenciamento de projetos, como também enxergá-la por meio de um enfoque que a considere como desperdício de tempo e de recursos (Oehmen, Thuesen, Parraguez Ruiz, & Geraldi, 2015).

Nesta pesquisa assume-se que compreender e dialogar com a Complexidade de Projetos (CP) deve fazer parte de um conjunto de práticas que buscam melhorar o gerenciamento de projetos. Logo se justifica, inicialmente, pelo interesse em compreender como o construto da CP é percebido pelos profissionais da área de projetos que atuam no setor público brasileiro. Apesar da revisão sistemática da literatura ter apontado para diversos trabalhos que buscam compreender esse construto, há uma lacuna a ser explorada no que diz respeito a essa compreensão quando o contexto de projetos é direcionado ao setor público, em especial, quando o *locus* de pesquisa é o Brasil.

Somado a isso, justifica-se a pesquisa por existir uma carência significativa de trabalhos acadêmicos no Brasil, especialmente, na área de Administração, que abordem esta temática e que tenham um viés mais pragmático de construção de modelos de classificação da complexidade que possam ser utilizados pelos profissionais da área de projetos. Tal carência foi constatada a partir da realização de uma busca no Catálogo de Teses e Dissertações da

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e no Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) que é mantida pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT).

No processo de pesquisa a partir das bases científicas, foram utilizados os seguintes termos: “complexidade” AND “Gestão de Projetos”, “complexidade” AND “Gerenciamento de Projetos” e “complexity” AND “Project Management”. Assumiu-se como período o intervalo entre os anos de 1990 e julho de 2018.

De um total de 15 trabalhos encontrados, 9 foram concluídos entre os anos de 2013 e 2017, o que demonstra um recente aumento do interesse de pesquisadores brasileiros nesta temática, apesar de que esse número ainda é bastante incipiente do ponto de vista quantitativo. Neste sentido, a pesquisa se justificaria pela contribuição que oferecerá para ampliar as discussões teóricas e práticas sobre essa temática no Brasil.

Verificou-se ainda que, na consulta as bases da CAPES e IBICT, somente 7 trabalhos pertenciam a área de Administração, sendo que todos em nível de Mestrado. Ademais, não foi localizado nenhum trabalho nacional, em nível de Tese de Doutorado, que contemplasse a temática de Complexidade de Projetos e que estivesse associado a área de Administração. Tal constatação, pode ser vista também como uma justificativa para essa pesquisa, já que é importante promover a ampliação do conhecimento e a promoção da ciência em todas as áreas de conhecimento. Também é interessante destacar que os demais trabalhos nacionais encontrados pertenciam a área de Engenharia. Tal constatação, alinha-se com a perspectiva internacional, onde os estudos de complexidade de projetos tem sua maior presença notadamente associados a área de Engenharia, em especial, tratando de estudos de caso no setor de construção.

Por fim, ainda como parte dos resultados da consulta as bases da CAPES e IBICT, somente dois trabalhos tratavam, especificamente, da construção de modelos de mensuração da complexidade de projetos. O primeiro deles foi concluído no ano de 2012 a partir da tese de doutorado de Pinto (2012) e propõe uma escala genérica de mensuração da complexidade de projetos. Devido ao caráter genérico da escala, o autor afirma que ela pode ser aplicada para diversos setores e organizações. No segundo, que foi finalizado em 2015 por Lukosevicius, o autor propõe uma forma de medir a complexidade de projetos específicos da área de Engenharia Civil. O foco do instrumento proposto pelo trabalho foi a priorização de projetos dentro de uma única organização.

Alguns autores criticam o caráter generalista dos instrumentos de medição da complexidade de projetos por ignorar as características emergentes e a influência de fatores

específicos presentes em determinados contextos de aplicação (Lu, Luo, Wang, Le, & Shi, 2015). Outros autores seguem a mesma linha de raciocínio quando afirmam que as características específicas de cada área ou setor podem contribuir para ampliar a base teórica e, conseqüentemente, a compreensão da complexidade (Dao, Kermanshachi, Shane, Anderson, & Hare, 2016). No entanto, apesar dessa pesquisa aparentemente apresentar um caráter generalista, por não fixar áreas e tipos específicos de projetos que possam vir a ser objeto de classificação da complexidade, delimita o setor e o contexto de aplicação e, portanto, se justifica por buscar através de uma visão pragmática de gerenciamento de projetos construir um modelo de classificação da complexidade que seja tão genérico ao ponto de ser utilizado por vários tipos de projetos e tão específico que capture fielmente as especificidades presentes no processo de gerenciamento de projetos pertencentes ao setor público brasileiro.

Nesse sentido, essa pesquisa não busca construir um modelo de classificação da complexidade de projetos associado a uma área ou tipo específico. O modelo a ser proposto por essa pesquisa, pretende capturar aspectos de complexidade que são inerentes ao Gerenciamento de Projetos independente da área e/ou tipo de projeto a ser desenvolvido. Busca-se com isso classificar os projetos de forma padronizada, sob o ponto de vista unicamente associado ao grau de complexidade. Através da construção de um modelo de classificação da complexidade, almeja-se também criar uma nova forma de compreensão do portfólio de projetos com o olhar voltado para a complexidade e proporcionar aos gestores de projeto o desenvolvimento de um modelo que possa ser utilizado, sob demanda, para classificar a complexidade dos projetos em qualquer etapa do ciclo de vida do projeto.

A **Tabela 1** apresenta as dissertações e teses sobre o tema Complexidade de Projetos que foram encontradas a partir da consulta as bases citadas.

Tabela 1
Dissertações e Teses sobre Complexidade de Projetos

Autor	Título	Ano	Nível
Paulo Soares Figueiredo	Um estudo exploratório sobre o papel da complexidade de projetos de desenvolvimento na capacidade de lançar plataformas de produtos	2003	Dissertação de Mestrado - Administração - Universidade de São Paulo - USP
Andreia Pereira Martins	Organizações e portfólios de projetos sob a perspectiva da Teoria da Complexidade.	2007	Dissertação de Mestrado - Engenharia Naval e Oceânica - Universidade de São Paulo - USP

Luiz José Marques Júnior	Abordagem contingencial estruturada de gestão e o sucesso ou fracasso de projetos complexos e incertos em empresas no Brasil.	2009	Tese de Doutorado - Engenharia de Produção - Universidade de São Paulo - USP
Rui Wagner Ribeiro Sedor	Estratégias emergentes como fator de sucesso em projetos de alta complexidade.	2009	Dissertação de Mestrado - Administração - Universidade Positivo
Ricardo Toshio Yugue	Contribuição ao estudo dos processos de gerenciamento e da complexidade dos projetos	2011	Dissertação de Mestrado - Administração - Universidade de São Paulo - USP
Jefferson de Souza Pinto	Variáveis dos atributos complexidade e incerteza em projetos: proposta de criação de escala de mensuração.	2012	Tese de Doutorado - Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Luis Cláudio Nunes Pereira	Metodologias de Gestão de Projetos Complexos: Estudo Sobre sua Aplicabilidade na Petrobras	2013	Dissertação de Mestrado - Administração de Empresas - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC/RJ
José Eduardo Motta Garcia	Um estudo sobre como os resultados de projetos são impactados pela maturidade da organização em gestão de projetos, pela pressão de tempo, pelo nível de implementação da gestão de riscos e pela complexidade dos projetos.	2014	Dissertação de Mestrado - Administração - Centro Universitário da FEI
Aloysio Bastos Vianna da Silva Júnior	Explorando o papel da complexidade no Gerenciamento de Projetos: um novo espaço de oportunidades.	2015	Tese de Doutorado - Engenharia de Produção - Universidade Federal Fluminense - UFF
Diorgenes Falcão Mamedio	Complexidade organizacional e a gestão de projetos: O caso da implantação do Hospital ALFA.	2015	Dissertação de Mestrado - Administração - Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUC/PR
Alessandro Prudêncio Lukosevicius	Modelo de avaliação da complexidade relativa em portfólio de projetos de engenharia civil	2015	Tese de Doutorado - Engenharia Civil - Universidade Federal Fluminense
Frederico Gonzaga Lafeta	Projetos complexos: Estudo de caso sobre gestão de projetos e complexidade em uma empresa do setor de energia	2016	Dissertação de Mestrado - Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais - Universidade Federal Fluminense - UFF

Esther Zhi Hong Zheng	Gestão de incertezas em projetos complexos: quadro conceitual e estudos de caso.	2016	Dissertação de Mestrado - Engenharia de Produção - Universidade de São Paulo - USP
Tatiana Paula da Costa Vieira	A influência da complexidade sociopolítica relacionada aos stakeholders na gestão de projetos de tecnologia: estudo de caso em uma instituição financeira	2016	Dissertação de Mestrado - Administração de Empresas - Fundação Getúlio Vargas - FGV
Danillo Araújo dos Santos	Considerações sobre a complexidade e a incerteza no gerenciamento de projetos: Utilizando a ANP e o Gerenciamento dos Riscos em um Projeto de um Terminal Pesqueiro em Campos dos Goytacazes-RJ	2017	Dissertação de Mestrado - Engenharia Civil - Universidade Federal Fluminense - UFF

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Outra justificativa teórica, diz respeito a compreensão de um construto de complexidade de projetos a partir da visão dos profissionais que atuam em projetos no setor público brasileiro. Como parte da pesquisa, um arcabouço teórico foi definido para que possa, em um segundo momento, ser utilizado como base para a construção do modelo de classificação da complexidade dos projetos. Neste sentido, todo o processo desde o mapeamento de fatores de complexidade presentes na literatura, passando pelas etapas de seleção/categorização de fatores servem como contribuição científica para pesquisadores que desejem desenvolver trabalhos com características semelhantes, sob o ponto de vista da utilização de um processo sistemático de construção.

1.3.2 Contribuição Prática

Sob um olhar prático, o crescimento da complexidade de projetos tem sido apontado como objeto de discussão em diversos estudos (Bosch-Rekvelde, Jongkind, Mooi, Bakker, & Verbraeck, 2011; He, Luo, Hu, & Chan, 2015; A. T. Nguyen, Nguyen, Le-Hoai, & Dang, 2015; Rodríguez Montequín, Villanueva Balsera, Cousillas Fernández, & Ortega Fernández, 2018; Vidal & Marle, 2008; Williams, 1999). Associado a isso, a necessidade de criar instrumentos que possam medir essa complexidade assumem um papel de relevância por acreditar-se que a partir dessa medição é possível alocar melhor os recursos (A. T. Nguyen et al., 2015), além de proporcionar mais informações aos tomadores de decisão diretamente ligados as práticas de gerenciamento dos projetos (He et al., 2015).

Considerando que essa pesquisa pretende propor um modelo de classificação da complexidade de projetos, assume-se como justificativa prática a disponibilização de um meio para que os profissionais brasileiros que atuam na área de gestão de projetos possam fazer uso de forma intuitiva e que busque contemplar não somente a fase inicial do projeto, mas que possa ter flexibilidade para avaliação da complexidade durante todo o ciclo de vida do projeto.

Pretende-se ainda dar ao profissional de projetos uma ferramenta de apoio para realização de avaliação prévia da complexidade que pode ser utilizada para priorizar ou segmentar projetos pelo grau de complexidade. Ademais, avaliar a complexidade do projeto durante o ciclo de vida pode contribuir no processo de tomada de decisão para escolha das melhores práticas a serem utilizadas no gerenciamento dos projetos, visto que alguns autores afirmam que os modelos de mensuração existentes geralmente não são instrumentos intuitivos para serem utilizados por usuários finais, pois seus resultados normalmente são difíceis de comunicar (Vidal, Marle, & Bocquet, 2011a) e não fazem uso de padrões já conhecidos para facilitar a compreensão (Poveda Bautista et al., 2018).

Ademais, nota-se que no contexto do gerenciamento de projetos muitas das técnicas que vem sendo utilizadas são baseadas em princípios do PMI descritos no Guia PMBOK ou em outros documentos de referência. Estas técnicas, têm demonstrado ser insuficientes para gestão de aspectos relativos a complexidade de projetos. Tal fato tem reforçado a percepção da necessidade de se utilizar métodos e ferramentas auxiliares que possam contribuir para o processo de tomada de decisão (Pinto, 2012).

Por fim, outra contribuição prática diz respeito ao detalhamento do processo para a construção do modelo de classificação da complexidade de projetos. Neste sentido, as etapas e as atividades realizadas durante o processo de construção poderão servir como uma referência para outros pesquisadores que almejem construir modelos para medição de construtos teóricos em seus trabalhos de pesquisa. Além disso, o uso de técnicas de aprendizagem de máquina traz como contribuição prática a possibilidade de incorporar ao modelo de classificação, características oriundas do conceito de aprendizagem contínua, sendo, portanto, uma contribuição prática para os modelos de mensuração, até então, presentes na literatura.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em 5 capítulos, conforme detalhamento a seguir:

Capítulo 1: Introdução – Apresenta a contextualização e o problema de pesquisa, os objetivos e as justificativas teóricas e práticas da pesquisa;

Capítulo 2: Referencial Teórico – Discorre sobre os conceitos de projeto e gerenciamento de projetos e contextualiza o gerenciamento de projetos no setor público. Apresenta o paradigma da complexidade e discute, brevemente, as Teorias do Caos e da Complexidade. Ocupa-se do surgimento da Complexidade no contexto da Gestão de Projetos e faz um resgate histórico dos modelos de Complexidade de Projetos e das dimensões de complexidade identificadas até então pelos pesquisadores da área. Apresenta e faz referência aos conceitos e métodos da aprendizagem de máquina (*Machine Learning*) a luz da Teoria do Aprendizado Estatístico e da Teoria de Otimização Matemática, com foco no uso de Máquinas de Vetores de Suporte (*Support Vector Machines* - SVM).

Capítulo 3: Procedimentos Metodológicos da Pesquisa - Descreve a metodologia aplicada no desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, caracteriza-se a pesquisa e em seguida aborda-se o processo de revisão sistemática da literatura mostrando o detalhamento do método e dos procedimentos utilizados. Em seguida, trata do modelo teórico utilizado na pesquisa, da seleção da amostra e dos procedimentos de coleta e verificação de dados. Por fim, descreve os processos de análise e tratamento dos dados visando a construção do modelo de classificação da complexidade de projetos;

Capítulo 4: Modelo de Classificação da Complexidade de Projetos – Apresenta a proposta do modelo de classificação da complexidade de projetos. Descreve o modelo proposto e as etapas realizadas durante o processo de construção. Faz uma análise e discussão dos resultados obtidos a partir das etapas de construção e validação do modelo proposto para classificação da complexidade de projetos com base em dados da pesquisa.

Capítulo 5: Considerações Finais - Apresenta as conclusões do trabalho pontuando aspectos relevantes da pesquisa para a área de gestão de projetos sob o ponto de vista prático e teórico. Discorre sobre as limitações e dificuldades da pesquisa e apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este segundo capítulo, apresenta inicialmente definições para os conceitos de projeto e gerenciamento de projetos. Em seguida faz uma contextualização do gerenciamento de projetos no setor público para, posteriormente, discorrer sobre o surgimento de um novo paradigma na ciência voltado para discussão da não-linearidade e da complexidade. Na sequência, fornece um relato histórico sobre as Teorias do Caos e da Complexidade e aborda a emergência da Complexidade no contexto do Gerenciamento de Projetos. Retrata de forma cronológica os modelos de Complexidade de Projetos presentes na literatura e apresenta as dimensões de complexidade identificadas até então pelos pesquisadores da área. Por fim, apresenta conceitos de Aprendizagem de Máquina (Machine Learning), Teoria do Aprendizado Estatístico e aborda o método de aprendizagem supervisionado por meio de Máquinas de Vetores de Suporte (Support Vector Machines - SVM).

2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

2.1.1 Definição de projeto

Segundo Keeling (2000), desde a Antiguidade já se fazia gerenciamento de projetos quando se construíam os templos, cidades, pirâmides e caravelas. No entanto, de forma a proporcionar um melhor entendimento sobre o gerenciamento de projetos há que se compreender em primeiro lugar o que é um projeto (Kerzner, 2014). Para tanto, é interessante lançar mão das definições elaboradas pelas entidades de maior representatividade em gerenciamento de projetos, assim como, pelos autores que desenvolveram seus trabalhos de pesquisa nessa área.

Kerzner (2014) em seu livro “*Gestão de Projetos: as melhores práticas*” define um projeto como um empreendimento que possui um objetivo identificável e bem definido, e que também tem um início e fim determinados. Para o autor, esses projetos são responsáveis por consumir recursos e estão em constante pressão para obedecer a prazos, custos e qualidade estabelecidos.

Já Maximiano (2010), incorpora a ideia de entrega de um produto como objetivo de um projeto além de abordar a questão do caráter temporário quando define projeto como sendo um empreendimento temporário ou uma sequência de atividades que possui começo, meio e fins programados e que tem por objetivo principal fornecer um produto singular, respeitando as restrições orçamentárias.

Valle, Soares, Finochio Jr & Silva (2010) definem objetivamente projeto como sendo um esforço, não permanente, para a criação de um produto ou serviço. Os autores incrementam a definição de projeto acrescentando aspectos ligados às etapas de um projeto a partir de uma associação com a questão da temporalidade e descrevem que o fato de não ser permanente faz com que todo projeto possua três etapas bem definidas e denominadas início, desenvolvimento e fim. Estes mesmos autores ainda afirmam que todo projeto é finalizado quando se atinge os seus objetivos ou quando se verifica que estes não poderão mais ser atingidos ou não vale a pena seguir com o projeto.

Dentre as definições formuladas pelas entidades de representação na área de Gerenciamento de Projetos, a mais comumente utilizada foi proposta pelo *Project Management Institute* (PMI) que, atualmente, é a maior associação de gerenciamento de projetos estabelecida no mundo. O PMI (2013a), em sua 5ª edição do Guia PMBOK, define um projeto como sendo um esforço temporário para que seja possível criar um produto, um serviço ou um resultado único. Para o PMI, todo projeto possui como característica ser temporário, além de possuir um início e fim determinados a partir do alcance ou não dos objetivos pré-estabelecidos.

Além do PMI, outra importante associação, a *International Project Management Association* (IPMA) define projeto como sendo uma operação de tempo e custos restritos que tem como objetivo a realização de um conjunto de entregas definidas obedecendo, necessariamente, aos padrões estabelecidos de qualidade e requisitos (IPMA, 2006).

Já a *Central Computer and Telecommunications Agency* (CCTA), posteriormente, renomeada para *Office of Government Commerce* (OGC) foi responsável pela criação em 1989 do PRjects IN Controlled Environments (PRINCE) que atualmente está em sua segunda versão, denominada PRINCE2, após 7 revisões. O PRINCE surgiu a partir do interesse de agências governamentais do Reino Unido em padronizar projetos de TI e, atualmente, pode ser aplicado também para outros tipos de projetos. Pode ser visto como sendo um método de gerenciamento de projetos genérico e flexível e que permite ser combinado com outros tipos de abordagens para gerenciar projetos. No PRINCE, um projeto é definido como sendo uma organização temporária criada com a finalidade de entregar um ou mais produtos de negócio de acordo com um *Business Case* proposto e acordado entre as partes (Ghosh, Forrest, Dinetta, Wolfe, & Lambert, 2012).

Observa-se que tanto entre os pesquisadores acadêmicos, quanto com relação as entidades de referência na área de Gerenciamento de Projetos, há pequenas variações com relação a conceituação do que vem a ser um “projeto”. No entanto, é possível verificar algumas

características presentes em todas as definições como: o fato de todo projeto ter um início e fim, sendo algo temporário e o foco no cumprimento dos requisitos em busca de obter os resultados almejados

Diante dessa similaridade entre as definições apresentadas pelos diversos atores presentes no contexto do Gerenciamento de Projetos, nesta tese assumiremos a definição de projeto proposta pelo PMI como sendo a base para a compreensão do termo “projeto”. Em um segundo momento, entende-se como algo necessário, expandir a definição para compreensão do termo “projeto complexo”, de forma a adequar-se a discussão sobre complexidade de projetos proposta por esta pesquisa.

2.1.2 Conceito de Gerenciamento de Projetos

Tomando como ponto de partida uma breve revisão da literatura, o conceito de Gerenciamento de Projetos (GP) não é relatado como algo recente e, portanto, já vem sendo utilizado direta ou indiretamente pelo homem desde a Antiguidade para conduzir obras e outras atividades que exigiam algum tipo de gerenciamento para que pudessem ser concretizadas (Lafetá, Barros, & Leal, 2016).

De um ponto de vista mais técnico, associado com a aplicação de ferramentas de planejamento, há uma corrente que defende que o termo gerenciamento de projetos teve seu processo de consolidação durante as décadas de 1950 e 1960, quando métodos e técnicas voltadas para o gerenciamento de projetos passaram a ser estudadas e estruturadas de forma mais ativa (Medeiros, 2017).

Para Olsen (1971), o gerenciamento de projetos ganhou mais notoriedade a partir de 1954 através de um projeto para gerenciamento de colisão de mísseis da Força Aérea dos Estados Unidos gerenciado pelo coronel Bernard A. Schriever. O autor ainda afirma que em 1958 foi desenvolvido o *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) para ajudar no processo de gerenciamento de um outro projeto conhecido como Polaris. Este segundo projeto, que pertencia a marinha americana, tinha como objetivo prover mecanismos que pudessem incrementar o sistema de defesa através da facilitação da entrega de armas.

Foi a partir dessas experiências e dos bons resultados advindos da aplicação das técnicas para gerenciamento de projetos que se iniciou um processo para promover e desenvolver a área de Gerenciamento de Projetos. Nesse período houve uma rápida expansão do uso de práticas associadas ao gerenciamento de projetos que passou também a ser utilizada por outras áreas de conhecimento como telecomunicações e tecnologia da informação, engenharias, desenvolvimento urbano e educacional (Olsen, 1971).

Nessa primeira fase de consolidação, o gerenciamento de projetos esteve focado em questões voltadas para o planejamento de escopo, custo, tempo e qualidade e enfatizava fortemente a utilização de técnicas como *Critical Path Method* (CPM) e *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) (Medeiros, 2017). A definição de gerenciamento de projetos dada por Olsen (1971, p. 14) fazendo referência a esse período evidencia esse direcionamento.

O Gerenciamento de Projetos é a aplicação de uma coleção de ferramentas e técnicas (como o CPM e a organização matricial) para direcionar o uso de diversos recursos para a realização de uma tarefa única, complexa e dentro dos limites de tempo, custo e qualidade. Cada tarefa requer uma combinação específica dessas ferramentas e técnicas estruturadas para se adequar ao ambiente e ao ciclo de vida (da concepção à conclusão) da tarefa (Olsen, 1971, p. 14).

O período de consolidação do gerenciamento de projetos permaneceu em expansão de forma mais significativa até meados da década de 1990 devido às crises econômicas nos anos anteriores e ao processo de globalização que fez com que os profissionais enxergassem a necessidade de desenvolver e utilizar novos métodos que pudessem entregar mais valor a partir de um modelo de gestão efetiva dos projetos (Kerzner, 2014).

Dentro dessa perspectiva de desenvolvimento, Atkinson (1999) cita que as definições propostas por pesquisadores e organizações de interesse na área de gerenciamento de projetos, em sua maioria, remetiam a gestão de custos, tempo e qualidade para mensurar o sucesso de um projeto. Nesse sentido, foi definido o conceito de Triângulo de Ferro para demonstrar a importância desses três pilares e que permanece sendo utilizado por muitos gestores. Com relação ao escopo, muitos autores o consideram como parte da qualidade de um projeto. Há outra corrente que assume o escopo como um dos vértices do triângulo e consideram a qualidade como um elemento central do projeto. A **Figura 1** apresenta o Triângulo de Ferro do Gerenciamento de Projetos.

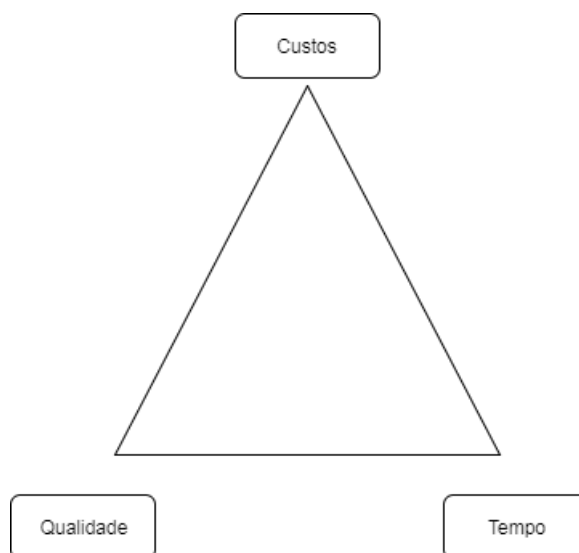


Figura 1. Triângulo de Ferro do Gerenciamento de Projetos.

Fonte: Adaptado de Atkinson (1999)

Para reforçar essa afirmação, o autor cita definições mais recentes da *British Standard for project management BS6079* no ano de 1996 e *UK Association of Project Management (APM)* através do seu *UK Body of Knowledge (UKBOK)*, onde ambas permanecem dando destaque as variáveis custos, qualidade e tempo como sendo as direcionadoras de um bom gerenciamento de projeto.

No entanto, na década de 90, as empresas passaram a compreender que o gerenciamento de projetos se tornou uma necessidade e não mais uma opção de escolha. Os avanços tecnológicos e, conseqüentemente, o incremento na complexidade dos projetos fez com que as organizações direcionassem seus esforços para implementação de mecanismos mais consistentes para gerenciar projetos. Durante os últimos anos, têm-se verificado um crescimento do volume de capital envolvido nos projetos e, conseqüentemente, um aumento das expectativas por parte dos clientes, gerando uma maior competitividade e a necessidade de promover continuamente a inovação no ambiente organizacional de modo a manter a sustentabilidade do negócio (Kerzner, 2009).

É a partir desse reconhecimento que algumas definições de gerenciamento de projetos passam a não limitar sua visão unicamente ao Triângulo de Ferro (Custos, Tempo e Qualidade) e incorporam novas características como a complexidade, os riscos, as incertezas e as mudanças. Nesse sentido, amplia-se o espectro da definição de gerenciamento de projetos. Para Lock (2007), houve uma evolução do conceito de gerenciamento de projetos que passou a contemplar de forma mais elaborada o planejamento, a coordenação e o controle de tarefas

complexas e variadas. Surge, portanto, a demanda por uma visão mais integrada do projeto devido as mudanças que vem ocorrendo no ambiente organizacional (Medeiros, 2017).

Ainda sob o olhar de Lock, a presença do risco e da incerteza no processo de gerenciamento traz consigo a convicção de que a previsibilidade absoluta não faz parte do cenário de desenvolvimento de projetos e que, a partir dessa percepção, lidar com a complexidade passa a ser um dos componentes norteadores de todo o processo de gerenciamento que busca o êxito do projeto.

Diante de todo o processo evolutivo da conceituação de gerenciamento de projetos, é importante destacar a mudança de uma visão restrita e tradicional para uma visão mais holística, alinhada as demandas atuais e aos avanços obtidos a partir da incorporação de boas práticas de gestão. Tal fato, contribuiu de forma relevante para expansão e adequação desse conceito (Medeiros, 2017). Nesse sentido, o PMI (2013a) define gerenciamento de projetos como sendo “a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para a execução de projetos de forma efetiva e eficaz”.

Não obstante, a definição proposta pelo PMI não contempla nenhuma referência direta ao Triângulo de Ferro e nem aos seus três pilares. Empenha-se, portanto, em aproximar-se de uma definição mais pragmática e operacional das atividades de gerenciamento de projetos e das boas práticas de gestão, indicando a tentativa de evolução do conceito no sentido de incorporar um viés pragmático de gestão. No entanto, ainda deixa a desejar no que diz respeito a admitir aspectos mais subjetivos do processo de gerenciamento de projetos e que, atualmente, tem sido reconhecido e integrado a uma visão mais holística do gerenciamento.

De modo a contribuir com a temática e promover um melhor alinhamento com uma visão mais holística do gerenciamento de projetos, esta tese apresenta uma definição para o gerenciamento de projetos que também servirá como referência para todo o processo de desenvolvimento da pesquisa. Busca-se a partir dessa definição, integrar a definição de gerenciamento de projetos proposta pelo PMI (2013a) aos conceitos de complexidade de projetos propostos por Baccarini (1996), Brockmann & Girmscheid (2007), Vidal & Marle (2008) e Chapman (2016). Logo, define-se o Gerenciamento de Projetos como ***a arte de utilizar teoria e prática para planejar, executar e finalizar projetos de forma a obter os resultados almejados assumindo que todo projeto possui graus de multiplicidade e interrelação entre os elementos constituintes que acarreta na imprevisibilidade do seu comportamento durante o ciclo de vida.***

2.1.3 Gerenciamento de Projetos no setor público

Desde a adoção da chamada Nova Gestão Pública (*New Public Management* – NPM), o setor público tem passado por mudanças relevantes em busca de modernização e incorporação de práticas que possam contribuir para a melhoria da prestação de serviços. Nesse sentido, a mudança de paradigma para um modelo mais gerencial trouxe consigo a necessidade de aplicação de ferramentas inovadoras, bem como o emprego práticas associadas ao gerenciamento de projetos (Peters, 2008).

Andrade Neto & Vacovski (2017) afirmam que em virtude da sua capacidade transformadora nas organizações, o gerenciamento de projetos tem assumido um papel de destaque e isso tem favorecido a implementação dessas práticas também no setor público, que busca capturar parte desse sucesso originário, na maioria dos casos, do setor privado.

Para Gilson, Feitosa & Souza (2018), os governantes que estejam interessados em fazer uso eficiente e eficaz de recursos públicos, para desenvolver e implantar projetos complexos, necessitam reconhecer a importância do gerenciamento de projetos. Os autores relatam a existência de experiências positivas na adoção do gerenciamento de projetos no setor público brasileiro, porém afirmam que ainda é um desafio a ampliação do seu uso como ferramenta de gestão. Grande parte desse desafio é atribuído a existência de diferenças entre organizações do setor privado e organizações do setor público que vão além do fundamento de base do setor privado: o lucro (Wirick, 2009).

Sendo assim, compreender o gerenciamento de projetos no setor público deve partir, inicialmente, do entendimento do que vem a ser um projeto público (Kassel, 2010). Esse mesmo autor define projeto público como sendo “... um empreendimento temporário, realizado, gerenciado ou supervisionado por uma ou mais organizações financiadas publicamente para criar um produto exclusivo de valor público”. A ideia de projeto público proposta por Kassel incorpora de um lado parte da definição de projeto concebida pelo PMI (2013) e de outro, as particularidades existentes nos projetos do setor público, como: o uso de recursos públicos decorrentes da cobrança de taxas e tributos e o resultado do projeto ter valor público e não privado.

Há na indústria e entre os acadêmicos o desejo de compreender melhor as nuances do gerenciamento de projetos no setor público e isso tem levado ao desenvolvimento de estudos e publicação de relatórios e pesquisas que buscam dirimir questões incompreendidas até então. Um dos exemplos é o relatório que trata sobre riscos em projetos de TI no setor público da *Organisation for Economic Co-Operation and Development* - OECD que reforça a ideia de que as organizações do setor público atuam em um ambiente distinto do setor privado. O relatório aponta fatores que ajudam a compreender as características que diferenciam os

projetos do setor público. Entre esses fatores, cita que a velocidade e a quantidade de mudanças nas leis e normativos tem causado dificuldade para o cumprimento de prazos e que, apesar do setor privado também ser afetado por essas mudanças, o setor público sofre maior impacto devido a burocracia.

Outro aspecto levantado pelo relatório, diz respeito aos mecanismos de transparência pública que passaram a ser implementados pelo setor público e que exigem mais atenção por parte dos gestores, visto que, passam a ser observados por quaisquer atos realizados durante o ciclo de vida do projeto. Além disso, o relatório ainda menciona as influências políticas e a dificuldade na distribuição de recursos entre os projetos como algo bastante presente no contexto público, incorporando mais complexidade a esse tipo de projeto.

De modo a contribuir nas discussões, o PMI reconheceu a relevância da temática quando elaborou documento chamado de “*Government Extension to the PMBOK® Guide Third Edition*” criando uma extensão ao Guia PMBOK para tratar questões específicas de projetos associados ao setor público. Neste documento, o PMI faz um paralelo entre as diferenças existentes nos projetos do setor público comparando-os com o setor privado. O documento apresenta as diferenças, porém sem deixar de lado as similaridades existentes entre os dois tipos de projetos. Por ser considerado uma extensão, o documento não exclui o uso do Guia do PMBOK e afirma que devem ser utilizados de forma conjunta (PMI, 2006). Em complemento a essa iniciativa, o PMI instituiu um grupo de interesse voltado exclusivamente para projetos ligados as organizações públicas como forma de criar um canal onde os gestores de projetos do setor público pudessem compartilhar as melhores práticas adotadas e ampliar suas capacitações (Wirick, 2009).

Neste mesmo documento, o PMI (2006) ressaltou que os projetos executados no ambiente do setor público têm como característica comum o uso de recursos governamentais com o objetivo de promover um ou mais benefícios para os cidadãos e que, normalmente, não buscam diretamente obter resultados financeiros. A distinção feita entre os projetos do setor público e privado também é caracterizada por uma maior presença de requisitos e restrições legais nos projetos governamentais quando comparado aos projetos do setor privado. Somado a isso, para o PMI há uma responsabilidade de administração do interesse público quanto ao uso de recursos e prestação de contas, o que não se observa com a mesma amplitude no setor privado.

Em seu livro “*Public-Sector Project Management: Meeting the Challenges and Achieving Results*”, David Wirick apresenta suas contribuições elencando um conjunto de

fatores como alguns dos motivadores para aumentar a dificuldade de gerenciamento de projetos do setor público. São eles:

- Operação em um ambiente conflitante de metas e objetivos;
- Envolvimento de muitas partes interessadas com interesses distintos;
- Necessidade de administrar interesses políticos e operar sob o escrutínio da mídia;
- Ter baixa tolerância a falha;
- Operar em organizações que geralmente tem dificuldade em identificar medidas de resultado;
- Exigência de execução sob restrições impostas por regras administrativas, políticas e processos complicados que podem atrasar projetos e consumir recursos;
- Exigir a cooperação e o desempenho de agências fora do time de projeto para compra, contratação e ou outras funções;
- Devem se contentar com os recursos de pessoal existentes com mais frequência do que os projetos privados, por causa das proteções do serviço civil e dos sistemas de contratação;
- São realizados em organizações que podem não estar confortáveis ou acostumadas com ações direcionadas e sucesso de projetos;
- São realizados em um ambiente que pode ser muito influenciado politicamente;
- Deve atender as partes interessadas que vão surgir no decorrer do ciclo de vida do projeto e que são imprevisíveis de saber;
- Baixa maturidade de gerenciamento de projetos pelos profissionais das organizações públicas;

Wirick (2009) cita um conjunto de fatores externos que poderão ampliar as exigências por projetos públicos mais consistentes e que podem impactar diretamente nos resultados obtidos: baixo crescimento econômico, globalização, redução salarial e reforma tributária, aumento das demandas estatais por parte da população, limitação de cobrança de tributos por parte do Estado gerando queda nas receitas, necessidade de redirecionamento das receitas estatais para cobrir custos com segurança, saúde e educação e o atraso em investimentos de infraestrutura. Sendo todos esses, diretamente ligados ao setor público em maior ou menor grau.

Considerando os fatores elencados na literatura, reforça-se a percepção da importância do gerenciamento de projetos para o setor público. Partindo desse entendimento, é oportuno promover estudos que possam apoiar o desenvolvimento de instrumentos que auxiliem os gestores de projetos públicos a ter em mãos mecanismos que contribuam para um melhor gerenciamento dos seus projetos.

Não é objetivo desta tese esgotar todas as referências e discutir de forma aprofundada as diferenças entre o gerenciamento de projetos do setor público e privado. O interesse desta pesquisa, no tocante a essas diferenças, limita-se a reconhecer através da literatura a importância da distinção entre os projetos públicos e privados, pois este reconhecimento abre uma nova perspectiva para o desenvolvimento de ferramentas que possam agregar valor ao gerenciamento de projetos incorporando as particularidades específicas de projetos voltados ao atendimento das demandas do setor público.

No entanto, é importante não esquecer que mesmo diante das evidências apontadas, há que se considerar a existência de uma componente de complexidade que introduz mais dificuldade ao processo de gerenciamento de projetos (Wirick, 2009). As iniciativas de gerenciamento de projetos no setor público citadas nessa seção não fazem menção a aspectos relativos à complexidade. Portanto, permanecem assumindo o viés prescritivo das abordagens tradicionais e não contemplam as características emergentes e dinâmicas do gerenciamento dos projetos. Nesse sentido, inserir a complexidade neste debate traz um novo olhar para o gerenciamento de projetos públicos.

2.2. TEORIA DA COMPLEXIDADE E A COMPLEXIDADE DE PROJETOS

2.2.1 Complexidade: um novo paradigma para a Ciência

A compreensão do homem como um ser que interage diretamente com o universo e o controle dessas interações sempre se fez presente nas discussões entre os pensadores e filósofos desde a Grécia Antiga. Nesse período, esteve presente uma forte influência de uma visão associada a Teologia, onde um ser divino era tido como elemento fundamental para compreensão da relação do homem com a natureza e os respectivos resultados decorrentes dessa interação. A crença numa figura divina assumia importância mais significativa que o uso de mecanismos cientificamente comprovados para a explicação dessa interação.

Com a evolução das ciências naturais e com uma maior presença de estudiosos ligados a essa área, surge então uma nova perspectiva que abandona a ideia de um ser divino como base para compreensão das interações do homem com a natureza. Os cientistas passaram a

descrever os fenômenos a partir de uma visão reducionista e com o menor número de elementos possíveis. Inaugura-se, portanto, uma nova era na busca da sistematização da pesquisa científica através de métodos. Essa fase foi caracterizada por estar fortemente amparada na matemática e na física.

Segundo Ponchirolli (2007), a ciência moderna surgiu num contexto onde a presença de um diálogo experimental tinha como principal objetivo entender o funcionamento do universo, da natureza e do comportamento humano além de aprender técnicas que pudessem suportar as modificações e que proporcionassem um domínio sobre o que estava sendo pesquisado. Foi durante esse período, que matemáticos e físicos assumiram papel de destaque no meio científico, pois novas fronteiras se abriram para esses pesquisadores.

Era o momento de consolidação da ciência clássica, principalmente, a partir da publicação de '*Philosophiae naturalis principia mathematica*' por Isaac Newton no ano de 1687, que fez com que a comunidade científica assumisse um novo paradigma onde havia um reconhecimento de que os sistemas eram todos ordenados e lineares (Bertelsen, 2003). Para Newton, as leis da natureza estabeleciam a previsibilidade aos sistemas, tornando-os aptos a serem descritos como se fossem máquinas determinísticas e que tinham como princípios a regularidade e a ordem, a chamada visão de determinismo mecanicista (Bertelsen, 2003; Daña, 2014; Ponchirolli, 2007).

Nesse universo determinístico e mecanicista, têm-se a ideia de que a partir das condições iniciais de um sistema consegue-se prever as condições futuras com base unicamente nas mudanças de seu estado inicial. Prevalece assim, uma ideia de causa e efeito, onde cada causa necessariamente estaria associada a um dado efeito (Daña, 2014; Naveira, 1998). O pensamento linear proposto por essa visão reducionista assume que a compreensão do todo poderia ser totalmente obtida através de uma análise das partes isoladamente. Considera-se, portanto, a ideia de que o universo seria totalmente explicado a partir de leis e cálculos matemáticos supostamente imutáveis (Daña, 2014; Naveira, 1998).

Essa máxima esteve alicerçada pelas Teorias de Newton durante vários anos até que a física inaugura uma nova fase onde as discussões sobre as Leis da Termodinâmica ganham espaço a partir do século XVII, com a Revolução Industrial. É nessa época que os cientistas enxergam as primeiras fragilidades presentes nas teorias propostas por Newton e que estariam intimamente ligadas a ideia de regularidade e ordem dos sistemas (Bertelsen, 2003; Naveira, 1998; Ponchirolli, 2007; Siffert, 2009).

Ademais, o surgimento da teoria quântica e a limitação imposta a partir do princípio da incerteza de Heisenberg põe em xeque todo o arcabouço teórico proposto pela física clássica,

que afirma ser possível determinar com precisão a posição e o movimento dos corpos quando se conhece as condições iniciais. O físico Werner Heisenberg e o seu princípio da incerteza rompem de forma categórica e definitiva com todo o pensamento mecanicista proposto por Newton e inaugura uma nova etapa da pesquisa científica buscando obter uma resposta mais objetiva e assertiva da realidade por meio de um espectro mais abrangente e que contemple uma visão mais holística (Naveira, 1998).

Para Heisenberg, não é possível prever simultaneamente a posição e o movimento dos corpos unicamente pelo conhecimento das condições iniciais. Existe uma incerteza que gera a necessidade de um olhar mais abrangente sobre o todo. Muitos anos após as primeiras inferências feitas por Heisenberg, Edgar Morin em seu livro *“Ciencia con Consciencia”*, define o **holismo** com sendo esse novo princípio que busca dar uma explicação que vá além do que propõe o paradigma reducionista e faça uma análise a partir do todo ao invés de se limitar a buscar explicação pela análise unicamente das partes (Morin, 1984).

Diante desse cenário, o uso de métodos que limitam a análise a poucos elementos e assume uma perspectiva puramente reducionista tornou-se objeto de questionamentos por parte da comunidade científica em diversas áreas. Lidar com uma concepção limitada aos aspectos estáticos para compreender certos fenômenos, não atendia a realidade que estava posta.

Buscou-se, portanto, uma compreensão mais ampla tanto do que é estático quanto das suas características dinâmicas e mutáveis no decorrer do tempo, da sua imprevisibilidade, da sua sensibilidade e da sua auto-organização. Já dizia Waldrop (1993), que o entendimento do que é tido como complexo transcende a visão mecânica e o pensamento linear. Se assumirmos uma análise baseada numa perspectiva sistêmica, verificaremos que as interligações presentes entre os componentes do sistema irão trazer mais informações do que as partes isoladamente. Tal fato, faz com que a análise dos sistemas complexos necessite dar ênfase também nas conectividades entre os componentes para tentar obter a compreensão do todo a partir das partes e do conhecimento gerado das suas interações.

Segundo Naveira (1998), o surgimento da física quântica praticamente estabeleceu o fim do pensamento reducionista e trouxe consigo teorias que buscaram estabelecer um novo paradigma para a ciência, que pudesse explicar a complexidade dos sistemas, a incerteza e a não linearidade. Do ponto vista organizacional, em especial, voltado para o Gerenciamento de Projetos, algumas teorias como a Teoria Geral de Sistemas e a Teoria do Caos e da Complexidade assumiram um papel de destaque ao propor alternativas que pudessem explicar essas características emergentes presentes nos sistemas (dos Santos, Pelosi, & de Oliveira, 2012).

A partir desse contexto surgiu a ideia de um novo paradigma na ciência associado a uma ótica de integração entre as entidades e de compreensão dessas relações e dos seus efeitos. Criou-se a ideia de uma ciência ligada aos diversos conceitos associados a complexidade. De acordo com Waldrop (1993), a complexidade faz parte de uma nova ciência que agrega diversas áreas inclusive a Cibernética, a Teoria Geral dos Sistemas e a Dinâmica de Sistemas não-lineares.

Outros autores, como Silva, Freitas, & Cândido (2014) destacam que Edgar Morin, na obra que denominou como Paradigma da Complexidade, tomou como base a Cibernética, a Teoria Geral de Sistemas, Estruturalismo e a Teoria da Informação para fundamentar a ideia de que a concepção estática da compreensão de mundo está longe de ser suficiente para compreensão do universo vivo onde pluralidade de relações e as incertezas podem gerar ações impossíveis de prever. Nesse sentido, a imprevisibilidade juntamente com outras características determinam o caráter de não-linearidade a todos os sistemas e reforçam a ideia do surgimento de um novo paradigma para ciência: O Paradigma da Complexidade (Morin, 1984).

Para Ponchirolli (2007), a percepção da não-linearidade do mundo real é tida como um dos avanços mais importantes do século XX, pois insere e interliga a Teoria da Complexidade a distintas áreas de conhecimento como física, matemática, biologia, economia, sociologia, gestão etc. Diante desse novo paradigma, o autor indica que pensadores das ciências sociais passaram a enxergar a partir da teoria do caos e da complexidade um novo universo para compreensão da dinâmica das organizações, vista como sistemas complexos onde muitos agentes interagem em busca de uma auto-organização, que se adapta à medida que os agentes evoluem e aprendem.

2.2.2 Teoria do caos e da complexidade

O marco inicial e de maior representatividade da Teoria do Caos presente na literatura aponta para o trabalho de Edward Lorenz, na década de 60, como meteorologista do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Nessa época, Lorenz trabalhava em simulações de condições meteorológicas com o objetivo de construir equações simples que pudessem prever como essas condições se comportariam no futuro (Gleick, 1989; Siffert, 2009; Wood Jr, 1993)

Durante um dos seus experimentos, já depois de ter conseguido demonstrar que um conjunto de equações matemáticas poderia prever de forma linear as condições climáticas futuras, Lorenz se depara com um fato novo quando altera as casas decimais dos números

iniciais inseridos no programa (*software*) e observa resultados distintos dos que vinham sendo observados anteriormente. Os resultados obtidos por Lorenz indicavam uma alta sensibilidade quando se alterava as condições iniciais e isto poderia desencadear uma mudança significativa no resultado final da previsão (Gleick, 1989).

Diante de tal constatação, tornou-se aparente que a linearidade e a ideia de causa e efeito possuía grande dependência das condições iniciais. Além disso, ao contrário do que se imaginava, a alteração das condições iniciais não necessariamente geraria efeitos de mesma magnitude nos resultados finais. Essa constatação levou a conclusão de que as mudanças nas condições iniciais poderiam gerar efeitos de magnitude incalculável e completamente imprevisíveis, apesar de não aleatórios. Lorenz, inicialmente, denominou esse fenômeno como Efeito Borboleta, mas posteriormente, este fenômeno ganhou uma nomenclatura mais técnica passando a ser reconhecido como dependência sensível das condições iniciais (Daña, 2014; Gleick, 1989; Siffert, 2009; Wood Jr, 1993).

De forma metafórica e simplista, Lorenz definiu o Efeito Borboleta com base na ideia de que se uma borboleta batesse asas numa cidade X, não seria possível predizer o efeito que essa ação causaria numa cidade Y. Nesse sentido, Lorenz afirmou que apesar de termos sistemas que podem ser explicados através de equações matemáticas simples, à medida que não conhecemos ou alteramos as condições iniciais, os efeitos gerados por esse não conhecimento ou devido as alterações inviabilizam uma predição assertiva e plenamente confiável. Em contrapartida, esses mesmos sistemas estão sempre buscando convergir para um cenário mais próximo do equilíbrio. Tal fato pode ser explicado pelo efeito dos chamados Atratores de Lorenz, porém, na prática, esses sistemas nunca retornariam exatamente as suas condições iniciais (Curlee & Gordon, 2010).

Todo esse relato é tido como o início dos estudos relacionados a Teoria do Caos que para Daña (2014), é vista como sendo um termo guarda-chuva que reúne um conjunto de conceitos e que tem como objetivo oferecer ideias alternativas que possam explicar o comportamento de não linearidade dos sistemas. O autor reforça que a definição do termo “caos” está intimamente ligada ao confronto entre as visões de mundo linear e não-linear, sendo que, a compreensão dessas visões antagônicas está assentada no fato de que, o que é não-linear está sob o efeito do caos e, conseqüentemente, esse efeito gera a perda de sua característica de linearidade. Ainda na visão do autor, a Teoria do Caos reconhece a importância da interação entre os elementos presentes nos sistemas e não somente os elementos por si só.

Segundo Singh & Singh (2002), a “Teoria do Caos está alicerçada no estudo do comportamento aperiódico instável dos sistemas dinâmicos não-lineares deterministas”. Essa

teoria é baseada nos conceitos de atratores, fractais, aperiodicidade e na ideia de sistemas dinâmicos. É uma teoria que tem características intimamente ligadas a descoberta de padrões que regem uma série de fenômenos complexos, mas que nem por isso pode ser vista como sendo uma teoria que visa dar previsibilidade a esses fenômenos. Pelo contrário, a imprevisibilidade faz parte da teoria do caos desde o momento que ela assume que alterações pequenas nas condições iniciais podem ocasionar em mudanças de grande magnitude e impossíveis de mensurar (Wood Jr, 1993).

Esse cenário de imprevisibilidade e incerteza deram origem a Teoria do Caos e a Teoria da Complexidade que são vistas, por muitos, como sendo termos com mesmo significado e utilizados para explicar o funcionamento das coisas que estão presentes na vida real (Siffert, 2009). Daña (2014), corrobora com a mesma ideia quando pontua que o termo Teoria do Caos tem sido frequentemente utilizado de forma intercambiável com termos como Teoria dos Sistemas Complexos, Teoria da Complexidade ou Teoria dos Sistemas Dinâmicos ou Não-Lineares, mas que na prática fazem referência a um mesmo conjunto de conceitos. No entanto, a Teoria da Complexidade historicamente é vista como sendo uma evolução da Teoria do Caos, onde há inclusive relatos científicos dessas evolução desde o século XIX (Curlee & Gordon, 2010).

Para Curlee & Gordon (2010), durante muitos anos os conceitos relacionados a Teoria do Caos estiveram bastante presentes nas discussões entre matemáticos e físicos, porém durante esse período as conclusões ficaram restritas a esses cientistas e pouco se estabeleceu relações com outras áreas. Os autores ainda afirmam que a descoberta promovida por Edward Lorenz foi durante anos deixada de lado pelo fato do mesmo ser um meteorologista e não possuir credibilidade entre os matemáticos e físicos, e que isso contribuiu para que as correlações com outras áreas de conhecimento fossem desacreditadas. No entanto, apontam que o reconhecimento do trabalho de Lorenz trouxe contribuição importante para o desenvolvimento e expansão do uso da Teoria do Caos por outras áreas, inclusive na área organizacional e mais recentemente na área de Gerenciamento de Projetos.

Wood Jr (1993) reforça essa mesma visão quando diz que a adoção dos conceitos da Teoria do Caos iniciou-se em estudos ligados a modelagens matemáticas e associados as áreas de meteorologia, biologia, física e química. Num segundo momento, adentrou num universo mais científico devido a sua característica de transdisciplinariedade e, finalmente, no mundo organizacional quando esta passou a buscar nas ciências naturais a compreensão dos fenômenos que ocorriam no ambiente das organizações.

No contexto científico, as pesquisas relacionadas com a Teoria do Caos e Complexidade tem evoluído a partir de um conjunto de conceitos que permeiam toda a discussão associada a área. Para Lukocevicius (2016), alguns marcos são importantes e devem ser destacados como sendo responsáveis pela evolução das pesquisas na área, são eles: o efeito borboleta, os atratores caóticos, os fractais, a universalidade e a padronização, as estruturas dissipativas, a fronteira do caos, a emergência, os sistemas adaptativos complexos e, por fim, as redes complexas.

Não é intenção deste trabalho apresentar detalhes sobre cada um desses conceitos de forma individualizada, visto que compreender a Teoria da Complexidade no contexto desta pesquisa deve-se exclusivamente ao reconhecimento da existência de um novo paradigma que assume a presença da não-linearidade nos projetos. Reconhecer a não-linearidade contribui para um melhor entendimento das interações entre os elementos constituintes de um projeto.

A Teoria da Complexidade aceita que existem diversas incógnitas e a melhor maneira de lidar com estas seria ter um processo flexível ao invés de uma contingência rígida (Weaver, 2007), pois há muitas partes interagindo de forma conjunta e a compreensão dessas interações baseia-se também na observação e não somente em modelos matemáticos (Curlee & Gordon, 2010).

Entender a não-linearidade no Gerenciamento de Projetos é assumir que existem características como ambiguidade, comportamentos emergentes e incerteza que são inerentes a todos os projetos e que não estão sob o controle total do gestor do projeto devido a sua imprevisibilidade. Todavia, nem por isso devem ser negligenciadas ao ponto de assumir a postura de que os projetos são meramente sistemas lineares e que podem ser controlados de forma completamente determinística e usando métodos puramente prescritivos.

Nesta tese, assim como no trabalho de Daña (2014), optou-se por utilizar o termo Teoria do Caos para delimitar aspectos conceituais dessa teoria unicamente a esse referencial teórico. Em outras partes da tese, quando fizermos referência aos conceitos relacionados com a Teoria do Caos, estes serão contextualizados fazendo uso do termo complexidade. Com isso, busca-se evitar problemas de compreensão de conceitos mais técnicos ligados a complexidade e associados ao Gerenciamento de Projetos que irão surgir de forma recorrente no texto.

2.2.3 Conceito de Complexidade de Projetos

A medida que os anos passam, têm-se notado um crescente interesse em aprofundar o entendimento sobre complexidade de projetos entre os profissionais e acadêmicos (Geraldi,

Maylor, & Williams, 2011). No entanto, somente a partir do final da década de 1990, que este interesse passou a ficar mais evidente (Baccarini, 1996).

Antes de se debruçar sobre o que vem a ser a complexidade de projetos é importante compreender o conceito de complexidade, que deriva da palavra “*complexus*” e que tem como significado “tecer junto” (Schlindewein & Ison, 2004), para em seguida passar a investigar como a complexidade se insere nos projetos.

A definição dada por um dicionário para o termo “complexidade” afirma está relacionada com um grande número de partes interagindo e que a ciência da complexidade está associada ao estudo das interações existentes entre essas partes (Lu et al., 2015). Além desse significado, o uso do termo no contexto científico fez surgir outras interpretações que geraram definições diferentes entre as mais diversas áreas de conhecimento (Schlindewein & Ison, 2004).

Em meio a essa pluralidade de interpretações, duas abordagens distintas feitas por Schlindewein & Ison (2004) ajudaram a situar o conceito de complexidade dentro de uma perspectiva mais epistemológica. A primeira abordagem assume que a complexidade pode ser entendida como uma propriedade intrínseca de um sistema e a define como complexidade descritiva. A complexidade descritiva parte do princípio que existe uma realidade objetiva na qual a complexidade está inserida. Com base nessa interpretação entende-se que também é possível objetivamente mensurá-la. Devido ao seu caráter descritivo, diversos estudos foram conduzidos na tentativa de quantificar e mensurar essa complexidade.

Por outro lado, uma segunda abordagem é conhecida como complexidade percebida e tem um caráter mais subjetivo que está associado diretamente a percepção de complexidade de uma situação por parte do observador. Esse tipo de complexidade é tido como variável, pois a experiência e vivência do observador com a situação a ser avaliada pode contribuir para uma variação dessa percepção. Nesse sentido, torna-se mais difícil estabelecer um modelo genérico de mensuração de complexidade devido a subjetividade da complexidade percebida.

Considerando o universo de projetos, para compreender como a complexidade se relaciona com a área, observou-se que no estudo “*Six decades of project management research: Thematic trends and future opportunities*” os autores Padalkar e Gopinath (2016) fizeram uma extensiva revisão da literatura relacionada às pesquisas em gerenciamento de projetos. Nesse estudo, buscou-se identificar as temáticas que caracterizaram a pesquisa na área durante as últimas seis décadas pontuando os temas do passado, do presente e apontando tendências futuras do Gerenciamento de Projetos. Dentre as contribuições relevantes desse estudo, os autores definem o gerenciamento de projetos com base em três eras distintas, porém

sobrepostas, e que servirão de base para chegarmos ao entendimento de como a complexidade passou a ser considerada nos projetos.

Segundo Padalkar e Gopinath (2016) as pesquisas na área de Gerenciamento de Projetos são divididas em três grandes eras denominadas: determinística, explanatória e não-determinística.

- **Era Determinística:** teve seu início nos anos 60 e sempre esteve caracterizada por temáticas focadas na avaliação dos resultados dos projetos a partir do cumprimento dos pilares de custo, tempo e recursos e sempre de forma bastante racional e determinística; Segundo os autores essa era teve seu maior destaque durante os anos 80 porém sua utilização acabou sendo reduzida com o passar dos anos;
- **Era Explanatória (Explicativa):** a partir da década de 80 passa-se a enxergar a necessidade de explicação de alguns fenômenos que ocorriam nos projetos. Para tanto, diversos estudos foram empreendidos visando a partir de pesquisas identificar os antecedentes do desempenho de um projeto. Nessa fase, os resultados das pesquisas possibilitaram identificar variáveis, fatores e boas práticas que poderiam ser utilizadas para obter melhores resultados nos projetos. É um período onde a busca por respostas que possam justificar o sucesso ou fracasso de um projeto ganhou muita evidência;
- **Era Não-Determinística:** Surge em meados dos anos 2000 e tem como foco o pensamento de projetos a partir de outros paradigmas que não estejam somente ligados ao determinismo. As pesquisas assumem como temáticas principais a ideia de projetos como sistemas complexos e da compreensão do constructo de complexidade e da sua evolução. Os resultados desses estudos contribuem tanto para melhor compreensão do conceito de complexidade, bem como para identificação de modelos, dimensões e fatores que compõem a complexidade de projetos. É nessa era que se reconhece que os projetos não são lineares e que o gerenciamento puramente prescritivo é limitado. Logo, assume-se que há necessidade de criar novas formas e abordagens para melhorar o gerenciamento de projetos;

Direcionando as atenções para o Gerenciamento de Projetos, é a partir da chamada Era Não-Determinística que percebe-se a complexidade como uma das temáticas de relevância nas pesquisas (Cicmil, Williams, Thomas, & Hodgson, 2006). O aumento da complexidade dos projetos aproximou o paradigma não-determinístico do Gerenciamento de Projetos (Padalkar & Gopinath, 2016a) e isto fez com que a complexidade assumisse um papel de destaque como

um dos tópicos de pesquisa relevantes na área de gerenciamento de projetos (Cicmil et al., 2006).

No entanto, diversos estudos presentes na literatura científica e não-científica ainda relatam a falta de consenso entre os estudiosos da área com relação a uma definição clara para o conceito de Complexidade de Projetos (Baccarini, 1996; Bakhshi, Ireland, & Gorod, 2016; Padalkar & Gopinath, 2016a; PMI, 2013a; Vidal & Marle, 2008; Williams, 1999). Alguns pesquisadores defendem que é necessário visualizar os projetos a partir dos seus problemas e de forma holística, não considerando somente os seus elementos de forma isolada, e sim, atribuir um olhar ao conjunto dos elementos e das suas interrelações (Baccarini, 1996; Williams, 1999; B. Xia & Chan, 2012). Esse entendimento vai de encontro com a visão determinística utilizada, até então, como o modelo padrão de gerenciamento dos projetos e que se baseia em modelos prescritivos.

Na década de 90, surgiram os primeiros trabalhos que inseriram de forma efetiva a complexidade no contexto de projetos. O trabalho de Baccarini (1996), trouxe uma nova leitura e inaugurou uma nova fase no gerenciamento de projetos afirmando que a área tem feito uso da teoria geral de sistemas como base para a compreensão do funcionamento dos projetos e classificando-os como sistemas complexos. Para Baccarini (1996), compreender a complexidade de projetos e a forma como ela deve ser gerenciada durante o ciclo de vida do projeto tem significativa relevância e isso faz com que a complexidade passe a ser considerada como uma dimensão crítica do projeto. Sob essa ótica, todos os projetos necessariamente possuem algum grau de complexidade que necessita ser gerenciado. Com base na Teoria da Complexidade, esses projetos podem ser encarados como sendo sistemas complexos adaptativos (Whitty & Maylor, 2009).

Para Newman (2011), não há uma definição técnica precisa do que vem a ser um "sistema complexo", mas a maioria dos pesquisadores dessa área adota o conceito de sistema complexo proposto por Simon (1969) que o define como um sistema que possui muitas partes que interagem entre si de forma que o comportamento conjunto das partes resulta numa soma maior do que a soma das partes quando analisadas de forma individual. Newman (2011) ao definir um sistema complexo lança mão da Teoria Geral de Sistemas, que afirma ser necessária uma análise global dos sistemas, visto que as interdependências e interações entre as partes faz surgir novos comportamentos a partir desses relacionamentos e que não podem ser observados numa análise das partes isoladamente (Bertalanffy, 2010). O autor caracteriza esse comportamento como "emergente" (Newman, 2011). Logo, na visão de Newman, um sistema

complexo pode ser definido como um sistema de partes que interagem e exhibe comportamentos emergentes.

Esta definição, tem sido utilizada pelos pesquisadores da área de gerenciamento de projetos para elucidar o conceito de projeto a partir da perspectiva de sistemas complexos. Diante desse novo cenário, têm-se discutido que o uso de técnicas e ferramentas tradicionalmente utilizadas para gerenciar projetos não são adequadas e deve-se, portanto, buscar novas alternativas que possam contribuir para melhoria do gerenciamento de projetos assumindo essa nova realidade que está posta (Chapman, 2016; Vidal et al., 2011a).

No entanto, antes de se pensar em desenvolver novas técnicas e ferramentas é necessário tomar ciência da questão principal, que diz respeito, a falta de consenso com relação a definição do que vem a ser complexidade de projetos. Em seu estudo recente, Hussein, Silva, & Pigagaite (2013) indicaram a existência de várias definições de complexidade, o que demonstra, em parte, um desalinhamento entre os pesquisadores. De forma a contribuir com a análise e com base numa extensa revisão da literatura, a **Tabela 2** apresenta várias definições de complexidade de projetos identificadas em dicionário e trabalhos correlatos.

Tabela 2
Definições de Complexidade de Projetos

Autor(es)	Ano	Definição
Dicionário	-	1) Consiste em muitas partes variadas e inter-relacionadas / 2) Complicado, envolvido, intricado
Perrow	1965	A complexidade de uma tarefa é o grau de dificuldade e a quantidade de tempo de raciocínio e conhecimento necessários para executar a tarefa.
Larson e Gobeli	1989	A complexidade em projetos é o número de diferentes disciplinas ou departamentos envolvidos no projeto, assim como a complicação do design propriamente dito.
Turner e Cochrane	1993	A complexidade do projeto é a medida do quão as metas e objetivos estão bem definidos para alcançar os resultados desejados.
Gidado	1996	A complexidade do projeto é a medida da dificuldade de implementar um fluxo de trabalho planejado em relação aos objetivos do projeto.
Baccarini	1996	A complexidade do projeto consiste em muitas partes variadas e inter-relacionadas e que podem ser operacionalizadas em termos de diferenciação e interdependência.

Maier	1998	Interdependência operacional e gerencial dos elementos - desenvolvimento evolutivo - comportamento emergente - distribuição geográfica
Edmonds	1999	Complexidade é a propriedade de um modelo que dificulta a formulação de seu comportamento geral em uma dada linguagem, mesmo quando se fornece informações razoavelmente completas sobre seus componentes atômicos e suas inter-relações.
Sbragia	2000	O número de elementos no projeto, a intensidade das interações entre os elementos e a dificuldade de cooperação entre as áreas funcionais
Tatikonda e Rosenthal	2000	A natureza, a quantidade e a magnitude das subtarefas organizacionais e das interações entre essas subtarefas impostas pelo projeto.
Ribbers e Schoo	2002	Variedade, variabilidade e integração de sistemas.
Cicmil e Marshall	2005	Invoca ambigüidade, paradoxo e as dimensões do tempo, espaço e poder dos processos organizacionais nas configurações do projeto
Grisogono	2006	A relação entre o número de maneiras de obter o resultado errado e o número de maneiras de acertar
Brockmann e Girmscheid	2007	A complexidade é o grau de multiplicidade, inter-relação e impacto consequente de um campo de decisão.
Geraldi e Adlbrecht	2007	Complexidade de fato, fé e interação
Haas	2008	Complexidade é caracterizada por um arranjo complicado ou envolvido de muitos elementos interconectados que é difícil de entender ou lidar.
Vidal e Marle	2008	A complexidade do projeto é a propriedade de um projeto, o que torna difícil de entender, prever e manter sob controle o seu comportamento geral.
DeRosa et al.	2008	A complexidade de uma situação-problema decorre de sua abertura, interdependência de fatores contribuintes e multi-escalaridade
Remington et al. / Remington e Pollack	2009 / 2007	Um número de características em um grau, ou nível de severidade, que torna extremamente difícil prever os resultados do projeto, controlar ou gerenciar projetos
Whitty e Maylor	2009	A quantidade de informações necessárias para descrever um sistema complexo.
Vidal, Marle e Bocquet	2011	A propriedade de um projeto que dificulta a compreensão, a previsão e a manutenção sob o controle de seu comportamento geral, mesmo quando é fornecida informação razoavelmente completa sobre o projeto. Seus direcionadores são fatores

		relacionados ao tamanho, variedade, interdependência e contexto do projeto.
Hatch e Cunliffe	2012	Consiste em muitos elementos diferentes com várias interações e ciclos de feedback entre os elementos
Xia e Chan	2012	Complexidade de projetos é definido como características complicadas do projeto que resultam da composição de muitas partes interconectadas em um projeto.
Kardes et al.	2013	É a existência de um número significativo de tarefas e atividades diferentes, ambíguas e interconectadas para completar o projeto.
Bakhshi et al.	2016	Um arranjo intrincado das várias partes inter-relacionadas em que os elementos podem mudar e evoluir constantemente gerando efeitos sobre os objetivos do projeto
Chapman	2016	Complexidade de projetos é o alto grau de incerteza e imprevisibilidade, derivadas do próprio projeto e do seu contexto.
Kermanshachi et al.	2016	A complexidade do projeto é o grau de interrelação entre atributos e interfaces do projeto e a consequência do seu impacto na previsibilidade e funcionalidade.

Fonte: Adaptado de: Abdou, Yong, & Othman (2016); Dao et al. (2016); Lukosevicius, Marchisotti, & Soares (2016)

Não é pretensão desta tese apresentar todas as definições presentes na literatura, nem mesmo sugerir uma definição de consenso. Isto posto, optou-se por adotar um conceito de complexidade de projetos que trouxesse de forma objetiva uma associação com o Gerenciamento de Projetos. Durante o processo de revisão sistemática da literatura, constatou-se que somente a definição de Remington & Pollack (2007) e Remington et al.(2009) apresentou uma ligação direta com o gerenciamento de projetos quando afirma que a complexidade de projetos está relacionada a um conjunto de características que torna extremamente difícil esse gerenciamento.

Diante dessa constatação, propor uma nova definição para complexidade de projetos que reforce a conexão com o Gerenciamento de Projetos destacando aspectos de imprevisibilidade e dificuldade de mensuração, amplia essa perspectiva conceitual e contribui para as discussões sobre a temática. Nesse sentido, define-se a complexidade de projetos como sendo uma *propriedade intrínseca dos projetos que emerge das interações entre os seus elementos e impõe desafios à atividade de gerenciamento de projetos em virtude da dificuldade de prevê-la e mensurá-la adequadamente durante o ciclo de vida do projeto.*

2.2.4 Modelos de Complexidade de Projetos

Segundo Williams (2002), um modelo é uma representação formal alicerçada em definições teóricas e utilizado para descrever algo real de forma simplificada com o objetivo de facilitar o gerenciamento, controle ou entendimento do objeto ou sistema modelado. Devido a crescente quantidade trabalhos que contemplam a temática da complexidade de projetos nos últimos anos, muitos destes, ligados diretamente a área de projetos, descrevem através de modelos, taxonomias e frameworks formas de conceituar a complexidade de projetos (Rolstadås & Schiefloe, 2017).

As primeiras referências à complexidade de projetos estiveram associadas aos aspectos estruturais de um projeto. No entanto, percebeu-se que a abordagem utilizada inicialmente como referência para compreender a complexidade, não considerava a teoria da complexidade como arcabouço teórico. Dessa forma, a complexidade era vista a partir de uma visão baseada na dificuldade de implementação das tarefas e considerava, basicamente, aspectos operacionais (Gidado, 1996; Larson & Gobeli, 1989; Perrow, 1965).

Para Perrow (1965), a complexidade se resumia a esse grau de dificuldade que a tarefa possuía e a relação de tempo e conhecimento que eram necessários para que essa tarefa fosse realizada. Com base nesses três pilares, definia-se o nível de complexidade de um projeto.

Segundo Larson & Gobeli (1989), a complexidade de projetos estava baseada na quantidade de disciplinas e departamentos envolvidos no projeto e do grau de complicação de design, que tinha a ver também com aspectos relacionados à dificuldade de implementação de tarefas. Os autores inseriram componentes quantitativos na avaliação da complexidade, porém além de manter o aspecto operacional em destaque, permaneceu evidente a manutenção de uma lógica de linearidade nos projetos, passando a ideia de que a complexidade cresce proporcionalmente com a quantidade de disciplinas e departamentos e o quão complicado é o projeto, sugerindo que a complexidade mantém relação unicamente com quantidade de itens (tamanho) do projeto.

Gidado (1996), definiu complexidade como sendo uma medida da dificuldade de implementação de um processo de produção complexo, onde a complexidade está intimamente ligada a quantidade de partes individuais que estão conectadas formando uma rede que determina um workflow a ser seguido para que se cumpram com os objetivos de entrega de um projeto obedecendo tempo, custos e qualidade estabelecidos. Nesse sentido, pode ser vista como a dificuldade de implementar um número planejado de objetivos quantificáveis.

É possível observar que Gidado em seu estudo chega a mensurar o que ele denomina por complexidade de projetos. No entanto, o conceito proposto por Gidado não contempla as características de um sistema complexo como definido por Shenrar (2001) e, assim como outros autores, conceitua a complexidade de projetos associando-a unicamente aos aspectos operacionais e relativo as tarefas, sem fazer referência direta às características apontadas pela Teoria da Complexidade e dos sistemas complexos. Nesse sentido, a visão de projetos entre esses autores permanece alicerçada basicamente nesse conjunto de tarefas que tornam difícil a resolução do problema e na percepção de que a complexidade pode ser compreendida e controlada através dos métodos tradicionais de gerenciamento de projetos.

Nas próximas subseções apresentam-se os principais modelos teóricos de complexidade baseados na relevância destes para o gerenciamento de projetos. Buscou-se com isso promover um resgate cronológico e evolutivo dos modelos de complexidade de projetos presentes na literatura e que serviram de referência para o estudo da temática.

2.2.4.1 Matriz de Objetivos e Métodos – Turner & Cochrane (1993)

A Matriz de Objetivos e Métodos de Turner & Cochrane (1993), define a complexidade de projetos como uma medida relacionada com a qualidade da definição de metas e objetivos para obtenção dos resultados almejados. A Matriz tem como objetivo avaliar o potencial de complexidade dos projetos utilizando como parâmetro principal a qualidade da definição dos objetivos e métodos. Turner & Cochrane avaliam o quão são bem-definidos os objetivos e os métodos para atingir os objetivos atribuindo valores de sim ou não para cada dimensão. O resultado dessa avaliação gera uma classificação dos projetos em quatro tipos.

Segundo Turner & Cochrane (1993) a definição de cada um dos quatro tipos de projetos é dada por:

- **Tipo 1:** São projetos que os objetivos e métodos são bem definidos. São tipicamente grandes projetos de engenharia onde os envolvidos já possuem uma vasta experiência;
- **Tipo 2:** São projetos onde os objetivos são bem definidos, no entanto os métodos para se alcançar esses objetivos não são. Podem ser tipificados como projetos de desenvolvimento de produtos;
- **Tipo 3:** São projetos onde os objetivos não estão bem definidos, porém os métodos para alcançar tais objetivos estão bem definidos. Pode-se tipificar esses projetos como projetos de desenvolvimento de software que possuem como característica principal a dificuldade existente na precisão relacionada com a definição de requisitos;

- **Tipo 4:** São projetos onde os objetivos e métodos não estão bem definidos. Esse tipo de projeto pode ser tipificado por projetos relacionados com mudanças organizacionais ou projetos de pesquisa que possuem essas características de indefinição tanto nos objetivos quanto nos métodos a serem utilizados;

Os autores ainda afirmam que a incerteza de objetivos e métodos pode comprometer os resultados almejados e consideram que ambos são fatores importantes e que contribuem para a complexidade de projetos (Bakhshi et al., 2016). Apesar de fazer referência a aspectos ligados a complexidade de projetos, a intenção de Turner & Cochrane neste trabalho foi desenvolver um modelo para classificação dos projetos baseado na avaliação qualitativa de objetivos e métodos o que deixa evidente que não havia intenção formal de desenvolver um modelo de complexidade de projetos como elemento principal da pesquisa. A **Figura 2** mostra a Matriz de Objetivos e Métodos de Turner & Cochrane.

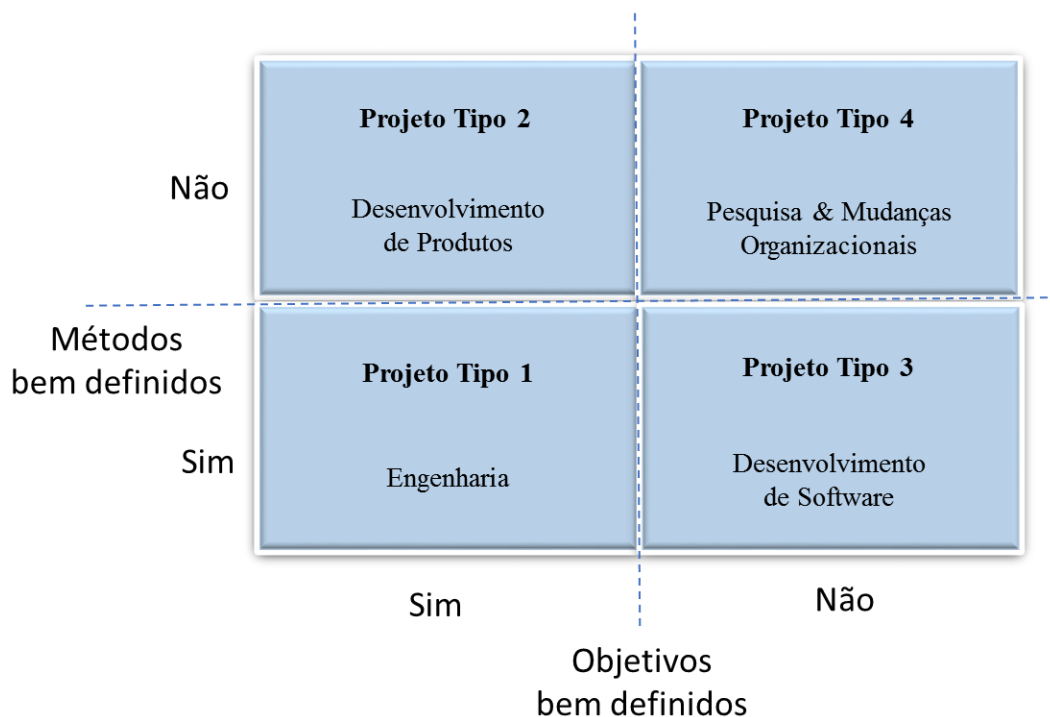


Figura 2. Matriz de Objetivos e Métodos.

Fonte: Turner & Cochrane (1993)

2.2.4.2 Matriz de Concordância e Certeza – Stacey (1996)

O professor e pesquisador Ralph Douglas Stacey, considerado um dos pioneiros no estudo dos efeitos ocasionados pela complexidade no contexto das organizações, bem como sua influência na gestão, define as organizações como sistemas complexos adaptativos e aplica a teoria do caos para afirmar que as organizações e seus processos internos são imprevisíveis.

Logo, as formas de gestão e auto-organização não emergem de modo determinístico, pois resultam de um contexto de complexidade.

A partir dessa visão, Stacey desenvolveu em 1995 um modelo que ficou conhecido com *Stacey Matrix* ou Matriz de Concordância e Certeza de Stacey que tem como principal objetivo tratar questões de complexidade dentro do ambiente organizacional e que vem sendo adaptado a vários contextos, inclusive ao de Gerenciamento de Projetos. A ideia de base utilizada por Stacey foi estabelecer dois eixos (X e Y) que formam um plano cartesiano, onde o eixo X mede o grau de certeza com relação a escolha de ações de gerenciamento e o eixo Y mede o grau de concordância com relação a mesma questão só que sob o ponto de vista do grupo, equipe ou organização (Stacey, 1996, 2011; Stacey, Griffin, & Shaw, 2000).

Para Stacey, decisões estão mais próximas da certeza quando é possível determinar as relações de causa e efeito seja pelo fato de serem decisões que guardam similaridade entre si no passado ou no presente. Já as decisões longe da certeza, estão associadas a situações que não guardam nenhuma relação de causa e efeito explícitas e que, portanto, seguem um padrão de serem decisões únicas e que possuem um grau de novidade não observado anteriormente (Stacey, 1996, 2011; Stacey et al., 2000). Classificação semelhante é feita com relação a proximidade ou não da concordância (eixo y) para determinar a escolha da ação de gerenciamento a ser implementada.

Stacey define ainda em seu modelo, quatro categorias que norteiam as ações de resolução das tarefas presentes na organização. As tarefas são categorizadas em: simples, complicado, complexo e caótico. A depender da categoria da tarefa, o autor define abordagens distintas para definição e resolução das tarefas.

- **Simples:** são consideradas como tarefas simples e que são vistas como tarefas de escopo bem definidos e de fácil resolução não necessitando nenhuma abordagem mais sofisticada para que seja resolvida. Nesse tipo de tarefa, sabe-se tanto o que deve ser feito como o também a forma que deve ser feita para a resolução da tarefa.
- **Complicado:** nesse tipo de tarefa não há uma total clareza no que diz respeito ao que deve ser feito e nem como deve ser feito. São tarefas que exigem normalmente um planejamento para que a solução seja atingida. Portanto, são tarefas que exigem algum tipo de doação de tempo de planejamento para obter uma solução;
- **Complexo:** são tarefas que guardam dentro de si um alto grau de incerteza e imprevisibilidade com relação ao que fazer e como fazer para obter a solução. São

tarefas em que a mudança repetitiva pode se fazer presente no processo de resolução da tarefa trazendo uma componente de complexidade difícil de mensurar e solucionar;

- **Caótico:** esse tipo de tarefa é caracterizado pela ausência total de previsibilidade e de mecanismos a serem utilizados para resolução das tarefas. Nesse tipo de tarefa, não há como prever e muito menos saber como atuar caso ocorra;

A Matriz de Stacey tem sido utilizada também para classificação de projetos, bem como modelo para definir a complexidade de projetos. No entanto, devido ao seu caráter limitado a classificar as tarefas associadas ao projeto por meio de graus de concordância e certeza este modelo não contempla todas as particularidades existentes no ambiente de projetos e não acompanham todo o ciclo de vida do desenvolvimento do projeto. Somado a isso, o modelo não especifica questões de boas práticas de gerenciamento de projetos e não estabelece graus de complexidade entre os projetos. A Figura 3, exibe a Matriz de Concordância e Certeza de Stacey.

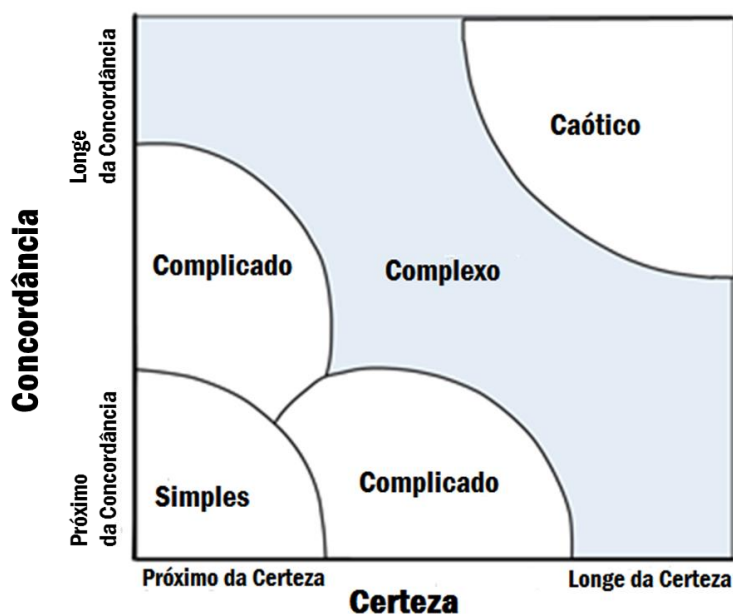


Figura 3. Matriz de Concordância e Certeza de Stacey.

Fonte: Stacey (1995)

2.2.4.3 Modelo de Complexidade de Baccarini – Baccarini (1996)

Em 1996, no artigo *“The concept of Project complexity: a review”*, Baccarini traz à tona de forma mais efetiva a discussão sobre o conceito de complexidade de projetos (Bakhshi et al., 2016; Damasiotis, Fitsilis, Considine, & O’Kane, 2017a; Lukosevicius et al., 2017; Rolstadås & Schiefloe, 2017; Vidal, Marle, & Bocquet, 2007b). O autor definiu complexidade

de projetos como “um conjunto variado de partes inter-relacionadas que podem ser operacionalizadas em termos de diferenciação e interdependência”.

Para Baccarini, o conceito de diferenciação está relacionado com o número variado de elementos (tarefas, pessoas, componentes). No que diz respeito ao conceito de interdependência ou conectividade, há uma ligação direta com o grau de relacionamento existente entre esses elementos. A partir da diferenciação e interdependência, são definidas duas dimensões da complexidade: a organizacional e a tecnológica. Dentro dessas dimensões (organizacional e tecnológica), aplicam-se os conceitos de diferenciação e interdependência para definir o nível de complexidade organizacional e tecnológica de um projeto.

De uma forma mais específica e detalhada, pode-se explicar as dimensões da complexidade propostas em Baccarini (1996) em:

- Complexidade Organizacional
 - **Por diferenciação:** pode ser dividida em diferenciação vertical e horizontal. A primeira refere-se a estrutura hierárquica organizacional e a sua profundidade no sentido de ter diversos níveis de hierarquia. A segunda, ao número de unidades organizacionais existentes e a estrutura das tarefas presentes na organização;
 - **Por interdependência:** diz respeito as interações existentes entre as unidades organizacionais e suas interdependências;
- Complexidade Tecnológica
 - **Por diferenciação:** refere-se a variedade de alguns aspectos presentes nas tarefas como: quantidade e variedade de entradas e saídas e de especialidades envolvidas no projeto;
 - **Por interdependência:** diz respeito as dependências entre as tarefas, os times e as tecnologias;

Ainda nesse artigo, Baccarini estabelece a relação entre os projetos e os sistemas complexos quando afirma que os sistemas complexos geralmente são definidos em termos de diferenciação e interdependência e menciona a integração por coordenação, comunicação e controle como sendo o corolário da complexidade de projetos.

O modelo proposto por Baccarini foi o responsável por consolidar as pesquisas na área de complexidade de projetos e teve como um dos objetivos fazer com que o termo se tornasse menos subjetivo. Por ter sido o primeiro a estruturar um modelo que define exclusivamente a complexidade de projetos, tornou-se base para diversas pesquisas e modelos que foram desenvolvidos posteriormente (Lafetá, 2016). Dunović, Radujković, & Škreb (2014) reforçam essa percepção quando afirmam que o primeiro conceito importante sobre complexidade de projetos foi elaborado por Baccarini.

Por fim, de uma forma mais resumida, o trabalho de Baccarini discute a complexidade de projetos por uma perspectiva de interações entre os variados elementos que constituem o projeto. A **Figura 4** mostra o modelo de complexidade de projetos e as dimensões propostas por Baccarini (1996).

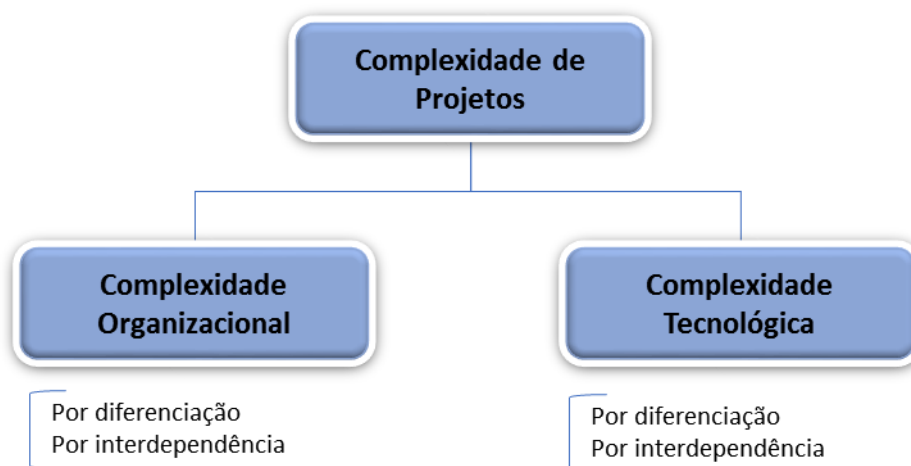


Figura 4. Modelo de Complexidade de Projetos de Baccarini.

Fonte: Baccarini (1996)

2.2.4.4 Modelo de Complexidade de Terry Williams – Williams (1999, 2002)

Na esteira do trabalho de Baccarini, o artigo “*The need for new paradigms for complex projects*” de Williams destaca o crescimento da complexidade de projetos e, conseqüentemente, da inadequação dos métodos tradicionais para lidar com projetos complexos. O autor reconhece os desafios desse novo cenário, onde a complexidade traz dificuldades para o gerenciamento de projetos e menciona a necessidade de desenvolvimento de novos métodos que possam lidar com essa complexidade.

Para Williams (1999), a complexidade de projetos não se restringe a pensar sob uma ótica limitada ao tamanho do projeto e merece uma definição mais elaborada. Nesse sentido,

propõe uma nova definição para a complexidade de projetos, porém reconhece que a área possui muitas perguntas a serem respondidas e afirma que não pretende apresentar uma definição irrefutável para a complexidade de projetos, mas contribuir para as discussões fornecendo ideias que possam encorajar o desenvolvimento de novas pesquisa na área.

Williams (1999) define a complexidade de projetos a partir de uma extensão do que foi concebido por Baccarini (1996). Para tanto, combina a Complexidade Organizacional e a Complexidade Tecnológica numa única dimensão denominada de Complexidade Estrutural. Em uma crítica ao trabalho de Baccarini (1996), menciona que não só o número de interdependências seja suficiente para definir a complexidade e há que se considerar a natureza dessas interdependências, pois esta gera incertezas e influencia na complexidade de projetos. Apoiado nessa afirmação, descreve a Complexidade Estrutural como sendo composta por dois tipos de complexidade: sequencial e de retroalimentação (*feedback*). A primeira referindo-se ao número e a variedade de elementos interconectados. E a segunda fazendo referência a natureza das interconexões entre os elementos.

Partindo desse entendimento, Williams complementa a sua definição adicionando a incerteza discutida no trabalho de Turner & Cochrane (1993) que trata, especificamente, da incerteza dos objetivos e métodos. Para Turner & Cochrane (1993), a falta de clareza na definição dos objetivos e métodos faz surgir uma componente de incerteza nos projetos. Com base nessa afirmação, Turner & Cochrane dividem os projetos em 4 tipos distintos e toma como base uma avaliação do quão bem definidos são os objetivos e métodos para atingir as metas propostas pelo projeto. Williams sugere que esses dois tipos de incerteza (objetivos e métodos) fazem aumentar a complexidade e que, portanto, deve integrar a definição de complexidade de projetos. A **Figura 5** apresenta o modelo de complexidade de projetos presente em Williams (1999).

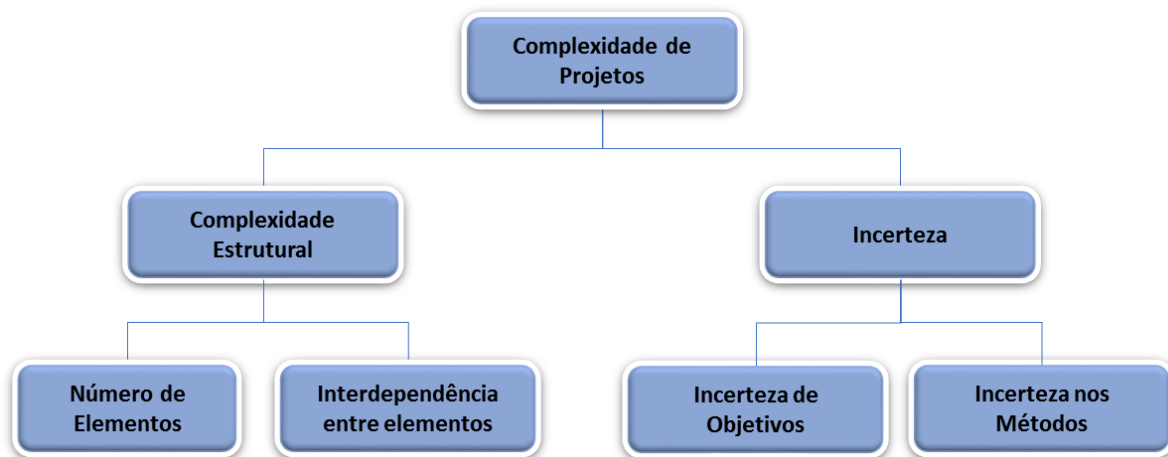


Figura 5. Modelo de Complexidade de Projetos de Williams.
Fonte: Williams (1999)

Em seu livro “*Modelling Complex Projects*” publicado no ano de 2002, Williams complementa seu modelo de complexidade de projetos ao reconhecer que as interações existentes entre os elementos que compõem a complexidade estrutural levam a um sistema complexo onde a soma das partes é maior do que o todo. Nesse sentido, Williams incorpora a visão de que os projetos são sistemas adaptativos complexos (SAC) e que não há como prever todos os comportamentos dos sistemas a partir unicamente da análise das suas partes. Somado a isso, o autor admite que há uma interação entre o surgimento de incertezas e seus efeitos na complexidade estrutural do projeto tornando sua gestão mais complexa. A **Figura 6** apresenta o modelo revisado de complexidade de projetos de Williams (2002).

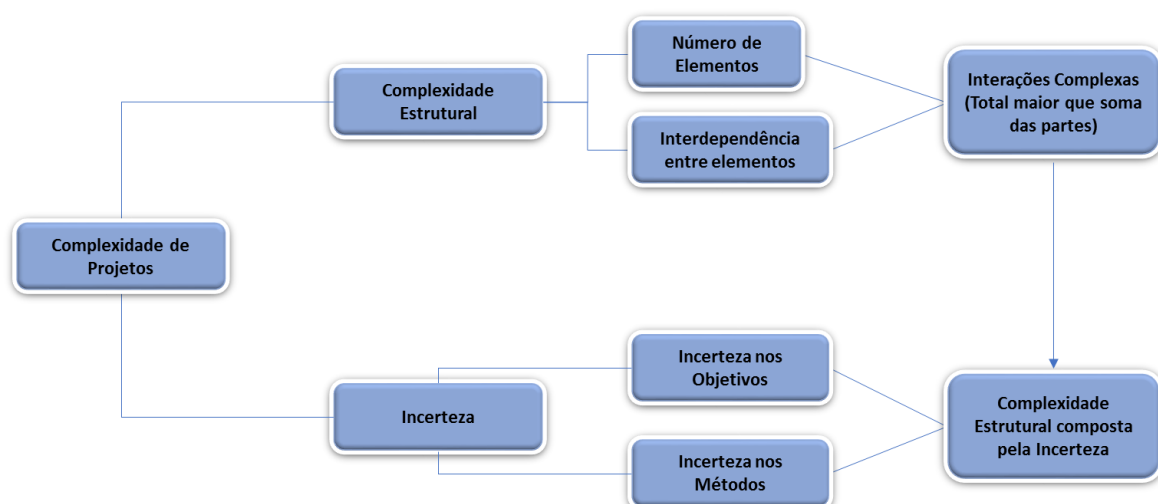


Figura 6. Modelo de Complexidade de Projetos de Williams - Williams (2002).
Fonte: Williams (2002)

2.2.4.5 Taxonomia de Complexidade para Projetos de Desenvolvimento de Sistemas de Informação – Xia e Lee (2004)

Historicamente, os projetos para desenvolvimento de sistemas de informação são acompanhados de baixas taxas de sucesso, algo em torno de 35% (Araujo, Moura, & França, 2015). Com o crescimento da complexidade e da presença de um ambiente constante de mudanças, há que se pensar em instrumentos que possam contribuir para incrementar os índices de sucesso dos projetos. Dentro dessa perspectiva, Xia e Lee (2004) propuseram uma Taxonomia voltada para gerenciamento de Projetos de Desenvolvimento de Sistemas de Informação.

Os autores, consideram que a base para construção da taxonomia e do instrumento de mensuração parte da compreensão que os gestores possuem sobre esse tipo de projeto, quais características constituem a complexidade e como elas impactam nos resultados comprometendo os índices de sucesso. Nesse sentido, apresentam uma taxonomia que descreve dimensões e componentes da complexidade de um projeto de desenvolvimento de sistema de informação que agrega aspectos de gerenciamento de projetos com fatores de riscos dos projetos de software (Xia & Lee, 2004).

O trabalho de Xia & Lee incorpora conceitos dos modelos de Baccarini (1996), Turner & Cochrane (1993) e Williams (1999) para propor uma taxonomia constituída por quatro dimensões que se cruzam dando uma ideia da existência de dois eixos (x e y). No eixo x, estão as dimensões estrutural e dinâmica. E no eixo y, as dimensões organizacional e tecnológica. As dimensões se cruzam formando quatro quadrantes de complexidade: Estrutural Organizacional, Estrutural Tecnológico, Dinâmica Organizacional e Dinâmica Tecnológica onde cada um dos quadrantes tratam de aspectos específicos da complexidade de um projeto de software.

Xia & Lee apresentam uma definição para cada um dos componentes presentes na taxonomia de forma a facilitar a compreensão e utilização:

- Estrutural Organizacional: Trata da natureza e intensidade dos relacionamentos existentes entre os elementos que compõem o projeto considerando o ambiente organizacional. Inclui recursos disponíveis para o projeto, apoio da alta administração e dos usuários, equipe do projeto e capacidade técnica da equipe do projeto;
- Estrutural Tecnológica: Trata das relações entre os elementos tecnológicos presentes no projeto seja do ponto de vista quantitativo ou qualitativo. Nesse rol, pode-se incluir a

diversidade de usuários, ambientes de software distintos, variedade de plataformas tecnológicas, de fornecedores e contratantes e a necessidade de integração;

- **Dinâmica Organizacional:** Se apropria da identificação de padrões e de informações sobre as mudanças presentes no contexto organizacional e que incorporam complexidade ao projeto. Mudanças de requisitos de usuários, processos de negócios e mudanças nas estruturas organizacionais são algumas das situações que essa dimensão se propõe a tratar;
- **Dinâmica Tecnológica:** Se encarrega de identificar e medir mudanças ocorridas considerando o ambiente tecnológico do projeto. Nesse sentido, mudanças de infraestrutura tecnológica e de arquitetura tecnológica são contemplados por essa dimensão;

A **Figura 7** apresenta a Taxonomia de Complexidade para Projetos de Desenvolvimento de Sistemas de Informação de Xia & Lee (2004).

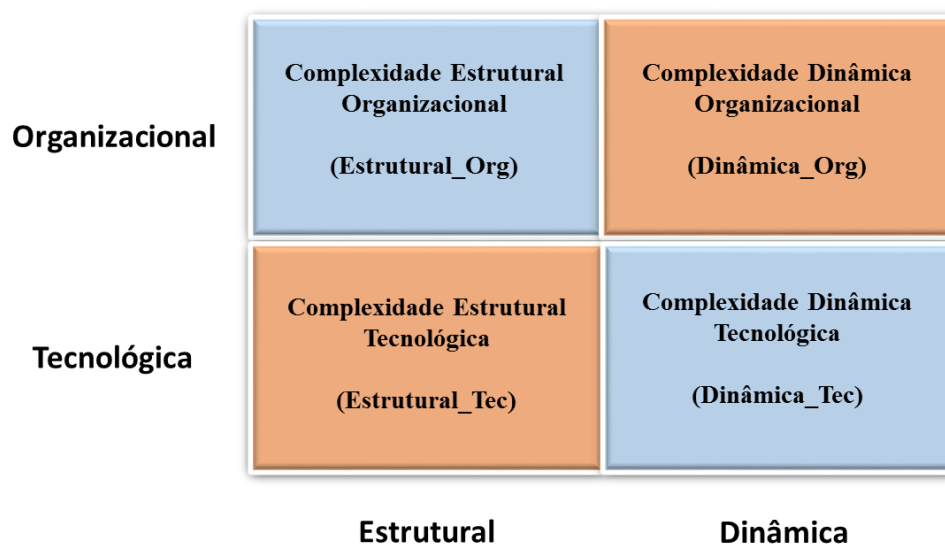


Figura 7. Taxonomia de Complexidade para Projetos de Desenvolvimento de Sistemas da Informação.

Fonte: Xia & Lee (2004)

2.2.4.6 Modelo de Remington & Pollack – Remington & Pollack (2007)

Em seu livro “*Tools for Complex Projects*”, Remington & Pollack (2007) abordam a Teoria da Complexidade com o objetivo de investigação dos sistemas adaptativos complexos e de como esse novo paradigma influencia no gerenciamento de projetos complexos. Para os autores, parte-se do princípio de que todo o projeto complexo é um sistema adaptativo

complexo (SAC). Por ser um SAC, incorporam características que exigem métodos e ferramentas diferentes das tradicionais para gerir a complexidade.

Reconhecendo a presença da complexidade nos projetos e com base nos trabalhos de Turner & Cochrane (1993) e Williams (2002), indicam um modelo de complexidade que é composto por quatro dimensões consideradas como fontes de complexidade de projetos: estrutural, técnica, direcional e temporal.

Para os autores, cada uma das quatro dimensões influenciará em todo o ciclo de vida do projeto e possui fronteira de atuação definida. A dimensão estrutural está associada a capacidade e a dificuldade de promover a gestão um grande número de tarefas e atividades que estão interconectadas. A dimensão técnica, diz respeito a gestão de problemas e dificuldades presentes nos projetos e que estão associadas ao grau de inovação e maturidade para lidar com tecnologias. Nessa dimensão, a complexidade surge da variedade de interconexões entre várias soluções diferentes e a dificuldade de promover essa integração. Já a dimensão direcional, guarda relação direta com a incerteza presente nos projetos, seja nos métodos ou nos objetivos. A complexidade nessa dimensão é caracterizada por metas e objetivos poucos claros e/ou não compartilhados que geram ambiguidade e múltiplas interpretações, tornando complexo o gerenciamento do projeto. Por fim, a dimensão temporal decorre do ambiente de incerteza em relação às restrições futuras e as possibilidades de mudança. São ocasionadas por influências externas que podem impactar em qualquer fase do ciclo de vida do projeto, mas que devido a componente de incerteza é difícil de estabelecer mecanismos de prevenção (Remington & Pollack, 2007).

Os autores relacionam um conjunto de perguntas em cada dimensão de complexidade que devem ser feitas aos tomadores de decisão dos projetos com o objetivo de quantificar o impacto de cada dimensão de complexidade no projeto através de um mapa que servirá de referência para tomar decisões sobre estrutura de governança, funções e responsabilidade, além de outras decisões de gerenciamento do projeto (Remington & Pollack, 2007). A **Figura 8**, apresenta as quatro dimensões conceituais do Modelo de Remington & Pollack (2007).

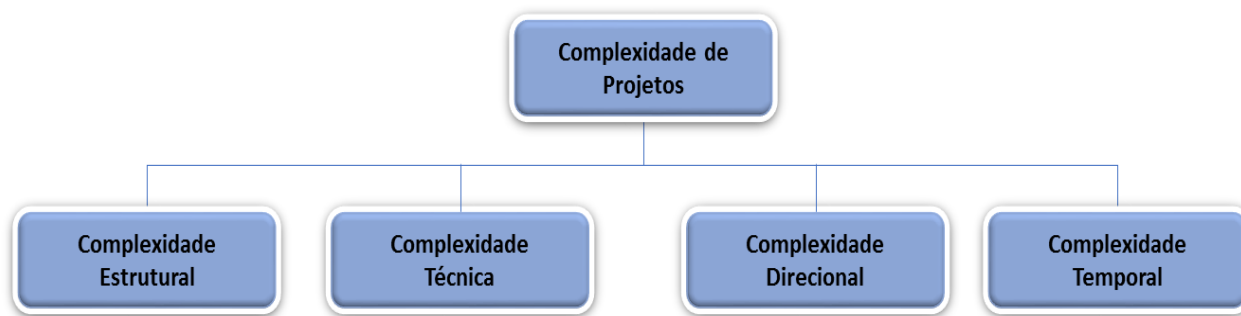


Figura 8. Modelo de Complexidade de Projetos de Remington & Pollack.

Fonte: Remington & Pollack (2007)

2.2.4.7 Complexidade de fato, fé e interação – Geraldi & Adlbrecht (2007)

Com base em extenso estudo sobre complexidade e competências em projetos, Geraldi & Adlbrecht, criam o conceito de padrão de complexidade que representa a menor unidade gerenciável de complexidade que concentra diferentes características de complexidade. A ideia por trás do conceito foi promover uma visão holística do projeto de modo que fosse possível expandir o olhar para as conexões com o intuito de avaliar o impacto decorrente do relacionamento entre os padrões de complexidade, não se limitando a avaliar o impacto de um padrão isoladamente.

De modo a detalhar a composição de um padrão, três grupos de complexidade foram definidos: fé, fato e interação. Os grupos de complexidade compartilham de dez características que formatam a ideia da complexidade, são elas: dinâmica, customização, nível de imaturidade, amplitude de responsabilidade, número de fontes de informação, interdependência, tamanho, transparência, referência e empatia. Os autores consideram aspectos que dificultam a compreensão da complexidade que vão desde a percepção distinta de complexidade por cada pessoa, passando pela falta de tempo dos gestores para pensar sobre decisões complexas a serem tomadas no dia a dia do gerenciamento de projetos. Nesse sentido, o conceito de padrão de complexidade se propõe a ser um elemento de apoio aos gerentes de projetos ao pensar sobre como lidar com situações de complexidade de projetos de forma pragmática e holística (Geraldi & Adlbrecht, 2007).

Segundo os autores os conceitos de complexidade de fé, fato e interação estão alicerçados nos modelos de complexidade que definem a incerteza e a complexidade estrutural como dimensões da complexidade. A complexidade de fé remete às questões de incerteza associadas à criação de coisas novas ou únicas. Há nesse contexto um ambiente de mudanças constantes que necessita ser incorporado como algo aceito, mesmo que o resultado dessa

aceitação torne o processo decisório mais complexo e muitas vezes sem uma resposta definitiva. É o tipo de complexidade que se caracteriza pela ausência de informações suficientes para a tomada de decisão que fazem com que haja a necessidade de criar novas alternativas. Nesse cenário, o tempo, a experiência dos envolvidos e a flexibilidade organizacional e a crença dos gestores nos bons resultados do projeto contribuem no processo de gestão desse tipo de complexidade (Geraldi & Adlbrecht, 2007).

No extremo oposto ao conceito de complexidade fé, encontra-se a complexidade de fato que consiste basicamente da dificuldade de administrar uma grande quantidade de informações interrelacionadas e interdependentes. Caracterizada por um grande universo de fontes de informação, torna-se difícil tratar todas as relações de interdependência no momento da tomada de decisão seja por falta de tempo ou por dificuldade de gestão da grande quantidade de fontes e das dependências existentes entre elas. O terceiro grupo, que impacta os dois anteriores, é definido como complexidade de interação. Surge a partir da relação entre dois elementos ou internamente em um elemento por meio das interações entre as partes constituintes. A **Figura 9** apresenta a correlação entre as dez características e os grupos de complexidade do modelo de complexidade de projetos de Geraldi & Adlbrecht (2007).

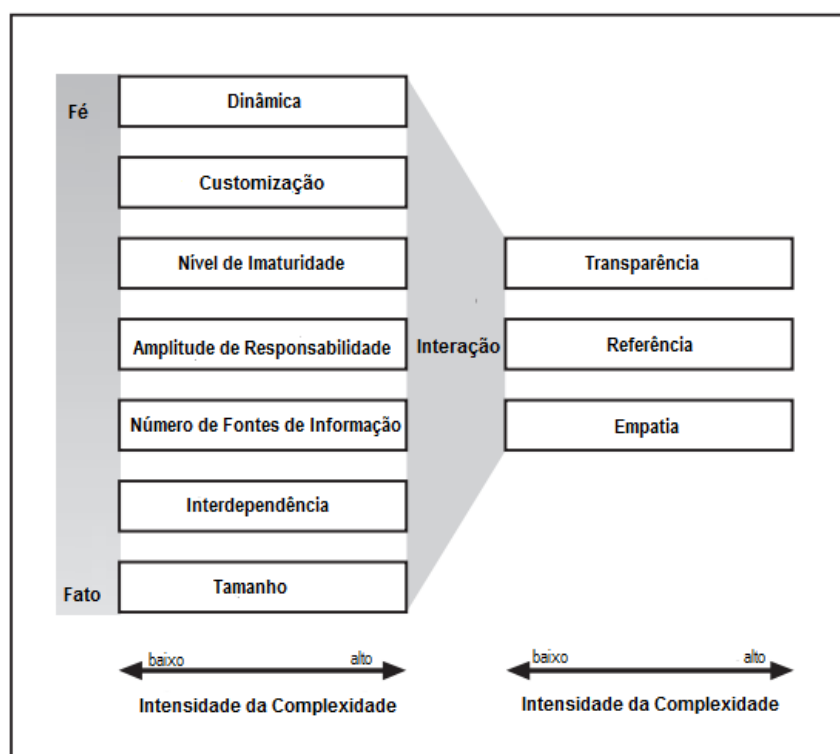


Figura 9. Correlação entre grupos e características da complexidade.

Fonte: Geraldi & Adlbrecht (2007)

2.2.4.8 Modelo de Complexidade de Brockmann & Girmscheid (2008)

Em estudo que contempla a análise da complexidade em projetos de engenharia de larga escala, Brockmann & Girmscheid (2008) definem a complexidade de projetos em quatro tipos de complexidade. O primeiro diz respeito a complexidade global do projeto e está relacionado com uma visão macro do projeto que engloba questões de multiplicidade e inter-relacionamento entre os elementos que compõem um projeto. Além disso, também é de responsabilidade desse tipo de complexidade avaliar o impacto de decisões locais num contexto global do projeto.

O segundo tipo é a complexidade de tarefa, onde o conceito está associado a densidade de tarefas presente em um projeto. Vale destacar que esse tipo de complexidade apontado pelos autores está delimitado por uma janela de espaço/tempo que acomoda as tarefas do projeto e que a análise da complexidade deve ser feita com base nessa janela e nas tarefas a ela associada. O modelo ainda conta com os tipos social e cultural de complexidade, onde o primeiro diz respeito ao número e a diversidade de partes interessadas presentes no projeto e a complexidade oriunda da necessidade de um processo de gestão baseado na confiança e no comprometimento dessas partes. Já o segundo, tem a ver com a diversidade cultural e de experiências das partes envolvidas no projeto. A **Figura 10** exibe um diagrama contendo os tipos de complexidade identificados por Brockmann & Girmscheid (2008) e que compõem o modelo de complexidade de projetos definido pelos autores.

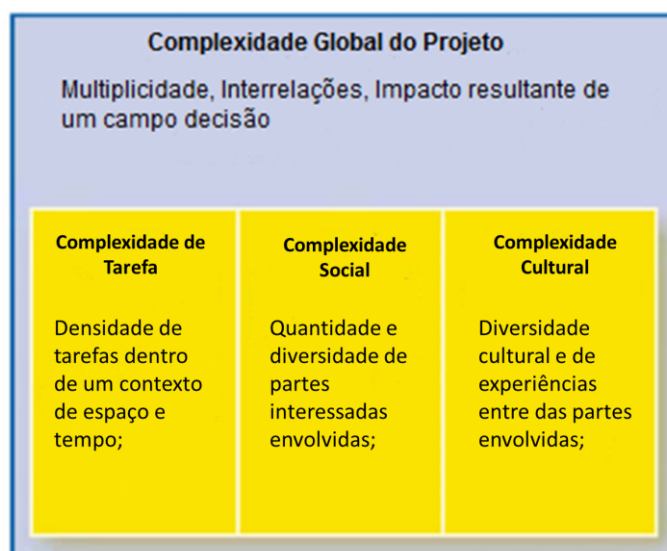


Figura 10. Modelo de Complexidade de Brockmann & Girmscheid.

Fonte: Brockmann & Girmscheid (2008)

2.2.4.9 Modelo de Complexidade de Vidal e Marle (2008)

Outro trabalho de relevância que trouxe contribuição para definição da complexidade de projetos foi o trabalho de Vidal & Marle (2008). Após uma extensiva revisão da literatura e motivados pela ausência de consenso entre os pesquisadores com relação ao conceito, os pesquisadores apresentaram uma definição para complexidade de projetos. Para tanto, assumiram que um projeto poderia ser encarado como um sistema.

De posse dessa premissa, afirmaram que seria possível estudar a complexidade de projetos a partir da perspectiva dos sistemas complexos. Vidal & Marle, consideraram a existência da complexidade descritiva e percebida no contexto dos projetos assumindo que qualquer definição de complexidade de projetos deveria contemplar essas duas visões, e não somente, uma delas. Nesse sentido, a complexidade de projetos seria definida como sendo uma propriedade do projeto que o torna mais difícil de compreender, controlar e de fazer previsões sobre o seu comportamento no decorrer do ciclo de vida. Os pesquisadores sustentaram a tese de que essa dificuldade imposta pela complexidade independe da quantidade de informações que são fornecidas inicialmente pelo projeto. Mas, que estariam diretamente ligadas ao tamanho, variedade, interdependência e ao contexto do projeto.

O modelo de complexidade proposto por Vidal & Marle (2008) fundamenta-se na compreensão da existência dessas duas abordagens da complexidade: a descritiva, que considera a complexidade como uma propriedade intrínseca do projeto e a percebida que considera a complexidade como algo subjetivo, visto que, o grau de percepção possui uma relação variável de dependência com o observador. Os autores estabelecem uma ligação entre as duas visões para propor um modelo de complexidade que define e identifica um conjunto de fatores e dimensões que compõem a complexidade de projetos.

Para Vidal & Marle, a complexidade de projetos é caracterizada por um conjunto de fatores organizados e divididos em quatro famílias (dimensões). A primeira corresponde aos fatores ligados ao tamanho do projeto. A segunda aos fatores associados a variedade do projeto. A interdependência e as interrelações presentes no projeto fazem parte da terceira família. Por fim, a quarta família trata da complexidade presente devido a dependência do contexto. A **Figura 11** exhibe as famílias (dimensões) que compõem o modelo de complexidade de projetos proposto por Vidal & Marle (2008).

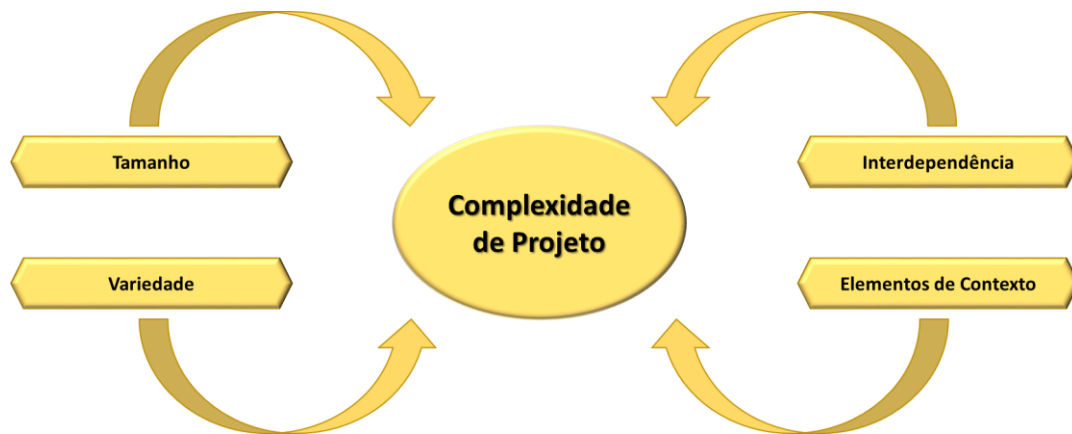


Figura 11. Famílias (dimensões) da Complexidade de Projetos - Vidal & Marle (2008).
Fonte: Vidal & Marle (2008)

Cabe ressaltar que além da divisão em quatro famílias proposta por Vidal & Marle (2008), o modelo tomou como base os tipos de complexidade propostos por Baccarini (1996), que define a complexidade de projetos em dois tipos: tecnológica e organizacional. Após a etapa de refinamento do modelo, estabeleceu-se que as famílias, com seus respectivos fatores, compartilhariam dos tipos de complexidade propostos por Baccarini (1996) formando o diagrama que retrata o modelo de complexidade de projetos de Vidal & Marle (2008) e que pode ser visto na **Figura 12**.

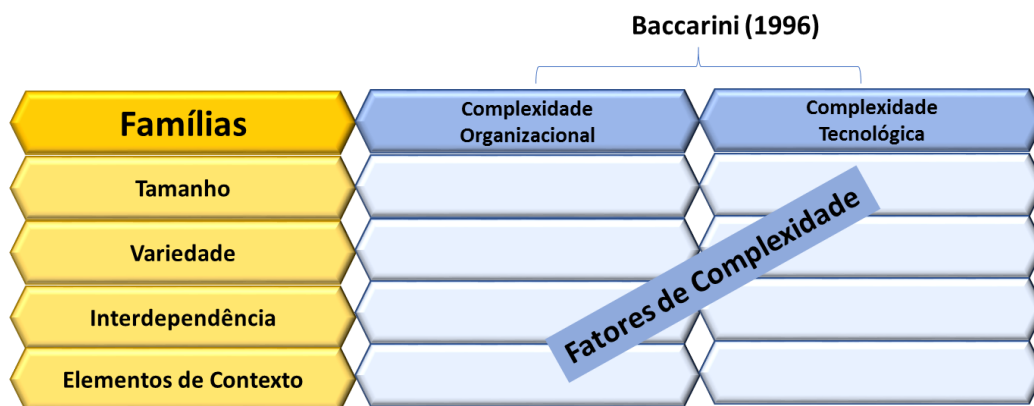


Figura 12. Diagrama de Famílias e tipos de complexidade.
Fonte: Vidal & Marle (2008)

2.2.4.10 TOE Framework - Bosch-Rekveltdt et al. (2011)

O artigo "*Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Enviromental) framework*" apresenta um modelo para caracterizar a complexidade em grandes projetos de engenharia. O modelo proposto por Bosch-Rekveltdt et al. (2011) tem por objetivo compreender a complexidade de projetos de engenharia

de grande porte a partir de três dimensões (categorias): técnica, organizacional e ambiental. É um *framework* caracterizado por ter sua base construída a partir de dados obtidos em pesquisa bibliográfica e através de estudos de casos práticos em projetos de engenharia. Para os autores, há uma lacuna a ser investigada que consiste na inexistência de um modelo consistente e robusto que esteja alicerçado em aspectos práticos e teóricos e que esteja apto a lidar com as particularidades e detalhes da complexidade de projetos, em especial na área de grandes projetos de engenharia.

Inicialmente, uma pesquisa bibliográfica foi feita para identificar elementos que contribuem para a complexidade de projetos e, em seguida, foram realizados estudos de caso em seis projetos da área de engenharia para buscar identificar novos elementos que foram combinados e reordenados para construção do TOE *framework*.

Para a inserção de elementos no TOE *framework* foram utilizados três critérios (Bosch-Rekvelde et al., 2011):

- Evidência da presença do elemento tanto na pesquisa bibliográfica quanto nos estudos de caso em no mínimo três fontes, ou;
- Evidência de pelos menos duas fontes independentes da pesquisa bibliográfica, ou;
- Evidência de pelo menos três entrevistas em pelos menos dois estudos de caso;

Como resultado da aplicação dos critérios de seleção, os elementos foram agrupados seguindo o modelo dividido em três categorias de complexidade: técnica, organizacional e ambiental. Em um nível mais baixo, os elementos foram agrupados em cada categoria a partir de subcategorias definidas conforme **Figura 13**.

Técnica (T)	Organizacional (O)	Ambiental (E)
Metas	Tamanho	<i>Stakeholders</i>
Escopo	Recursos	Localização
Atividades	Equipe do Projeto	Condições de Mercado
Experiência	Confiança	Risco
Risco	Risco	

Figura 13. Subcategorias do TOE *framework*.

Fonte: Bosch-Rekvelde et al. (2011)

O TOE *framework* é composto de 50 elementos que estão distribuídos em três categorias: 15 elementos na categoria tecnológica, 21 na organizacional e 14 na ambiental. Para

facilitar sua utilização foram definidas catorze subcategorias entre as três categorias: Técnica – metas, escopo, experiência, atividades e risco; Organizacional – tamanho, recursos, equipe do projeto, confiança e risco; Ambiental – stakeholders, localização, condições de mercado e risco. A **Figura 14** apresenta as categorias e subcategorias do TOE (*Technical, Organizational and Enviromental*) framework:

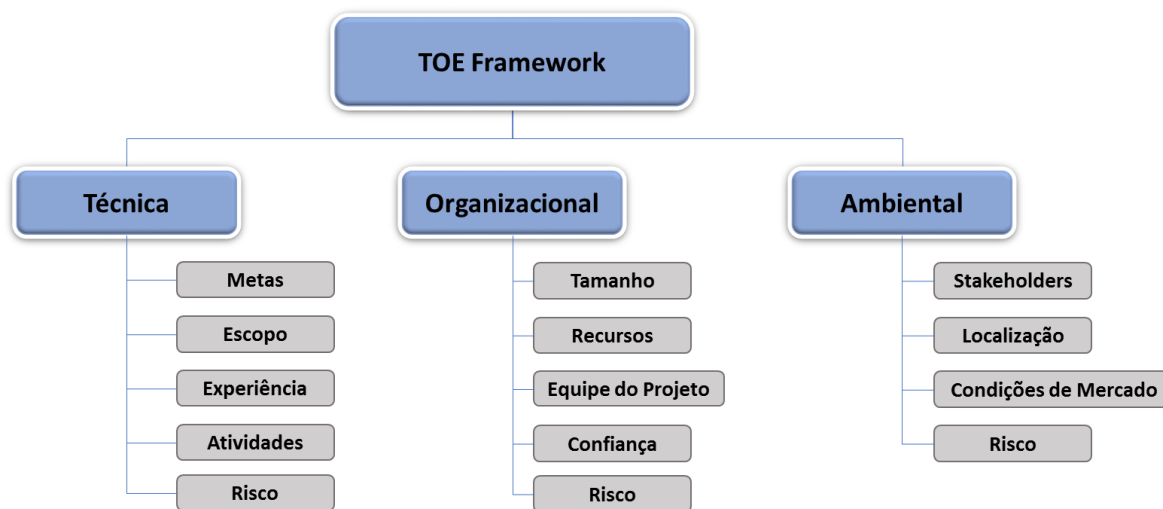


Figura 14. Categorias e subcategorias do TOE framework.

Fonte: Adaptado de Bosch-Rekvelde et al. (2011)

Os autores destacam ainda que no processo de construção do TOE *framework* foram mantidas informações dos elementos (fatores) de complexidade identificados na pesquisa bibliográfica e nos estudos de caso como forma de ampliar a quantidade de dimensões da matriz em comparação com estudos anteriores que apresentavam matrizes 2x2. A inserção de mais um nível de detalhamento (categorias, subcategorias e elementos) proporciona uma discussão em vários níveis de agregação entre diferentes os diferentes atores e também permite a aplicação do TOE *framework* em diferentes áreas da indústria (Bosch-Rekvelde et al., 2011).

2.2.4.11 Modelo de Complexidade de Gul & Khan (2011)

Gul & Khan (2011) em artigo “*Revisiting Project Complexity: Towards a Comprehensive Model of Project Complexity*” caminha através dos modelos tradicionais de Bacarini (1996), Turner & Cochrane (1993), Williams (1999) e incorpora a visão do pesquisador Robert L. Flood que apresenta um framework conceitual para a complexidade em publicação intitulada “*Complexity: a definition by construction of a conceptual framework*”. Para Flood a complexidade pode ser definida por duas dimensões: pessoas e coisas. Para Flood,

as pessoas incorporam a componente abstrata da complexidade, enquanto as coisas representam a dimensão de concretude (Gul & Khan, 2011).

Nesse sentido, Gul & Khan (2011) partem de uma crítica aos modelos existentes por ignorar os efeitos das interações sociais e suas contribuições para a complexidade do projeto e propõem um modelo que integra de forma adaptada as ideias de Flood (1987), uma extensão do modelo de incerteza de Turner & Cochrane (1993) incluindo a incerteza ambiental e o modelo original de Williams (1999).

Segundo os autores, o modelo de Williams não contempla os impactos resultantes da interação social entre os participantes na complexidade de projetos e, conseqüentemente, não integram da forma como deveria, a perspectiva social como uma componente da complexidade de projetos. O modelo proposto expande o modelo de Williams acrescentando um componente de incerteza ambiental na dimensão de incerteza presente em Williams (1999). Somado a isso, cria-se uma nova dimensão intitulada como Incerteza de Pessoas que é composta por dois elementos: as interações sociais e as regras de interação.

Os autores ainda afirmam que o modelo estendido de complexidade é mais rigoroso que os seus antecessores devido a integração das perspectivas sociais dos projetos como elementos que contribuem diretamente para a complexidade do projeto. A **Figura 15**, mostra a estrutura e as dimensões propostas no modelo de Gul & Khan (2011).

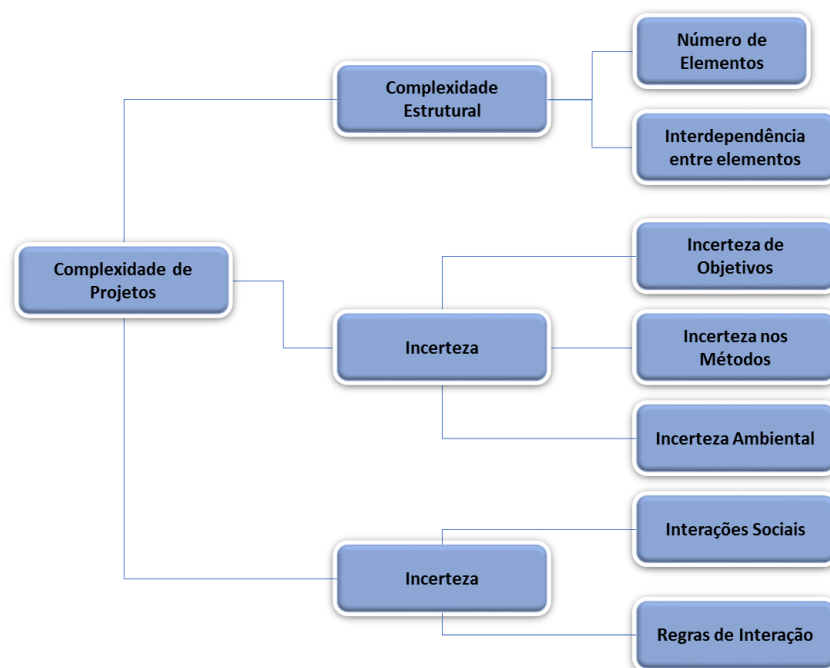


Figura 15. Modelo de Complexidade de Projetos de Gul & Khan.

Fonte: Gul & Khan (2011)

2.2.4.12 Modelo de Complexidade de Sedaghat-seresht, Fazli, & Mozaffari (2012)

Sedaghat-seresht, Fazli, & Mozaffari (2012), conduziram um estudo a partir de uma revisão da literatura para identificar as dimensões da complexidade de projetos. O estudo tinha como o objetivo inicial, estabelecer as relações existentes entre as dimensões da complexidade de projetos. Com base na revisão da literatura, identificaram sete dimensões que foram selecionadas a partir de uma consulta com profissionais que atuam na área de gerenciamento de projetos.

De posse das dimensões que compõem o modelo de complexidade, os autores aplicaram o método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) para identificação dos relacionamentos existentes entre as dimensões da complexidade de projetos. A **Figura 16** apresenta as dimensões de complexidade do modelo de Sedaghat-seresht, Fazli & Mozaffari (2012).

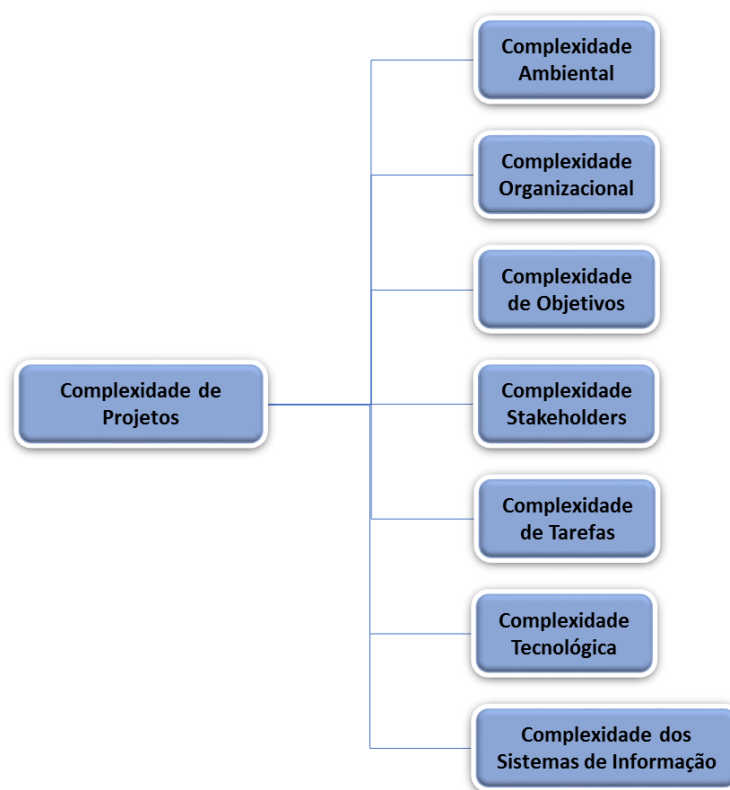


Figura 16. Modelo de Complexidade de Projetos de Sedaghat-seresht, Fazli, & Mozaffari.

Fonte: Sedaghat-seresht, Fazli, & Mozaffari (2012)

2.2.4.13 Modelo de Complexidade de Dunovic et al. (2014)

Como parte de uma pesquisa, Dunovic et al. (2014) investigam de forma aprofundada a percepção dos gestores de projetos e os elementos de complexidade existente nos projetos e propõe um novo modelo de complexidade para grandes projetos de infraestrutura.

O modelo foi construído a partir de dados presentes em documentação disponível sobre grandes projetos de infraestrutura, bem como através de informações coletadas através de entrevistas estruturadas com líderes e membros das equipes de projeto responsáveis pela execução do projeto. Os autores ainda utilizaram como critério de seleção de projetos que estes estivessem enquadrados como projetos de infraestrutura pelo órgão responsável por projetos dessa natureza (*National Strategy of the Republic of Croatia*) e que tivessem valor de capital superior a 50 milhões de euros.

O modelo proposto por Dunovic et al. (2014) utilizou como referência o modelo de Williams (2002) para mapear a complexidade e a incerteza. Elementos de complexidade foram mapeados com relação à incerteza usando componentes de risco e com relação à complexidade estrutural. Somado a isso, durante a entrevista solicitaram aos entrevistados que identificassem restrições que influenciaram significativamente no gerenciamento do projeto. Durante o processo de análise, também foi utilizado o modelo de Hertogh e Westerveld (2009) para compor o novo modelo de complexidade.

Ao propor um novo modelo de complexidade para grandes projetos de infraestrutura, Dunovic et al. (2014) afirmam que o modelo proposto por Williams (2002) não consegue categorizar e classificar todos os elementos de complexidade identificados nos projetos. Como resultado, concluem que esses elementos pertencem ao que denominam por restrições do projeto. Logo, há uma nova componente que influencia na complexidade – a restrição. Os autores reforçam a ideia de que a restrição pode ser vista como uma nova componente da complexidade ao afirmar que os gerentes de projetos a consideram como parte dominante da complexidade em grandes projetos de infraestrutura. A **Figura 17** exibe o modelo de complexidade proposto por Dunovic et al. (2014).

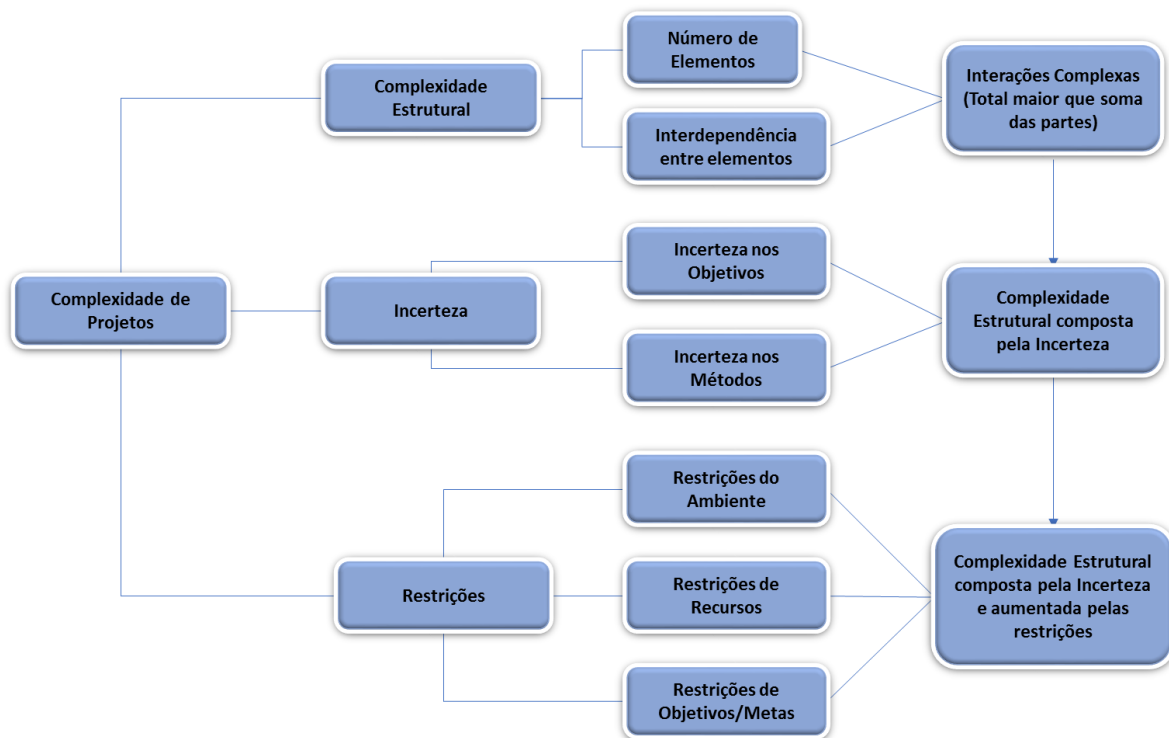


Figura 17. Modelo de Complexidade de Projetos de Dunovic et al. (2014)

Fonte: Dunovic et al. (2014)

2.2.5 Modelos de mensuração da complexidade de projetos

De acordo com Nguyen et al. (2015) há na literatura estudos que propõem alguns modelos de mensuração da complexidade de projetos tomando como base a aplicação de coeficiente de rede para calcular o caminho crítico da rede, grafos e relacionamentos entre atividades. No entanto, mesmo reconhecendo a presença em estudos anteriores, somente a partir dos primeiros anos na década de 90 observou-se um claro reconhecimento do conceito de complexidade de projetos quando dos trabalhos de Turner & Cochrane (1991,1993) e Baccarini (1996).

Esse primeiro período foi caracterizado por manter o foco centrado na complexidade estrutural do projeto e, praticamente, não houveram estudos atribuindo à incerteza o papel de componente da complexidade de projetos. Na segunda metade da década de 90, mais próximo dos anos 2000, verificou-se um crescimento na quantidade de estudos abordando conceitos de complexidade de projetos. Nesse segundo período, os projetos passaram a ser analisados a partir de uma visão sistêmica, onde todo projeto complexo é visto como um sistema adaptativo complexo (SAC). Diante dessa nova visão, a componente de incerteza passa a ganhar foco nas

pesquisas juntamente com a complexidade estrutural. Destaca-se nesse período, o trabalho de Williams (1999) que incorpora a incerteza como componente da complexidade de projetos.

O terceiro e quarto períodos, entre os anos 2000 e 2010, são caracterizados pelo desenvolvimento conceitual da complexidade de projetos a partir da inclusão dos conceitos de autonomia, interdependência e emergência dentro da abordagem sistêmica. Durante essa primeira década dos anos 2000, prevalecem as discussões teóricas na tentativa de obter uma definição para o constructo complexidade de projetos. É também nesse período que se verifica um incremento significativo na quantidade de taxonomias e modelos teóricos de complexidade de projetos que buscam dirimir o impasse da não existência de uma definição única e padronizada para o constructo complexidade de projetos.

A partir de 2010, os estudos empíricos assumem um papel de protagonismo juntamente com os modelos teóricos. Os pesquisadores concentram seus esforços na construção de modelos de complexidade de projetos que sejam capazes de identificar, num nível maior de detalhes, quais fatores contribuem para a complexidade. É ainda durante esse período que as primeiras iniciativas voltadas a construção teórica de instrumentos de mensuração da complexidade começam a surgir (Geraldi et al., 2011; Qureshi & Kang, 2015; Vidal et al., 2011a; Vidal, Marle, & Bocquet, 2011b).

Dando continuidade ao movimento iniciado na primeira metade dos anos 2010, observa-se mais recentemente, um direcionamento para o desenvolvimento de pesquisas que contemplem diretamente a construção de instrumentos de mensuração da complexidade de projetos (Rolstadås & Schiefloe, 2017). Percebe-se que esse movimento faz parte de um processo de evolução dos estudos sobre complexidade de projetos e de uma necessidade prática de estabelecer critérios que possam ajudar a quantificar a complexidade de projetos com o objetivo de contribuir para a gestão de projeto. A grande maioria dos pesquisadores da área pesquisadores têm buscado construir instrumentos que sejam capazes de medir a complexidade de um ou mais projetos com base em desdobramentos de constructos teóricos concebidos a partir de pesquisas anteriores. A **Figura 18** apresenta a evolução cronológica do constructo complexidade de projetos através dos seus marcos históricos e conceituais. É possível observar que no contexto histórico do constructo Complexidade de Projetos, a construção de instrumentos de mensuração representa a última etapa de um processo evolutivo que inicia na compreensão do conceito de complexidade de projetos.

Considerando que é objetivo desta tese propor um instrumento que auxilie os profissionais da área a mensurar e classificar os projetos a partir de um índice que estabeleça o nível de complexidade. É relevante mencionar estudos que contemplem a construção de

instrumentos de mensuração da complexidade de projetos presentes na literatura científica. Nesse sentido, nas próximas subseções apresentaremos oito desses estudos, obtidos a partir de um processo de revisão sistemática da literatura.

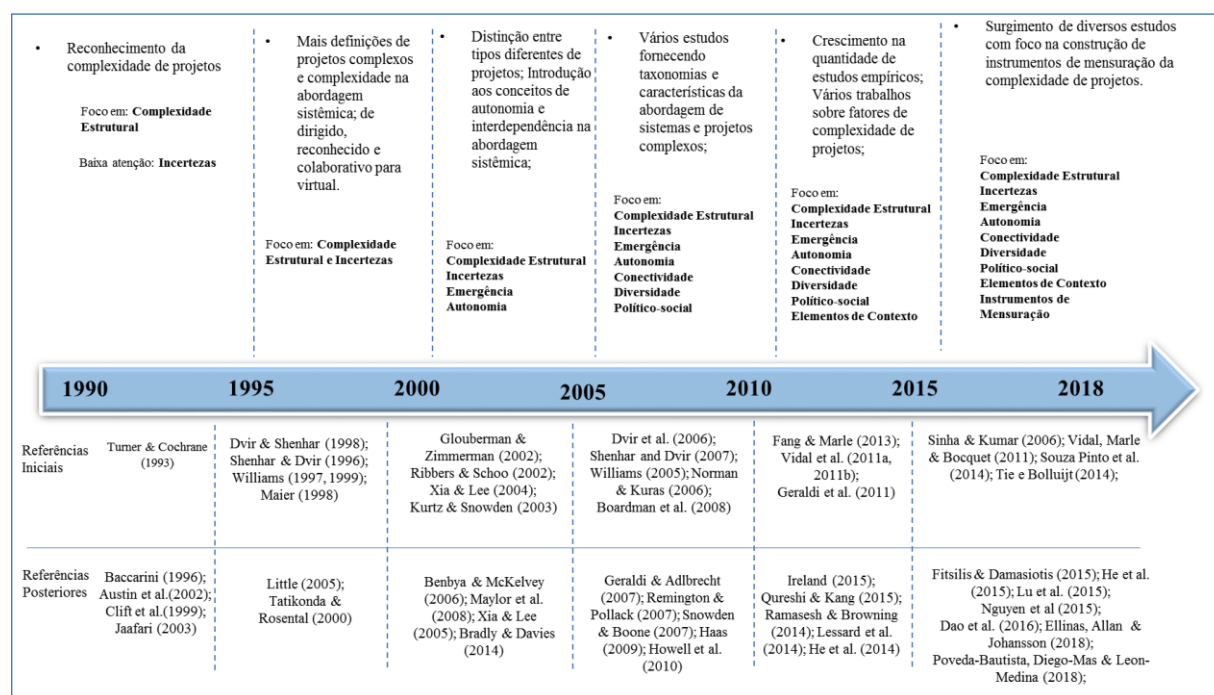


Figura 18. Marcos históricos da Complexidade de Projetos

Fonte: Adaptado de Bakhshi et al. (2016)

2.2.5.1 Método de Mensuração da Complexidade de Projetos de Desenvolvimento de Sistemas da Informação – Xia & Lee (2004)

Preocupados com os altos custos dispendidos e com as altas taxas de insucesso em projetos de desenvolvimento de sistemas de informação (*Information Systems Development Project* - ISDP), Xia & Lee reconheceram que a complexidade é um fator determinante para que ocorram falhas nos projetos, seja pelo fato da equipe subestimar a complexidade do projeto ou por mudanças constantes nos requisitos que geram um incremento na complexidade do projeto (Xia & Lee, 2004).

Diante dessa problemática, desenvolveram uma pesquisa dividida em quatro fases para desenvolver e validar uma taxonomia e um instrumento de medida da complexidade de ISDPs. Na primeira fase, a taxonomia foi desenvolvida a partir de uma revisão extensiva da literatura e de entrevistas realizadas com gestores experientes de ISDPs. O processo de construção da taxonomia baseou-se num *survey* de 541 ISDPs em empresas americanas. A partir dessa

primeira fase do estudo, buscou-se fundamentação teórica e prática para construção de um instrumento de mensuração que pudesse avaliar a complexidade dos ISDPs (Xia & Lee, 2004).

Da literatura de gerenciamento de projetos vieram as dimensões organizacional e tecnológica que estão relacionadas com complexidade do projeto sob o ponto de vista dos elementos constituintes, suas quantidades e interdependências que remete aos estudos de Baccarini (1996). Do outro lado as dimensões estrutural e dinâmica trazem à tona a incerteza dos métodos e metas presentes nos trabalhos de Turner & Cochrane (1993) e Williams (1999).

Em complemento a construção da taxonomia, os autores tomaram como base três perguntas para identificar os efeitos da complexidade na performance dos ISDPs. Xia & Lee também citam que foram utilizadas duas fontes da literatura para desenvolver a taxonomia e as medidas, sendo uma de gerenciamento de projetos em geral e outra relacionada a riscos em projetos de software.

Na segunda fase, o instrumento de mensuração da complexidade de ISDPs foi concebido a partir da identificação de um conjunto de fatores de complexidade relevantes obtidos na literatura, bem como com entrevistas e grupos focais. Um primeiro protótipo do instrumento de mensuração foi avaliado através de um projeto-piloto e feito os ajustes necessários para seguir para a próxima fase da pesquisa.

A terceira fase, consistiu de um processo de coleta de dados em larga escala através de um *survey* aplicado via web. O instrumento utilizou escala de sete pontos para avaliar e medir os fatores de complexidade dos ISDPs. Para cada um dos fatores de complexidade foi calculada a média dos pontos atribuídos pelos respondentes. Num segundo momento foram calculadas as médias dos componentes Estrutural_Organizacional, Estrutural_Tecnológica, Dinâmica_Organizacional, Dinâmica_Tecnológica. Enfim, calcula-se a média dos componentes para obter o índice de complexidade do ISDP. A quarta e última fase segue um processo de validação e análise de dados utilizando análise fatorial para avaliar a validade e confiabilidade.

Cabe destacar que a Taxonomia e Instrumento de Mensuração propostos por Xia & Lee (2004) é fruto de um estudo de caso realizado pelos pesquisadores. Se avaliarmos isoladamente o instrumento de mensuração proposto, têm-se que a metodologia utilizada pode ser replicada em busca de validar novos estudos de caso de mesma natureza. No entanto, não se pode afirmar que o instrumento de mensuração de Xia & Lee (2004) é genérico ao ponto de ser utilizado por qualquer outro estudo de natureza semelhante sem passar por todos os procedimentos de validação de dados discutidos anteriormente.

2.2.5.2 Índice de Complexidade de Projetos – Vidal et al (2011a)

Em seus estudos sobre complexidade de projetos Vidal et al. (2011) definiram um índice de complexidade de projetos (IC) para auxiliar na tomada de decisão como parte do gerenciamento de projetos. O principal objetivo da criação do IC era torná-lo um indicador de referência para a seleção de projetos em ambientes de multi-projetos.

Todo o processo de desenvolvimento do IC inicia-se a partir de uma revisão da literatura sobre os instrumentos de mensuração de complexidade de projetos existentes. Foi utilizado como referência o modelo de complexidade de projetos descrito na seção 2.7.9 e que foi desenvolvido por Vidal & Marle (2008). Na primeira etapa, foram identificados 70 fatores de complexidade que em seguida passaram por um processo de refinamentos a partir da aplicação do método Delphi. A **Figura 19** apresenta a primeira versão do framework de complexidade de projetos proposto por Vidal et al. (2011b).

Family	Organisational complexity (Org)	Technological complexity (Tech)
Project System Size	Number of stakeholders	Largeness of scope (number of components, etc. ...)
	Number of information systems	Number and quantity of resources
	Number of structures / groups / teams to be coordinated	
	Number of companies / projects sharing their resources	
	Number of departments involved	
	Number of deliverables	
	Number of objectives	
	Largeness of scope (number of components, etc. ...)	
	Number and quantity of resources	
	Number of hierarchical levels	
	Number of investors	
	Number of activities	
	Largeness of capital investment	
	Staff quantity	
	Number of decisions to be made	
	Duration of the project	
Project System Variety	Variety of information systems to be combined	Variety of the technologies used during the project
	Geographic location of the stakeholders (and their mutual disaffection)	Variety of the product components
	Variety of the interests of the stakeholders	Variety of resources to be manipulated
	Diversity of staff (experience, social span ...)	Variety of technological dependencies
	Variety of the stakeholders' status	Variety of technological skills needed
	Variety of hierarchical levels within the organisation	
	Variety of financial resources	
	Variety of organisational interdependencies	
	Variety of organisational skills needed	
	Variety of project management methods and tools applied	
Interdependence within the Project System	Dependencies with the environment	Specifications interdependence
	Availability of people, material and of any resources due to sharing	Interdependence between the components of the product
	Interdependence between sites, departments and companies	Technological processes dependencies
	Interconnectivity and feedback loops in the task and project networks	Resource and raw material interdependencies
	Team cooperation and communication	
	Dependencies between schedules	
	Interdependence of information systems	
	Interdependence of objectives	
	Level of interrelations between phases	
	Processes interdependence	
	Stakeholders interrelations	
	Combined transportation	
	Interdependence between actors	
Elements of Context	Number of interfaces in the project organization	Environment complexity (networked environment)
	Dynamic and evolving team structure	Technological degree of innovation
	Relations with permanent organizations	Cultural configuration and variety
	Cultural configuration and variety	New laws and regulations
	Environment complexity (networked environment)	Demand of creativity
	Organizational degree of innovation	Local laws and regulations
	New laws and regulations	Scope for development
	Institutional configuration	Institutional configuration
	Local laws and regulations	Significance on public agenda
	Competition	Competition

Figura 19. Primeira versão do framework de complexidade de projetos.

Fonte: Vidal et al (2011b)

A aplicação do método Delphi para refinar o *framework* foi feita com 38 especialistas, sendo 19 da área acadêmica internacional e 19 especialistas em gerenciamento de projetos da indústria. A seleção contemplou variedade na localização geográfica e equilíbrio entre gêneros (masculino e feminino) dos participantes. O questionário foi dividido em 8 seções seguindo a estrutura proposta pelo framework e os respondentes foram solicitados a avaliar cada fator da complexidade de projetos a partir de uma escala Likert de 5 pontos (Vidal et al., 2011a). A **Figura 20** mostra as etapas da aplicação do método Delphi.

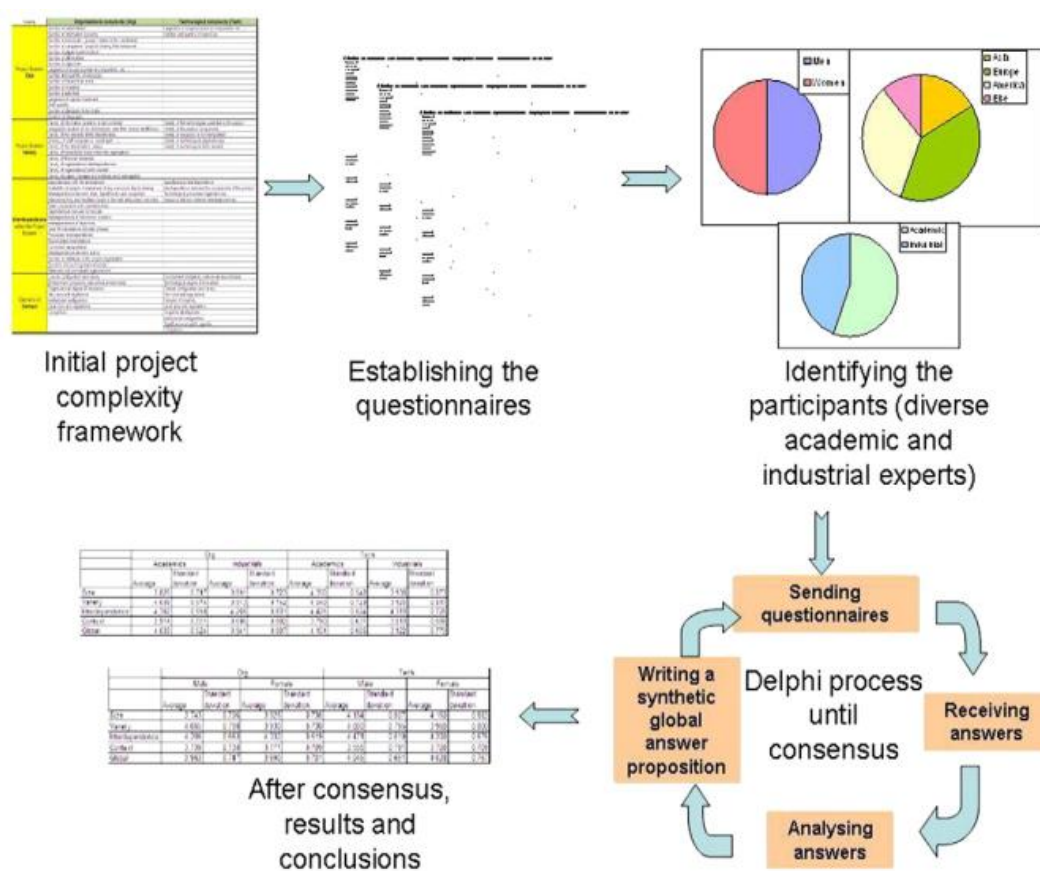


Figura 20. Etapas de aplicação do Método Delphi.

Fonte: Vidal et al. (2011a)

Após o refinamento utilizando o Método Delphi, somente 18 fatores de complexidade considerados essenciais pelos especialistas passaram a fazer parte do *framework* de complexidade de projetos. A **Figura 21** mostra o *framework* de complexidade de projetos de Vidal et al. (2011a) após o refinamento.

Family	Organisational Complexity (Org)	Technological Complexity (Tech)
<i>Project system size</i>	Number of stakeholders	
<i>Project system variety</i>	Variety of information systems to be combined	
	Geographic location of the stakeholders (and their mutual disaffection)	
	Variety of the interests of the stakeholders	
<i>Project system interdependencies</i>	Dependencies with the environment	Specifications interdependence
	Availability of people, material and of any resources due to sharing	
	Interdependence between sites, departments and companies	
	Interconnectivity and feedback loop in the task and project networks	
	Team cooperation and communication	
	Dependencies between schedules	
	Interdependence of information systems	
	Interdependence of objectives	
	Level of interrelation between phases	
<i>Project system context-dependence</i>	Processes interdependence	
	Cultural configuration and variety	Environment complexity (networked environment)
	Environment complexity (networked environment)	

Figura 21. Framework de Complexidade de Projetos após refinamento.

Fonte: Vidal et al. (2011a)

Finalizado o processo de refinamento do *framework* de complexidade de projetos, uma estrutura hierárquica foi construída, onde o primeiro nível corresponde as quatro famílias de fatores (tamanho, variedade, interdependências e elementos de contexto). Já o segundo nível consiste dos 18 fatores identificados após o refinamento. A estrutura hierárquica serve de referência para a aplicação do método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Para cada alternativa proposta na aplicação do método AHP obtêm-se um escore. Dado esse conjunto de escores obtidos a partir das alternativas, Vidal et al. (2011a) propõem uma medida relativa da complexidade onde, sendo $S(i)$ o escore de prioridade da alternativa A_i , obtidos através da aplicação do método AHP. A complexidade relativa da alternativa A_i pode ser expressa como:

$$IC_i = \frac{S(i)}{\max(S(i))} , \quad 0 \leq IC_i \leq 1$$

onde,

- a) IC – é o índice de complexidade relativa da alternativa A_i ; e
- b) $S(i)$ – é o escore de prioridade da alternativa A_i ;

2.2.5.3 Método de Mensuração da Complexidade de Projetos - Pinto et al. (2014)

Em artigo de título “Proposta de Método de Mensuração da Complexidade em Projetos”, Pinto et al. (2014) apresenta um método de mensuração do grau de influência de variáveis influenciadoras da complexidade em gestão de projetos. O método proposto por Pinto et al. (2014) baseia-se numa escala numérica de mensuração validada por gestores de projetos e que tem como objetivo principal, apoiar processos de decisão.

A partir de uma revisão teórica dos trabalhos de Little (2005), Kujala, Artto & Parhankangas (2007), Vidal, Marle & Bocquet (2011), Carvalho (2003) e Toledo et al. (2008), os autores identificaram 44 variáveis aderentes a complexidade de projetos que poderiam ser utilizadas para construir o instrumento de mensuração. Para avaliar a aderência de cada uma das 44 variáveis, um *survey* foi desenvolvido utilizando um questionário com três categorias de perguntas que resultaram em 14 variáveis consideradas relevantes para o instrumento de mensuração da complexidade. A avaliação das variáveis é feita com base numa escala Likert de 5 pontos. O respondente avalia o último projeto que participou, atribuindo valores de 1 a 5 para as variáveis em dois níveis de análise (Nível de Impacto e Nível de Importância), sendo que 1 corresponde ao nível mais baixo e 5 ao nível mais alto de impacto e/ou importância da variável na complexidade do projeto.

O método proposto por Pinto et al. (2014) utilizou-se de dois métodos estatísticos multivariados para realizar as análises das variáveis: Escalonamento Multidimensional e Análise de Cluster. Como resultado da aplicação dos métodos estatísticos, o conjunto de variáveis foi reduzido de catorze para dez variáveis do atributo complexidade que compõem a escala de classificação. A **Tabela 3** apresenta as variáveis da escala proposta por Pinto et al. (2014).

Tabela 3

Variáveis do atributo de complexidade da escala de classificação

Id	Descrição
1	Tamanho relativo do projeto
2	Tipo de inovação (tecnológica ou organizacional)
3	Porte da organização
4	Localização dos membros da equipe de projetos
5	Tipo de projeto
6	Número de departamentos da organização envolvidos no projeto
7	Nível de impacto das mudanças causadas pelo projeto
8	Número de interessados no projeto (stakeholders)
9	Tipo de estrutura do projeto
10	Pressão por prazos

Fonte: Adaptado de Pinto et al. (2014)

Para medir a complexidade, utiliza-se uma escala de 1 a 5 contendo pesos a serem atribuídos a cada uma das variáveis nos níveis de impacto e importância. Calcula-se então o

total de pontuação do atributo complexidade de cada variável multiplicando o peso atribuído para o nível de impacto e o atribuído para o nível de importância. O somatório dos totais de pontos de cada variável representa o indicador da complexidade do projeto. A equação descrita abaixo apresenta o cálculo da complexidade de projeto pelo método de Pinto et al. (2014).

$$Complexidade = \sum_{i=1}^{10} impacto \times importância$$

onde,

- a) **impacto**: corresponde ao nível de impacto da variável no atributo de complexidade;
- b) **importância**: corresponde ao nível de importância da variável no atributo de complexidade;

De posse do valor que representa o indicador de complexidade, classifica-se através de uma escala de classificação proposta por Pinto et al. (2014) o nível de complexidade do projeto conforme **Figura 22**.

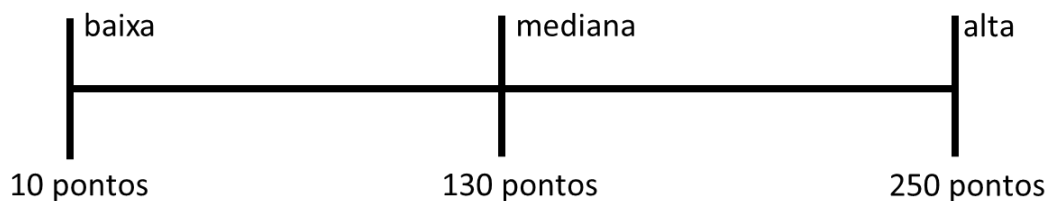


Figura 22. Escala de classificação da Complexidade de Projetos.

Fonte: Pinto et al. (2014)

Os autores afirmam que a escala de classificação pode ser utilizada por organizações de diversos setores e portes, observando unicamente o pré-requisito do responsável pelo projeto conhecer as particularidades da escala. Pinto et al. (2014) concluem afirmando que a escala estabelece um novo paradigma de quantificação da complexidade de projetos criando um instrumento de apoio a tomada de decisão no contexto dos projetos.

2.2.5.4 Modelo de Mensuração da Complexidade de Projetos - He et al. (2015)

O entendimento da complexidade de megaprojetos de construção é considerado crítico e desafiador para o gerenciamento de projetos (Sinha et al., 2006). No entanto, estudos empíricos relacionados com a mensuração da complexidade de megaprojetos ainda permanecem em falta (He et al., 2015).

Diante desse cenário, He et al. (2015) propõem um modelo para mensuração da complexidade baseado em um *fuzzy analytic network process* (FANP). O modelo consiste de 28 fatores agrupados em seis categorias de complexidade (tecnológica, organizacional, metas, ambiental, cultura e informacional). A

Tabela 4 apresenta os fatores e sub-fatores do modelo de mensuração de complexidade de He et al. (2015).

Tabela 4
Fatores e Sub-fatores de complexidade

No	Fator	Sub-fator
1	Complexidade	Diversidade de tecnologias no projeto (T1)
2	Tecnológica (T)	Dependência de processos tecnológicos (T2)
3		Interação entre os sistemas tecnológicos e o ambiente externo (T3)
4		Risco em lidar com tecnologias difíceis (T4)
5	Complexidade	Quantidade de níveis hierárquicos na estrutura organizacional (O1)
6	Organizacional (O)	Número de unidades organizacionais e departamentos (O2)
7		Experiência e antecedentes sociais dos membros da organização (O3)
8		Interdependência interorganizacional (O4)
9	Complexidade	Incerteza nos objetivos/metasp (G1)
10	Metas/Objetivos (G)	Incerteza nos métodos e ferramentas de gestão de projetos (G2)
11		Capacidade disponível de recursos e habilidades (G3)
12		Diversidade de tarefas/atividades (G4)
13		Dependência de relacionamentos entre as tarefas (G5)
14		Dinâmica das atividades nas tarefas (G6)
15	Complexidade	Multiplicidade de <i>stakeholders</i> (E1)
16	Ambiental (E)	Ambiente de políticas e regulações (E2)
17		Ambiente de mudanças tecnológicas (E3)
18		Ambiente de mudanças econômicas (E4)
19		Ambiente de mudanças naturais (E5)
20	Complexidade	Vários países participantes (C1)
21	Cultural (C)	Confiança na equipe do projeto (C2)
22		Senso de cooperação (C3)
23		Diferenças culturais (C4)
24	Complexidade	Incerteza informacional (I1)

25	Informacional (I)	Grau de obtenção da informação (I2)
26		Nível de processamento da informação (I3)
27		Capacidade de transferência da informação (I4)
28		Integração de mais de um sistema ou plataforma (I5)

Fonte: Adaptado de He et al. (2015).

O desenvolvimento do estudo foi dividido em cinco etapas:

1. Identificação de fatores e sub-fatores de complexidade a serem utilizados no modelo;
2. Estruturação hierárquica do modelo *Analytic Network Process* (ANP) - metas, fatores e sub-fatores;
3. Definir a matrix de avaliação de fator único;
4. Calcular os pesos do FANP (*Fuzzy Analytic Network Process*);
5. Avaliar os resultados;

Na primeira etapa, os fatores e sub-fatores de complexidade são identificados e extraídos a partir de uma revisão da literatura sobre megaprojetos de construção usando a técnica de análise de conteúdo. Num passo seguinte, quantificou-se a presença de cada fator e sub-fator nos estudos consultados na revisão da literatura. Os autores consideraram os tipos de complexidade como fatores e as medidas presentes em cada um dos tipos como sub-fatores de complexidade. De modo a refinar o trabalho de revisão da literatura, foi aplicado o método Delphi em dois estágios. Na segunda etapa, de estruturação do modelo hierárquico ANP, constrói-se a hierarquia com base nos seis fatores e vinte e oito sub-fatores identificados na etapa anterior.

Nas etapas seguintes, são aplicadas técnicas definidas pelo FANP para a construção da matrix de fator único e para o cálculo dos pesos. Como resultado dessas etapas, obtêm-se a matriz dos pesos que é utilizada como referência para o cálculo da complexidade dos fatores e sub-fatores.

O estudo apresenta como contribuição mais relevante a aplicação de FANP para modelagem da complexidade de projetos assumindo que a FANP lida melhor com questões relacionadas com a incerteza presente nos projetos. Em contrapartida, apresenta como limitações a aplicação em um estudo de caso único na China e o fato de ser um modelo específico para avaliar a complexidade em megaprojetos de construção. He et al. (2015) concluem o estudo com três recomendações para práticas e pesquisas futuras:

1. Implementar a mensuração da complexidade em tempo real durante todo o ciclo de vida do projeto;
2. Estabelecer medidas adequadas do ponto de vista organizacional e de estratégia para lidar com os vários tipos de complexidade e possíveis mudanças que venham a ocorrer durante o projeto;
3. A liderança deve ser utilizada para lidar com a complexidade de projetos;

2.2.5.5 Método de Mensuração da Complexidade em Projetos de Transporte – Nguyen et al. (2015)

Com o crescimento da complexidade em projetos de construção, Nguyen et al. (2015) enxergaram a necessidade de desenvolver um método sistemático de mensuração da complexidade em projetos de construção, especialmente, para o setor de transportes. Para tanto, desenvolveram uma pesquisa que teve como objetivo desenvolver uma abordagem que pudesse quantificar a complexidade de projetos. A pesquisa foi concebida para ser executada em quatro fases que consistiam de: (1) identificar fatores de complexidade, (2) estabelecer critérios e subcritérios para a complexidade de projetos, (3) atribuir valores e ponderar critérios e subcritérios da complexidade de projetos e (4) medir a complexidade de projetos de transporte (Nguyen et al., 2015).

O estudo teve como base de conhecimento projetos de transporte em processo de execução no Vietnã e empregou o método Fuzzy AHP para atribuir pesos aos componentes e fatores de medição da complexidade de projetos considerando que os números fuzzy podem lidar melhor com a questão da incerteza e imprecisão quando comparados aos métodos que aplicam AHP para mensuração da complexidade, a exemplo dos estudos promovidos por Vidal et al. (2011b, 2011a).

O processo de construção que resultou no instrumento de mensuração da complexidade iniciou-se com uma revisão da literatura em bases de dados científicas nas áreas de ciências, engenharia e negócios, além de outros mecanismos de busca presentes na Internet. Como resultado, uma lista inicial contendo 50 fatores foi identificada e serviu de base para avaliação junto a seis profissionais da área de transportes por meio de entrevistas semi-estruturadas e grupos focais com o objetivo de obter um conjunto adequado de fatores específicos para esse perfil de projeto. A lista final de fatores de complexidade considerados adequados para a mensuração da complexidade a partir do modelo de Nguyen et al. (2015) é composta por trinta e seis fatores. Foi utilizada análise fatorial para reduzir, correlacionar variáveis e estabelecer a estrutura hierárquica dos fatores de complexidade do setor de transportes. A partir da análise

fatorial foram extraídos seis componentes denominados por complexidade: (C1) sócio-política, (C2) ambiental, (C3) organizacional, (C4) infraestrutural, (C5) tecnológica e de (C6) escopo. Cada um dos seis componentes possui um conjunto de fatores (C_{ij}), onde i corresponde a identificação numérica do componente e j ao sequencial numérico do fator associado ao componente. A **Figura 23** mostra o cubo da complexidade de projetos de transporte de Nguyen et al. (2015).

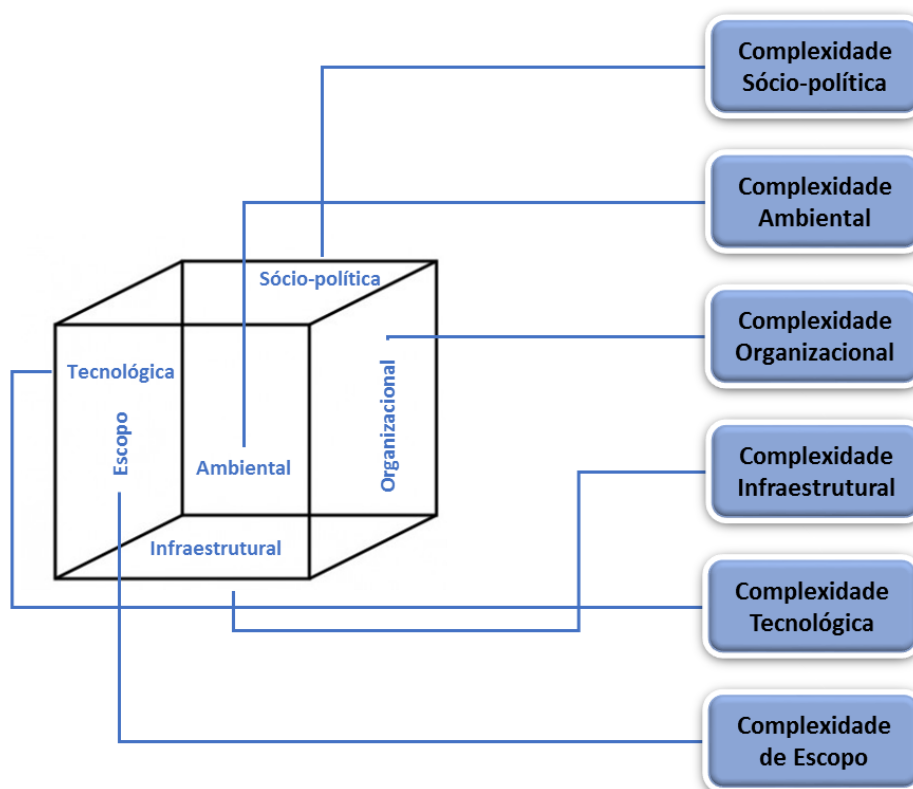


Figura 23. Cubo da Complexidade de Projetos de Transporte.

Fonte: Adaptado de Nguyen et al. (2015)

Numa etapa seguinte, uma nova rodada de questionários e entrevistas foi conduzida para determinar os pesos dos fatores e componentes do modelo de mensuração. Os pesos foram calculados a partir de uma escala fuzzy de nove pontos avaliadas por um grupo de 23 profissionais com larga experiência em projetos de transporte. Por fim, a pesquisa propõe uma escala que avalia os fatores de complexidade de um projeto de transporte. A escala é composta por onze pontos, partindo de 0 (extremamente baixo) até 10 (extremamente alto) e tendo 5 como valor neutro. Utilizando a escala proposta por Nguyen et al. (2015) é possível avaliar cada fator de complexidade individualmente para, posteriormente, estabelecer um nível de complexidade (NC) para o projeto como um todo e que pode assumir valores entre 0 e 10, onde

0 corresponde a um baixo grau de complexidade e 10 a um alto grau de complexidade do projeto. O cálculo do NC é dado pela equação descrita abaixo.

$$NC = \sum K_{ij} \times W_{ij}$$

onde,

- a) K_{ij} - corresponde ao valor de complexidade do fator C_{ij} ;
- b) W_{ij} - corresponde ao peso total atribuído ao fator C_{ij} ;

A partir do resultado do cálculo do NC, utiliza-se a escala K de complexidade de projetos proposta por Nguyen et al. (2015) para avaliar a complexidade do projeto. A **Figura 24** apresenta a escala K de complexidade de Nguyen et al. (2015).

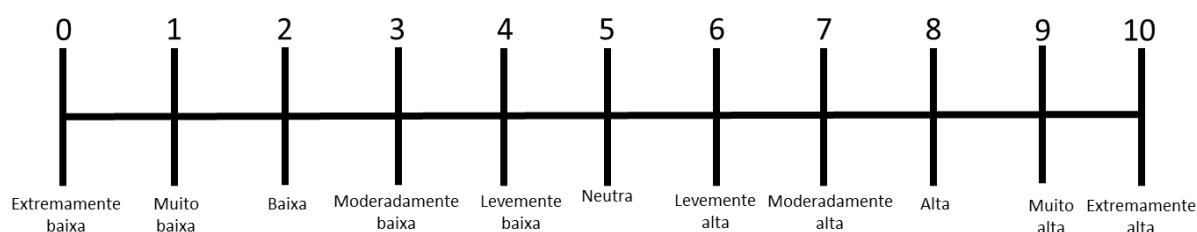


Figura 24. Escala K de Complexidade de Projetos.

Fonte: Nguyen et al. (2015)

Dando continuidade a pesquisa desenvolvida por Nguyen et al. (2015), o artigo “*Computational Model for Measuring Project Complexity in Construction*” trouxe como contribuição o desenvolvimento de uma solução computacional em MATLAB com o objetivo de facilitar o processo de cálculo dos pesos usando o método FuzzyAHP. Além disso, o modelo computacional implementa a análise de sensibilidade e permite a visualização dos resultados (Nguyen, Tran, Nguyen, & Le-Hoi, 2016).

2.2.5.6 Assessing Software Project Management Complexity: PCMAT Tool – Damasiotis & Fitsilis (2015)

Em “*Measuring the complexity of software projects*”, Fitsilis (2009) apresenta uma forma sistemática de estudo e modelagem da complexidade de projetos de software, que toma por base conceitos de gerenciamento de projetos presentes no PMBOK, associando-os a uma tipologia de modelagem da complexidade definida pelo autor. A tipologia proposta por Fitsilis (2009) fundamenta-se no estudo conduzido por Geraldi & Adlbrecht (2007), no qual a complexidade de projetos é dividida em três tipos de complexidade: fé, fato e interação.

A tipologia utiliza as nove áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos presentes no PMBOK combinadas com os três tipos de complexidade de projetos apresentados por Geraldi & Adlbrecht (2007). Um conjunto de fatores de complexidade de projetos de software foram identificados a partir de uma revisão da literatura e categorizados nas áreas de conhecimento do PMBOK e nas três dimensões de complexidade de Geraldi & Adlbrecht (2007). A tipologia também indica possíveis métricas a serem utilizadas para mensuração da complexidade de projetos. No entanto, o próprio autor afirma que os elementos apresentados precisam ser analisados quanto a sua adequação para compor a tipologia e, consequentemente, como métrica para medir a complexidade de projetos de software.

Seis anos após a publicação da tipologia, Panos Fitsilis se une ao pesquisador Vyrion Damasiotis e publicam o estudo “*Assessing Software Project Management Complexity: PMCAT Tool*”, onde revisam a tipologia do primeiro estudo de modo a simplificá-la. No novo estudo, os autores abandonam os conceitos apresentados por Geraldi & Adlbrecht (2007) e definem um *framework* para avaliar a complexidade de projetos de software. O *framework* é composto por fatores e métricas de complexidade alocadas nas nove áreas de conhecimento do PMBOK. Complementando o estudo, os autores definem uma escala de mensuração de cinco pontos para ser utilizada na avaliação de cada métrica. A escala possui valores de 1 a 5, onde 1 representa “muito baixa” e 5 representa “muito alta” com relação a influência da métrica na complexidade do projeto (Damasiotis & Fitsilis, 2015).

Na sequência do estudo os autores propõem e descrevem a arquitetura da *Project Management Assessment Tool* (PCMAT) que consiste de um serviço de software que permite aos gerentes criar modelos de complexidade e utilizá-los para avaliar a complexidade dos seus projetos. A PCMAT é composta a partir de cinco tipos de entidades: Projetos, Modelo, Fator de Complexidade, Métrica e Escala de avaliação. O cálculo da complexidade do projeto é dado pela seguinte fórmula:

$$CProj = \sum_{j=1}^n VFC_j * PFC_j$$

onde,

- a) **CProj** – corresponde ao valor calculado da complexidade do projeto;
- b) **VFC_j** - corresponde ao valor atribuído ao fator de complexidade *j*;
- c) **PFC_j** - corresponde ao peso atribuído ao fator de complexidade *j*;

Para os casos onde os fatores de complexidade são compostos, o cálculo do VFC é feito seguindo a fórmula abaixo:

$$VFC_j = \sum_{j=1}^n MtrV_j * MtrW_j$$

onde,

- VFC_j - corresponde ao valor atribuído ao fator de complexidade j ;
- $MtrV_j$ - corresponde ao valor atribuído a métrica que compõe o fator de complexidade j ;
- $MtrW_j$ - corresponde ao peso atribuído a métrica que compõe o fator de complexidade j ;

A **Figura 25** apresenta a ferramenta de software PMCAT.

Figura 25. Tela da *Project Management Complexity Assessment Tool* - PMCAT.

Fonte: Damasiotis & Fitsilis (2015)

2.2.5.7 Project Complexity Assessment and Management (PCAM) Tool – Dao et al. (2016)

A PCAM (*Project Complexity Assessement and Management*) Tool foi desenvolvida com o objetivo de auxiliar as equipes de projeto a identificar, avaliar e gerenciar a

complexidade de projetos A PCAM Tool é resultado de uma extensa pesquisa desenvolvida por um conjunto de pesquisadores que integrou uma definição para a complexidade de projetos, a identificação de atributos e indicadores de complexidade e uma proposta de mensuração do nível de complexidade de cada projeto (Dao, Kermanshachi, Shane, & Anderson, 2016). .

A base teórica da PCAM Tool está alicerçada numa pesquisa apoiada pelo *Construction Industry Institute* (CII) para identificar os atributos e indicadores de complexidade relevantes para mensuração da complexidade e que teve como resultado trinta e sete indicadores associados a vinte e três atributos de complexidade estatisticamente significantes para a complexidade de projetos. Os dados que compõem a base teórica da PCAM Tool foram coletados e validados a partir de um histórico de projetos.

A PCAM Tool consiste de uma ferramenta baseada em oito planilhas eletrônicas desenvolvidas em Excel: Introdução, Guia do usuário, Informações do Projeto e do Avaliador, Complexidade – Entrada, Complexidade – Saída, Estratégias de Gestão da Complexidade, Relatório Detalhado e Relatório Executivo. Além da atribuição de *scores* de complexidade para cada indicador e atributo, a ferramenta dispõe de fatores de ponderação obtidos a partir da opinião de especialistas da área de gerenciamento de projetos que atuam para estabelecer maior ou menor importância aos atributos e indicadores de complexidade. A PCAM Tool pode ser utilizada em diferentes fases do ciclo de vida do projeto, bem como com qualquer tipo e tamanho de projeto pertencente aos diversos setores da indústria (Dao, Kermanshachi, Shane, & Anderson, 2016).

Como parte dos resultados, a PCAM Tool apresenta em forma de relatórios o nível de complexidade geral do projeto além de um conjunto de diagramas que determinam os fatores de complexidade de maior importância e permitem as equipes de projeto estabelecerem planos específicos de gerenciamento baseados na complexidade. A ferramenta também dispõe de um conjunto de estratégias de gerenciamento que serão identificadas a partir dos resultados obtidos e que poderá contribuir na tomada de decisão por parte da equipe do projeto (Dao, Kermanshachi, Shane, & Anderson, 2016).

A **Figura 26** exibe parte da tela onde são definidos os scores de complexidade para cada um dos indicadores de complexidade presentes na PCAM Tool.

A	B	C	D	E	F	G
← BACK	Introduction	User Guide	SAVE	De	Executive Report	CONTINUE →
Complexity Measurement Matrix						
Complexity Indicator		Complexity Measure	Complexity Score			Complexity Score Selection
			1	2	3	
CI-15	Assess the peak number of participants (Full Time Equivalents (FTE)) on the project management team during Procurement phase of the project	Low	1	2		N/A
		Medium	4 to 6	7 to 10	11 to 15	
(Interfaces)		High	16 to 25	25 to 40	More than 40	
CI-16	Assess the peak number of participants (Full Time Equivalents (FTE)) on the project management team during the Construction phase of the project	Low	1 to 5	6 to 10	11 to 15	
		Medium	16 to 25	26 to 40	41 to 60	
(Interfaces)		High	61 to 80	81 to 100	More than 100	
CI-17	Compare target project funding against industry/internal benchmarks	Higher than Benchmark	1	2		

Figura 26. Seleção de Scores de Complexidade para cada Indicador de Complexidade.

Fonte: Dao et al. (2016)

2.3 APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

2.3.1 Conceitos Básicos

A Aprendizagem de Máquina (AM), do inglês *Machine Learning*, é definida como um conjunto de métodos automatizados para execução de processos que buscam extrair conhecimento a partir de dados (Kelleher, Mac Namee, & D’Arcy, 2015; Lorena & Carvalho, 2007; Mohri, Rostamizadeh, & Talwalkar, 2018; Shalev-shwartz & Ben-david, 2014).

Segundo Theobald (2017), os conceitos de aprendizagem de máquina remetem ao artigo de Arthur Samuel publicado em 1959 no *IBM Journal of Research and Development*, no qual o autor apresentou os conceitos a partir de um jogo de damas, no qual verificou que seria possível programar um computador de modo que ele aprendesse a jogar melhor que a pessoa que escreveu o programa.

Theobald ainda cita que Arthur Samuel não foi o primeiro a utilizar o termo “aprendizagem de máquina” na literatura científica, porém permanece sendo reconhecido até hoje como o responsável por definir a aprendizagem de máquina da forma que tem sido utilizada nos dias atuais. A Aprendizagem de Máquina (AM) é tida como um subconjunto da ciência da computação que proporciona aos computadores a capacidade de aprendizado sem fazer uso de modo explícito de uma programação direcionada a tal propósito. Contudo, tem como alicerce o conceito de autoaprendizagem e está baseada na teoria do aprendizado estatístico e hipóteses de indução (Theobald, 2017).

Nesse contexto, a autoaprendizagem é vista a partir do conceito de “experiências” citado por Mohri et al. (2018) quando afirmam que estas se referem às informações do passado que estão disponíveis para, a partir delas, iniciar o processo de aprendizagem. Por se tratar de

um modelo de aprendizagem com foco computacional, é normal que os dados a serem utilizados no processo de aprendizagem sejam organizados em formato digital.

Assim como no processo de aprendizado tradicional, a qualidade e a quantidade de dados disponíveis para a aprendizagem são fatores de grande relevância para obtenção de bons resultados. No entanto, o processo de aprendizagem de máquina não se limita a essas duas dimensões. Além destas, há uma outra dimensão que está associada a necessidade de se construir algoritmos que promovam previsões eficientes e com nível de precisão satisfatório (Mohri et al., 2018).

Em virtude da quantidade significativa de atividades que são associadas ao processo de aprendizagem, há uma dificuldade em estabelecer uma definição exata para o termo. Nesse sentido, têm-se utilizado, frequentemente, a análise do contexto, a percepção de aprendizagem de quem o aplica e a área de conhecimento da aplicação como elementos de apoio à compreensão do termo aprendizagem (dos Santos, 2002). No entanto, quando se trata de Aprendizagem de Máquina, o interesse maior é saber como o computador pode aprender, de modo que através desse aprendizado o computador adquira a capacidade de executar tarefas específicas (de Mello & Ponti, 2018).

Mohri et al. (2018), relacionam em seu livro “*Foundation of Machine Learning*” um conjunto contendo as cinco tarefas mais comuns utilizadas pela aprendizagem de máquina: classificação, regressão, ranqueamento, agrupamento e redução de dimensionalidade. Estes mesmos autores, apresentam uma definição objetiva de cada uma das tarefas, facilitando a compreensão e a utilidade:

- **Classificação:** corresponde a tarefa de atribuir uma classificação ou uma categoria a cada item dentro de um conjunto de itens;
- **Regressão:** corresponde a tarefa de prever um valor real para cada item;
- **Ranqueamento:** corresponde a tarefa de atribuir ordem aos itens com base em um critério definido;
- **Agrupamento:** corresponde a tarefa de realizar o particionamento de itens através de subconjuntos que apresentem indicadores de homogeneidade entre si;
- **Redução de dimensionalidade:** corresponde a tarefa de transformar o conjunto de variáveis iniciais que representam um item em um conjunto com menor quantidade de variáveis (dimensões) mantendo preservada algumas das propriedades de maior importância presentes no modelo inicial;

Complementando a discussão, Haykin (1999), aponta em seu livro “*Neural Networks: a comprehensive foundation*” a existência de três tipos de aprendizagem a serem utilizadas a partir da aprendizagem de máquina: a supervisionada, a não-supervisionada e a aprendizagem por reforço. Segundo o autor, com base na seleção do tipo de aprendizagem, escolhem-se os algoritmos e estes definem a forma como os dados serão analisados visando a obtenção de um aprendizado que possa convergir para melhores resultados.

Mesmo tendo indicado três tipos de aprendizagem, Haykin (1999) e outros autores assumem de modo genérico a existência somente de dois tipos de aprendizagem: a supervisionada e a não-supervisionada. Na visão desses autores, a aprendizagem por reforço enquadra-se como um tipo de aprendizagem não-supervisionada, e portanto, pode ser alocada na categoria de aprendizagem não-supervisionada (de Mello & Ponti, 2018; dos Santos, 2002; Haykin, 1999). Corroborando com existência de dois tipos de aprendizagem, Lorena & Carvalho (2007) afirmam que as técnicas de aprendizagem de máquina fazem uso do princípio da indução para obter resultados genéricos de saída a partir das entradas e que são esses mecanismos de aprendizagem indutiva que dividem a aprendizagem em supervisionada e não-supervisionada.

Diante dessa segmentação e considerando a necessidade de se optar por um dos dois tipos de aprendizagem quando da aplicação da AM, Mohri et al. (2018) indicam que a escolha do tipo a ser utilizado depende basicamente dos dados disponíveis para realização desse aprendizado e das características específicas presentes em cada conjunto de dados que são os fatores norteadores para uma escolha adequada.

Na Aprendizagem Supervisionada, os dados de aprendizado são compostos por exemplos rotulados que formam um conjunto de treinamento de dados conhecidos e que possuem suas respectivas previsões mapeadas previamente. Nesse tipo de aprendizado de máquina, têm-se um conjunto de elementos conhecidos, onde são identificadas as variáveis que representam as características (atributos) de cada elemento X , que podem ser representadas por $x_1, x_2 \dots x_n$, bem como a variável preditora Y que corresponde ao valor do rótulo do elemento X . O conjunto de elementos com suas respectivas características (atributos), incluindo seu rótulo, constitui a base para criação de um modelo onde o aprendizado ocorre a partir dos exemplos dados. Esse tipo de aprendizagem é comumente utilizado na solução de problemas de regressão e classificação (Mohri et al., 2018).

Já na Aprendizagem Não-Supervisionada, o conjunto de dados fornecidos para aprendizagem não possuem rótulos para identificar e mapear previsões. Logo, não se tem uma

variável preditora Y e o processo de aprendizagem é feito com base na análise de todos os elementos de forma conjunta através de técnicas e/ou algoritmos de AM que exploram uma medida de qualidade associada aos dados. Esse tipo de aprendizagem de máquina tem sido utilizado em problemas de agrupamento e de redução de dimensionalidade (Mohri et al., 2018)

Como o objetivo principal dessa tese consiste na construção de um modelo de classificação da complexidade de projetos, estaremos lidando diretamente com algoritmos de Aprendizagem Supervisionada. É importante destacar que a Teoria do Aprendizado Estatístico (TAE), do inglês *Statistical Learning Theory* – SLT, que foi concebida por Vapnik (1995, 1998, 2000) têm se tornado a referência principal da AM quando se trata de aprendizagem supervisionada (de Mello & Ponti, 2018). Com o passar dos anos, a aprendizagem de máquina incorporou diversos algoritmos ao seu portfólio e um dos grandes desafios dos profissionais e acadêmicos que lidam com a AM no contexto atual, diz respeito a escolha do algoritmo adequado e que proporcione melhores resultados ao processo da AM e ao seu uso posterior. Mohri et al. (2018) reforçam essa percepção quando afirmam que a aprendizagem de máquina consiste de projetar algoritmos eficientes e com índices de acurácia de predição satisfatórios, em que o sucesso do aprendizado está intimamente ligado aos dados utilizados e aos processos de análise de dados e estatística feitos a partir dos algoritmos selecionados.

Considerando que esta tese irá trabalhar com conceitos de aprendizagem de máquina do tipo supervisionada para classificar os projetos quanto a seu grau de complexidade, deve-se compreender que o modelo de classificação a ser construído a partir da aprendizagem de máquina deverá atribuir rótulos de uma classe a um dado projeto. Para tanto, optou-se por fazer uso do algoritmo de Máquinas de Vetores de Suporte (*Support Vector Machines* – SVM), inicialmente, devido aos bons resultados obtidos com o uso desse algoritmo relatados por trabalhos acadêmicos nos últimos anos (dos Santos, 2002; Lorena, 2006; Oliveira, 2014; Vapnik, 2000).

Num segundo momento, a escolha baseou-se num comparativo entre algoritmos de AM voltados para classificação. O detalhamento do processo de escolha do algoritmo de aprendizagem de máquina utilizado na etapa de aprendizagem supervisionada, bem como a utilização da aprendizagem não-supervisionada, por meio agrupamento não hierárquico usando o método K-Means será apresentado no capítulo 3 que trata com detalhes sobre os procedimentos metodológicos da pesquisa.

Em razão desta pesquisa ter como objetivo principal a construção de um modelo para classificação da complexidade de projetos, discorrer sobre a problemática de classificação e sobre os aspectos teóricos da Máquina de Vetores de Suporte (SVM) neste referencial teórico

contribui para uma melhor compreensão dos métodos utilizados e, respectivamente, na resolução da questão de pesquisa proposta por esta tese.

2.3.2 Problemática de Classificação

No contexto da Aprendizagem de Máquina, considerando a aprendizagem do tipo supervisionada, um dos problemas comuns diz respeito a necessidade de classificação de elementos de entrada com base em rótulos de saída. Tais rótulos fazem referência a classe/categoria na qual esses elementos estão associados. A **Tabela 5** apresenta o exemplo de um conjunto de dados de inadimplência de clientes de uma loja X. Cada elemento da tabela (linha) representa um cliente da loja X e cada coluna da tabela representa um atributo de cada um dos clientes. A última coluna, denominada **Status** representa o rótulo (classificação) dada ao cliente da loja X. O rótulo (classificação) pode assumir os valores “Adimplente” ou “Inadimplente” e este associa o cliente à sua situação de pagamento referente as compras feitas na loja X.

Tabela 5

Conjunto de dados de inadimplência de clientes da loja X.

Id	Idade	Salário	Sexo	Status
1	20	R\$ 2.000,00	Feminino	Adimplente
2	25	R\$ 1.580,00	Masculino	Adimplente
3	18	R\$ 1.000,00	Feminino	Adimplente
4	35	R\$ 5.000,00	Masculino	Inadimplente
5	40	R\$ 4.200,00	Feminino	Adimplente
6	30	R\$ 10.000,00	Masculino	Inadimplente

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A partir desse exemplo, quando utilizamos algoritmos de aprendizagem de máquina para problemas de classificação, cabe ao algoritmo identificar uma função de classificação que melhor represente um modelo de AM a partir da análise de um conjunto dos dados de treinamento e que, com base nessa análise estabeleça através dessa função as relações existentes entre os atributos e os rótulos.

Durante o processo de construção de um modelo de classificação, o algoritmo de AM selecionado é aplicado a um conjunto de dados já rotulados, também conhecidos como conjunto de dados de treinamento. Com base no princípio da indução constrói-se o modelo de AM que servirá de base para o processo de classificação de dados de testes, onde a diferença

entre esses dados e os dados de treinamento basicamente reside no fato de que esses dados não possuem informações sobre a classe a qual ele pertence, isto é, são dados não rotulados. De posse do modelo de classificação, os dados não rotulados (dados de teste) são submetidos ao procedimento de classificação que consiste basicamente em aplicar a função de classificação aos dados obtendo-se como resposta o rótulo correspondente a classe a qual o dado pertence.

Para obter os resultados da classificação utiliza-se o princípio da dedução. A **Figura 27** apresenta de forma esquemática os conjuntos de dados e as etapas de construção e uso um modelo de classificação baseado na aprendizagem de máquina. Na sequência, uma descrição passo a passo do processo de construção e uso do modelo de classificação é apresentada.

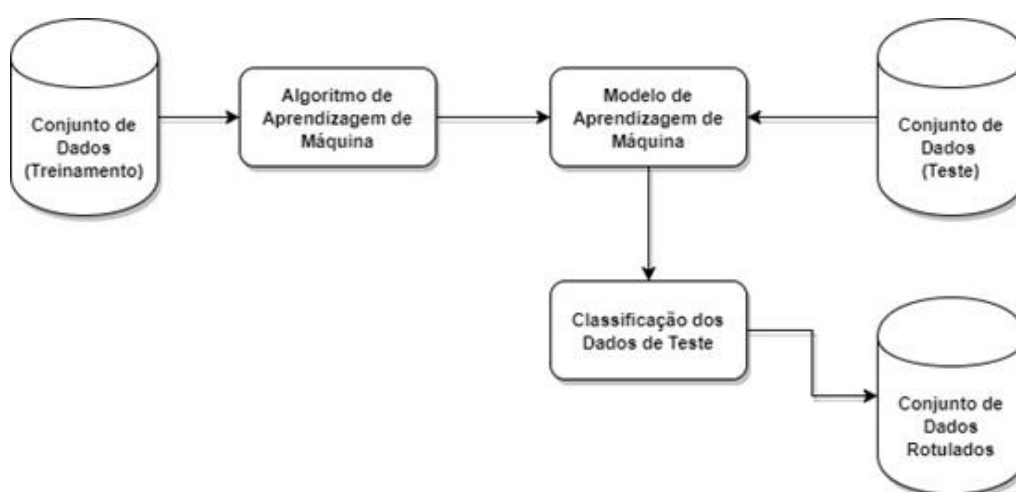


Figura 27. Etapas de construção e uso de um Modelo de Classificação baseado em Aprendizagem de Máquina.

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

O processo de construção de um Modelo de Classificação baseado em Aprendizagem de Máquina inicia-se a partir da seleção de um conjunto de dados que servirão como elementos de treinamento para o algoritmo de AM. De posse desses dados de treinamento, o algoritmo de AM realizará o processamento dos dados de treinamento aplicando o algoritmo escolhido para modelagem do problema. Como resultado dessa etapa, obtêm-se um modelo de aprendizagem de máquina, que no caso específico de um problema de classificação, será um modelo classificador (função classificadora). O modelo classificador obtido a partir da aplicação do algoritmo de AM conterá regras para classificar elementos desconhecidos pertencentes a um conjunto dados de teste. A característica mais relevante do conjunto de dados de teste, diz respeito a sua composição e aos seus elementos, pois estes se caracterizam por não terem rótulos de classificação atribuídos a eles. Nesse sentido, o modelo classificador ficará

responsável pela atribuição desses rótulos (classificação) a cada elemento do conjunto de dados de teste tomando como referência o modelo desenvolvido pela aprendizagem de máquina.

Cabe ressaltar que todo o processamento computacional do algoritmo de aprendizagem utilizado para classificação fundamenta-se na Teoria do Aprendizado Estatístico (TAE) que será retratada de forma detalhada nas próximas seções quando se discute o método de aprendizagem supervisionada baseado no conceito de Máquina de Vetores de Suporte (SVM).

2.3.3 Máquina de Vetores de Suporte (*Support Vector Machine* – SVM)

O conceito de Máquina de Vetores de Suporte, do inglês *Support Vector Machine* – SVM, foi desenvolvido por Vapnik (1995) fruto de pesquisas anteriores que fundamentam a Teoria do Aprendizado Estatístico (TAE) (Gonçalves, 2009). A ideia de utilização de SVM teve como um dos objetivos iniciais a resolução de problemas de classificação de ordem binária que, posteriormente, foram ampliados para problemas de classificação de ordens maiores, também conhecida como classificação multiclases. Com o passar dos anos a SVM adentrou em outros contextos sendo utilizada também em problemas de regressão e extração de características e detecção de novidades (dos Santos, 2002). A SVM vem ganhando espaço em pesquisas e aplicações nos últimos anos em virtude dos seus resultados muitas vezes superarem outros algoritmos de aprendizagem de máquina e também por sua capacidade de adequação a uma ampla variedade de aplicações (Cristianini & Shawe-Taylor, 2000; E. M. dos Santos, 2002; Kowalczyk, 2017).

Considerando o contexto de aplicação da SVM, em especial, a resolução de problemas de classificação, a teoria que fundamenta a SVM se diferencia das técnicas tradicionais por trabalhar tanto com o conceito de minimização do erro estrutural, quanto do erro empírico, sendo que na maior parte das técnicas tradicionais busca-se a minimização unicamente do erro empírico (Cristianini & Shawe-Taylor, 2000; Haykin, 1999; Vapnik, 1995). Tal fato tem ampliado a utilização da SVM em problemas de classificação, pois além de buscar otimizar o desempenho através da escolha de uma melhor função de classificação, busca-se também minimizar o percentual de erros de classificação de elementos desconhecidos (Lima, 2002).

A SVM fundamenta-se na divisão dos espaços de entrada em regiões. Para tanto, faz uso do conceito matemático de hiperplano ou hiperplano de separação, que consiste de um subespaço, de um espaço de entrada, que possui $n-1$ dimensões e divide esse espaço em planos distintos. Do ponto de vista matemático, seja R um espaço de dimensões, se considerarmos um espaço R^n , onde n representa o número de dimensões, define-se um hiperplano a partir de

conjunto de pontos que satisfaça a equação $a_1x_1 + \dots + a_nx_n = b$. Nesse caso, o hiperplano possui $n-1$ dimensões divide o R^n em duas partes. A **Figura 28** apresenta de graficamente o conceito de hiperplano ou hiperplano de separação.

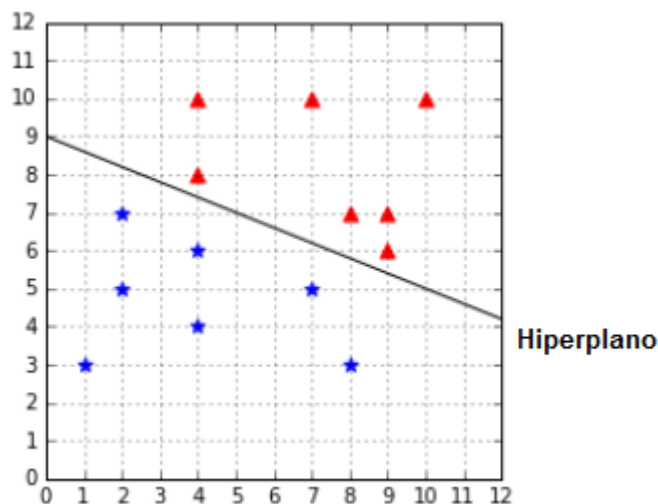


Figura 28. Hiperplano de separação.
Fonte: Adaptado de Kowalczyk (2017)

Nesse sentido, o objetivo primordial da SVM é encontrar o hiperplano ótimo que possa segmentar de forma ideal os elementos presentes no conjunto de treinamento maximizando as margens. Neste momento, é suficiente compreender que o conceito de margem consiste, basicamente, da distância existente entre um hiperplano e um ponto que corresponde ao seu elemento mais próximo. A apresenta graficamente o conceito de margem.

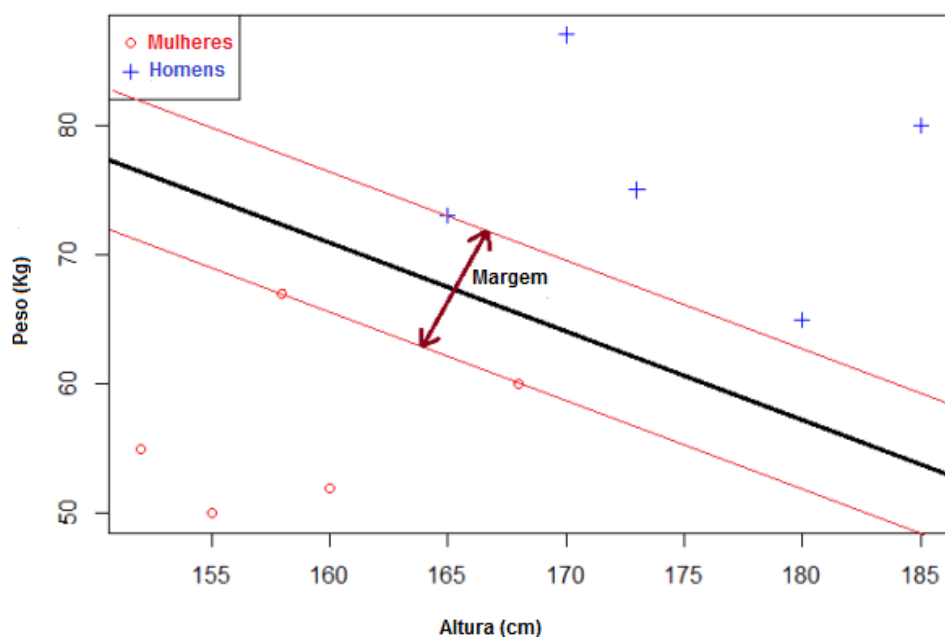


Figura 29. Representação gráfica do conceito de margem.
Fonte: Adaptado de Câmara (2015)

Uma discussão mais aprimorada relativa aos aspectos teóricos do funcionamento da SVM será feita nas seções subsequentes que tratam da TAE e da classificação de padrões lineares, não-lineares e multiclassés.

2.3.3.1 Teoria do Aprendizado Estatístico (TAE)

A Teoria do Aprendizado Estatístico surge como a base conceitual da SVM (Oliveira, 2014). A TAE foi desenvolvida por Vapnik juntamente com outros colaboradores durante vários anos. No contexto histórico, o primeiro algoritmo de SVM é atribuído a Vladimir Vapnik no ano de 1963, bem antes da criação da TAE. Em seguida, Vapnik desenvolveu em parceria com Chervonenkis a *VC theory*, que busca explicar o processo de aprendizagem sob o ponto de vista estatístico e que contribuiu para o desenvolvimento da TAE e da SVM (Kowalczyk, 2017).

Fundamentada em uma perspectiva histórica sobre o problema da aprendizagem, a TAE se teve seu desenvolvimento segmentado em quatro grandes eventos nos quais foram construídos os alicerces da teoria. Segundo o autor da teoria, estes eventos foram: a construção do primeiro modelo de aprendizagem de máquina, o desenvolvimento dos fundamentos da TAE, a concepção das redes neurais e o desenvolvimento de alternativas às redes neurais (Vapnik, 1995, 1998, 2000; Vapnik & Chervonenkis, 1971).

O evento inicial foi marcado pela construção do primeiro modelo de aprendizagem de máquina denominado perceptron. O modelo foi proposto por Frank Roseblatt na década de 60 e é considerado o marco introdutório da análise matemática do processo de aprendizagem. Roseblatt se apropriou de conceitos advindos da neurofisiologia para desenvolver o perceptron a partir de um programa de computador e mostrou por meio de experimentos simples ser possível generalizar o modelo (Vapnik, 1995).

Com o reconhecimento do modelo proposto por Frank Roseblatt, surgiram outros tipos de máquinas de aprendizado com intuito de contribuir para resolução de problemas. Juntamente com o conceito de perceptron, essas iniciativas trouxeram importantes contribuições para estabelecer os princípios fundamentais da teoria da aprendizagem. No entanto, a generalização de um modelo de aprendizagem de máquina só ocorreu na década de 80 com o uso da técnica denominada *back-propagation* para calcular os pesos de forma simultânea numa rede neural multicamadas formada por perceptrons (Vapnik, 1995).

Foi durante esse período, entre a definição do termo perceptron por Roseblatt na década de 60 e a aplicação da técnica back-propagation, em meados dos anos 80, que efetivamente ocorre o desenvolvimento da TAE (Vapnik, 1995)

A Teoria do Aprendizado Estatístico (TAE) proposta por Vapnik (1995, 1998, 2000) teve como objetivo principal investigar formas de estimar as dependências funcionais a partir de um conjunto de dados. Segundo o próprio autor da teoria, entre as décadas de 60 e 80 a estatística assumiu um novo paradigma que buscou identificar que informações deveriam ser conhecidas “a priori” sobre uma dependência funcional desconhecida, de modo que esta pudesse ser estimada a partir de observações.

Nesse sentido, a TAE trouxe consigo a superação de uma restrição imposta pelo paradigma de Fisher que destacava a necessidade de conhecer a priori praticamente todas as informações sobre a dependência funcional desconhecida para que, finalmente, fosse possível estimá-la. No novo paradigma criado por Vapnik, a TAE é utilizada para estimar a dependência funcional dos dados, sendo necessário somente ter conhecimento de algumas propriedades gerais relativas ao conjunto de funções ligadas a essa dependência desconhecida e pequenos conjuntos amostrais para estimação. Tal fato, surge como uma forma de diferenciar a TAE dos demais métodos tradicionais da inferência estatística clássica que, normalmente, exigem amostras grandes e o conhecimento de muitas propriedades a priori.

A TAE, portanto, assume o papel de identificar as propriedades gerais que possibilitam estimar a dependência desconhecida. Além disso, encarrega-se da descrição dos princípios indutivos que irão nortear o processo de obtenção de uma melhor aproximação da dependência desconhecida e da implementação de algoritmos que possam efetivar esses princípios.

Sob o ponto de vista prático da aprendizagem supervisionada, em especial, sobre problemas de classificação, a TAE tem como função proporcionar as condições matemáticas que auxiliem no processo de escolha do melhor classificador dentre os vários classificadores resultantes da aplicação de um algoritmo de aprendizagem de máquina num conjunto de dados de treinamento e teste (Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014). Portanto, busca-se obter o classificador que apresente maior capacidade de acertar a classificação de elementos presentes num conjunto de dados de teste.

Matematicamente, o conceito de aprendizado implementado a partir da AM corresponde ao processo de inferência de regras de classificação a partir de dados de exemplos. Considera-se um conjunto de dados de treinamento contendo X elementos. Cada elemento X possui uma lista de atributos ($a_1, a_2, a_3 \dots a_n$) e um rótulo r que identifica cada elemento do conjunto de forma individual. O processo de AM consiste da identificação de uma função de

classificação do tipo $f: X \rightarrow Y$, tomando como base um conjunto de dados de treinamento que contém exemplos de elementos com atributos e rótulos definidos.

Com relação a função de classificação $f: X \rightarrow Y$, têm-se que:

- $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ corresponde aos elementos de entrada com suas respectivas características (atributos);
- $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ corresponde aos elementos de saída, que remetem aos rótulos (classes);
- f , corresponde a função de classificação a ser obtida através da aplicação de um algoritmo de AM;

Logo, a função de classificação f deverá ser uma função capaz de atribuir rótulos a elementos desconhecidos promovendo a sua classificação com base no modelo de Aprendizagem de Máquina construído a partir dos dados de treinamento. Como a AM busca obter a generalização do classificador, é importante atentar para evitar o super-ajustamento (*overfitting*), que ocorre quando o modelo de classificação maximiza o seu ajuste aos dados de treinamento apresentando baixos índices de acerto em dados de teste. Da mesma forma, deve-se evitar o sub-ajustamento (*underfitting*), que ocorre quando o modelo de classificação apresenta baixos índices de acerto até mesmo nos dados de treinamento. Tal fato, deriva-se de uma baixa representatividade dos dados de treinamento ou de modelos de classificação simples obtidos a partir de poucos dados em que o limite entre as classes é tão pequeno que favorece a classificação incorreta e compromete a qualidade das regras de classificação (Lorena & Carvalho, 2003, 2007).

2.3.3.1.1 Risco empírico e funcional/estrutural

Considerando que no processo de busca pelo melhor classificador f , almeja-se obter o menor erro de classificação para um conjunto de dados de treinamento. O cálculo do erro é dado pela quantidade de classificações (predições) erradas feitas por f no conjunto de dados de treinamento (Lorena & Carvalho, 2003).

Define-se $R_{\text{emp}}(f)$ como o risco empírico do classificador f , onde $R_{\text{emp}}(f)$ calcula o percentual de classificações incorretas no conjunto de dados de treinamento considerando uma função de custo (c) que compara a previsão feita pelo classificador f com a predição desejada para a variável de saída (y_i) através da **Equação 1** descrita abaixo (Lima, 2002; Lorena & Carvalho, 2003):

$$R_{emp}(f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} c(f(x_i), y_i)$$

Equação 1. Risco Empirico

Uma das possíveis estratégias para calcular o Risco Empírico ($R_{emp}(f)$), considera que o problema de classificação é do tipo binário. Nesse caso, a função de custo assume um valor 0 (zero) quando a classificação feita por f corresponder exatamente a saída y_i esperada ou um valor 1 (um) quando a classificação feita por f não corresponder a saída y_i esperada.

A busca por um classificador f que apresente o menor $R_{emp}(f)$ é conhecida como Minimização do Risco Empírico e é realizada com base no princípio de indução. O erro empírico é calculado a partir do somatório dos valores obtidos pela função de custos (c) no conjunto de dados de treinamento (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Lima, 2002; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014),

Concebendo que os elementos presentes no conjunto de dados de treinamento, representados pelos pares (x_i, y_i) , onde x_i é um conjunto de atributos e y_i é a saída (classe de x_i) foram obtidos a partir de procedimentos independentes e identicamente distribuídos segundo uma distribuição de probabilidade P . O Risco Funcional/Estrutural $R(f)$ representa o desempenho de generalização do classificador f que consiste da probabilidade de erro de classificação de um padrão desconhecido. É o Risco Funcional/Estrutural que calcula a capacidade de generalização do classificador f . A **Equação 2** define matematicamente o Risco Funcional/Estrutural (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Lima, 2002; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014).

$$R(f) = \int \frac{1}{2} c(f(\mathbf{x}), y) dP(\mathbf{x}, y)$$

Equação 2. Risco Funcional / Estrutural

No contexto de aplicação do algoritmo de SVM para aprendizagem de máquina, busca-se não só uma função de classificação que minimize o risco empírico dado por $R_{emp}(f)$, mas também uma função que possua boa capacidade de generalização e consiga minimizar o risco funcional dado por $R(f)$.

2.3.3.1.2 Dimensão VC

De acordo com Haykin (1999), a dimensão VC cujo nome presta uma homenagem aos seus criadores Vapnik e Chervonenkis tem como propósito ser uma “medida da capacidade de expressão das famílias de funções de classificação realizadas pela máquina de aprendizagem”. De modo mais simplista o autor afirma que a dimensão VC corresponde ao número máximo de elementos pertencentes a um conjunto de dados de treinamento que pode ser aprendido pela máquina sem que isso implique em erro. Esse número máximo de elementos de treinamento é dado considerando todas as classes (rótulos) definidos pela função de classificação.

2.3.3.1.3 Hiperplano e Margem

Conforme já citado anteriormente, o conceito de margem consiste, basicamente, da distância existente entre um hiperplano e um ponto que corresponde ao seu elemento mais próximo. No entanto, antes de adentrar aos detalhes do conceito de margem, é necessário compreender a definição de hiperplano.

Kowalczyk (2017) apresenta o conceito de hiperplano fazendo um paralelo com o conceito de uma reta definida por uma equação de reta $y = ax + b$, onde a representa a inclinação da reta e b o ponto de intercepto com o eixo y . Substituindo y por x_2 e x por x_1 na equação teremos como equação da reta: $x_2 = ax_1 + b$, sendo equivalente a:

$$ax_1 - x_2 + b = 0$$

Equação 3. Equação da reta

Nesse sentido, o conceito de hiperplano deriva da definição de dois vetores $\mathbf{w}$ e $\mathbf{x}$, onde $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$ e $\mathbf{w} = (a, -1)$, de modo que estes possam representar a equação $ax_1 - x_2 + b = 0$. Logo, a representação da **Equação 3** a partir dos vetores $\mathbf{w}$ e $\mathbf{x}$ é dada pela **Equação 4**:

$$\mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b = 0$$

Equação 4. Equação do hiperplano

Convém destacar que o autor define a equação do hiperplano a partir de vetores bi-dimensionais. No entanto, este mesmo raciocínio se aplica para definição de hiperplanos de n dimensões. Logo, o conceito de um hiperplano pode ser atribuído a pontos, retas e, finalmente, a planos de n dimensões.

Retomando ao conceito de margem, Lorena & Carvalho (2003) definem como margem de um classificador a menor distância existente entre os elementos de um conjunto de dados de treinamento e um hiperplano que segmenta esses dados em classes distintas. O conceito de margem é importante por contribuir diretamente para a escolha do hiperplano mais adequado para o classificador. O cálculo matemático da margem considera-se um hiperplano e os elementos do conjunto de dados de treinamento. Inicialmente, calcula-se a distância de cada elemento de treinamento para o hiperplano. A margem corresponderá a distância calculada do elemento que estiver mais próximo do hiperplano. Sendo assim, o elemento do conjunto de dados de treinamento que apresenta a menor distância com o hiperplano é o responsável por definir a margem.

Vale salientar que, durante o processamento do algoritmo de AM vários hiperplanos são identificados como candidatos a assumir a função de separação dos dados conforme classes (rótulos), servindo como referência para o classificador. Logo, o cálculo da margem para cada hiperplano servirá de balizador para a escolha do classificador que melhor irá se adequar a solução proposta para resolução do problema de classificação. A **Figura 30** apresenta o conceito de margem de forma gráfica, onde a representação da margem p é dada pela distância d_i dos elementos mais próximos de um hiperplano que está representado por uma linha contínua e que faz a separação dos elementos. Os elementos mais próximos do hiperplano estão identificados por um círculo externo na figura. A margem p corresponde a distância do elemento mais próximo ao hiperplano.

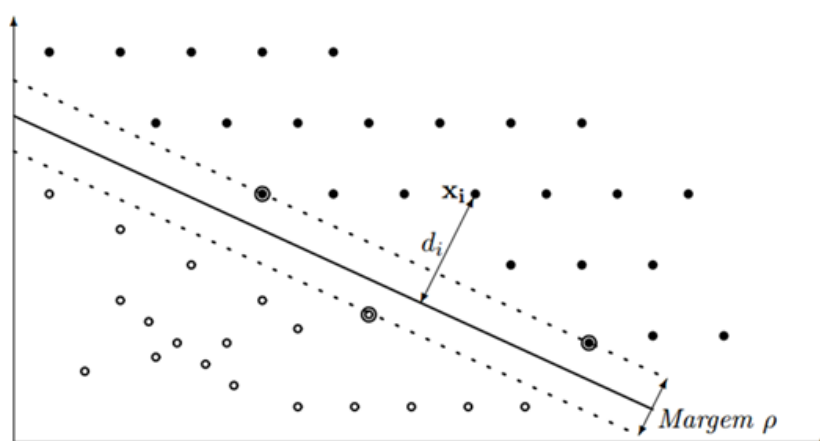


Figura 30. Conceito de Margem.

Fonte: Adaptado de Lima (2002)

2.3.3.2 SVMs Lineares

Originalmente concebida para lidar com problemas de classificação binária, as SMVs utilizaram como modelo de base o Classificador de Margem Máxima (CMM). O CMM foi

projetado para trabalhar com dados linearmente separáveis e tem seus fundamentos associados a resolução de um problema de otimização onde a partir da identificação de um hiperplano ótimo, busca-se maximizar a margem de modo a otimizar o limite do erro de generalização (dos Santos, 2002; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014).

Por conta de ser um modelo projetado para lidar com dados linearmente separáveis, o CMM apresenta limitações quanto a sua aplicação. No entanto, os conceitos e fundamentos apresentados a partir da proposta do CMM se tornaram base para o desenvolvimento de outros modelos capazes de lidar com problemas de maior complexidade (dos Santos, 2002). A **Figura 31** apresenta um exemplo de um espaço de características com os elementos de um conjunto de dados linearmente separáveis. É possível observar que um hiperplano separa os elementos da classe 1 e da classe 2. A separação é feita com base no conceito de margem máxima.

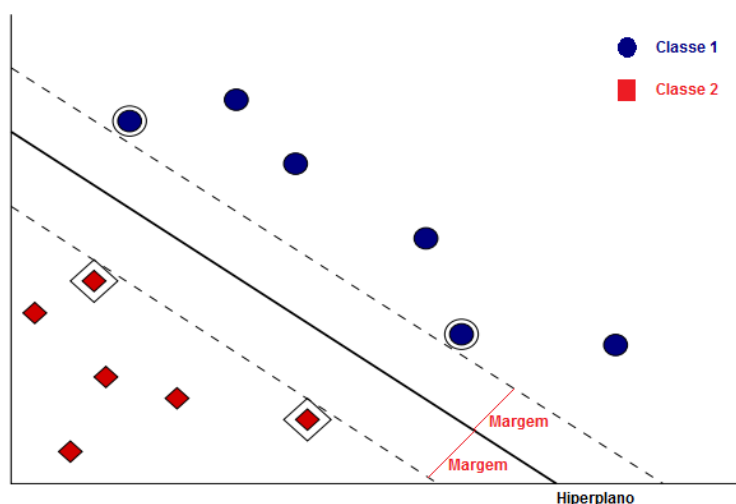


Figura 31. Espaço de características linearmente separável.

Fonte: Adaptado de dos Santos (2002)

Segundo Vapnik (1998, 2000), um hiperplano é considerado um Hiperplano de Separação Ótima ou de Margem Máxima se as distâncias entre os vetores pertencentes as classes opostas e que estão mais próximos ao hiperplano são máximas e se há uma separação desse conjunto de vetores sem que haja erro. Tomando como exemplo a AM, o objetivo de uma SVM Linear é encontrar esse hiperplano (dos Santos, 2002) de modo que se obtenha um classificador com maior capacidade de generalização (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Lorena & Carvalho, 2003).

Sabendo-se que uma das etapas para a seleção do Hiperplano de Margem Máxima consiste em gerar infinitos hiperplanos que separem os dados entre as duas classes. Pretende-se, num segundo momento, selecionar o hiperplano que represente o menor erro de

generalização. De acordo com Tan, Steinbach, & Kumar (2009), considerando B_1 e B_2 os hiperplanos presentes na **Figura 32**, a análise dos limites de decisão que separam os dados sem erros de classificação entre as duas classes (quadrados e bolas) são, respectivamente, b_{11} e b_{12} para o hiperplano B_1 e b_{21} e b_{22} para o hiperplano B_2 .

Nesse sentido, entende-se que o limite de decisão corresponde a um hiperplano B_i deve estar associado a um par de hiperplanos paralelos obtidos a partir do afastamento do limite de decisão até que se encontre o primeiro elemento do conjunto de dados de treinamento em cada uma das classes. A partir da **Figura 32**, verifica-se que a distância entre os dois hiperplanos paralelos a B_1 e a B_2 representam as margens de cada um desses hiperplanos. Logo, para seleção do Hiperplano de Margem Máxima deve-se observar a margem e escolher o hiperplano com maior valor, neste caso o hiperplano B_1 .

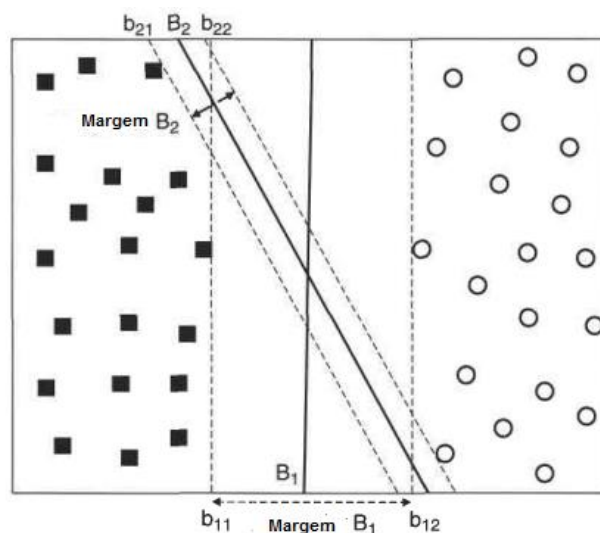


Figura 32. Margem de um limite de Decisão.

Fonte: Adaptado de Tan et al. (2009)

O arcabouço teórico e matemático que fundamenta a obtenção do Hiperplano Ótimo para um conjunto de elementos linearmente separáveis, considera que:

Sendo D um conjunto de dados de treinamento, onde cada elemento é representado por $x_i \in \mathbb{R}^N$ e $i = 1, 2, \dots, N$ e x_i está associado a uma classe y_i , onde $y_i \in \{-1, 1\}$. Assumindo a existência de um hiperplano que separa os elementos nas duas classes possíveis ($y_i = \pm 1$), pode-se afirmar que os pontos x que estão sobre o hiperplano satisfazem a equação do hiperplano definida por $w \cdot x + b = 0$, considerando que w é perpendicular ao hiperplano e $|b|/\|w\|$ representa a distância perpendicular do hiperplano à origem e $\|w\|$ é a norma euclidiana de w . Considerando ainda, d^+ e d^- como a menor distância entre o hiperplano de separação e os pontos na fronteira da classe $y_i = +1$ e $y_i = -1$, respectivamente. A margem do hiperplano é dada por $d^+ + d^-$ (Burges, 1998; dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Haykin, 1999; Lima, 2002;

Lorena & Carvalho, 2003). A **Figura 33** apresenta de forma gráfica os conceitos matemáticos descritos acima.

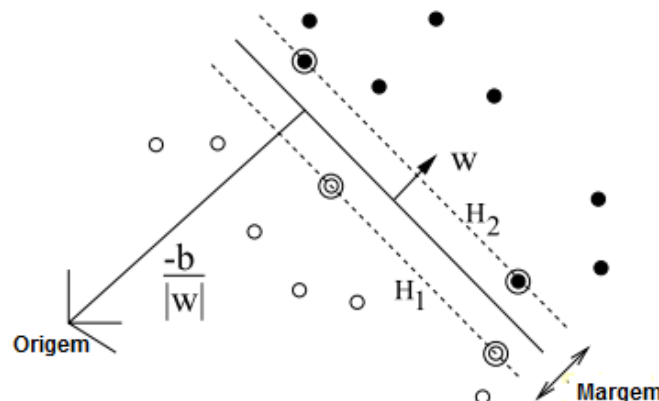


Figura 33. Hiperplano de Separação com dados linearmente separáveis.

Fonte: Adaptado de Burges (1998)

Logo, para encontrar o Hiperplano Ótimo ou de Margem Máxima, segundo Burges (1998), supõe-se que todos os dados de treinamento estão submetidos as restrições:

$$\mathbf{x}_i \bullet \mathbf{w} + b \geq +1 \text{ para } y_i = +1 \text{ (R1)}$$

$$\mathbf{x}_i \bullet \mathbf{w} + b \leq -1 \text{ para } y_i = -1 \text{ (R2)}$$

Equação 5. Restrições do problema de otimização

Podendo ser representada pela inequação: $y_i (\mathbf{x}_i \bullet \mathbf{w} + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$. Considerando estas restrições, pode-se afirmar que não há nenhum elemento do conjunto de dados entre os hiperplanos $\mathbf{x}_i \bullet \mathbf{w} + b = 0$ e $\mathbf{x}_i \bullet \mathbf{w} + b = \pm 1$, logo têm-se um SVM Linear com Margens Rígidas ou Largas. Quando a presença de elementos do conjunto de dados é permitida entre estes mesmos hiperplanos, passa-se a ter um SVM Linear de Margens Suaves e ajustes devem ser feitos nas restrições de modo a admitir a presença de dados entre os hiperplanos.

A **Figura 34** mostra graficamente a diferença existente entre uma SVM de Margens Rígidas e uma SVM de Margens Suaves refletindo à disposição dos elementos do conjunto de dados de treinamento em relação aos hiperplanos e suas margens. Nas SVM de Margens Rígidas há uma restrição que impede a existência de dados entre as margens que separam as classes. Já a SVM de Margens Suaves, por se tratar de um tipo mais flexível e que busca atender a demanda de problemas mais complexos, permite a presença de elementos do conjunto de dados entre as margens que separam as classes através do uso do conceito de variável de folga que implementam mudanças que torna as restrições menos rígidas.

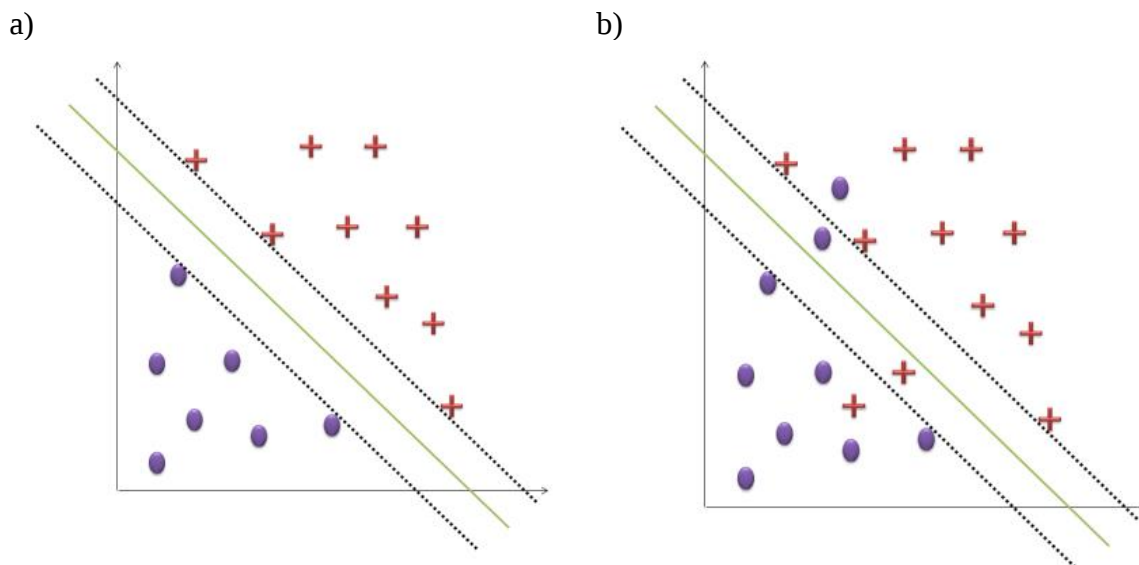


Figura 34. a) SVM Linear de Margens Rígidas - Nenhum dos pontos ultrapassam as margens da região que separa as classes; b) SMV Linear de Margens Suaves - Alguns pontos podem ultrapassar a margem definida.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2014)

Retomando o processo de identificação do hiperplano ótimo, avaliando cada elemento (x_i, y_i) do conjunto de dados de treinamento com base nas restrições da **Equação 5**, os elementos em que a igualdade corresponde a R1 pertencem ao hiperplano H1: $x_i \cdot w + b = 1$, com norma w e distância à origem dada por $|1-b| / \|w\|$. Do mesmo modo, os elementos em que a igualdade corresponde a R2 pertencem ao hiperplano H2: $x_i \cdot w + b = -1$, com norma w e distância à origem dada por $|-1-b| / \|w\|$. Logo $d^+ = d^- = 1 / \|w\|$, como a margem é dada por $d^+ + d^-$, a margem é igual a $2 / \|w\|$ (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Haykin, 1999; Kowalczyk, 2017; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014; Tan et al., 2009).

Sendo assim, o cálculo do par de hiperplanos paralelos de margem máxima é dado pela solução do problema de otimização que busca a minimização da norma $\|w\|$, sujeito as restrições $y_i (x_i \cdot w + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$. (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Haykin, 1999; Kowalczyk, 2017; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014; Tan et al., 2009). O problema de otimização, para os casos de SVM de Margens Rígidas, pode ser escrito como:

Problema: Calcular par de hiperplanos de margem máxima

Minimizar $\frac{1}{2} \|w\|^2$

Restrições $y_i (x_i \cdot w + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$

No entanto, devido a dificuldade de encontrar aplicações onde os dados sejam linearmente separáveis, promove-se uma extensão do problema de otimização de modo que

este seja capaz de lidar com problemas onde haja uma tolerância para que algumas observações violem as restrições do problema podendo ficar entre as margens dos hiperplanos e que seja possível aceitar erros de classificação no conjunto de treinamento (Faceli, Lorena, Gama, & Carvalho, 2011). Esse caso especial é denominado de SVM Linear de Margens Suaves. O problema de otimização, para os casos de SVM de Margens Suaves é dado por:

Problema: Calcular par de hiperplanos de margem máxima

$$\text{Minimizar}_{w,b,\xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C(\sum_{i=1}^n \xi_i)$$

$$\text{Restrições } y_i (x_i \bullet w + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$$

onde ξ_i corresponde a variável de folga ($\xi \geq 0$) e C é uma constante de regularização que impõe um peso à minimização dos erros no conjunto de treinamento (Faceli et al., 2011).

De acordo com Cristianini & Shawe-Taylor (2000), por se tratar de um problema de otimização considerado clássico, este deve ser definido como um problema de programação quadrática onde uma função quadrática deve ser otimizada por meio da teoria dos Multiplicadores de Lagrange.

2.3.3.3 SVMs Não-Lineares

Na resolução de problemas de classificação, é bastante comum que o conjunto de dados de treinamento apresentado para construção de um classificador não possua a propriedade de ser um conjunto linearmente separável, isto é, que seja possível escolher um hiperplano ótimo que possibilite separar os elementos do conjunto de dados, seja por critérios de margens rígidas ou suaves (Lima, 2002; Lorena & Carvalho, 2003). A **Figura 35** apresenta um exemplo de padrão linearmente separável (B) e um exemplo de padrão não-linearmente separável (C).

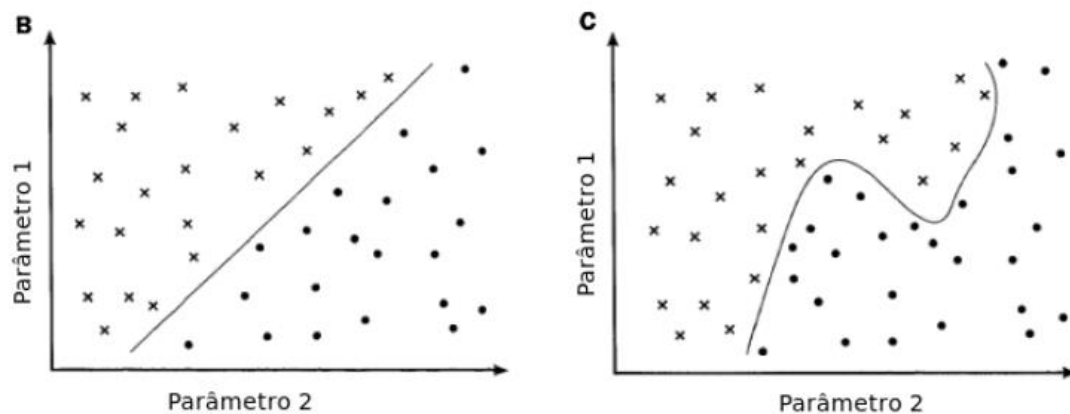


Figura 35. Exemplo de padrão linearmente (B) e não-linearmente (C) separáveis.

Fonte: Gonçalves (2009)

Para lidar com a presença de não-linearidade no conjunto de dados de treinamento, as SVMs transformam os dados não-linearmente separáveis em dados linearmente separáveis aplicando uma função (Φ) que se responsabiliza por mapear os elementos presentes no conjunto de dados de treinamento para um novo espaço, denominado espaço de características, que possui dimensão maior que o espaço original e que possibilite a seleção de um hiperplano de separação ótimo dos dados nesse novo espaço (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Haykin, 1999; Lima, 2002; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014; Tan et al., 2009). Após o processo de transformação dos dados não lineares em dados lineares, aplicam-se as técnicas de SVM Lineares para o novo conjunto de dados no espaço de características.

A **Figura 36** mostra um exemplo das etapas de transformação de um conjunto de dados não-linearmente separáveis para um conjunto de dados linearmente separáveis num espaço de características. O gráfico a), exibe a representação bi-dimensional de um conjunto de dados não-linearmente separável formado por círculos e triângulos. Na sequência o gráfico b), mostra graficamente a separação dos dados em duas classes através de uma fronteira de separação que não é linear. Por fim, o gráfico c) apresenta os dados plotados num espaço de características tri-dimensional onde é possível verificar a linearidade dos dados.

É válido pontuar que mesmo após o processo de transformação através da função *kernel*, os dados presentes no gráfico c), linearmente separáveis no espaço de características tri-dimensional, correspondem aos dados que se representados num espaço bi-dimensional permaneceriam como não-linearmente separáveis.

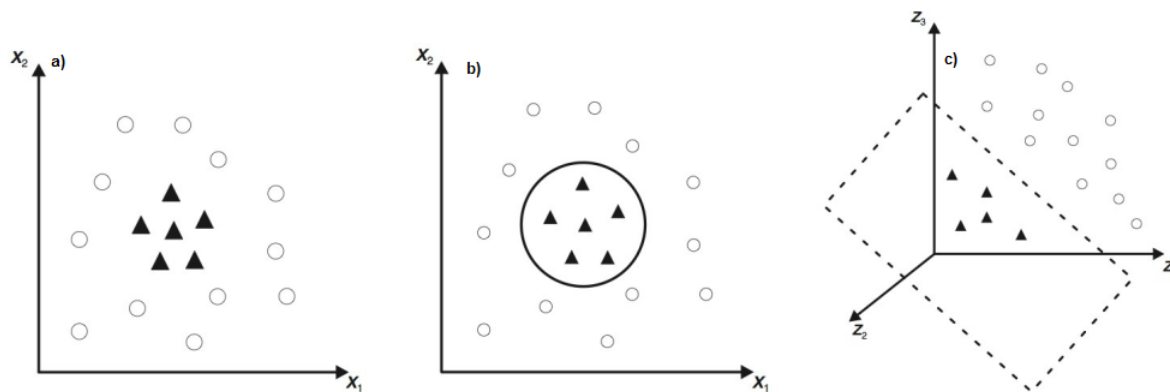


Figura 36. Processo de transformação de dados não-linearmente para um espaço de características.

Fonte: Adaptado de Faceli, Lorena, Gama, & Carvalho (2011)

A despeito do processo de transformação apresentar uma solução para SVMs Não Lineares, para que este possa ocorrer, Oliveira (2014) aponta que é necessário que duas condições básicas sejam satisfeitas:

1. A transformação não seja linear;
2. A dimensão do espaço de características permita que os dados sejam linearmente separáveis;

Tan et al. (2009) complementam com outras questões importantes que devem ser observadas como, a dificuldade de identificação do tipo de função de transformação a ser utilizado para garantir que um hiperplano de separação ótimo seja obtido no espaço de características e os custos computacionais de uma transformação para uma espaço de alta dimensionalidade.

Sob um olhar matemático, Tan et al. (2009) evidenciam que o aprendizado a partir de uma SVM Não-Linear apresenta semelhanças com o aprendizado de uma SVM Linear. Para os autores, a diferença marcante assenta-se no uso dos atributos transformados $\Phi(X)$ no lugar dos atributos originais (X) do conjunto de dados de treinamento. Logo, o problema de otimização de um SVM Não-Linear pode ser escrito como:

Problema: Calcular par de hiperplanos de margem máxima

Minimizar $\frac{1}{2} ||w||^2 + C(\sum_{i=1}^n \xi_i)$

Restrições $y_i (\Phi(x_i) \bullet w + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$

Do mesmo modo utilizado para as SVM Lineares, após o processo de transformação usando a função Φ para o mapeamento, otimiza-se a função quadrática do conjunto transformado por meio da teoria dos Multiplicadores de Lagrange.

Em se tratando de funções *kernel*, estas se caracterizam por serem funções que a partir de dois pontos x_i e x_j pertencentes ao espaço original, calculam o produto escalar desses pontos considerando um espaço de características de dimensão maior (dos Santos, 2002; Gonçalves, 2009; Haykin, 1999; Kowalczyk, 2017; Lorena & Carvalho, 2003; Oliveira, 2014; Tan et al., 2009).

$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \bullet \Phi(x_j)$$

Equação 6. Função *kernel*

O papel principal da função *kernel* é simplificar os cálculos dos produtos escalares dos pontos (x_i e x_j) de modo que não haja a necessidade de conhecer detalhes do mapeamento para o espaço de características, pois na prática é suficiente o cálculo do produto escalar de x_i e x_j (Faceli et al., 2011; Kowalczyk, 2017; Lorena & Carvalho, 2003; G. M. G. de Oliveira, 2014; Tan et al., 2009). No entanto, para que uma função possa ser considerada como sendo uma função *kernel*, é necessário que atenda a condição prevista pelo Teorema de Mercer. Nesse sentido, é necessário que exista uma transformação Φ onde $K(x_i, x_j)$ seja equivalente a $\Phi(x_i) \bullet \Phi(x_j)$ (Tan et al., 2009). A **Tabela 6** exhibe exemplos de funções *kernel* utilizadas para aprendizagem de máquina com SVM.

Tabela 6
Exemplos de Funções kernel

Função <i>kernel</i> – $K(x_i, x_j)$	Tipo de Kernel
$(x_i \bullet x_j)$	Linear
$(\gamma (x_i \bullet x_j) + r)^d$	Polinomial
$\exp(-\gamma \ x_i - x_j\ ^2)$	Gaussiano ou RBF (<i>Radial Basis Function</i>)
$(\tanh(\gamma (x_i \bullet x_j) + r))$	Sigmoidal

Adaptado de Faceli et al. (2011); Gonçalves (2009); Lima (2002); Lorena & Carvalho (2003) e Tan et al. (2009)

2.3.3.4 SVMs Multiclasses

Originalmente, o uso de SVM em problemas de classificação tem como fundamento uma ordem binária que busca classificar dados em duas classes (rótulos) distintos. Não obstante, é comum se deparar com problemas de classificação em que o número de classes ultrapassa a limitação de duas classes, sendo, portanto, um problema de classificação multiclasses.

Cristianini & Shawe-Taylor (2000) afirmam que a generalização de SVMs para lidar com problemas de classificação multiclasss parte da definição de um hiperplano para cada uma das k classes (rótulos) de saída, onde $k > 2$. Portanto, a classificação de um elemento (x_i, y_i) consiste em associá-lo a classe que possui o hiperplano mais distante desse elemento (x_i, y_i) . A **Equação 7** representa a função de decisão utilizada em problemas de classificação multiclasss para classificar um elemento x_i .

$$f(x) = \arg \max_{1 \leq i \leq k} (w_i \cdot \Phi) + bi)$$

Equação 7. Função de decisão multiclasss

De acordo com Lorena & Carvalho (2003), o fato das SVMs originais terem sido concebidas para resolver problemas de classificação binária não compromete a sua utilização em problemas com maior número de classes ($k > 2$), visto que algumas técnicas têm sido desenvolvidas para lidar com a classificação multiclasss a partir de uma extensão das SVMs tradicionais, de ordem binária. Kowalczyk (2017) cita como alternativa, duas abordagens que estão sendo utilizadas para atender à essa demanda: a decomposição “um-contra-todos” e a decomposição “um-contra-um”.

Na estratégia “um-contra-todos”, para classificar um elemento (x_i, y_i) em uma das k classes (rótulos), constrói-se n diferentes classificadores binários representando cada uma das classes ($n = k$). Ao aplicar os n classificadores individualmente ao elemento (x_i, y_i) , se este for classificado à uma classe k o valor de y_i dever ser igual a +1, caso contrário y_i deve assumir o valor -1. A criação dos n classificadores binários, depende de um treinamento independente de um SVM Linear para cada classificador que se deseja criar, tendo como resultado uma fronteira de decisão para cada classificador (Kowalczyk, 2017).

O processo de predição de y_i na estratégia “um-contra-todos” consiste de fazer a predição em cada um dos n classificadores binários criados para as k classes. O resultado da predição de y_i corresponde ao classificador que apresentar valor positivo $y_i = +1$ (Kowalczyk, 2017).

A segunda estratégia, denominada “um-contra-um” (Kowalczyk, 2017) ou “todos-contra-todos” (Gonçalves, 2009; Lorena & Carvalho, 2003), busca fazer a distinção de classes a partir de uma comparação par a par. Logo, para classificar um elemento (x_i, y_i) em uma das k classes (rótulos), constrói-se $k(k-1)/2$ diferentes classificadores binários representando cada uma das classes. Os classificadores criados são agrupados par a par e treinados a partir de um

subconjunto dos dados e geram um limite de decisão, que geometricamente é representado por um hiperplano (Kowalczyk, 2017).

Para realizar o processo de predição de um elemento (x_i, y_i) na estratégia “um-contra-um”, submete-se o elemento (x_i, y_i) aos $k(k-1)/2$ classificadores binários criados e armazena-se a classe predita por cada classificador. O valor da classe predita y_i final corresponderá a classe que tiver maior número de classificações obtidas a partir da predição feita pelos $k(k-1)/2$ classificadores.

Por fim, Kowalczyk (2017) aponta questões de ambiguidade, desbalanceamento nos conjuntos de treinamento e alto custo de processamento como exemplos de questões que merecem atenção e devem ser observadas quando do uso de SVM Multiclasses para classificação.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

O presente capítulo apresenta o percurso metodológico utilizado como base para o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, apresenta-se a caracterização da pesquisa, discorrendo sobre questões epistemológicas e de natureza da pesquisa. Na sequência, outras cinco seções discorrem sobre o processo de revisão sistemática da literatura, modelo teórico da pesquisa, seleção da amostra, coleta e verificação de dados e a análise e tratamento dos dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Na ciência, as abordagens metodológicas correspondem a utilização de mecanismos que ajudam ao pesquisador a lidar diretamente com o problema em busca de obter uma solução (Zanchet, Marques, & Martins, 2011). Nesse contexto, a pesquisa científica é tida como um procedimento intelectual e racional que surge da curiosidade e da indagação em busca de respostas para fatos, objetos e realidades que ainda não foram respondidos ou que demandam novas respostas (Michel, 2009). Para tanto, a utilização de métodos e técnicas que sejam capazes de validar essas respostas tornam-se a base para condução de uma pesquisa científica.

No entanto, antes de qualquer pesquisa científica, deve-se compreender os pressupostos da construção do conhecimento, que se assentam na definição da ontologia e da epistemologia da pesquisa. Tais pressupostos irão contribuir na escolha do paradigma a ser seguido e, conseqüentemente, a construir o caminho que orientará a definição dos métodos a serem adotados, para ao final, obter-se o desenho geral da pesquisa, que demonstra todo o percurso metodológico a ser seguido.

Do ponto de vista ontológico, esta pesquisa assenta-se sob uma ontologia realista que considera uma independência entre as percepções do pesquisador e o objeto de pesquisa. Nesse contexto, entende-se que a construção do conhecimento ocorre num ambiente que busca compreender o domínio de pesquisa com o objetivo de expressá-lo, num momento posterior, através de uma modelagem específica.

Diante dessa perspectiva, sob o enfoque epistemológico, a pesquisa persegue uma abordagem sistêmica, onde um dos pressupostos fundamenta-se na crença da existência de uma complexidade presente em todos os níveis da natureza e que rompe com a ideia de simplicidade atribuída ao objeto de estudo (Vasconcellos, 2005). Entende-se, portanto, que a complexidade faz parte do processo de construção do conhecimento. Sob essa ótica, as interações e relações entre os elementos dos sistemas, dão origem a necessidade de compreender os fenômenos por

meio de uma análise do contexto que leva em conta o reconhecimento de uma causalidade recursiva que retroalimenta o modo de produção do conhecimento.

Nesse sentido, ao examinar a complexidade de projetos como objeto de estudo, pretendeu-se construir um modelo de classificação da complexidade baseado não somente numa racionalidade objetiva e, puramente, em técnicas e métodos estatísticos, mas também, que pudesse incorporar aspectos relativos as percepções e interpretações de estudos e conhecimentos adquiridos a partir da literatura científica, bem como da análise de opiniões de profissionais. Além disso, entende-se que uma maior compreensão dos conceitos de complexidade de projetos, assim como das técnicas e modelos de mensuração estarão sob constante efeito da causalidade recursiva.

De posse da definição ontológica e epistemológica, a pesquisa quanto ao seu tipo foi caracterizada como mista (qualitativa e quantitativa). Segundo Michel (2009), uma pesquisa é do tipo *qualiquanti* quando faz uso de quantificação e percentualização de opiniões que tem seus resultados analisados de forma qualitativa. Ainda segundo a autora, esse tipo de pesquisa faz uso de questionários com escalas que visam medir, quantificar atitudes, opiniões e comportamentos dos sujeitos pesquisados, permitindo analisar de forma qualitativa dados coletados de forma quantitativa. Quanto ao paradigma, a pesquisa foi caracterizada com viés interpretativista na etapa inicial. Numa segunda etapa, assumiu um paradigma mais positivista seguindo uma abordagem de natureza quantitativa, confirmando o caráter *qualiquanti* da pesquisa.

Em se tratando de classificação da pesquisa quanto ao meios, esta pesquisa é considerada como exploratória e de campo. Segundo Gil (2008), as pesquisas do tipo exploratória almejam a compreensão e modificação de conceitos e ideias, de modo a proporcionar uma visão mais ampla dos fenômenos observados. Na etapa exploratória, busca-se informações que possam auxiliar na definição de objetivos e sobre o que se pretende pesquisar (Michel, 2009). Alinhado a esse entendimento, a primeira etapa da pesquisa é considerada como exploratória, pois buscou aprimorar o conhecimento sobre o constructo que representa a complexidade de projetos. Durante essa etapa, identificaram-se conceitos, modelos e fatores que reproduzem o constructo complexidade de projetos nos estudos presentes na literatura científica. A partir da revisão sistemática da literatura, concebeu-se um modelo teórico de complexidade de projetos a ser aplicado na pesquisa. Ademais, verificou-se que esse tipo de abordagem é recomendada para pesquisas que carecem de maior investigação (Gil, 2008). Tal fato, se coaduna com o cenário atual das pesquisas sobre complexidade de projetos, em especial, quando o *locus* é contexto brasileiro. Pois, conforme citado nas justificativas, há

uma carência de pesquisas envolvendo a temática de complexidade de projetos, principalmente, em se tratando de modelos de mensuração. Quanto ao caráter de pesquisa de campo, baseou-se na análise da experiência de especialistas e profissionais da área de gerenciamento de projetos, tendo como objetivo a construção de um modelo que agregasse a percepção conjunta do conceito de complexidade de projetos e dos fatores de complexidade de maior relevância.

Somado a isso, assumiu-se um caráter mais sistemático para explicar as relações existentes entre os fenômenos observados através do uso de métodos e técnicas padronizadas, por exemplo, para a coleta de dados (Gil, 2008). Esse tipo de pesquisa caracteriza-se pela construção de modelos baseados na análise de experiências, onde procura-se traduzir os dados coletados em dimensões mensuráveis (Michel, 2009). Nessa etapa da pesquisa, buscou-se a partir dos fatores de complexidade identificados, utilizar procedimentos e técnicas, de forma ordenada, para construir um modelo de classificação da complexidade que pudesse se tornar aderente ao contexto do gerenciamento de projetos no setor público brasileiro.

No que se refere aos procedimentos adotados, a primeira etapa da pesquisa foi concretizada por meio de uma revisão sistemática da literatura e de um estudo de campo feito com especialistas da área de gerenciamento de projetos que atuam ou já atuaram em projetos voltados ao setor público brasileiro. A revisão sistemática teve como pretensão, investigar os diversos conceitos de complexidade presentes na literatura, os modelos de representação teórica do constructo e os instrumentos de mensuração. Além disso, se propôs a elencar os fatores de complexidade presentes nos estudos, consolidando-os por meio de um mapeamento dos fatores de complexidade de projetos identificados nos trabalhos consultados como referência desta tese. O mapeamento dos fatores de complexidade de projetos ser visto no **Apêndice C**.

Em todo o processo de revisão da literatura aplicou-se a análise de conteúdo como método de pesquisa, juntamente com a análise através da estatística descritiva. Como resultado, identificou-se um conjunto de fatores de complexidade que foram avaliados por especialistas através de um estudo de campo que teve como objetivo identificar um conjunto reduzido de fatores de complexidade. O processo de redução da dimensionalidade dos conjunto inicial de fatores, considerou quantitativamente a relevância apontada pelos especialistas para cada um dos fatores. O estudo de campo utilizou um questionário estruturado como instrumento.

Ainda sobre os procedimentos, na segunda etapa aplicou-se uma pesquisa do tipo *survey* para coletar as características e opiniões de um grupo de profissionais da área de gerenciamento de projetos, com experiência em projetos do setor público brasileiro, com

relação a relevância de cada fator para ampliar a complexidade de projetos. Os dados coletados na pesquisa *survey* com profissionais da área serviram de base para construção do modelo de classificação da complexidade de projetos.

Quanto aos fins, trata-se de uma pesquisa descritiva, pois teve como propósito a análise de fatos ou fenômenos, observando suas relações e interconexões (Michel, 2009) na tentativa de compreender e explicar o constructo da complexidade de projetos a partir de um conjunto de fatores de complexidade que serviram de base teórica para construir um modelo que fosse capaz de classificar os projetos quanto ao seu nível de complexidade.

Por fim, quanto ao critério de temporalidade, a pesquisa pode ser caracterizada como sendo uma pesquisa do tipo longitudinal na primeira etapa, visto que, teve como objetivo verificar o comportamento de determinadas características no decorrer do tempo, que se constata quando da observação dos fatores de complexidade em estudos publicados entre os anos de 1990 e 2018. Na segunda etapa, a pesquisa se caracterizou como transversal já que fez uma análise de dados correspondentes a um momento específico e com base em uma amostra pontual. A **Figura 37** exibe o desenho da pesquisa apresentando a sequência e o detalhamento das atividades propostas durante as duas etapas.



Figura 37. Desenho da Pesquisa.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Esta seção descreve o processo de revisão sistemática da literatura desenvolvido como parte da primeira etapa da pesquisa. A revisão sistemática teve como objetivo inicial compreender o estado da arte dos conceitos associados ao constructo Complexidade de Projetos.

Segundo Higgins & Green (2008), um processo de revisão sistemática da literatura busca realizar um agrupamento de evidências empíricas dentro de um ou mais critérios previamente especificados e que tem como objetivo dar resposta às questões de pesquisa. Nesse sentido, a compreensão aprofundada do construto Complexidade de Projetos, fundamentou-se no entendimento da Teoria da Complexidade, percorrendo conceitos associados a complexidade de projetos e aspectos relacionados aos fatores que compõem o construto, complementando com a análise de técnicas e modelos utilizadas para sua mensuração.

O desenvolvimento do processo de revisão sistemática seguiu conceitos presentes no livro *The Cochrane Handbook for Systematic Reviews* e utilizou de forma adaptada o método *ProKnow-C* (*Knowledge Development Process – Constructivist*) para a construção do portfólio e aquisição do conhecimento sobre o estado da arte do tema a ser pesquisado (Ensslin, Ensslin, Lacerda, & Tasca, 2010).

A metodologia ProKnow-C é dividida em quatro macroetapas: i) seleção de portfólio de artigos relativos ao tema de pesquisa (seleção de portfólio bibliográfico), análise bibliométrica do portfólio bibliográfico, análise sistêmica do portfólio bibliográfico e, por fim, a fase de definição da pergunta de pesquisa e elaboração dos objetivos de pesquisa. A **Figura 38** apresenta as quatro macroetapas do *ProKnow-C*.

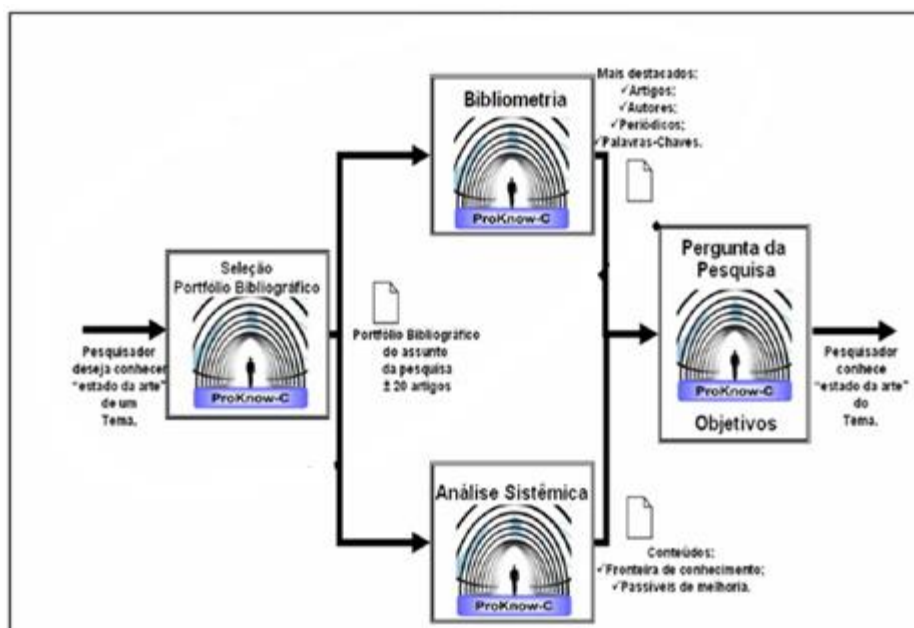


Figura 38. Macroetapas do ProKnow-C.

Fonte: Ensslin, Ensslin, & Pacheco (2012)

De modo a alcançar os objetivos principais da revisão sistemática da literatura, que remetiam a construção de um portfólio bibliográfico e a apropriação de conhecimento sobre estado da arte do tema de pesquisa, utilizou-se como referência as macroetapas do *ProKnow-C* com adaptações nas atividades.

É importante destacar que a referência ao *ProKnow-C* se limitou ao desenho metodológico das macroetapas com foco nas duas primeiras etapas: a seleção do portfólio e a bibliometria. Todo o percurso metodológico relativo as atividades presentes em cada uma das macroetapas foi definido com base em recomendações presentes no livro *The Cochrane Handbook for Systematic Reviews*, além de outros estudos consultados durante o processo de construção desta tese.

3.2.1 Seleção do Portfólio Bibliográfico

A revisão sistemática iniciou-se tomando como base a primeira macroetapa do *ProKnow-C*, que consiste na seleção de portfólio de artigos relacionados ao tema de pesquisa. Os autores do método *ProKnow-C* nomeiam a etapa como Seleção de Portfólio Bibliográfico. Para alcançar os objetivos desta etapa, definiu-se um conjunto de passos sequenciais a serem seguidos. A **Figura 39** apresenta a sequência de passos realizados para conclusão dessa etapa.

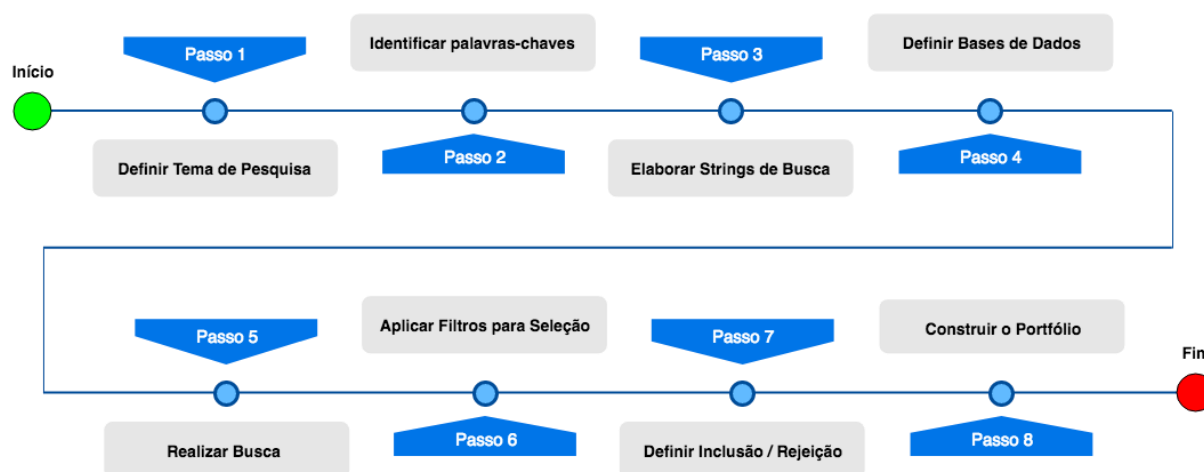


Figura 39. Diagrama de passos para a Seleção do Portfólio Bibliográfico.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A partir da definição do tema a ser pesquisado, buscou-se elencar as palavras-chaves que melhor representassem o tema de pesquisa e contribuíssem no processo de seleção de estudos candidatos a compor o portfólio bibliográfico. Para tanto, utilizou-se a questão de pesquisa de forma a ajudar na identificação das palavras-chaves. Ao final dessa etapa, definiu-se como palavras-chaves os termos “complexidade”, “projetos”, “gestão de projetos” e “gerenciamento de projetos” com suas respectivas traduções para os idiomas inglês e espanhol. Em seguida, foram planejadas as buscas desses termos em bases de pesquisa nacionais e internacionais.

De posse das palavras-chaves, construiu-se as “strings” a serem utilizadas para a busca em bases de pesquisa. A **Tabela 7** apresenta as *strings* de busca que foram utilizadas na pesquisa.

Tabela 7.
Strings de busca utilizadas na pesquisa

Idioma	Strings de busca
Português	((“gestão de projetos” OR projetos OR “gerenciamento de projetos”) AND (complexidade))
Inglês	((“project management” OR project) AND (complexity))
Espanhol	((“gestión de proyectos” OR “gerencia de proyectos” OR proyectos) AND (complejidad))

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Definida a estratégia e as *strings* de busca a serem utilizadas, passou-se para etapa de seleção das bases de pesquisa onde seriam realizadas as buscas.

O critério de escolha das bases de pesquisa partiu da percepção do autor com relação a relevância científica desses repositórios. Nesse sentido, observou-se as citações feitas por autores de trabalhos correlatos como critério de relevância para inclusão da base de pesquisa no rol dos repositórios a serem consultados (Afonso, Souza, Ensslin, & Ensslin, 2012; Bakhshi et al., 2016; Damasiotis, Fitsilis, Considine, & O’Kane, 2017b; Padalkar & Gopinath, 2016b; Soares, Carneiro, Calmon, & Castro, 2016). Buscou-se, portanto, identificar bases científicas relevantes no contexto brasileiro e internacional que pudessem colaborar para o cumprimento do objetivo proposto pela revisão sistemática da literatura, tendo como resultado a seleção do portfólio bibliográfico que embasaria a pesquisa.

A **Tabela 8** apresenta as bases selecionadas para realização da pesquisa.

Tabela 8

Bases de dados selecionadas para a pesquisa

Classificação	Base de Dados
Nacional	- SciELO - Scientific Electronic Library Online - Spell (Scientific Periodicals Electronic Library)
Internacional	- ACM Digital Library - IEEExplore - Science Direct - Scopus

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Dando prosseguimento aos passos definidos na **Figura 39**, realizou-se o Passo 5, que corresponde a busca a partir das bases de dados selecionadas para a pesquisa. Foram utilizadas as *strings* de busca nos três idiomas selecionados em cada base identificada na **Tabela 7**. Nessa primeira etapa de busca, em virtude das palavras-chaves terem um espectro amplo de abrangência, esperava-se que o número de ocorrências atingiria um valor significativo em termos quantitativos, o que foi constatado na prática com o total de 23.913 ocorrências.

Para lidar com o grande volume de ocorrências retornadas a partir das buscas, no passo subsequente, foram aplicados filtros de modo a refinar a busca e selecionar exclusivamente as publicações que tivessem relação direta com a temática proposta pela pesquisa. Como o foco

da pesquisa diz respeito a Complexidade de Projetos, filtros foram aplicados com o propósito de identificar publicações que fizessem referência a conceitos, técnicas e ferramentas que colaborassem com a gestão dessa complexidade. A **Tabela 9** apresenta os resultados quantitativos obtidos no Passo 5, que representou a busca por palavras-chaves nas bases de dados científicas.

Tabela 9.

Resultados da busca por palavras-chaves nas Bases de Dados

Base de Dados	Número de ocorrências		
	Inglês	Espanhol	Português
Science Direct	13.491	0	24
IEEEXplore	2.336	0	0
ACM Library	2.333	0	0
Scopus	3.713	0	0
Scielo	296	115	119
Spell	114	12	1.360

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A partir dos resultados obtidos no Passo 5, constatou-se que de um total de 23.913 ocorrências obtidas a partir da busca por palavras-chaves, somente 1.503 ocorrências contemplaram publicações no idioma Português e 127 no idioma Espanhol. Logo, pode-se conjecturar, preliminarmente, e com base na proporção de publicações, que há uma aparente carência de estudos sobre a temática em países que adotam as línguas portuguesa e espanhola como idioma.

Seguindo para o Passo 6, foram definidas quatro fases para aplicação de filtros de seleção das publicações que iriam compor o portfólio bibliográfico. A **Figura 40** apresenta a sequência das fases e seus respectivos filtros.



Figura 40. Filtros de Seleção.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Na Fase 1, prevista no Passo 6, foi realizada a leitura de todos os títulos correspondentes as 23.913 ocorrências obtidas a partir da busca realizada no Passo 5. Buscou-se identificar as publicações que apresentavam conexão direta com o tema Complexidade de Projetos utilizando como princípio a associação de palavras-chaves que coabitassem com o tema de pesquisa. Utilizou-se como fundamento a análise de conteúdo associada a percepção do pesquisador para embasar a seleção das publicações. Os resultados quantitativos da aplicação do filtro por Título estão descritos na **Tabela 10**.

Tabela 10

Resultados Fase 1: Filtro por Título

Base de Dados	Número de ocorrências		
	Inglês	Espanhol	Português
Science Direct	59	0	0
IEEEXplore	18	0	0
ACM Library	9	0	0
Scopus	169	0	0
Scielo	5	1	3
Spell	0	0	11

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Após a conclusão da Fase 1, observou-se uma significativa redução no número de publicações que possuíam conexão direta com a temática da pesquisa. De um total inicial de 23.913 ocorrências, somente 275 destas apresentaram em seu título indicação de aderência ao domínio a ser pesquisado.

Na Fase 2, passou-se então para leitura dos resumos correspondentes as 275 ocorrências, visando validar (aceitar/rejeitar) a seleção da publicação para composição futura do portfólio bibliográfico. Com base na aplicação do filtro por Resumo, obteve-se um novo conjunto de ocorrências válidas no total de 102 ocorrências, sendo que destas, somente 8 correspondem a trabalhos escritos em língua portuguesa e/ou espanhola, o que vem corroborar com a afirmação inicial de que há uma carência de estudos sobre a temática em países que possuem essas línguas como idioma oficial. A **Tabela 11** mostra os resultados quantitativos obtidos após a conclusão da Fase 2.

Tabela 11
Resultados Fase 2: Filtro por Resumo

Base de Dados	Número de ocorrências		
	Inglês	Espanhol	Português
Science Direct	23	0	0
IEEEXplore	3	0	0
ACM Library	3	0	0
Scopus	64	0	0
Scielo	1	0	3
Spell	0	0	5

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

De posse do novo conjunto de ocorrências, iniciou-se a Fase 3, que correspondia a aplicação de um filtro para eliminação de publicações que estivessem em duplicidade. Vale salientar que, apesar de alguns estudos tratarem os casos de duplicidades no início das etapas, optou-se por postergar esse procedimento, para um segundo momento, visando ter um conjunto menor de ocorrências a serem analisadas. Tal escolha decorre da percepção do pesquisador que a realização de um processo de eliminação de duplicidades, a partir de um conjunto inicial de 23.913 ocorrências, seria significativamente mais custoso e, conseqüentemente, menos eficiente. Os resultados obtidos após o término da Fase 3 estão dispostos na **Tabela 12**.

Tabela 12
Resultados Fase 3: Filtro por Duplicidade

Base de Dados	Número de ocorrências		
	Inglês	Espanhol	Português
Science Direct	23	0	0
IEEEXplore	0	0	0
ACM Library	3	0	0
Scopus	43	0	0
Scielo	1	0	3
Spell	0	0	5

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Na Fase 4, aplicou-se o filtro de Leitura Integral com a finalidade de constatar a existência de relação direta do conteúdo integral da publicação com a temática de pesquisa, no

caso em tela, a Complexidade de Projetos. De um total de 78 ocorrências (publicações candidatas à inclusão no portfólio) obtidas após a conclusão da Fase 3 foram eliminadas 9 ocorrências durante a Fase 4, ficando um total de 69 publicações ao final da Fase 4.

É importante destacar que durante a Fase 4, com a conclusão da leitura integral de cada publicação, seguiu-se imediatamente para o Passo 7, onde se decidiu sobre a aceitação ou rejeição de cada publicação. Nos casos definidos como “aceitação”, a publicação foi devidamente identificada e incluída no Portfólio Bibliográfico no Passo 8. Nos casos de “rejeição”, as publicações alteraram seu *status* de “candidatas à inclusão” para “inclusão rejeitada”. O processo foi repetido para cada uma das 69 publicações selecionadas ao término da Fase 4.

A **Tabela 13** apresenta os resultados quantitativos das publicações selecionadas, por base de dados e idioma.

Tabela 13
Resultados Fase 4: Filtro por Leitura Integral

Base de Dados	Número de ocorrências		
	Inglês	Espanhol	Português
Science Direct	23	0	0
IEEEXPlore	0	0	0
ACM Library	3	0	0
Scopus	34	0	0
Scielo	1	0	3
Spell	0	0	5

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O processo de construção do Portfólio Bibliográfico seguiu rigorosamente os passos previamente determinados. O **Apêndice A** apresenta uma tabela com as 69 publicações selecionados na primeira etapa e que fazem parte do Portfólio Bibliográfico da pesquisa.

No entanto, após o término da Fase 4, observou-se, a partir do processo de leitura integral, que diversas publicações faziam referência a estudos não contemplados dentre os selecionados. De modo a tornar o portfólio mais robusto, optou-se por realizar um processo adicional de varredura completa das referências presentes nas 69 publicações selecionadas.

O intuito desse processo foi identificar outros estudos que pudessem enriquecer e complementar o portfólio bibliográfico. Para tanto, por meio das bases de dados consultadas na pesquisa, foram salvos em arquivos individuais as referências dos artigos selecionados

previamente e, em seguida, reunidas num único arquivo totalizando 2.751 referências. A partir de então, repetiu-se as quatro fases utilizadas no Passo 6 em busca de obter novas publicações de relevância e que pudessem ser incluídas no portfólio bibliográfico da pesquisa.

Finalizado todo o processo de varredura das referências foram identificadas 44 novas publicações aptas a compor o portfólio bibliográfico. As publicações estão identificadas através do seu título, ano de publicação e periódico e listados no **Apêndice B**.

Com a conclusão dessa segunda etapa, repetiu-se o Passo 8, de construção do Portfólio Bibliográfico, para acrescentar as 44 publicações. O Portfólio Bibliográfico passou a ser composto pelas 113 publicações obtidas através do processo sistemático de revisão da literatura.

A construção do Portfólio Bibliográfico foi feita a partir de duas etapas: download das publicações e mapeamento de informações sobre as publicações (ano, tipo de publicação, periódico e formato de citação APA). Finalizado o Passo 8, foram obtidos subsídios para elaboração de uma breve análise quantitativa do Portfólio Bibliográfico em busca insights que pudessem contribuir para a discussão do cenário de pesquisas em Complexidade de Projetos e suas abordagens correlatas. A análise do Portfólio Bibliográfico é apresentada na próxima seção.

3.2.2 Análise do Portfólio Bibliográfico

Como proposta inicial, buscou-se segmentar as publicações presentes no portfólio por tipo de publicação, separando-os em: artigos publicados em periódicos, artigos publicados em conferências, dissertações/teses, livros e relatórios comerciais. A **Tabela 14** apresenta a distribuição quantitativa e percentual de cada tipo de publicação presente no portfólio bibliográfico. Destaca-se o fato de 88,5% das publicações, que compõem o conjunto, pertencerem às categorias de artigos publicados em periódicos e conferências de relevância científica.

Em contrapartida, somente 8 itens correspondem às categorias de livros e relatórios comerciais representando 7,1% do total. Tal fato, sugere que apesar do Gerenciamento de Projetos ter um viés mais pragmático, ainda há um número restrito de publicação sobre Complexidade de Projetos que possuam viés mais prático.

Com exceção de algumas publicações científicas, que procuram contribuir na discussão dessa lacuna na área de Gerenciamento de Projetos, verificou-se ainda a baixa incidência de publicações comerciais como livros e relatórios. Observou-se que grande parte das publicações e discussões ainda permanecem ligadas ao ambiente acadêmico. No entanto, a discussão da

temática entre os profissionais da área de Gerenciamento de Projetos se torna mais latente na última década com o reconhecimento de que os métodos atuais de gerenciamento de projetos não contemplam de forma satisfatória a Complexidade de Projetos. A **Figura 41**. Distribuição percentual por Tipo de Publicação.

Fonte: Dados da pesquisa (2018) **Figura 41** apresenta a distribuição dos percentuais totais de cada tipo de publicação presente no Portfólio Bibliográfico.

Tabela 14

Distribuição do Portfólio Bibliográfico por tipo de publicação

Linha	Categorias	Qtd
	Número de publicações no Portfólio	
1	Bibliográfico	113
2	Distribuição por Tipo de Publicação	
	Artigo em Revista Científica	75
	Artigo em Conferência	25
	Dissertação / Tese	5
	Livro	7
	Relatório Comercial	1

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

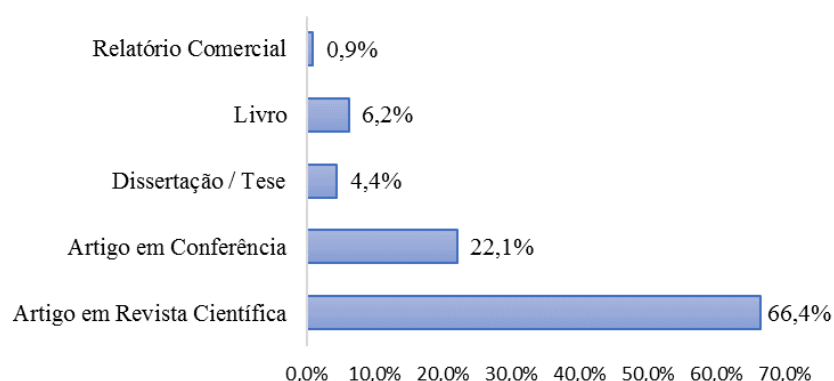


Figura 41. Distribuição percentual por Tipo de Publicação.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A análise quantitativa do número de artigos e/ou dissertações/teses no decorrer dos anos possibilitou uma visão detalhada de como se comportou a pesquisa científica em Complexidade de Projetos durante os anos de 1993 a 2018. Foram excluídos do total as 8 publicações referentes a livros e relatórios comerciais, pois o objetivo principal dessa análise foi mostrar a evolução da pesquisa científica (artigos e dissertações/teses) durante o período. A **Figura 42** apresenta a quantidade de publicações em cada ano utilizando como base o Portfólio Bibliográfico que foi construído.

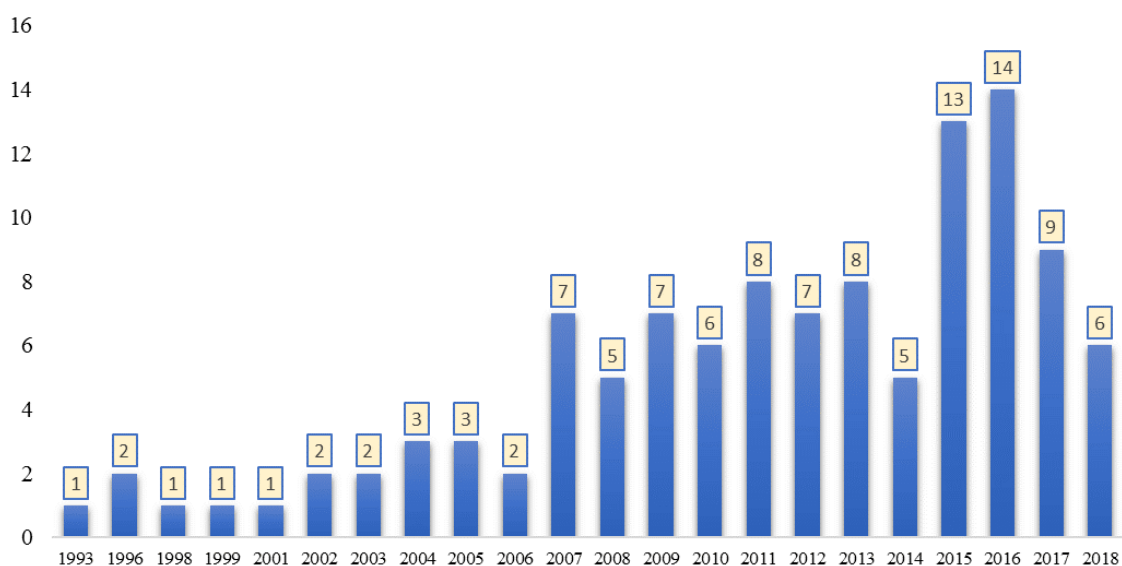


Figura 42. Quantidade de publicações por ano.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A partir da **Figura 42**, constata-se que os primeiros artigos seminais da área de Complexidade de Projetos surgem na década de 90 com os estudos de Turner & Cochrane, (1993), Baccarini, (1996) e Williams, (1999). No entanto, observa-se também uma pequena concentração de publicações entre os anos de 1993 a 2006, quando comparada aos anos subsequentes. Entre os anos de 2007 e 2014 há um crescimento no número de publicações demonstrando um aumento das discussões sobre a temática, que ganham maior destaque em termos quantitativos nos anos de 2015 à 2017.

De forma a consolidar a visão das publicações em períodos de 4 anos a **Tabela 15** mostra os quantitativos e percentuais dessas publicações no portfólio bibliográfico. É válido destacar que o período de 2013 a 2018 concentra 51,0% das publicações presentes no portfólio o que demonstra que a temática voltou a ganhar destaque nos últimos 5 anos e permanece ativa no interesse dos pesquisadores.

Tabela 15.

Distribuição de publicações científicas (artigos e dissertações/teses) por períodos de publicação

Linha	Categorias	Qtd	%
1	Número de artigos no Portfólio Bibliográfico	100	
2	Distribuição de artigos por período de publicação		
	1993 a 1996	3	3,0%
	1997 a 2000	1	1,0%
	2001 a 2004	8	8,0%
	2005 a 2008	15	15,0%
	2009 a 2012	22	22,0%
	2013 a 2016	36	36,0%
	2017 até ago/2018	15	15,0%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Em última análise, mapeou-se entre as publicações do portfólio bibliográfico, quais faziam referência à artigos publicados em periódicos. Dentre os 75 artigos publicados em revistas científicas, constatou-se que 29,3%, correspondente a 22 artigos, foram publicados no periódico *International Journal of Project Management* demonstrando a destacada relevância desse periódico para a temática de Complexidade de Projetos quando comparado de forma individualizada com os demais periódicos das publicações presentes no portfólio bibliográfico.

É importante também destacar a presença significativa de periódicos das áreas de Gestão e de Engenharia entre os que possuem maior número de publicações no portfólio. Diante dessa constatação, pressupõe-se que nestas áreas, a Complexidade de Projetos é vista como temática relevante de pesquisa. A **Tabela 16** apresenta a distribuição das publicações em revistas científicas por periódico.

Tabela 16

Distribuição das Publicações por periódico

Linha	Categorias	Qtd	%
1	Número de Publicações em Revistas Científicas	75	
2	Distribuição por Revista Científica		
	International Journal of Project Management	22	29,3%

Journal of Management in Engineering	4	5,3%
Procedia Engineering	4	5,3%
Complexity	3	4,0%
Revista de Gestão e Projetos - GeP	3	4,0%
Ambiente Construído	2	2,7%
Communications of the ACM	2	2,7%
International Journal of Managing Projects in Business	2	2,7%
Project Management Journal	2	2,7%
Procedia - Social and Behavioral Sciences	2	2,7%
Complexity and Design Engineering	1	1,3%
DYNA Management	1	1,3%
Cuadernos de Desarrollo Rural	1	1,3%
Cost Engineering (Morgantown, West Virginia)	1	1,3%
Construction Management and Economics	1	1,3%
Expert Systems with applications	1	1,3%
Gestão & Produção	1	1,3%
Engineering, Construction and Architectural Management	1	1,3%
Emergence: Complexity and Organization	1	1,3%
Geoforum	1	1,3%
IEEE Systems Journal	1	1,3%
IEEE Software	1	1,3%
International Business Review	1	1,3%
Information and Software Technology	1	1,3%
International Journal of Operations and Production Management	1	1,3%
Journal of Construction Engineering and Management	1	1,3%
International Journal of Technology Management	1	1,3%
Kybernetes	1	1,3%

Journal of Software Engineering and Applications	1	1,3%
Journal of Management Information Systems	1	1,3%
On the Horizon	1	1,3%
Procedia Economics and Finance	1	1,3%
Procedia Computer Science	1	1,3%
PM World Today	1	1,3%
Project Perspectives	1	1,3%
Research-Technology Management	1	1,3%
Technology Analysis and Strategic Management	1	1,3%
Revista Gestão.Org	1	1,3%
Revista de Gestão e Secretariado	1	1,3%

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Os resultados obtidos a partir dessa análise indicam que a temática de Complexidade de Projetos ainda pouco explorada como tema de pesquisa e corroboram com a afirmação de outro estudo que indica uma concentração das publicações nos últimos anos, com foco principal em periódicos internacionais e em sua maioria vinculadas aos trabalhos de um número limitado de autores (Neto & Piscopo, 2015).

Nesse sentido, a partir da análise quantitativa do Portfólio Bibliográfico foi possível identificar características importantes que conduziram o desenvolvimento da pesquisa e direcionaram os esforços de investigação.

3.3 MODELO TEÓRICO DA PESQUISA

A etapa de concepção do modelo teórico teve como ponto de partida a conclusão da revisão sistemática da literatura que resultou na construção de um Portfólio Bibliográfico composto por estudos sobre complexidade de projetos e que serviram como base teórica da pesquisa.

Durante as etapas de leituras e fichamento dos estudos presentes no Portfólio Bibliográfico, constatou-se que o conceito de complexidade de projetos permanece sem uma definição padronizada entre os acadêmicos e profissionais da área de gerenciamento de projetos. Tal fato, tem proporcionado um ambiente fértil para novas pesquisas em virtude da necessidade latente de aperfeiçoar a compreensão desse conceito. Além disso, traz como

oportunidade para os pesquisadores a possibilidade de construir e avaliar seus próprios modelos teóricos contribuindo para o avanço das pesquisas na área.

Como produto dessa primeira análise, elaborou-se a **Tabela 2** com a finalidade de elencar as definições de complexidade presentes na literatura e obtidas a partir da análise do portfólio bibliográfico. Com base nas discussões presentes nos estudos consultados, bem como nos conceitos apresentados na **Tabela 2**, propôs-se, inicialmente, um conceito para o gerenciamento de projetos que incorporasse as características inerentes a complexidade de projetos e que pudesse refletir a realidade atual dos projetos e os desafios do seu gerenciamento (ver seção 2.1.2). Na sequência, mantendo ativa a discussão sobre aspectos conceituais da complexidade de projetos, sugeriu-se uma nova definição para a complexidade de projetos que reforçasse aspectos relacionados à conexão com o gerenciamento de projetos, a imprevisibilidade, a dificuldade de mensuração e a presença durante o ciclo de vida do projeto (ver seção 2.2.3).

Prosseguindo com a análise dos estudos presentes no portfólio, constatou-se um padrão na evolução dos trabalhos dos principais pesquisadores da área. Numa primeira fase dos estudos, os olhares estiveram voltados às discussões sobre o conceito de complexidade de projetos. Na segunda fase, diversos autores direcionaram seus estudos para criação de modelos teóricos que pudessem representar o constructo da complexidade de projetos. Na terceira etapa, observou-se que grande parte dos estudos se debruçaram na identificação de fatores que influenciam na complexidade de projetos. Nesses estudos, em especial, procurou-se obter um conjunto de fatores que fundamentassem a ideia de complexidade de projetos e que pudessem nortear a construção de instrumentos de mensuração dessa complexidade.

Em estudos mais recentes e concentrados a partir de 2014, verificou-se uma maior concentração de esforços na concepção de instrumentos que pudessem medir a complexidade de projetos. No entanto, há ainda uma carência de estudos dessa natureza que capture as particularidades e percepções dos profissionais da área de gerenciamento de projetos, em especial os profissionais brasileiros, sobre a complexidade de projetos. Além disso, em nenhum dos estudos consultados durante a análise do portfólio e de outros estudos que fizeram parte desta pesquisa, verificou-se o desenvolvimento de modelos de mensuração voltados a medir e classificar a complexidade de projetos, com foco voltado para projetos do setor público. Essa constatação, promoveu o direcionamento da pesquisa para o aprofundamento da compreensão de como se comporta o gerenciamento de projetos no setor público e como mensurá-la, para então, incorporá-la ao desenvolvimento de um modelo teórico.

O resultado de uma extensa análise dos conceitos, modelos teóricos e instrumentos de mensuração presentes nas diversas publicações do portfólio bibliográfico identificou um conjunto de 96 fatores de complexidade que foram confrontados e mapeados a partir de uma análise comparativa com doze estudos representativos da área de complexidade de projetos (Abdou et al., 2016; Azim et al., 2010; Bakhshi et al., 2016; Bosch-Rekveltdt et al., 2011; Dao, 2016; Fitsilis & Damasiotis, 2015; Geraldi & Adlbrecht, 2007; He, Luo, Wang, Li, & Zhao, 2012; A. T. Nguyen et al., 2015; Vidal & Marle, 2008; Wood & Ashton, 2010; W. Xia & Lee, 2004, 2005).

Como critérios de seleção dos doze estudos, avaliou-se a quantidade de citações entre os demais estudos da área e o periódico onde foi publicado. Observou-se de forma qualitativa a representatividade do periódico para a área de gerenciamento de projetos e o ano de publicação, visando obter um mapeamento que agregasse tanto a representatividade, quanto a atualidade.

Além dos 96 fatores de complexidade, definiu-se também com base na literatura onze dimensões de complexidade (Ambiental, Conformidade, Financeira, Informacional, Organizacional, Pessoas, Planejamento, Qualidade, Stakeholders, Tarefas e Tecnológica), onde cada um dos fatores foi alocado a uma dimensão com base em critérios qualitativos definidos pelo pesquisador. O mapeamento dos fatores de complexidade identificados e associados aos doze estudos utilizados encontra-se no **Apêndice C**.

A **Figura 43** apresenta a sequência das etapas realizadas durante a construção do modelo teórico da pesquisa.



Figura 43. Etapas de construção do Modelo Teórico da Pesquisa.

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

A conclusão das etapas descritas pela **Figura 43** trouxe como resultado o Modelo Teórico a ser utilizado como base preliminar desta pesquisa. O modelo define a complexidade de projetos a partir de onze dimensões e noventa e seis fatores de complexidade. Cada um dos noventa e seis fatores está alocado na sua respectiva dimensão de complexidade.

O modelo é representado através de um única estrutura em formato circular onde as onze dimensões da complexidade de projetos estão dispostas sem atribuir qualquer ordem de preferência ou importância. O formato circular remete, basicamente, a ideia de que as dimensões compartilham de um mesmo contexto e que, necessariamente, possuem relações e interações entre elas. As relações e interações são características presentes no conceito de complexidade de projetos proposto por Baccarini (1996). A **Figura 44** exibe um desenho esquemático do Modelo Teórico da pesquisa apresentando as dimensões da complexidade de projetos.



Figura 44. Modelo Teórico da Pesquisa - Dimensões da Complexidade de Projetos.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

De modo complementar, a **Tabela 17** apresenta as dimensões da complexidade do modelo teórico da pesquisa fazendo a alocação do fatores de complexidade por cada uma das dimensões propostas.

Tabela 17.

Fatores de complexidade e suas dimensões

Nº	IdFator	Fator	Dimensão
01	A01	Condições geológicas	Ambiental (A)
02	A02	Condições climáticas	Ambiental (A)

03	A03	Tamanho (área)	Ambiental (A)
04	A04	Distância entre locais	Ambiental (A)
05	A05	Riscos ambientais	Ambiental (A)
06	C01	Influências políticas	Conformidade (C)
07	C02	Quantidade de requisitos de conformidade	Conformidade (C)
08	C03	Variedade de requisitos de conformidade	Conformidade (C)
09	C04	Mudanças nos requisitos de conformidade	Conformidade (C)
10	C05	Pouca experiência com os requisitos de conformidade do local	Conformidade (C)
11	C06	Nível de competição entre concorrentes	Conformidade (C)
12	C07	Consciência dos envolvidos da necessidade de conformidade	Conformidade (C)
13	F01	Mudanças e cortes orçamentários	Financeira (F)
14	F02	Variedade de fontes de financiamento	Financeira (F)
15	F03	Volume de recursos financeiros	Financeira (F)
16	F04	Ausência de dados sobre custos do projeto	Financeira (F)
17	F05	Planejamento fiscal e custos de encargos comerciais	Financeira (F)
18	F06	Alto custo (valor) do projeto	Financeira (F)
19	F07	Duração do projeto	Financeira (F)
20	I01	Volume de informação a ser analisada	Informacional (I)
21	I02	Variedade de informação a ser analisada	Informacional (I)
22	I03	Quantidade de fontes de informação	Informacional (I)
23	I04	Mudanças nas informações relacionadas com o projeto	Informacional (I)
24	I05	Quantidade de itens a serem integrados	Informacional (I)
25	I06	Variedade de itens a serem integrados	Informacional (I)
26	I07	Dificuldade no processo de aquisição de informação	Informacional (I)
27	I08	Dificuldade na difusão de informações	Informacional (I)
28	O01	Quantidade de níveis hierárquicos na estrutura organizacional	Organizacional (O)
29	O02	Quantidade de unidades/departamentos envolvidos no projeto	Organizacional (O)

30	O03	Interdependências organizacionais entre unidades/departamentos	Organizacional (O)
31	O04	Ambiente de rede	Organizacional (O)
32	O05	Mudanças na estrutura organizacional	Organizacional (O)
33	O06	Mudanças nos processos de negócios	Organizacional (O)
34	O07	Importância estratégica do projeto	Organizacional (O)
35	O08	Quantidade de contratos/pacotes de trabalho	Organizacional (O)
36	O09	Nível de maturidade organizacional	Organizacional (O)
37	O10	Variedade de habilidades interorganizacionais	Organizacional (O)
38	PL01	Pouco planejamento do projeto	Planejamento (PL)
39	PL02	Falta de clareza nas especificações do projeto	Planejamento (PL)
40	PL03	Cronograma rígido de metas e objetivos	Planejamento (PL)
41	PL04	Quantidade de metas e objetivos	Planejamento (PL)
42	PL05	Variedade de metas e objetivos	Planejamento (PL)
43	PL06	Importância estratégica do projeto	Planejamento (PL)
44	PL07	Duração do projeto	Planejamento (PL)
45	PL08	Grandeza do escopo	Planejamento (PL)
46	PL09	Inter-relação entre as fases do projeto	Planejamento (PL)
47	PL10	Alinhamento de metas do projeto	Planejamento (PL)
48	PL11	Coordenação do projeto	Planejamento (PL)
49	PE01	Disponibilidade de pessoas para o projeto	Pessoas (PE)
50	PE02	Experiência e habilidades	Pessoas (PE)
51	PE03	Quantidade de pessoas no projeto	Pessoas (PE)
52	PE04	Rotatividade de pessoas no projeto	Pessoas (PE)
53	PE05	Confiança nas pessoas	Pessoas (PE)
54	PE06	Diferenças culturais	Pessoas (PE)
55	PE07	Senso de cooperação	Pessoas (PE)
56	PE08	Nível de produtividade	Pessoas (PE)
57	PE09	Diversidade de equipes	Pessoas (PE)
58	PE10	Localização geográfica das pessoas	Pessoas (PE)
59	PE11	Ausência de liderança	Pessoas (PE)
60	PE12	Comunicação entre as pessoas	Pessoas (PE)
61	PE13	Definição de papéis e funções	Pessoas (PE)

62	Q01	Ausência de processo de gestão da qualidade	Qualidade (Q)
63	Q02	Mudanças no projeto	Qualidade (Q)
64	Q03	Exigências nos requisitos de qualidade	Qualidade (Q)
65	Q04	Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade	Qualidade (Q)
66	Q05	Conhecimento sobre requisitos e processo de qualidade	Qualidade (Q)
67	Q06	Aquisição incomum (produtos e serviços)	Qualidade (Q)
68	Q07	Comunicação dos requisitos de qualidade	Qualidade (Q)
69	S01	Falta de experiência com o parceiro	Stakeholders (S)
70	S02	Quantidade de Stakeholders	Stakeholders (S)
71	S03	Diversidade de Stakeholders	Stakeholders (S)
72	S04	Relacionamento com Stakeholders	Stakeholders (S)
73	S05	Comunicação com Stakeholders	Stakeholders (S)
74	S06	Nível de coesão dos Stakeholders	Stakeholders (S)
75	S07	Empreendimentos Conjuntos (Joint Ventures)	Stakeholders (S)
76	S08	Qualidade dos Stakeholders	Stakeholders (S)
77	S09	Localização geográfica dos Stakeholders	Stakeholders (S)
78	S10	Interdependências entre os Stakeholders	Stakeholders (S)
79	TF01	Quantidade de tarefas	Tarefas (TF)
80	TF02	Dependência entre tarefas	Tarefas (TF)
81	TF03	Inter-relação entre tarefas	Tarefas (TF)
82	TF04	Tamanho das tarefas	Tarefas (TF)
83	TF05	Dinâmica das tarefas	Tarefas (TF)
84	TF06	Variedade das tarefas	Tarefas (TF)
85	TF07	Duração das tarefas	Tarefas (TF)
86	TF08	Nível de inovação das tarefas	Tarefas (TF)
87	TF09	Clareza na especificação das tarefas	Tarefas (TF)
88	TC01	Disponibilidade de recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)
89	TC02	Diversidade de recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)
90	TC03	Dependência de processos tecnológicos	Tecnológica (TC)
91	TC04	Inter-relação entre recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)

92	TC05	Interação dos recursos tecnológicos com o ambiente externo	Tecnológica (TC)
93	TC06	Quantidade de recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)
94	TC07	Exigência de conteúdo local	Tecnológica (TC)
95	TC08	Mudanças associadas aos recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)
96	TC09	Dificuldade de incorporação de tecnologias	Tecnológica (TC)

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

3.4 SELEÇÃO DA AMOSTRA

O processo de seleção da amostra a ser utilizada pela pesquisa deve partir, inicialmente, da compreensão dos conceitos de população e amostra. Como a pesquisa foi dividida em duas grandes etapas, para cada uma das etapas foi identificada a população e a amostra com base nos conceitos propostos por Doane & Seward (2014).

Para os autores, o conceito de população ou população-alvo consiste de todos os itens aptos a serem utilizados na pesquisa, desde que esses itens contemplem as características de interesse do pesquisador. No que diz respeito a amostra, o conceito corresponde basicamente a um subconjunto da população ou população-alvo.

No tocante a essa pesquisa, foram definidas duas fases de coleta de dados, sendo a primeira com especialistas em projetos públicos e a segunda com profissionais da área de gerenciamento de projetos atuantes no setor público. Diante desse cenário, definiu-se dois processos de seleção de amostra, sendo um para cada fase prevista da coleta de dados. Na próxima subseção, trataremos do processo de seleção da amostra dos especialistas em projetos públicos. Na sequência, discorreremos sobre a seleção da amostra dos profissionais da área de gerenciamento de projetos com foco unicamente em profissionais que atuam ou atuaram em projetos do setor público. O processo de coleta de dados será discutido na **Seção 3.5**.

3.4.1 Seleção de Amostra – Especialistas em Projetos Públicos

Para a primeira etapa da pesquisa, a ser feita com Especialistas em Projetos Públicos, considerou-se como população todos os especialistas em projetos que estivessem em atuação ou já tivessem atuado direta ou indiretamente em projetos ligados ao setor público brasileiro e que possuísem no mínimo quatro anos de experiência em projetos dessa natureza.

A seleção da amostra foi feita com base em uma amostragem não probabilística intencional, onde o pesquisador selecionou os elementos a serem pesquisados dentro de um

grupo específico e com base na experiência dos integrantes com relação a gestão de projetos do setor público brasileiro. Sampieri, Collado, & Lucio (2013) citam que há estudos que necessitam da opinião de especialistas numa temática e que estas contribuem para construção mais precisa de hipóteses ou servem de base para construção de questionários. Tal afirmação, reforça a ideia proposta nessa etapa da pesquisa com relação ao processo de seleção da amostra.

Inicialmente, foram mapeados 55 especialistas da área de gerenciamento de projetos através de referências pessoais do pesquisador e buscas por meio de redes sociais profissionais (Linkedin) e enviado convites individuais para contribuir com a pesquisa. Dentre os 55 especialistas mapeados, 16 especialistas responderam positivamente ao convite e, consequentemente, foram selecionados para compor um painel que serviu como amostra nessa etapa da pesquisa.

A **Tabela 18** apresenta um perfil individual de cada especialista selecionado como participante da pesquisa. A não identificação dos respondentes respeitou o compromisso assumido com os respondentes de que os dados pessoais seriam totalmente preservados seguindo as recomendações éticas de uma pesquisa.

Tabela 18
Perfil dos Especialistas

ID	Órgão	Sexo	Idade	Qualificação	Experiência	Função
1	Tribunal de Justiça da Paraíba - TJ/PB	Fem	31-40	Especialização	4 anos	Gerente
2	Tribunal de Justiça da Paraíba - TJ/PB	Mas	31-40	Especialização	5 anos	Diretor
3	DNIT	Mas	41-50	Mestrado	5 anos	Analista
4	Tribunal de Contas da Paraíba - TCE/PB	Mas	Mais de 50	Especialização	20 anos	Gerente
5	Prosoft Informática	Mas	Mais de 50	Mestrado	5 anos	Executivo (CEO)
6	Secretaria de Planejamento - Gov/RN	Fem	Menos de 30	Mestrado	4 anos	Consultor
7	UFRN	Mas	Menos de 30	Mestrado	5 anos	Consultor

8	TRT-RN	Mas	41-50	Mestrado	15 anos	Gerente
9	TRT-RN	Mas	31-40	Mestrado	12 anos	Gerente
10	MP-RN	Mas	31-40	Especialização	7 anos	Gerente
11	Secretaria de Segurança - GOV/RN	Fem	41-50	Superior	8 anos	Assessor
12	Consultoria Independente	Fem	41-50	Mestrado	20 anos	Gerente
13	Porto Digital / PE	Fem	31-40	Mestrado	14 anos	Gerente
14	CAERN (Finanças)	Mas	Mais de 50	Especialização	18 anos	Gerente
15	Consultoria Independente	Mas	41-50	Doutorado	21 anos	Executivo (CEO)
16	Tribunal de Justiça do Ceará - TJ/CE	Mas	31-40	Mestrado	9 anos	Diretor

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

3.4.2 Seleção de Amostra – Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos

Na segunda fase da coleta de dados, considerou-se como população-alvo profissionais da área de gerenciamento de projetos que estejam participando ou que já tenham participado de projetos ligados ao setor público. Assim como na etapa anterior, o contexto territorial da pesquisa abrange somente os profissionais e projetos realizados dentro dos limites territoriais do Brasil.

No processo de seleção da amostra optou-se por utilizar um método de amostragem não probabilística por conveniência e intencional. A esse tipo de amostragem, atribui-se como particularidade relevante o processo de escolha dos elementos, que não depende de probabilidade. Para esse tipo específico de amostra, os elementos são selecionados com base em características da pesquisa ou por intenção do pesquisador (Sampieri et al., 2013).

Nessa etapa da pesquisa, atribuiu-se como único critério de seleção da amostra que os profissionais selecionados já tivessem participado ou estivessem participando de projetos do setor público brasileiro. Quanto a função do profissional no projeto, não foi definido nenhum critério específico que contemplasse diretamente esta característica. No entanto, durante o processo de coleta de dados utilizou-se campos para qualificar o perfil do respondente de modo

que fosse possível realizar análises comparativas e segmentadas por perfil, caso fosse de interesse da pesquisa num momento posterior.

Ao optar por não fixar uma função profissional para coleta de dados, buscou-se obter uma amostra diversificada que pudesse incorporar os diversos perfis profissionais atuantes em projetos de modo a não limitar o instrumento à percepção unicamente de gestores. Somado a isso, a não vinculação a perfis profissionais específicos possibilitou ampliar o número de potenciais respondentes favorecendo a relação de proporcionalidade entre a amostra e a população-alvo sem comprometer a pesquisa. No que diz respeito a homogeneidade da amostra, os dados coletados foram analisados sob o enfoque estatístico de modo a dar maior robustez e fortalecer o caráter de homogeneidade da amostra mesmo adotando perfis diversificados de profissionais de projetos.

A segunda fase da coleta de dados foi realizada em sua totalidade de modo virtual e online por meio da Internet. Desde a identificação de respondentes através da rede social profissional LinkedIn e grupos específicos na área de gerenciamento de projetos em aplicativos de comunicação (WhatsApp e Telegram), passando pelo convite a participar da pesquisa e finalizando com a resposta através de questionário disponibilizado eletronicamente para os respondentes. Nessa fase de coleta de dados não houve qualquer tipo de contato presencial com nenhum dos respondentes.

Devido ao caráter exponencial das redes sociais e aplicativos de comunicação gerado a partir do compartilhamento de informações entre seus membros e terceiros, não é pertinente ao pesquisador fazer inferências e estimativas com relação a população de profissionais atingidas pelo convite enviado através desses aplicativos devido a sua complexidade de estimação. Em contrapartida, no uso da rede social LinkedIn foram enviados, aproximadamente, 400 convites.

Porém, é impossível identificar de forma precisa a quantidade de respondentes advindos dessa rede social, visto que o questionário de pesquisa deixou como opcional a identificação do respondente. Vale ressaltar, que a identificação tanto do respondente, quanto da ferramenta que originou o contato não traz nenhuma contribuição direta para a pesquisa, pois esta lidou somente com dados agregados. O mapeamento dessas informações se limita a buscar validação quantitativa da amostra e desconsidera a importância dos aspectos qualitativos presentes nessa pesquisa.

Após a conclusão dessa fase de coleta, foram recebidos 118 questionários respondidos por profissionais da área de gerenciamento de projetos em condições adequadas para utilização pela pesquisa.

3.5 COLETA E VERIFICAÇÃO DE DADOS

Para cumprir com o planejamento da pesquisa, optou-se por dividir a coleta de dados em duas fases distintas e sequenciais. A primeira delas, feita com base na opinião de 16 especialistas em projetos públicos. Na segunda, a amostra foi composta por 118 profissionais da área de gerenciamento de projetos com experiência em projetos do setor público. As duas etapas de coleta utilizaram um questionário estruturado. As próximas duas subseções, apresentam o detalhamento do processo de coleta de dados em cada uma das fases.

3.5.1 Coleta e Verificação de Dados – Especialistas em Projetos Públicos

Com a conclusão da etapa de revisão sistemática da literatura, iniciou-se um planejamento para a coleta de dados. Para embasar o procedimento de coleta de dados, foi estabelecido como referencial teórico o Método Delphi para coletar as opiniões de especialistas e seguiu recomendações e etapas citadas por He et al. (2015) em trabalho correlato.

O Método Delphi foi criado por Dalkey & Helmer (1963) com o objetivo principal de ser um método para obtenção de consenso de opiniões entre um grupo de especialistas. Tem sido largamente utilizado e aceito por diversas áreas de conhecimento (Hsu & Ohio, 2007), inclusive na área de gestão de projetos (He et al., 2015; Kermanshachi, Dao, Shane, & Anderson, 2016; Kian, Sun, & Bosché, 2016; R. R. Oliveira, Martins, Dias, & Monteiro, 2014; Vidal, Marle, & Bocquet, 2013; B. Xia & Chan, 2012).

A opção pelo uso do Método Delphi fundamentou-se na escolha de um modelo sistematizado para coleta de dados que pudesse agregar a opinião de especialistas num primeiro momento e, posteriormente, possibilitar a análise em busca de opinião convergente. Ademais, a constatação da larga utilização em estudos na área de gerenciamento de projetos trouxe uma justificativa a mais para adoção do método nessa fase da coleta de dados.

Para aplicação do Delphi, utilizou-se os passos definidos pelo método de forma adaptada as necessidades da pesquisa, sendo somente aplicada uma única rodada de resposta ao questionário. Para minimizar o efeito da adaptação do método, buscou-se extrair o consenso dos especialistas analisando medidas de dispersão e homogeneidade dos dados que serão abordadas na **Seção 3.6**. Os passos utilizados na coleta de dados com Especialistas estão dispostos na **Figura 45**.

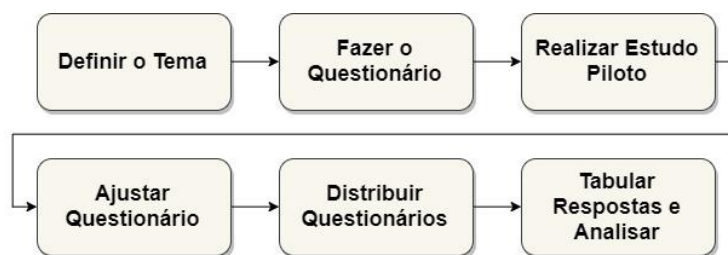


Figura 45. Etapas da Coleta de Dados com Especialistas

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

No primeiro passo, definiu-se como temática a complexidade de projetos e em seguida foi feito um mapeamento de 96 fatores de complexidade identificados a partir da análise de 12 estudos com abordagens aderentes a temática que tinham como ponto comum, a identificação de um conjunto de fatores de complexidade de projetos. De posse desse conjunto de fatores, e com base na revisão dos modelos teóricos de complexidade de projetos presentes nas publicações do portfólio bibliográfico, definiu-se 11 dimensões da complexidade que deram origem ao modelo teórico dessa pesquisa, que está descrito na **Seção 3.3**.

A partir daí, passou-se a estruturar um questionário estruturado a ser aplicado com os especialistas. Adotou-se como perfil da amostra a ser coletada, um conjunto de especialistas em gerenciamento de projetos com experiência de atuação em projetos do setor público. O perfil dos respondentes da pesquisa, consta na **Tabela 18** presente na **Seção 3.4.1**. O questionário foi dividido em 12 seções, sendo a primeira responsável por identificar o perfil do respondente e as demais representavam cada uma das 11 dimensões da complexidade de projetos sugeridas pela pesquisa em seu modelo teórico (ver **Seção 3.4.1**). Em cada uma das 11 seções, o respondente deveria avaliar o nível de influência do respectivo fator no aumento da complexidade do projeto.

Para esta etapa, utilizou-se uma escala de diferencial semântico de Osgood estabelecendo um intervalo de 1 a 10, sendo que o número 1 representava um nível de influência Muito Baixo e o número 10 um nível de influência considerado como Muito Alto. A escala de diferencial semântico desenvolvida por Osgood, Suci, & Tannenbaum (1957) foi concebida a partir da percepção da necessidade de se avaliar opiniões, percepções, preferências e interesses de pessoas diante de conteúdos que não são mensuráveis de forma direta (Passos & Laros, 2015).

O questionário foi composto por 107 perguntas, sendo que as 9 primeiras perguntas buscaram mapear o perfil do respondente. Na sequência, 96 perguntas remetiam à avaliação dos fatores de complexidade por suas dimensões. Por fim, 2 perguntas foram elaboradas, sendo a primeira para tentar capturar a percepção de ranqueamento das dimensões e a segunda uma

questão aberta para que o respondente pudesse fazer observações de interesse com relação a apontar possíveis fatores de complexidade não elencados pela pesquisa.

De modo a adequar o instrumento antes da aplicação direta com os especialistas selecionados pela pesquisa, aplicou-se um estudo piloto com dois especialistas em projetos que avaliaram a adequação das perguntas e a estrutura do questionário, conforme recomendações feitas para estudos pilotos por Santos (2013). Como resultado do estudo piloto, houveram ajustes visando dar maior clareza e objetividade a apresentação das informações. Os especialistas participantes do estudo piloto também fizeram comentários com relação a quantidade de questões e a dificuldade para concretizar a coleta de dados diante do elevado número de perguntas presentes num único instrumento.

No entanto, optou-se por manter o quantitativo de perguntas para não comprometer, nessa fase da pesquisa, o conjunto de fatores de complexidade identificados a partir da literatura. Quanto as demais perguntas do questionário, as que guardam referência com o perfil do respondente serão utilizadas para análises descritivas a serem apresentadas na **Seção 3.6**. No tocante as perguntas de ranqueamento das dimensões e de fatores não elencados, optou-se por não as utilizar nesta pesquisa, em virtude de observar-se de forma recorrente ausência de respostas nessas questões devido ao seu caráter de opcionalidade.

A coleta de dados dessa fase foi realizada no período de 14 de outubro à 30 de dezembro de 2018. O questionário foi disponibilizado em formato de papel para aplicação presencial e digital, através da plataforma SurveyMonkey (<http://www.surveymonkey.com>), para aplicação à distância por meio da Internet. Do total de 16 especialistas respondentes, 11 responderam o questionário no formato online e 5 responderam no formato em papel. Os questionários em formato de papel foram entregues individualmente a cada um dos respondentes de modo presencial para que o mesmo pudesse preenchê-lo. De acordo com Ludwig (1997), o uso do Método Delphi tem ocorrido, frequentemente, com um número entre 15 e 20 especialistas. Sendo assim, o painel de especialistas construído com base nos respondentes atendeu quantitativamente a essa recomendação.

É importante relatar que os especialistas que responderam o questionário de forma presencial foram contactados pelo pesquisador para um agendamento prévio de data, local e horário para aplicação da pesquisa. Também vale salientar que todos os questionários disponibilizados na modalidade presencial foram recolhidos após o preenchimento por parte do especialista, todos no mesmo dia da aplicação. O questionário utilizado para essa etapa da coleta de dados encontra-se disponível no **Apêndice D**.

Finalizada a coleta de dados, os dados dos questionários em papel e digital foram tabulados em um único arquivo usando a ferramenta Microsoft Excel®. Durante a etapa de tabulação, foi realizada a validação dos dados considerando unicamente o critério de dados faltantes para possível exclusão do questionário. Nessa etapa, verificou-se a existência de dados faltantes entre as 9 questões do perfil do respondente e as 96 questões relacionadas com os fatores de complexidade. O resultado final da aplicação do critério estabelecido validou os 16 questionários respondidos.

3.5.2 Coleta e Verificação de Dados – Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos

Finalizada a primeira fase da coleta de dados e com base na análise dos dados coletados junto aos especialistas (ver **Seção 3.6.1**), definiu-se um novo instrumento (questionário) a ser aplicado na segunda fase da coleta de dados. Nessa fase, aplicou-se o instrumento de pesquisa com profissionais da área de gerenciamento de projetos com experiência em projetos do setor público brasileiro.

O instrumento de pesquisa (questionário) resultante dessa etapa foi formatado em duas seções. Na primeira, foram elencadas 7 questões que buscou obter dados sobre o perfil do respondente. Na segunda seção, o respondente foi convidado a avaliar um conjunto de 20 fatores de complexidade de projetos atribuindo valor numa escala do tipo *Phrase Completion*, cujo intuito era medir a influência de cada um dos fatores no aumento da complexidade de projetos.

A escala *Phrase Completion* foi criada por Hodge & Gillespie (2003) como alternativa para resolução das dificuldades encontradas com o uso das escalas Likert. A escala possui 11 pontos e utiliza um intervalo de 0 a 10 para representação dos mesmos na escala, sendo que o zero representa o menor valor da medida e 10 o máximo valor da medida. A dimensão ampliada da escala, segundo os autores, melhora a confiabilidade em relação às escalas com menor número de pontos. A escala utilizada para medir a influência dos fatores na complexidade de projetos é apresentada na **Figura 46**.

Escala de Nível de Influência										
Pouco significativo			Razoavelmente significativo					Muito significativo		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figura 46. Escala de Nível de Influência.

Fonte: Hodge & Gillespie (2003)

O processo de coleta de dados dessa fase ocorreu entre os dias 01 e 18 de abril de 2019. Para esta fase da coleta de dados, optou-se por disponibilizar o questionário unicamente em formato digital, através da plataforma SurveyMonkey (<http://www.surveymonkey.com>), e aplicado à distância por meio da Internet.

Com base na experiência obtida, através do estudo piloto conduzido na primeira fase da coleta (ver **Seção 3.5.1**), decidiu-se que na segunda fase o questionário seria elaborado replicando as orientações e sugestões de ajustes feitas pelos especialistas na fase de coleta anterior. Dessa forma, não foi realizado estudo piloto antes do processo de coleta nesta fase. Todas as orientações para o preenchimento foram inseridas no próprio instrumento (questionário), de modo a facilitar a compreensão dos respondentes.

Durante o processo de coleta, o contato com os profissionais foi feito por meio de ferramentas de comunicação baseadas em Tecnologia da Informação, a saber Whatsapp, Telegram, e-mail e, especialmente, a rede social profissional LinkedIn. Os convites foram encaminhados a grupos de Whatsapp específicos da área de gerenciamento de projetos, bem como grupos e pessoas da rede de relacionamento do pesquisador e de seus contatos.

Com relação a rede social LinkedIn optou-se por realizar uma busca por profissionais da área de gerenciamento de projetos, por meio de palavras chaves que se relacionam com a certificações existentes da área de projetos (ex. “PMP”), e encaminhar mensagens individuais convidando-os a colaborar com a pesquisa. A seleção dos candidatos feitas através do LinkedIn não obedeceu a nenhum critério específico de seleção. Os candidatos foram selecionados de forma aleatória por meio do perfil do pesquisador que individualmente encaminhou o convite para cada candidato. Nesta fase da coleta de dados, foram encaminhados aproximadamente 450 convites entre LinkedIn e e-mails de profissionais da rede de relacionamento do pesquisador. Considerando as demais ferramentas de comunicação utilizadas (Whatsapp e Telegram) tornou-se impossível estimar com precisão e de modo quantitativo o total de convites enviados *versus* aceitos. O resultado dessa fase de coleta culminou em 118 questionários respondidos integralmente por profissionais da área de gerenciamento de projetos.

Finalizada a coleta, utilizou-se a ferramenta de exportação de dados oferecida pela plataforma SurveyMonkey (<http://www.surveymonkey.com>) para exportar os dados em formato Microsoft Excel® que, posteriormente, foram formatados para uso na etapa de análise de dados (ver **Seção 3.6**) e construção do modelo de classificação da complexidade de projetos (ver **Capítulo 4**) proposto por esta tese.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Esta subseção tem por objetivo apresentar a análise estatística dos dados coletados durante a pesquisa de campo. A pesquisa de campo foi realizada em duas fases, sendo a primeira fase com Especialistas em projetos públicos e a segunda fase com os Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos com experiência no setor público.

Os dados coletados a partir da aplicação dos questionários foram analisados por meio da estatística descritiva. Segundo Fávero & Patrícia (2017), esse tipo de análise tem a finalidade de descrever e organizar os dados através da síntese de informações e que ajudam ao pesquisador na compreensão dos dados e de seu comportamento. Os autores ainda reforçam o caráter descritivo quando afirmam que a base para a análise é a amostra de dados e que esta não permite fazer inferências e estabelecer conclusões sobre a população.

As próximas sub-seções, descrevem análises baseadas em estatística descritiva. Num primeiro momento, explorou-se o perfil dos respondentes (ver **Seção 3.6.1**). Em seguida, apresentou-se uma análise dos dados relativos aos fatores de complexidade de projetos (ver **Seção 3.6.2**) que se associam diretamente à temática da pesquisa.

3.6.1 Perfil dos Respondentes

Em virtude do processo de coleta de dados ter sido realizada em dois momentos distintos, foram elaboradas análises estatísticas descritivas para cada uma das amostras: especialistas em projetos e profissionais da área de gerenciamento de projetos. Por se tratar de uma etapa de pesquisa de cunho quantitativo, foram utilizadas na análise: tabelas contendo distribuição de frequências, gráficos e medidas de resumo de posição e dispersão, conforme sugestão de Fávero & Patrícia (2017). Com intuito de ajudar na compreensão, duas **sub-seções 3.6.1.1** e **3.6.1.2** foram criadas para analisar em separado os dados dos especialistas e dos profissionais, respectivamente.

3.6.1.1 Análise de Dados - Especialistas em Projetos Públicos

A análise descritiva referente ao perfil dos Especialistas em Projetos Públicos permitiu obter uma visão sintetizada das características da amostra. A análise trouxe como resultados iniciais que a composição do painel de especialistas teve maioria de homens como respondentes com 68,75% de participação, contra 31,25% de mulheres. Vale ressaltar que não houve, durante a seleção de especialistas, nenhum critério que guardasse relação com o gênero do respondente para sua inclusão no painel.

No que diz respeito a formação acadêmica dos respondentes, observou-se uma predominância de especialistas com formação de Mestrado com 56,25%. Os especialistas com formação em Especialização/MBA atingiram um percentual de 31,25%. Juntos com o único especialista que possui doutorado (6,25%), estes três perfis acumulam 93,75%. Tal fato, demonstra que quase a totalidade dos especialistas presentes no painel permaneceu buscando uma melhor formação durante a carreira profissional.

Sobre o tempo de experiência em gerenciamento de projetos, 87,50% dos especialistas relataram ter pelo menos 5 anos de experiência. Somente dois especialistas afirmaram possuir menos de 5 anos de experiência. No entanto, cada um desses especialistas citou que possuía 4 anos de experiência. Com relação a média, o tempo de experiência entre todos os especialistas foi de aproximadamente 11 anos, sendo que do total, 43,75% informaram ter mais de 10 anos de experiência em gerenciamento de projetos.

Quando partimos para uma análise das certificações na área de gerenciamento de projetos, somente 37,50% dos especialistas relataram ter certificações, contra 62,50% de especialistas sem certificações. Embora a certificação seja uma forma de validar conhecimento e credenciar o profissional junto às organizações vinculadas a difusão de conhecimento sobre gerenciamento de projetos, verificou-se entre alguns especialistas o pouco interesse na obtenção de certificações já que a experiência acumulada e o reconhecimento profissional lhes credenciavam a atuar na área com bons resultados. Portanto, o fato de não possuir certificação não foi utilizado como critério para invalidar a participação no painel.

Por fim, foi feita uma análise da função atual exercida pelos respondentes. Dentre os especialistas 75,00 % atuam diretamente em funções de gestão (Gerente, Diretor, Executivo - CEO). Os outros 25,00% atuam nas funções de Analista (6,25%), Assessor (6,25%) e Consultor (12,50%). A **Tabela 19** apresenta de forma detalhada os resultados obtidos na pesquisa com os especialistas em gerenciamento de projetos públicos.

Tabela 19.

Perfil dos Respondentes - Especialistas em Gerenciamento de Projetos Públicos

Variável	Valor	Frequência	%	%Acum
Sexo	Masculino	11	68,75%	68,75%
	Feminino	5	31,25%	100,00%
Formação	Graduação	1	6,25%	6,25%
	Especialização/MBA	5	31,25%	37,50%
	Mestrado	9	56,25%	93,75%

	Doutorado	1	6,25%	100,00%
Tempo de Experiência em Gestão de Projetos	Menos de 5 anos	2	12,50%	12,50%
	Entre 5 e 9 anos	7	43,75%	56,25%
	Entre 10 e 14 anos	2	12,50%	68,75%
	Entre 15 e 20 anos	4	25,00%	93,75%
	Acima de 20 anos	1	6,25%	100,00%
Certificação na área de Gestão de Projetos	Sim	6	37,50%	37,50%
	Não	10	62,50%	100,00%
Função na organização ou órgão público	Analista	1	6,25%	6,25%
	Assessor	1	6,25%	12,50%
	Gerente	8	50,00%	62,50%
	Diretor	2	12,50%	75,00%
	Executivo (CEO)	2	12,50%	87,50%
	Consultor	2	12,50%	100,00%

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

3.6.1.2 Análise de Dados – Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos

Dando sequência à análise descritiva, passou-se a analisar os dados obtidos com base no perfil dos Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos. Foi incluída no questionário uma pergunta sobre a idade do respondente, de modo que essa informação pudesse, num segundo momento, ajudar a identificar o perfil etário da amostra. Excluiu-se a pergunta referente a certificação, por acharmos que nesta etapa da pesquisa essa informação teria pouca relevância.

No que diz respeito a função, solicitamos aos respondentes que marcassem os papéis nos quais já atuou durante a carreira profissional na área de gerenciamento de projetos. Permitiu-se, portanto, marcar mais de um papel. Sendo assim, entende-se que a soma das frequências não representa o total de respondentes da amostra.

A partir dos resultados obtidos na análise, reafirmou-se a predominância de respondentes do sexo masculino com 76,27% contra 23,73% do sexo feminino. Esta informação alinha-se com a análise dos dados dos especialistas, onde houve uma maioria de respondentes do sexo masculino. Destaca-se mais uma vez, que durante a seleção de profissionais não foi definido critério específico que pudesse influenciar na diminuição ou aumento da presença de um dos gêneros (masculino ou feminino) entre os respondentes.

Na análise da formação acadêmica dos respondentes, observou-se que 87,29% dos respondentes possui formação acadêmica além da graduação. Desses, 46,61% afirmaram ter Especialização/MBA, 33,05% Mestrado e 7,63% Doutorado e somente 12,71% possuem somente Graduação.

No tocante a idade dos respondentes, a análise auferiu uma concentração de profissionais respondentes com idade entre 31 e 50 anos. Dentro desse intervalo de faixa etária, estão 72,04% dos respondentes. Do total de respondentes, somente 13,56% afirmaram ter menos de 30 anos de idade e outros 14,40% ter mais de 50 anos.

Partindo para a análise do tempo de experiência em gerenciamento de projetos, observou-se uma característica muito próxima ao perfil dos especialistas. Nos dois casos, mais de 86% dos respondentes afirmaram ter pelo menos 5 anos de experiência de tempo de experiência em gestão de projetos. Desses, 21,19% tem entre 5 e 9 anos, 26,27% entre 10 e 14 anos, 31,35% entre 15 e 20 anos e 7,63% mais de 20 anos de experiência.

Com relação a função (papel) exercido pelos profissionais durante os projetos nos quais participou, 79 afirmaram ter atuado como Gerente o que representa 66,95% do total de 118 respondentes. Outros 42 afirmaram já ter atuado como Coordenador o que representa 35,59% do total. Entre os que afirmaram ter atuado como Coordenador, 76,19% também atuaram como Gerente. Fazendo uma análise da quantidade de funções (papéis) foram assumidas pelos profissionais, constatou-se que dentre os respondentes, 58,47% informaram já ter atuado em mais de uma função (papel) durante a vida profissional. Desses, 73,91% atuou em pelo menos 3 funções (papéis). Do total de respondentes, somente 6,78% relataram já ter atuado como Fornecedor e outros 14,41% como Cliente. A tabulação dos dados referentes as funções (papéis) dos profissionais encontra-se no **Apêndice H**.

A **Tabela 20** apresenta detalhes sobre o perfil dos respondentes relativo aos profissionais da área de gerenciamento de projetos.

Tabela 20

Perfil dos Respondentes - Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos

Variável	Valor	Frequência	%	%Acum
Sexo	Masculino	90	76,27%	76,27%
	Feminino	28	23,73%	100,00%
Formação	Graduação	15	12,71%	12,71%
	Especialização/MBA	55	46,61%	59,32%
	Mestrado	39	33,05%	92,37%

	Doutorado	9	7,63%	100,00%
Idade	Menor que 30 anos	16	13,56%	13,56%
	Entre 31 e 40 anos	45	38,14%	51,70%
	Entre 41 e 50 anos	40	33,90%	85,60%
	Maior que 50 anos	17	14,40%	100,00%
Tempo de Experiência em Gestão de Projetos	Menos de 5 anos	16	13,56%	13,56%
	Entre 5 e 9 anos	25	21,19%	34,75%
	Entre 10 e 14 anos	31	26,27%	61,02%
	Entre 15 e 20 anos	37	31,35%	92,37%
	Acima de 20 anos	9	7,63%	100,00%
Função na organização ou órgão público	Cliente	17		
	Fornecedor	8		
	Equipe Técnica	42		
	Analista	42		*
	Coordenador	47		
	Gerente	79		
	Outras	6		

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

* Observação: Nesse item os respondentes puderam marcar mais de uma opção dentre as funções que, porventura, tenha atuado em projetos durante a vida profissional. Dessa forma, o somatório das frequências é superior ao total de 118 respondentes

3.6.2 Fatores de Complexidade de Projetos

Nesta subseção discutem-se os procedimentos metodológicos utilizados na análise dos dados coletados pela pesquisa com especialistas e, posteriormente, com profissionais. O objetivo principal da análise foi dar resposta a seguinte pergunta:

“Quais são os fatores que apresentam maior relevância para o aumento da complexidade de projetos no setor público brasileiro considerando a percepção de especialistas e profissionais da área de gestão de projetos?”

O processo de análise que resultou na identificação de um conjunto de fatores de complexidade que serviram base para construção do modelo de classificação seguiu a sequência de etapas descritas na **Tabela 25**. A definição de um sequenciamento para etapas buscou sistematizar e detalhar todo o processo que foi realizado até a obtenção do conjunto de

fatores de complexidade. A **Tabela 25** apresenta ainda, atividades realizadas para o cumprimento de cada uma das etapas, bem como os artefatos produzidos por cada uma delas. Nesta subseção abordaremos somente as etapas relacionadas à análise de dados, no caso a 3ª, 4ª, 5ª, 8ª, 9ª e 10ª etapas.

Após a coleta de dados, já com os questionários preenchidos, passou-se então para 3ª etapa descrita na **Tabela 25** que correspondeu a Análise de Dados (Preliminar). Inicialmente, foi feita uma verificação para detectar questionários com questões sem respostas (sem preenchimento). Nessa atividade, não foram detectados questionários com essa característica. Passou-se então para a tabulação dos dados usando o software Microsoft Excel 2016.

Em seguida, iniciou-se a atividade de verificação da presença de *outliers* dentre os elementos do conjunto de dados. Segundo Aggarwal (2017) um *outlier* corresponde a um dado, pertencente a um conjunto de dados, que possui características significativamente diferentes dos demais dados do conjunto. A detecção de *outliers* tem sido bastante utilizada tanto para detecção de anomalias que possam causar problemas, quanto as anomalias que se tornam base para desenvolvimento de novas aplicações.

Nesse sentido, buscou-se identificar a presença de *outliers* com intuito de detectar a existência de respostas com características muito diferentes entre os especialistas. A literatura científica tem indicado o uso medida estatística denominada, Distância de Mahalanobis (*Mahalanobis Distance* – MD), para detecção de *outliers* em conjuntos de dados multivariados (Aggarwal, 2017; Barbosa, Pereira, & Oliveira, 2018; Cousineau & Chartier, 2010). No casos de conjuntos univariados, sugere-se o cálculo de escores padronizados Z para avaliação da presença ou não de outliers seguindo critérios definidos (Cousineau & Chartier, 2010; Van Selst & Jolicoeur, 1994).

Por se tratar de um conjunto multivariado com 96 fatores representando as variáveis. Optou-se, inicialmente, por seguir a recomendação proposta pela literatura científica de utilização da Distância de Mahalanobis (MD) para detecção de *outliers*. No entanto, devido ao número de variáveis (96 variáveis) e ao pequeno conjunto de observações (16 observações) não foi possível realizar a detecção de *outliers* a partir do software *IBM SPSS Statistics*® 22 que informou um ajuste perfeito do modelo. Decidiu-se então, verificar a presença de *outliers* a partir da análise univariada com escores padronizados Z e considerou-se como critério de identificação, o quantitativo de variáveis de uma observação que estivesse aderente aos requisitos estabelecidos por Van Selst & Jolicoeur (1994) para ser considerada como um *outlier*. Nesse sentido, assumiu-se como *outlier* toda observação que tivesse percentual maior do que 5% do total de variáveis enquadradas no critério Z-Scores definido por Van Selst &

Jolicoeur (1994). A **Tabela 21** apresenta o critério Z-Score utilizado para detecção de uma observação como sendo um *outlier*.

Tabela 21.

Critério Z-Score para detecção de outliers

Tamanho Amostra	Critério
100	2,500
50	2,480
35	2,450
30	2,431
25	2,410
20	2,391
15	2,326
12	2,246
10	2,173

Fonte: Adaptado de Van Selst & Jolicoeur (1994).

Como a amostra é composta por 16 observações, utilizou-se como critério de detecção o valor mais próximo do tamanho da amostra conforme **Tabela 21**. Nesse caso, considerou-se o valor de 2,326, que corresponde a 15 observações. Após a verificação, foram detectados dois outliers. Em ambos os casos, as observações apresentaram valores acima do valor 2,326 para mais de 5% do total de variáveis avaliadas. O percentual de variáveis de cada *outlier* correspondeu a 9,375% e 26,04%, respectivamente. A partir da detecção dos outliers, decidiu-se pela exclusão das observações antes de passar para a atividade de tabulação dos dados, que preparou a planilha para a segunda etapa de análise.

De posse da planilha contendo a tabulação dos dados referentes aos 14 questionários preenchidos pelos especialistas, já excluídos os dois considerados como *outliers*, seguiu-se para a etapa de avaliação estatística dos dados (4ª etapa) com a finalidade de construir uma tabela contendo os fatores com suas respectivas medidas estatísticas de interesse para análise. Utilizou-se como medidas de interesse, a média e a média normalizada como medidas de posição ou tendência central e o desvio padrão e o coeficiente de variação como medidas de dispersão. Na sequência, adentrando na 5ª etapa, construiu-se um ranking dos fatores de complexidade de acordo com a relevância para o aumento da complexidade de projetos. Para

a construção do ranking, assumiu-se como parâmetros de classificação a média normalizada e o coeficiente de variação, respectivamente.

Considerando que o objetivo da tese se fundamenta na construção de um modelo de classificação da complexidade de projetos, torna-se importante que o modelo seja adequado e prático ao dia a dia dos profissionais da área de gerenciamento de projetos. Do contrário, sua utilidade ficaria limitada a usos específicos. Diante dessa hipótese, um modelo com 96 variáveis não contribui para praticidade de uso entre os profissionais. Nesse sentido, identificar um conjunto menor de fatores que pudessem tornar o modelo mais prático, bem como selecionar os fatores de complexidade de maior relevância tornou-se o objetivo principal desta etapa de análise.

Para optou-se por construir um ranking contendo 20 fatores de complexidade, em ordem decrescente de relevância, tendo como referência a avaliação feita pelos especialistas que compuseram o painel. Elegeu-se como parâmetros a média normalizada e o coeficiente de variação e foram definidos dois critérios para estabelecer as posições dos elementos no ranking:

1. possuir maior média normalizada;
2. possuir menor coeficiente de variação;

É importante destacar que a escolha do método para redução da dimensionalidade partiu de uma decisão do pesquisador em manter a fidelidade dos fatores de complexidade identificados pela literatura científica. O uso de métodos estatísticos para redução de dimensionalidade como, por exemplo, análise fatorial e/ou análise de componentes principais, nessa etapa da pesquisa, obrigaria ao pesquisador a adotar a unificação de um ou mais fatores num único fator, algo indesejado considerando o argumento supracitado. Somado a isso, a decisão do pesquisador tomou como base, critérios utilizados em trabalhos correlatos que fizeram uso de estratégias, parcialmente, similares para lidar com essa problemática (He et al., 2015; Xia & Chan, 2012). A **Tabela 22** mostra o ranking dos fatores de complexidade obtidos como resultado da 5ª etapa.

Tabela 22.
Ranking de Fatores de Complexidade (Especialistas)

Id	Fator	Média Normalizada	Coef. Variação	Ranking
PE11	Ausência de liderança no projeto	9,36	0,10	1º

PL02	Falta de clareza nas especificações do projeto	9,07	0,12	2º
C01	Influências políticas no projeto	9,00	0,11	3º
PE05	Confiança nas pessoas envolvidas no projeto	9,00	0,13	4º
I04	Mudanças nas informações relacionadas com o projeto	8,93	0,11	5º
O09	Nível de Maturidade organizacional	8,93	0,16	6º
I07	Dificuldade no processo de aquisição de informação (Capturar informações) do projeto	8,86	0,10	7º
F01	Mudanças e cortes orçamentários no projeto	8,71	0,15	8º
PL01	Pouco planejamento do projeto	8,71	0,16	9º
Q04	Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade	8,64	0,14	10º
O05	Mudanças na estrutura organizacional	8,50	0,16	11º
TC09	Dificuldade de incorporação de tecnologias no projeto (Desconhecimento)	8,43	0,10	12º
C03	Variedade de requisitos de conformidade do projeto (Diversidade de Requisitos)	8,43	0,15	13º
O06	Mudanças nos processos de negócio	8,29	0,16	14º
O10	Variedade de habilidades interorganizacionais (Diversidade)	8,29	0,16	15º
I06	Variedade de itens a serem integrados (Processo de Integração) pelo projeto	8,21	0,15	16º
O08	Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto	8,21	0,15	17º
TC05	Interação dos recursos tecnológicos com o ambiente externo	8,07	0,10	18º
I05	Quantidade de itens a serem integrados (Processo de integração) pelo projeto	8,07	0,16	19º
S03	Diversidade de Stakeholders (Variedade)	8,00	0,16	20º

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Após o término das etapas de análise da 1ª Fase da coleta de dados, realizou-se as etapas 6 e 7 da 2ª Fase da coleta de dados. A 2ª Fase da coleta de dados foi realizada com profissionais da área de gerenciamento de projetos conforme relatado na **Seção 3.5.2**. De posse dos questionários preenchidos pelos profissionais, iniciou-se o processo de análise de dados.

As etapas 8 e 9, por terem a mesma definição das etapas 3 e 4, compartilham de atividades semelhantes. No entanto, o que as diferenciou foi o conjunto de dados a ser analisado, neste caso dos profissionais da área de gerenciamento de projetos. Inicialmente, foi feita uma verificação para detectar questionários com questões sem respostas (sem preenchimento). Assim como no primeiro conjunto de dados dos especialistas, não foram detectados questionários com essa característica. Passou-se então para a tabulação dos dados usando o software Microsoft Excel 2016.

Em seguida, iniciou-se a atividade de verificação da presença de *outliers* dentre os elementos do conjunto de dados. Diferentemente do primeiro conjunto de dados, foi possível seguir a recomendação proposta pela literatura científica de utilização da Distância de Mahalanobis (MD) para detecção de *outliers* em conjuntos de dados multivariados. Para tanto, utilizou-se o software *IBM SPSS Statistics® 22*.

Mahalanobis Distance

Mahalanobis Distance Stem-and-Leaf Plot

Frequency	Stem & Leaf
7,00	0 . 2344444
21,00	0 . 56667777888888889999
25,00	1 . 000000111111122233334444
14,00	1 . 55666777788899
9,00	2 . 000012334
14,00	2 . 55566667778899
13,00	3 . 0000001223334
7,00	3 . 5566779
7,00	4 . 0011112
1,00	4 . 9

Stem width: 10,00000

Each leaf: 1 case(s)

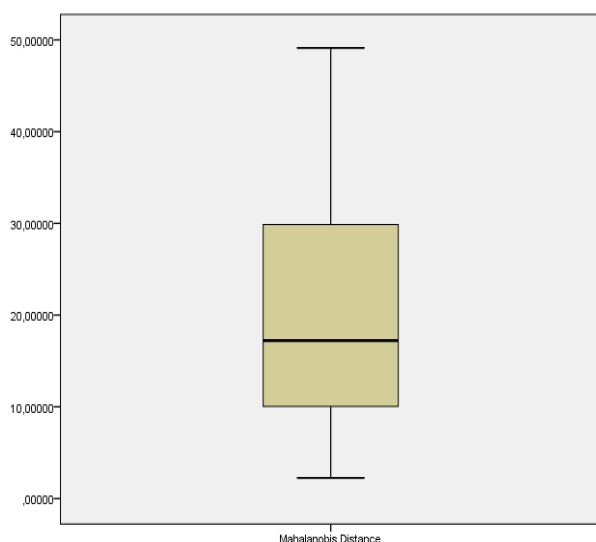


Figura 47. Detecção de Outliers pela Distância de Mahalanobis.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

A **Figura 47** mostra o resultado do processo de detecção de *outliers* usando como critério de identificação a Distância de Mahalanobis (MD). Os dados descritos na figura e o

gráfico de box-plot indicam, claramente, para a inexistência de *outliers* no conjunto de dados. Os detalhes referentes ao relatório de saída dos cálculos para detecção de outliers, bem como as Distâncias de Mahalanobis calculadas para cada elemento do conjunto de dados encontram-se disponíveis no **Apêndice J**. Com base na informação de inexistência de *outliers* no conjunto de dados dos profissionais, construiu-se então, a planilha com dados tabulados para segunda etapa da análise, correspondente a 9ª etapa da **Tabela 25**.

A partir da planilha contendo a tabulação dos dados referentes aos 118 questionários preenchidos pelos profissionais, seguiu-se para a etapa de avaliação estatística dos dados (9ª etapa) com a finalidade de construir uma tabela semelhante a construída na 4ª etapa. No entanto, a análise dos dados dessa etapa foi realizada a partir dos dados presentes nos 118 questionários preenchidos pelos profissionais da área de gestão de projetos. Para construção da tabela de fatores e medidas estatísticas, foram utilizadas as mesmas medidas de interesse utilizadas na 4ª etapa, a saber: média, média normalizada como medidas de posição ou tendência central e o desvio padrão e o coeficiente de variação como medidas de dispersão.

Assim como na 5ª etapa, na 10ª etapa construiu-se um ranking dos fatores de complexidade de acordo com a relevância para o aumento da complexidade de projetos, na visão dos profissionais. A construção do ranking, assumiu-se como parâmetros de classificação a média normalizada e o coeficiente de variação, respectivamente, obedecendo aos mesmos critérios definidos pela 5ª etapa. A **Tabela 23** mostra o ranking dos fatores de complexidade obtidos como resultado da 10ª etapa.

Tabela 23.
Ranking de Fatores de Complexidade (Profissionais)

Id	Fator	Média Normalizada	Coef. Variação	Ranking
PL02	Falta de clareza nas especificações do projeto.	1,00	0,24	1º
PE11	Ausência de Liderança no projeto	1,00	0,28	2º
PL01	Pouco planejamento do projeto	0,94	0,27	3º
Q04	Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade do projeto.	0,92	0,28	4º
C01	Presença de influências políticas no projeto.	0,84	0,33	5º
F01	Mudanças e cortes orçamentários no projeto	0,77	0,30	6º

PE05	Confiança nas pessoas envolvidas no projeto.	0,66	0,28	7º
I07	Dificuldade no processo de aquisição de informação do projeto (Capturar Informações)	0,65	0,28	8º
I04	Mudanças nas informações relacionadas com o projeto.	0,62	0,30	9º
O09	Nível de Maturidade Organizacional.	0,50	0,30	10º
S03	Diversidade de Stakeholders (Partes Interessadas) no projeto	0,48	0,31	11º
TC09	Dificuldade de incorporação de tecnologias no projeto (Falta de conhecimento)	0,42	0,29	12º
C03	Variedade de requisitos de conformidade do projeto (Diversidade de Requisitos)	0,38	0,28	13º
O06	Mudanças nos processos de negócio	0,36	0,29	14º
I05	Quantidade de itens a serem integrados pelo projeto.	0,36	0,29	15º
I06	Variedade de itens a serem integrados pelo projeto.	0,32	0,31	16º
O05	Mudanças na estrutura organizacional	0,32	0,33	17º
O08	Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto	0,24	0,33	18º
TC05	Interação dos recursos tecnológicos presentes no projeto com o ambiente externo.	0,09	0,33	19º
O10	Variedade de habilidades interorganizacionais	0,00	0,35	20º

Fonte: Dados da Pesquisa (2019).

Antes de concluir a 10ª etapa, foi feito um estudo comparativo dos Rankings (Especialistas *versus* Profissionais). O intuito desse estudo comparativo foi avaliar a ordem dos fatores nos rankings, tendo como base a percepção da posição de cada fator de complexidade na visão do grupo (especialistas/profissionais). Além de uma visão puramente comparativa, buscou-se também obter “*insights*” que pudessem contribuir para refinar o conjunto de fatores

de complexidade selecionados para construção do modelo de classificação da complexidade de projetos. A **Figura 48** apresenta graficamente o estudo comparativo dos rankings, onde foi feita a associação da posição de cada fator entre os rankings.

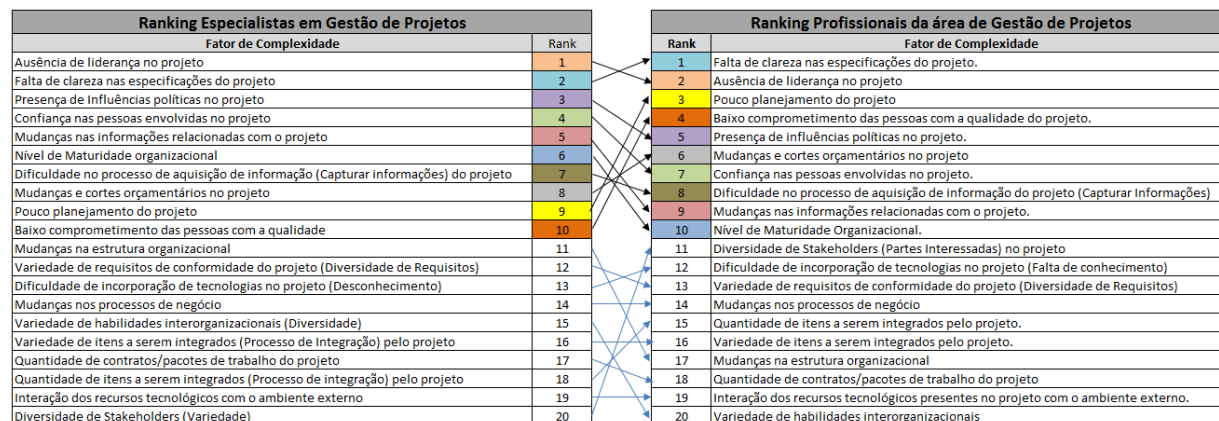


Figura 48. Estudo comparativo entre os Rankings (Especialistas *versus* Profissionais).

Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

Com base no estudo comparativo, verificou-se que as dez primeiras posições de ambos os rankings foram preenchidas pelo mesmo conjunto de dez fatores, alternando somente as posições entre eles, conforme pode ser verificado a partir da **Figura 48**. Diante dessa constatação, decidiu-se reduzir o conjunto de fatores de complexidade que iriam compor o modelo de classificação, passando a considerar somente os dez primeiros elementos posicionados em ambos os rankings. Tal decisão, fundamentou-se na tentativa de promover maior usabilidade futura para o modelo de classificação da complexidade de projetos, pois entende-se que manipular um número menor de fatores torna a utilização mais rápida e de fácil uso. A **Tabela 24** exhibe os 10 fatores de complexidade de maior relevância na opinião de especialistas e profissionais da área de gerenciamento de projetos que foram selecionados para compor o modelo de classificação da complexidade de projetos.

Tabela 24

Ranking dos dez fatores de complexidade de maior relevância

Id	Fator	Ranking
PL02	Falta de clareza nas especificações do projeto.	1º
PE11	Ausência de Liderança no projeto	2º
PL01	Pouco planejamento do projeto	3º
Q04	Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade do projeto.	4º

C01	Presença de influências políticas no projeto.	5º
F01	Mudanças e cortes orçamentários no projeto	6º
PE05	Confiança nas pessoas envolvidas no projeto.	7º
I07	Dificuldade no processo de aquisição de informação do projeto (Capturar Informações)	8º
I04	Mudanças nas informações relacionadas com o projeto.	9º
O09	Nível de Maturidade Organizacional.	10º

Fonte: Dados da Pesquisa (2019).

Finalmente, partiu-se para a última atividade da 10ª etapa que consistiu da construção de um planilhana contendo os dados tabulados a serem utilizados para a concepção e desenvolvimento do modelo de classificação da complexidade de projetos proposto por esta tese. A planilha de dados consiste de 118 observações, de profissionais da área de gerenciamento de projetos, e suas avaliações individuais sobre o nível de influência de cada um dos dez fatores para o aumento da complexidade de projetos. A próxima subseção faz um resumo esquemático do percurso metodológico até aqui, bem como apresenta as demais etapas até a conclusão desta pesquisa.

Tabela 25*Ordem das Etapas - Identificação dos Fatores de Complexidade*

Ord	Etapas	Atividades	Artefato(s)
1ª	Preparação para Coleta de Dados (1ª Fase- Especialistas)	- Elaboração de Questionário para 1ª Fase da Coleta de Dados;	- Modelo de Questionário para aplicação com Especialistas;
2ª	Coleta de Dados – 1ª Fase – Especialistas	- Aplicação de Questionários;	- Questionários preenchidos pelos respondentes;
3ª	Análise de Dados (Preliminar)	- Analisar Elementos Faltantes - Analisar presença de <i>Outliers</i> ; - Organizar a tabulação dos dados;	- Planilha com dados tabulados para análise;
4ª	Análise de Dados (Consolidação)	- Avaliar dados estatisticamente;	- Tabela com lista de fatores de complexidade e dados estatísticos;
5ª	Resultados da 1ª Fase	- Construir ranking de fatores; - Selecionar fatores para 2ª etapa de coleta;	- Ranking de fatores de complexidade com seleção de fatores para 2ª etapa da coleta;
6ª	Preparação para Coleta de Dados (2ª Fase – Profissionais)	- Elaboração de questionário para a 2ª Fase da Coleta de Dados;	- Modelo de Questionário para aplicação com Profissionais;
7ª	Coleta de Dados – 2ª Fase – Profissionais	- Aplicação de Questionários;	- Questionários preenchidos pelos respondentes;
8ª	Análise de Dados (Preliminar)	- Analisar Elementos Faltantes; - Analisar presença de <i>Outliers</i> ; - Organizar a tabulação dos dados;	- Planilha com dados tabulados para análise;
9ª	Análise de Dados (Consolidação)	- Avaliar dados estatisticamente;	- Tabela com lista de fatores de complexidade e dados estatísticos;
10ª	Resultados – 2ª Fase de Coleta e Final	- Construir ranking de fatores; - Estudo comparativo dos rankings; - Preparar planilha para construção do Modelo de Classificação da Complexidade de Projetos;	- Ranking de fatores de complexidade; - Planilha com dados tabulados para construção do Modelo;

Fonte: Dados da Pesquisa (2019).

3.7 PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA

Esta seção, tem por objetivo descrever de forma esquematizada o percurso metodológico da pesquisa. A apresentação do percurso metodológico da pesquisa nesse formato teve o intuito de facilitar e organizar a compreensão do sequenciamento de etapas realizadas pela pesquisa para o cumprimento de cada um dos objetivos definidos e, consequentemente, dar resposta a pergunta de pesquisa formulada.

O percurso inicia-se com a formulação da questão de pesquisa e definição de objetivos geral e específicos. Na sequência das colunas, apresentadas pela **Tabela 26**, são descritos os elementos teóricos e suas associações com os objetivos específicos da pesquisa. Como complemento, a associação destes com a respectiva etapa de pesquisa é apontada na tabela. A tabela ainda descreve as estratégias utilizadas para coleta e análise de dados durante as etapas da pesquisa.

No que se refere ao primeiro objetivo específico, pretendeu-se através da revisão sistemática da literatura compreender o constructo da complexidade de projetos, desde os conceitos, passando pelos modelos teóricos de representação e, mais recentemente, pelos instrumentos de mensuração da complexidade. Essa etapa da pesquisa esteve focada na construção de um portfólio bibliográfico que pudesse proporcionar uma maior compreensão do constructo e também ser útil como referencial teórico para pesquisas futuras dentro da mesma temática. O Portfólio Bibliográfico foi construído a partir da revisão da literatura, fazendo uso do método de análise de conteúdo que culminou também num breve estudo bibliométrico sobre o assunto.

No tocante ao segundo objetivo específico, este pôde ser viabilizado, inicialmente, por meio do portfólio bibliográfico. Com base em 12 estudos, foi identificado um conjunto preliminar de 96 fatores relacionados com a complexidade de projetos. Num segundo momento, dentre os 96 fatores foram selecionados os 20 que apresentaram maior índice de relevância, conforme opinião de especialistas fornecida a partir de uma pesquisa de campo com aplicação de questionário estruturado.

De posse dos 20 fatores de complexidade mais relevantes na opinião de especialistas, uma nova pesquisa de campo foi realizada com profissionais da área de gerenciamento de projetos e os dados coletados foram analisados conjuntamente com os dados dos especialistas para se obter, enfim, os 10 fatores considerados de maior relevância para o aumento da

complexidade de projetos. A análise dos dados referentes à aplicação dos questionários de pesquisa foi feita com base em estatística descritiva.

Para atender ao terceiro objetivo específico, aplicou-se métodos e técnicas de aprendizagem de máquina para estruturar um modelo que tivesse capacidade de classificar os projetos com base na sua complexidade. Para tanto, utilizou-se o conjunto dos 10 fatores de maior relevância identificados na pesquisa de campo para elaborar um modelo de classificação da complexidade de projetos baseado em técnicas de aprendizagem de máquina (*Machine Learning*). O conjunto contendo os dez fatores utilizados na composição do modelo estão descritos pela **Tabela 24**.

Por fim, tendo cumprido com os objetivos propostos, responde-se, portanto, a questão de pesquisa elaborada por esta tese:

“Como classificar a complexidade de projetos no setor público brasileiro?”

A **Tabela 26** apresenta o detalhamento do percurso metodológico seguido pela pesquisa.

Tabela 26
Percurso Metodológico da Pesquisa

Problema de Pesquisa	Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Elementos	Etapa da Pesquisa	Coleta de Dados	Análise de Dados
Como classificar a complexidade de projetos no setor público brasileiro?	Propor um modelo para classificar projetos a partir do seu respectivo grau de complexidade, com base na compreensão da percepção de profissionais que atuem de forma direta ou indireta em projetos vinculados ao setor público brasileiro.	a) Realizar uma revisão sistemática da literatura com foco na perspectiva teórica da Complexidade de Projetos buscando compreender conceitos, investigar modelos e instrumentos de mensuração;	Constructo da Complexidade de Projetos	Construção do Portfólio Bibliográfico	Revisão Sistemática da Literatura	Análise de Conteúdo
		b) Identificar um conjunto de fatores que caracteriza a Complexidade de Projetos na visão de especialistas e profissionais da área de Gestão de Projetos do setor público brasileiro;	Fatores de Complexidade de Projetos (Critérios)	Identificação de Fatores de Complexidade de Projetos através de estudos presentes na literatura;	Revisão Sistemática da Literatura	Análise de Conteúdo
				Seleção de um conjunto de fatores relevantes na complexidade de projetos;	Pesquisa de Campo (aplicação de Questionário estruturado)	Análise Estatística
		c) Aplicar métodos e técnicas de aprendizagem de máquina para estruturar um modelo de mensuração, que possibilite avaliar e estabelecer uma classificação para a complexidade do projeto;	Conjunto de fatores e dimensões selecionados para o modelo	Construção e Validação do Modelo de Classificação da Complexidade de Projetos	Modelos de Aprendizagem de Máquina (K-Means e Máquina de Vetores de Suporte – SVM)	

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

4. MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DE PROJETOS

Neste capítulo são apresentadas as etapas para construção de um modelo de classificação da complexidade de projetos por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina baseados em SVM. O processo que deu origem ao modelo dividiu-se em três etapas: pré-processamento, seleção do algoritmo de AM e configuração/execução do processo de aprendizagem. O resultado final das três etapas foi a concepção de um modelo de mensuração da complexidade de projetos que classifica projetos em três níveis de complexidade: baixa, média e alta. Os procedimentos realizados desde o início até a criação efetiva do modelo serão descritos, minuciosamente, nas próximas seções.

Este capítulo está organizado conforme descrito a seguir. A Seção 4.1 relata os procedimentos de construção da base de dados. Na Seção 4.2, descreve-se as características da base de dados utilizada para construção do modelo de classificação da complexidade de projetos. Na Seção 4.3 são apresentadas as etapas de pré-processamento dos dados. A Seção 4.4 discute o processo de seleção do algoritmo de aprendizagem de máquina a ser utilizado na construção do modelo de classificação da complexidade de projetos. As informações referentes às configurações e a execução do processo de aprendizagem de máquina são discutidas na Seção 4.5. Por fim, a Seção 4.6 faz uma análise dos resultados obtidos pelo modelo de classificação da complexidade de projetos.

4.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

As práticas atuais de gerenciamento de projetos têm seus fundamentos alicerçados em modelos prescritivos. Devido a essa característica, não tem sido uma prática, entre as organizações que atuam seguindo os preceitos do gerenciamento de projetos tradicional, realizar um controle efetivo e formal dos níveis de complexidade dentro do seu portfólio de projetos. Por outro lado, Faceli et al. (2011) afirmam que o conceito de aprendizagem de máquina remete para a ideia de induzir uma hipótese tomando como base experiências anteriores. Logo, a criação de um modelo de classificação baseado em técnicas de aprendizagem de máquina pressupõe a existência de base de dados que possa dar suporte ao processo de aprendizagem.

Nesse sentido, já que não foram encontradas bases de dados que pudessem servir de referência para construir o modelo de classificação da complexidade de projetos, coube ao

pesquisador assumir a responsabilidade de formatar uma base de dados de referência que atendesse aos requisitos estabelecidos pela pesquisa.

Para a criação da base, foram utilizados dados coletados com os 118 profissionais da área de gerenciamento de projetos, que avaliaram o nível de influência de um conjunto de fatores para o aumento da complexidade de projetos. Entretanto, os dados coletados com estes profissionais faziam referência, exclusivamente, à avaliação da influência de cada fator no aumento da complexidade, sem que houvesse uma associação direta com o nível de complexidade de um projeto específico. Logo, fez-se necessário estabelecer uma classificação para cada uma das 118 observações coletadas, de modo que esse procedimento resultasse numa base de conhecimento de projetos e do seu respectivo nível de complexidade.

Para estabelecer a classificação do nível de complexidade de cada um dos projetos, os dados foram submetidos a uma análise de agrupamentos usando o método k-means. Segundo Fávero & Belfiore (2017), a análise de agrupamentos faz parte de um conjunto de técnicas exploratórias que devem ser utilizadas quando se tem por objetivo verificar a presença de comportamentos semelhantes entre as observações de modo que sejam definidos agrupamentos com características de homogeneidade interna e heterogeneidade quando comparados entre si.

No que diz respeito a estratégia de agrupamento utilizando o método k-means, o processo consiste em selecionar, previamente, **k** pontos denominados centroides e então formar **n (n=k)** grupos a partir da atribuição de cada elemento a um determinado grupo. Para tanto, considera-se a proximidade deste elemento ao respectivo centroide do grupo. (Tan et al., 2009). Devido a facilidade de uso e compreensão, o k-means tem sido bastante utilizado por pesquisadores em várias áreas do conhecimento (Fávero & Belfiore, 2017).

A análise de agrupamentos iniciou-se a partir da definição do número de grupos a ser considerado para segmentação dos dados. Por se tratar de uma discussão bastante controversa entre acadêmicos e profissionais, preferiu-se adotar um critério definido na literatura científica para definir o número de agrupamentos ideal para o conjunto de dados. O Método do Cotovelo (*Elbow Method*), segundo Bholowalia & Kumar (2014) tem o intuito de identificar um número ótimo de agrupamentos a partir da análise do percentual da variância explicada como função do número de agrupamentos. Também é possível analisar a partir do somatório dos erros quadráticos em função do número de agrupamentos. A ideia do método consiste da escolha de um número **k**, onde a soma de mais agrupamentos a **k** não traga um ganho significativo de variância explicada. Logo, **k** seria considerado o número ideal de agrupamentos.

Os resultados obtidos por meio da aplicação do método do cotovelo no conjunto de dados da pesquisa demonstraram que a partir de **k=3**, a variação da diferença entre o somatório

dos erros quadráticos diminui. Tal fato sugere que a inclusão de mais agrupamentos não trará ganho significativo a análise. Logo, $k=3$ foi considerado como o número ótimo de agrupamentos para o conjunto de dados.

Tabela 27.

Quantidade de Agrupamentos e somatório dos erros quadráticos

Qtd de Agrupamentos	Somatório dos Erros Quadráticos
1	5.942,07
2	3.933,52
3	3.432,16
4	3.142,15
5	2.958,13
6	2.791,69
7	2.621,32
8	2.481,72
9	2.426,72

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A **Figura 49** apresenta o gráfico resultante da aplicação do Método do Cotovelo ao conjunto de dados. Observou-se que a partir de $k=3$ a inclinação do gráfico diminuiu sensivelmente formando uma figura com o aspecto visual de um cotovelo, de onde se origina o nome dado ao método. Nesse ponto, verificou-se no eixo do “número de clusters” o valor correspondente ao número ótimo de agrupamentos a ser considerado na pesquisa.

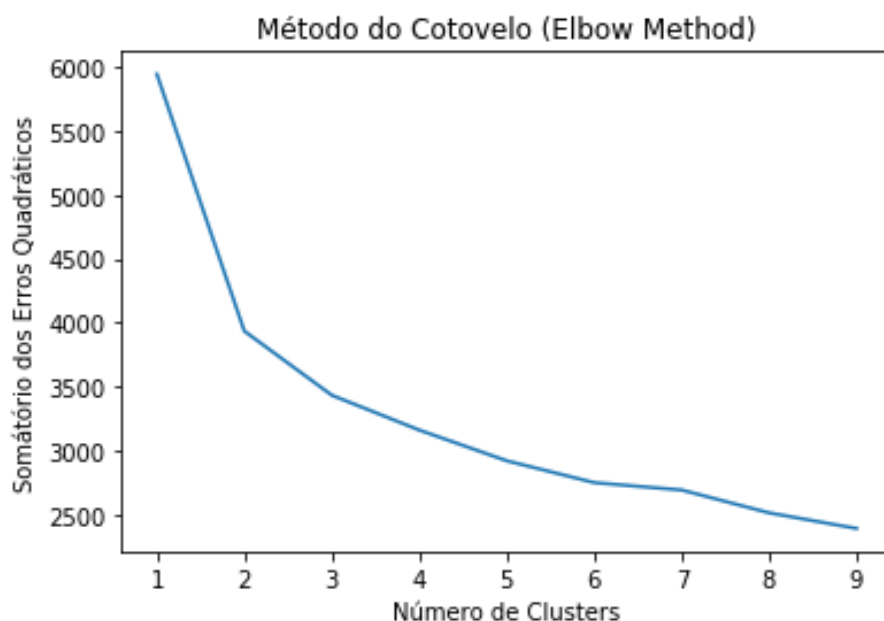


Figura 49. Gráfico do Método do Cotovelo (*Elbow Method*).

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Definido o número de agrupamentos ($k=3$), foi realizada por meio do software *IBM SPSS Statistics 22* a análise de agrupamentos das 118 observações contidas no conjunto de dados. Definiu-se como parâmetros, os 10 fatores de complexidade de maior relevância obtidos a partir da análise feita na **Seção 3.6.2** e 100 iterações como valor máximo para se obter a convergência. A **Figura 50** apresenta um quadro com o resultado das iterações ocorridas durante o processo de agrupamento. A figura mostra que foram necessárias somente 7 iterações para que fosse alcançada a convergência, isto é, não houvesse mais a necessidade de alterações nos centróides.

Histórico de iteração ^a			
Iteração	Alteração em centros de cluster		
	1	2	3
1	9,393	7,922	10,162
2	1,580	,556	,736
3	,495	,578	,171
4	,130	,000	,063
5	,233	,000	,108
6	,218	,000	,095
7	,000	,000	,000

a. Convergência alcançada devido a nenhuma ou pequena alteração em centros de cluster. A mudança de coordenada absoluta máxima para qualquer centro é ,000. A iteração atual é 7. A distância mínima entre os centros iniciais é 16,852.

Figura 50. Histórico de Iterações da Análise de Agrupamentos.

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A **Figura 51** mostra os centros finais de cada um dos três agrupamentos resultantes. Com base numa análise dos valores dos centros finais estabeleceu-se as três classificações para a complexidade de projetos no modelo a ser construído e validado, posteriormente, por meio dos casos de teste:

- **Complexidade baixa**
Nível médio de influência (ni) dos fatores – ($0 \leq ni \leq 5,5$);
Representada pelo cluster: 2
- **Complexidade média**
Nível médio de influência (ni) dos fatores – ($5,5 < ni \leq 8$);
Representada pelo cluster: 1
- **Complexidade alta**
Nível médio de influência (ni) dos fatores – ($8 < ni \leq 10$);
Representada pelo cluster: 3

Centros de cluster finais			
	Cluster		
	1	2	3
C01	8	5	9
F01	7	3	9
PE05	5	6	9
PL01	7	5	9
Q04	7	4	9
I04	7	4	8
O09	6	5	8
PE11	7	5	9
I07	6	4	9
PL02	8	5	9

Figura 51. Representação dos centros finais dos agrupamentos.

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Cada um dos três níveis de classificação da complexidade de projetos passou a ser representada por um valor correspondente ao seu respectivo agrupamento. A **Tabela 28** mostra a associação entre as classificações e os valores de representação contidos na base de dados.

Tabela 28

Classificação da complexidade de projetos e valor de representação na base de dados

Classificação	Valor
Complexidade baixa	2
Complexidade média	1
Complexidade alta	3

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A **Figura 52** mostra a distribuição quantitativa dos 118 elementos do conjunto de dados após a aplicação do método de análise de agrupamentos k-means, considerando $k=3$.

Número de casos em cada cluster	
Cluster	1
	2
	3
Válido	118,000
Ausente	,000

Figura 52. Distribuição de elementos por agrupamento (*cluster*).

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Por fim, o resultado da aplicação da análise de agrupamentos possibilitou estabelecer rótulos e classificar as avaliações dos 10 fatores de complexidade feitas por cada um dos 118 profissionais da área de gerenciamento de projetos que participaram da 2ª fase da coleta de dados descritas na **Seção 3.5.2**. O produto final desse processo foi a criação da base de dados que serviu de referência para as demais fases da elaboração do modelo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

A base de dados utilizada por essa pesquisa é constituída por 118 observações, onde cada observação está associada a percepção de um profissional da área de gerenciamento de projetos que atuou ou atua com projetos ligados ao setor público brasileiro. Uma observação consiste de uma avaliação individual feita por um profissional da área de gerenciamento de projetos.

Cada profissional avaliou um conjunto de dez fatores de complexidade de projetos apontados como fatores de maior relevância para o aumento da complexidade na visão de especialistas em gerenciamento de projetos do setor público brasileiro. A avaliação de cada fator de complexidade foi feita usando uma escala de 0 a 10 onde atribuiu-se uma nota para cada fator de complexidade, sendo que 0 representou um nível de influência pouco significativo e 10 um nível de influência muito significativo para o aumento da complexidade de projetos.

No entanto, o conjunto de dados inicial não possuía uma coluna para representar a classificação do nível de complexidade. Tal fato, alinha-se com a dificuldade em medir a complexidade de projetos relatada por pesquisadores quando afirmam ser insuficientes as abordagens existentes (Fitsilis, Kameas, & Anthopoulos, 2011). Isto posto, aplicou-se o Método de Análise de Agrupamentos (*Clusters*) com base no algoritmo K-Means de modo a obter a classificação do nível de complexidade de cada observação do conjunto de dados. Os procedimentos realizados para aplicação do método de Análise de Clusters foram descritos na **Seção 4.1**.

Finalmente, a base de dados passou a ter em sua composição 118 observações representadas por 11 variáveis (colunas). Entre as onze variáveis, as dez primeiras estão associadas à avaliação dos fatores de complexidade e a última representa a classificação do nível de complexidade do projeto.

As dez variáveis que identificam os fatores de complexidade têm seus valores representados numa escala que vai de 0 a 10 para indicar o nível de influência do fator na

complexidade do projeto. A variável que identifica a classificação do nível de complexidade do projeto apresenta valores entre 1 e 3 de acordo com as regras descritas abaixo.

Quanto aos níveis de complexidade do projeto, definiu-se na **Seção 4.1** que seriam utilizadas três classificações (baixa, média, alta). Cada nível de complexidade foi representado por um valor numérico, sendo o número 2 para um nível de complexidade considerado como baixa, 1 para média e 3 para alta. A representação numérica foi definida de acordo numeração dos agrupamentos obtida como resultado da análise de agrupamentos feita com o auxílio do software *IBM SPSS Statistics® 22*.

A **Figura 53** apresenta estatísticas descritivas (média, desvio padrão e coeficiente de variação) e a descrição nominal e codificada de cada fator de complexidade que compõem a base de dados utilizada na pesquisa.

Fatores de Complexidade	N	Média	Desvio Padrão	CV
PL02 - Falta de clareza nas especificações do projeto.	118	8,10	2,044	,240
PE11 - Ausência de liderança no projeto.	118	8,10	2,292	,278
PL01 - Pouco planejamento do projeto	118	7,98	2,176	,267
Q04 - Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade do projeto.	118	7,94	2,165	,276
C01 - Presença de influências políticas no projeto.	118	7,81	2,556	,327
F01 - Mudanças e cortes orçamentários no projeto	118	7,66	2,372	,297
PE05 - Confiança nas pessoas envolvidas no projeto.	118	7,45	2,233	,282
I07 - Dificuldade no processo de aquisição de informação do projeto (Capturar Informações)	118	7,43	2,209	,283
I04 - Mudanças nas informações relacionadas com o projeto.	118	7,37	2,187	,296
O09 - Nível de Maturidade Organizacional.	118	7,15	2,263	,296
N válido (de lista)	118			

Figura 53. Estatísticas descritivas dos fatores de complexidade de projetos.

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

O **Apêndice K** contém informações da associação de cada um dos 118 elementos da base de dados com o seu respectivo agrupamento (*cluster*). A associação de um elemento ao agrupamento está representada pelos valores presentes na coluna *cluster*.

4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS

Segundo Tan et al. (2009), o pré-processamento de dados consiste de uma etapa onde se busca uma melhor adequação dos dados de modo a viabilizar e contribuir para o processo de aprendizagem de máquina. Faceli et al. (2011) reforçam essa afirmação quando dizem que

o pré-processamento tem sido utilizado com frequência para melhorar a qualidade dos dados eliminando imperfeições, incorretudes e inconsistências. Para estes autores, uma melhor qualidade dos dados pode contribuir para obtenção de modelos mais aderentes aos dados e ajudar a ampliar o uso da aprendizagem de máquina.

Algumas das etapas de pré-processamento sugeridas por Michie, Spiegelhalter, & Taylor (1994) foram realizadas na etapa de análise de dados feita na 2ª fase de coleta (ver **Seção 3.6.2**), entre elas a verificação de dados faltantes e avaliação da quantidade de categorias com a redução do número de fatores de complexidade a ser utilizado no modelo. Acrescentam-se a essas duas etapas, a verificação da existência de *outliers* que não está entre as etapas de pré-processamento sugeridas pelos autores. Dentre as demais etapas sugeridas, a existência várias bases de dados, a redução do número de observações e a presença de atributos hierárquicos não se aplicam a base de dados desta pesquisa. Por fim, não foi realizada uma análise de um possível viés de proporcionalidade decorrente de uma quantidade diferenciada de observações entre os agrupamentos.

De acordo com etapa de transformação dos dados sugerida por Faceli et al. (2011) deve-se realizar ajustes nos dados de modo a adequá-los aos requisitos estabelecidos pela técnica de aprendizagem de máquina que se deseja aplicar. Lorena (2006) cita que no caso de SVMs todos os dados devem estar normalizados e serem do tipo numérico. Para esta pesquisa, os atributos referentes aos fatores de complexidade foram definidos como numéricos e compartilhavam de uma mesma escala (valor inteiro de 0 a 10). No caso do atributo que representou a classificação do nível de complexidade do projeto se utilizou valores numéricos de 1 a 3. Sendo assim, não foi necessário nenhum tipo de transformação de dados.

4.4 SELEÇÃO DA TÉCNICA DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

Considerando que o objetivo desta tese foi construir um modelo capaz de classificar projetos quanto ao seu nível de complexidade, estabeleceu-se que este seria tratado como um problema de classificação usando técnicas de aprendizagem de máquina supervisionada para predição.

Tan et al. (2009) definiram a classificação como: “*a tarefa de aprender a partir de uma função alvo f que mapeie cada conjunto de atributos x para um dos rótulos de classe y pré-determinados*”. Estes mesmos autores afirmam que o modelo de classificação é representado pela função alvo f e pode ser utilizado tanto para modelagens descritivas, que se encarrega de

fazer a distinção entre objetos e classes, quanto preditivas, que tem o papel de prever a classe de uma observação não conhecida previamente.

Nos últimos anos, têm-se observado um avanço significativo no uso de técnicas de aprendizagem de máquina para predição (Luiz, Gaiardo, & da Silva, 2018). Dentre essas técnicas, os modelos baseados em Máquina de Vetores de Suporte (*Support Vector Machine* - SVM) têm se destacado na resolução de problemas de classificação por obter resultados semelhantes ou melhores, quando comparados ao uso com outras técnicas de AM (Burges, 1998; Cristianini & Shawe-Taylor, 2000; Faceli et al., 2011; Kowalczyk, 2017; Schölkopf, Burges, & Vapnik, 1996).

No entanto, considerou-se frágil justificar a opção por uso de uma técnica baseada em SVMs, unicamente, a partir da afirmação de pesquisadores quanto aos bons resultados obtidos por meio da aplicação em problemas de classificação com múltiplas classes. De modo a fortalecer o arcabouço teórico e embasar melhor a escolha, decidiu-se realizar uma simulação para comparar técnicas de classificação utilizadas juntamente com a aprendizagem de máquina. Realizar uma simulação com várias técnicas ajuda no processo de escolha da melhor técnica pois, segundo Faceli et al.(2011), não se consegue definir, previamente, qual deve ser a melhor técnica de aprendizagem de máquina a ser utilizada para resolução de um problema, já que existe uma dependência entre a técnica de aprendizagem de máquina e o conjunto de dados.

Sabe-se que os modelos preditivos são divididos em quatro categorias específicas com base em: distância, probabilidade, procura e otimização (Faceli et al., 2011). Sendo assim, escolheu-se uma técnica por categoria, mediu-se a acurácia de classificação e utilizou-se a métrica como critério de escolha a ser adotado na construção do modelo.

É importante ressaltar que, as buscas efetuadas durante o decorrer da pesquisa para construção do portfólio bibliográfico não localizaram nenhum modelo de mensuração da complexidade de projetos que fizesse menção ao uso de técnicas de aprendizagem de máquina no seu processo de construção. Diante dessa constatação, a adoção de qualquer uma das técnicas de AM se justificaria pela contribuição científica dada a área de gerenciamento de projetos, em especial à temática que abrange a complexidade de projetos e os seus modelos de mensuração. Sendo assim, decidiu-se como critério de escolha da técnica o melhor desempenho (acurácia) dentre as que foram escolhidas para simulação.

Para a etapa de simulação foram desenvolvidos algoritmos em linguagem Python para realizar o processo de aprendizagem de máquina, validar um conjunto de testes e calcular a acurácia das técnicas. Para tanto, utilizou-se as bibliotecas de aprendizagem de máquina pandas, numpy e scikit-learn.

Em cada uma das quatro categorias foi escolhido uma técnica de classificação conforme descrito abaixo:

- Baseados em Distância: *KNN (KNeighborsClassifier)*;
- Baseados em Probabilidades: *Gaussian Naive Bays (GaussianNB)*
- Baseados em Procura: *Decision Tree (DecisionTreeClassifier)*
- Baseados em Otimização: *SVC (Support Vector Classifier)*

A simulação foi feita considerando os parâmetros *default* definidos pela biblioteca de aprendizagem de máquina *scikit-learn*. Para a técnica baseada em SMV, foram feitas simulações utilizando as quatro funções *kernel* presentes na **Tabela 6**. Os percentuais de acurácia obtidos por cada algoritmo após a simulação estão dispostos na **Tabela 29**. Nesse caso, os algoritmos apresentados se relacionam diretamente com as técnicas selecionadas para simulação.

Tabela 29
Cálculo da acurácia – Algoritmos de Classificação

Algoritmo de Classificação	Acurácia
<i>KNN – KNeighborsClassifier ()</i>	83,33%
<i>Gaussian Naive Bays – GaussianNB()</i>	88,88%
<i>Decision Tree – DecisionTreeClassifier ()</i>	91,66%
<i>SVC (Support Vector Classifier () – com kernel rbf</i>	80,55%
<i>SVC (Support Vector Classifier () – com kernel linear</i>	91,66%
<i>SVC (Support Vector Classifier () – com kernel polinomial</i>	94,44%
<i>SVC (Support Vector Classifier () – com kernel sigmoidal</i>	58,33%

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Considerando os resultados relativos a acurácia dos algoritmos obtidos através da simulação, escolheu-se como técnica de aprendizagem de máquina o modelo baseado em SVM com o algoritmo de classificação SVC da biblioteca *scikit-learn*. Devido ao desempenho diferenciado obtido por meio da aplicação de funções *kernel* distintas, optou-se por utilizar a função do tipo polinomial, pois esta apresentou maior acurácia de classificação durante os procedimentos de simulação (94,44%) analisando de forma conjunta com os demais algoritmos. O algoritmo de SVC faz parte da família de algoritmos que utilizam SVMs para realizar classificação através da aprendizagem de máquina.

4.5 PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS

Após a escolha da técnica e do algoritmo, iniciou-se a etapa de planejamento e execução dos experimentos que resultariam no modelo de classificação da complexidade de projetos usando aprendizagem de máquina com SVM. Durante a etapa de planejamento, foram definidas três rodadas de experimentos cujo o objetivo era identificar a configuração do algoritmo que resultasse no maior índice de acurácia de classificação.

Antes de iniciar as rodadas de experimentos, a base de dados foi dividida em dois subconjuntos: treinamento e teste. De acordo com Faceli et al. (2011) esse procedimento visa a obtenção de resultados preditivos de maior confiabilidade sem inserir viés ao processo de classificação. Os autores recomendam que os subconjuntos sejam disjuntos, de modo que predições sejam realizadas com base em observações não utilizadas pelo conjunto de treinamento.

Para esta pesquisa, utilizou-se a estratégia *holdout* para divisão dos subconjuntos. A estratégia *holdout* consiste, basicamente, num método de separação baseado em proporções. Define-se uma proporção p a ser considerada para o conjunto de treinamento e em complemento a essa proporção ($q = p-1$) obtêm-se o conjunto de teste.

Na primeira rodada de experimentos, definiu-se $p=0,7$ como proporção para o conjunto de treinamento e, conseqüentemente, o conjunto de testes assumiu a proporção $q = 0,3$. Como a base de dados original possuía 118 observações, isto representou um total de 82 observações para o conjunto de treinamento e 36 para o conjunto de testes. A escolha das observações para compor cada conjunto foi feita com base na ordem das respostas contidas na base de dados. Nesse caso específico, as 82 primeiras observações presentes na base de dados formaram o conjunto de treinamento e as demais 36 observações constituíram o conjunto de teste. Foram definidos como parâmetros de execução:

- **Algoritmo:** padrão C-SVM da biblioteca LIBSVM utilizada pelo scikit-learn
- **Constante de Regularização (C)** = 1
- **Esquema de Classificação Multiclasses:** Um contra um (*One versus one*)
- **Grau do polinômio:** variando de 1 a 5

Para a segunda rodada de experimentos, decidiu-se inverter as proporções entre os conjuntos de treinamento e testes com a intenção de verificar qual o impacto, em termos de acurácia do modelo, seria gerado por esta inversão. Sendo assim, definiu-se $p=0,3$ como proporção para o conjunto de treinamento e $q=0,7$ para o conjunto de testes. Considerando a

mesma base de dados com 118 observações, isto representou um total de 36 observações para o conjunto de treinamento e 82 para o conjunto de testes. Foi utilizada a mesma estratégia de escolha das observações da primeira rodada. Para a esta rodada de experimentos, as 36 primeiras observações presentes na base de dados formaram o conjunto de treinamento e as demais 82 observações constituíram o conjunto de teste. Na segunda rodada de experimentos, manteve-se os mesmos parâmetros de execução definidos na primeira rodada

Por fim, na terceira rodada de experimentos, construiu-se diversos conjuntos de treinamento a partir de uma variação de 0,1 na proporção p de cada conjunto. Iniciou-se em 0,1 até atingir o valor de $p=0,7$. Como resultado, foram criados 7 conjuntos de treinamento contendo, cada um, a quantidade de observações correspondente a proporção dada por seu valor de p em relação a base de dados original. Assim como nas rodadas anteriores, foi mantida a estratégia de escolha das observações. A **Tabela 30** exibe a denominação dada para cada um dos 7 conjuntos de treinamento, seus respectivos valores de p e a quantidade de observações presentes em cada conjunto.

Tabela 30

Conjuntos de Treinamento - 3a Rodada de Experimentos

Denominação	p	Quantidade de Observações
BDTreinamento 10%	0,1	12
BDTreinamento 20%	0,2	24
BDTreinamento 30%	0,3	35
BDTreinamento 40%	0,4	47
BDTreinamento 50%	0,5	59
BDTreinamento 60%	0,6	71
BDTreinamento 70%	0,7	82

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

No tocante aos parâmetros de execução, manteve-se o algoritmo, o valor atribuído a constante de regularização e o esquema de classificação multiclases utilizados na duas rodadas de experimentos anteriores. Para o parâmetro de execução referente ao grau da função polinomial utilizada como função *kernel*, optou-se por escolher o grau que resultou em melhor acurácia do modelo preditivo, considerando as duas rodadas de experimentos realizadas

previamente. Com isso, buscou-se avaliar o impacto na acurácia do modelo preditivo para conjuntos de treinamento com menos observações.

4.6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos a partir das três rodadas de experimentos descritas na **Seção 4.5**. Conforme citado por Rezende (2003), é comum utilizar a taxa de erro ou de classificação como métrica para avaliar a qualidade de um modelo de predição. Outra métrica bastante utilizada é a acurácia, que corresponde a um complemento da taxa de erro ou de classificação. Nesse sentido, mede-se a acurácia de um modelo preditivo com base na **Equação 8**.

$$Acurácia = 1 - txErro$$

Equação 8. Acurácia de um Modelo Preditivo

onde, *txErro* representa a taxa de erros de predição, isto é, a proporção entre a quantidade de erros de classificação e o total de classificações (Faceli et al., 2011). A acurácia de um modelo preditivo assume valores entre 0 e 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam modelos preditivos de classificação com melhor índice de acerto. É possível também fazer uso de acurácia balanceada para avaliar o desempenho de um modelo preditivo com classes desbalanceadas, isto é, com quantidade de elementos diferentes entre as classes preditas. A acurácia balanceada é calculada a partir da média entre as acurácias individuais de cada uma das classes do modelo preditivo.

De acordo com Faceli et al. (2011), é possível fazer uso também da Matriz de Confusão como alternativa viável para avaliar o desempenho de um modelo de predição. A matriz apresenta o número de predições corretas e incorretas por cada uma das classes definidas no modelo. Numa matriz de confusão, as linhas representam as classes reais e as colunas as classes preditas. Para o caso de modelos gerados com base em SVMs, o uso dessas métricas se tornam ainda mais importantes para avaliação do desempenho. Considerados como modelos de “caixa-preta”, estes modelos escondem sua estrutura interna de funcionamento e dificultam a compreensão dos seus resultados. Com base nas métricas citadas, avaliou-se os resultados obtidos nas três rodadas de experimentos planejadas na **Seção 4.5**. Os resultados detalhados das três rodadas de experimentos estão descritos no **Apêndice N**.

A execução das três rodadas de experimentos foi feita com base no código desenvolvido em linguagem Python descrito no **Apêndice M**. Durante a execução dos experimentos foram realizados ajustes de modo a modificar parâmetros como o grau do polinômio, os conjuntos de

treinamento e testes e os vetores de classes de teste. Para a execução dos experimentos utilizou o software Spyder com o interpretador do Python.

Na primeira rodada de experimentos, objetivou-se avaliar como a métrica de acurácia do modelo preditivo se comportaria em simulações baseadas na alteração do grau do polinômio da função kernel. A alteração no grau da função polinomial busca refinar o ajuste da função *kernel* de modo a melhorar a separação dos dados pelos hiperplanos de separação. Os experimentos da primeira rodada tiveram como parâmetros de execução:

- **Algoritmo:** padrão C-SVM da biblioteca LIBSVM
- **Conjunto de Treinamento:** 70% das observações – 82 observações
- **Conjunto de Teste:** 30% das observações – 36 observações
- **Função kernel:** Polinomial
- **Constante de Regularização (C) = 1**
- **Esquema de Classificação Multiclasses:** Um contra um (*One versus one*)
- **Grau do polinômio:** variando de 1 a 5

Como resultado da 1ª Rodada de Experimentos, a acurácia do modelo preditivo apresentou um comportamento de crescimento diretamente proporcional ao aumento do grau da função polinomial. Com *grau=1* o modelo preditivo mostrou acurácia média de 88,88% e classificou de forma incorreta 4 elementos de um total de 36 elementos presentes no conjunto de teste. Já com o *grau=2* obteve-se uma acurácia média de 94,44% e reduziu os erros de classificação para um total de 2 elementos dentre o total de 36 elementos. Quando executado com *grau=3* o modelo preditivo ampliou sua acurácia média do modelo para 97,22% com um único elemento classificado incorretamente. Com os graus 4 e 5 obteve-se acurácia média de 100,00% e todos os 36 elementos do conjunto de testes foram classificados de forma correta.

Com base na análise individual de cada classe do modelo (complexidade baixa, complexidade média e complexidade alta), não foi observada nenhuma predominância significativa de erros de classificação atribuídas a uma classe específica.

É válido destacar que a definição dos parâmetros de execução impõe limitações aos experimentos e, consequentemente, aos resultados. Logo, não é recomendado conceber generalizações estatísticas a partir dos resultados. Sendo assim, durante a rodada de experimentos os valores observados da acurácia dos modelos preditivos serviram, unicamente, como parâmetros de orientação para escolha futura da configuração a ser adotada na construção do modelo.

Segundo dos Santos (2002), diversos autores sugerem a utilização de uma validação cruzada para definir o melhor valor de C para a resolução do problema. No entanto, o uso do valor *default* ($C=1$) trouxe resultados bastante satisfatórios para a acurácia do modelo. Logo, optou-se por não seguir essa recomendação mantendo o valor *default* para constante de regularização (C).

A acurácia obtida com a configuração 70% / 30%, que determinou o número de observações nos conjuntos de treinamento e teste, não pode ser vista como uma garantia para predição de outros conjuntos de testes com elementos desconhecidos. No entanto, considerando a 1ª rodada de experimentos, o modelo preditivo com a configuração de grau igual a 4 indica bons hiperplanos de separação de dados e, conseqüentemente, boa qualidade de classificação. A 1ª rodada de experimentos teve sua pior taxa de acertos (88,88%) no modelo com $\text{grau}=1$ e a melhor taxa de acertos (100,00%) com os graus 4 e 5.

A **Figura 54** mostra as matrizes de confusão dos experimentos realizados na 1ª rodada. É possível observar que o aumento do grau da função polinomial gera um efeito inverso com relação a quantidade de classificações incorretas.

<i>Grau = 1</i>				<i>Grau = 2</i>			
	C. Baixa	C. Média	C. Alta		C. Baixa	C. Média	C. Alta
C. Baixa	3	1	0	C. Baixa	4	0	0
C. Média	1	9	1	C. Média	1	10	0
C. Alta	0	1	20	C. Alta	0	1	20
<i>Grau = 3</i>				<i>Grau = 4</i>			
	C. Baixa	C. Média	C. Alta		C. Baixa	C. Média	C. Alta
C. Baixa	4	0	0	C. Baixa	4	0	0
C. Média	1	10	0	C. Média	0	11	0
C. Alta	0	0	21	C. Alta	0	0	21
<i>Grau = 5</i>							
	C. Baixa	C. Média	C. Alta				

C. Baixa	4	0	0
C. Média	0	11	0
C. Alta	0	0	21

Figura 54. Matrizes de Confusão - 1ª Rodada de Experimentos.

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Para a segunda rodada de experimentos, decidiu-se observar o desempenho dos modelos preditivos tendo como fundamento a diminuição do conjunto de treinamento e o aumento do conjunto de testes. Foram preparados novos conjuntos de treinamento e teste a partir da base de dados original. Utilizou-se a proporção $p=0,3$ para o conjunto de treinamento e $q=0,7$ para o conjunto de testes. De posse dos novos conjuntos de treinamento e teste, os experimentos foram executados seguindo o critério estabelecido da variação do grau da função polinomial. Os experimentos da segunda rodada tiveram como parâmetros de execução:

- **Algoritmo:** padrão C-SVM da biblioteca LIBSVM
- **Conjunto de Treinamento:** 30% das observações – 36 observações
- **Conjunto de Teste:** 70% das observações – 82 observações
- **Função kernel:** Polinomial
- **Constante de Regularização (C) = 1**
- **Esquema de Classificação Multiclasses:** Um contra um (*One versus one*)
- **Grau do polinômio:** variando de 1 a 5

Assim como na 1ª rodada de experimentos, obteve-se um aumento da acurácia média dos modelos preditivos com graus maiores na função polinomial. Na 2ª rodada de experimentos a pior acurácia média foi de 90,36%, para o *grau*=1. A melhor acurácia média foi de 95,18% obtida com grau da função igual a 3. Verificou-se também que não houve alteração da acurácia média quando se utilizou os graus 4 e 5, permanecendo em 95,18%.

Considerando a análise individual das classes (complexidade baixa, complexidade média e complexidade alta), observou-se uma maior predominância de erros de classificação na classe ‘Complexidade Média’, indicando a dificuldade do modelo preditivo em classificar esse tipo de projeto. As demais classes, ‘Complexidade Baixa’ e ‘Complexidade Alta’, apresentaram um comportamento constante (Complexidade Baixa = 98% e Complexidade Alta = 100%) com relação a precisão de classificação em todos nos experimentos da 2ª rodada.

Esses resultados sugerem que a quantidade de itens presentes no conjunto de treinamento, mesmo que em menor número, foi capaz de consolidar o aprendizado do modelo preditivo para classificar elementos dessas duas classes.

Pode-se supor que a quantidade menor de observações do conjunto de treinamento (36 observações) comprometeu, em parte, o aprendizado do modelo preditivo. Fato este que corrobora com a afirmação feita por dos Santos (2002) de que conjuntos de treinamentos pequenos reduzem a precisão de classificação de SVMs.

Essa constatação se fortaleceu quando se comparou a acurácia média nas duas rodadas de experimentos. Na primeira rodada, com o conjunto de treinamento maior, obteve-se como melhor acurácia média o valor de 100%. Já na segunda rodada, essa mesma acurácia se limitou a 95,18%.

A **Figura 55** mostra as matrizes de confusão dos experimentos realizados na 2ª rodada. É possível observar que a classe ‘Complexidade Média’ apresentou uma maior quantidade de erros de classificação, indicando um possível problema de aprendizagem do modelo devido a baixa quantidade de elementos dessa classe no conjunto de treinamento.

<i>Grau = 1</i>				<i>Grau = 2</i>			
	C. Baixa	C. Média	C. Alta		C. Baixa	C. Média	C. Alta
C. Baixa	7	0	0	C. Baixa	7	0	0
C. Média	3	15	4	C. Média	3	18	1
C. Alta	0	1	53	C. Alta	0	1	53
<i>Grau = 3</i>				<i>Grau = 4</i>			
	C. Baixa	C. Média	C. Alta		C. Baixa	C. Média	C. Alta
C. Baixa	7	0	0	C. Baixa	7	0	0
C. Média	2	19	1	C. Média	2	19	1
C. Alta	0	1	53	C. Alta	0	1	53
<i>Grau = 5</i>							
	C. Baixa	C. Média	C. Alta				

C. Baixa	7	0	0
C. Média	2	19	1
C. Alta	0	1	53

Figura 55. Matrizes de Confusão - 2ª Rodada de Experimentos.

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A 3ª rodada de experimentos examinou o impacto na acurácia média do modelo preditivo a partir da variação do tamanho do conjunto de treinamento. O objetivo dessa rodada de experimento foi verificar o comportamento da acurácia média tomando como base conjuntos de treinamento com quantidades crescentes de observações.

A partir da base de dados original (118 observações), foram construídos conjuntos de treinamento com quantidade de observações variando entre 10% e 70% do total de elementos da base de dados. O método de seleção das observações seguiu a sequência da base de dados original. Assim como na 1ª rodada de experimentos, manteve-se os 36 últimos elementos da base de dados, correspondente a 30% do total, para representar o conjunto de teste para validação do modelo.

Para decidir sobre o grau da função polinomial a ser utilizado para os experimentos, analisou-se de forma conjunta os resultados obtidos nas duas primeiras rodadas. Como o objetivo principal dos experimentos era ter um indicativo da melhor configuração dos parâmetros execução a serem utilizados na construção do modelo de classificação da complexidade de projetos, decidiu-se utilizar o grau de maior acurácia média nas duas etapas como sendo o grau a ser utilizado na 3ª rodada de experimentos. Portanto, foi utilizado o grau 4.

Os experimentos da terceira rodada tiveram como parâmetros de execução:

- **Algoritmo:** padrão C-SVM da biblioteca LIBSVM
- **Conjunto de Treinamento:** variando entre 10% e 70% do total de observações
- **Conjunto de Teste:** 30% das observações – 36 observações
- **Função kernel:** Polinomial
- **Constante de Regularização (C)** = 1
- **Esquema de Classificação Multiclasses:** Um contra um (*One versus one*)
- **Grau do polinômio:** 4

A terceira rodada apontou resultados satisfatórios para todos os tamanhos de conjuntos de treinamento considerando a acurácia média medida a partir de cada experimento. Os conjuntos de treinamento entre 10% e 30% do total de observações da base de dados original mantiveram os mesmos percentuais de acurácia média em 97,22%. Para os conjuntos de treinamento entre 40% e 50% a acurácia média do modelo preditivo foi de 94,44%. Com 60% a acurácia média voltou a ter valor de 97,22%. Por fim, com 70% obteve-se uma acurácia média de 100%.

Com base nos resultados da terceira etapa concluiu-se que o aumento do grau da função polinomial e o tamanho do conjunto de treinamento foram os parâmetros responsáveis pelo aumento da acurácia média do modelo preditivo. Porém, há que se considerar que a quantidade de observações presentes na base de dados original (118 observações) pode ter trazido limitações ao processo de aprendizado do modelo preditivo e, conseqüentemente, à sua validação. Com relação ao desbalanceamento das classes, este não demonstrou ser uma questão relevante no modelo aqui proposto.

Por fim, construiu-se o modelo de classificação da complexidade de projetos tomando como base os resultados das três rodadas de experimentos. Foram definidos os seguintes parâmetros de execução:

- **Algoritmo:** padrão C-SVM da biblioteca LIBSVM
- **Conjunto de Treinamento:** 70% do total de observações (82 observações)
- **Função kernel:** Polinomial
- **Constante de Regularização (C) = 1**
- **Esquema de Classificação Multiclasses:** Um contra um (*One versus one*)
- **Grau do polinômio:** 4

A construção de um modelo de classificação da complexidade de projetos usando aprendizagem de máquina demonstrou sua viabilidade e capacidade de solução de problemas práticos de gestão através de dados reais da percepção de profissionais e especialistas da área de gerenciamento de projetos.

De modo a criar uma identidade própria para o modelo desenvolvido durante esta pesquisa, adotou-se a sigla MCCP-PUB/BR (Modelo de Classificação da Complexidade de Projetos para o setor Público Brasileiro) da para sua representação.

O MCCP-PUB/BR encapsula toda a dificuldade decorrente do processo de mensuração da complexidade de projetos e fornece uma classificação baseada em três níveis (baixa, média,

alta) de complexidade. Buscou-se, antes de mais nada, projetar um modelo de fácil compreensão e utilização, que pudesse ser útil no dia a dia dos profissionais ligados à área de gerenciamento de projetos do setor público brasileiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão, por parte dos profissionais da área de gerenciamento de projetos, com relação a necessidade de inserção da componente “complexidade de projetos” no contexto da gestão de projetos tem contribuído para o surgimento de novas demandas por modelos e ferramentas que possam colaborar ativamente na mensuração da complexidade de projetos.

Neste sentido, esta tese construiu um modelo de classificação da complexidade de projetos, voltado para projetos do setor público brasileiro. Para tanto, utilizou técnicas de aprendizagem de máquina com o algoritmo de SVM. Em seu núcleo, a pesquisa concentrou esforços na compreensão do constructo da complexidade de projetos, na identificação e avaliação de fatores de complexidade e nos modelos de mensuração da complexidade de projetos.

Durante todo o percurso metodológico da pesquisa, buscou-se dar resposta a questão de pesquisa: “***Como classificar a complexidade de projetos no setor público brasileiro?***”.

Embora já existissem modelos de mensuração da complexidade de projetos, pode-se afirmar que a pesquisa trouxe como principal componente de ineditismo o uso da aprendizagem de máquina com SVMs que resultou na concepção de um modelo de classificação da complexidade de projetos que incorpora a aprendizagem baseada em experiências ao processo de classificação. Ademais, os modelos de mensuração da complexidade de projetos avaliados a partir de uma extensa revisão da literatura não contemplam a percepção dos profissionais brasileiros do setor público, visto que a grande maioria é resultado de pesquisas realizadas fora do contexto brasileiro.

Considera-se que a pesquisa cumpriu com os seus objetivos específicos, uma vez que:

- a) Realizou a revisão sistemática que resultou na construção de uma parte significativa do referencial teórico da pesquisa que aborda aspectos teóricos da temática Complexidade de Projetos explorando conceitos, modelos teóricos e instrumentos de mensuração (ver **Seções 2.2 e 3.2**);
- b) Identificou o conjunto de fatores que caracterizam a complexidade de projetos do setor público brasileiro por meio de um mapeamento de fatores de complexidade obtidos a partir de uma revisão da literatura e validados por uma pesquisa de campo junto aos especialistas e profissionais da área de gestão de projetos;

- c) Aplicou métodos e técnicas de aprendizagem de máquina para estruturar um modelo de classificação capaz de avaliar o nível de complexidade de projetos;

Na sequência do capítulo, as contribuições teóricas e práticas são apresentadas na **Seção 5.1**. Na **Seção 5.2**, apresentam-se as limitações da pesquisa que servirão de base para sugestão de possíveis trabalhos futuros, discutidos na **Seção 5.3**. Por fim, algumas conclusões são formuladas na **Seção 5.4**.

5.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

A principal contribuição teórica dada por esta pesquisa se deu na concepção de um modelo de classificação da complexidade de projetos para o setor público brasileiro, quanto ao seu nível de complexidade (baixa, média e alta). Neste sentido, o uso de técnicas de aprendizagem de máquina e do algoritmo de SVM agregou arcabouços teóricos não citados por estudos correlatos que se propuseram a construir modelos de mensuração da complexidade de projetos. Sendo, portanto, uma contribuição relevante para a área de pesquisas sobre complexidade de projetos, em especial sobre modelos de mensuração da complexidade de projetos.

No entanto, para que o objetivo geral da pesquisa fosse concretizado, outras contribuições teóricas e práticas podem ser associadas ao processo de desenvolvimento ocorrido durante as etapas desta pesquisa.

Como primeiras contribuições teóricas, destacam-se as proposições de dois novos conceitos. O primeiro, para o termo “gerenciamento de projetos” (ver **Seção 2.1.2**), buscou incorporar uma visão mais holística ao gerenciamento de projetos integrando definições tradicionais de gerenciamento de projetos às definições de complexidade de projetos propostas por Baccarini (1996), Brockmann & Girmscheid (2007), Vidal & Marle (2008) e Chapman (2016). Já o segundo, para o termo “complexidade de projetos” (ver **Seção 2.2.3**), teve como intuito reforçar a conexão com o gerenciamento de projetos e destacar questões importantes da complexidade de projetos como a imprevisibilidade e a dificuldade de mensuração.

Uma outra contribuição teórica da pesquisa se refere a proposição de um modelo teórico para a complexidade de projetos composto por 11 dimensões e 96 fatores de complexidade alocados entre estas dimensões. O modelo teórico foi concebido a partir de uma extensa revisão da literatura e de um mapeamento de fatores de complexidade de projetos e tomou como base doze estudos internacionais de relevância para a área de complexidade de projetos.

A revisão sistemática da literatura conduzida durante a pesquisa também pode ser considerada como uma contribuição teórica desta tese, em especial, para a temática de complexidade de projetos, pois elencou os principais trabalhos desenvolvidos dentro da temática, servindo como referência para o desenvolvimento de novos trabalhos na área. Ademais, contribui de forma prática e metodológica oferecendo aos acadêmicos, de qualquer área, um processo sistematizado para construção do “*estado da arte*” sobre um tema a ser pesquisado.

Por fim, a construção e disponibilização de uma base de dados contendo 118 observações que contemplam a avaliação de 10 fatores e sua respectiva classificação quanto ao nível de complexidade do projeto pode ser considerada como uma contribuição teórica para que pesquisas futuras promovam novos estudos tendo como referência uma base com dados reais da percepção de profissionais da área de gerenciamento de projetos do setor público brasileiro.

Sob o ponto vista das implicações gerenciais e práticas, a presente pesquisa propõe um modelo de classificação da complexidade de projetos que contempla um conjunto de fatores reduzido quando comparado aos modelos propostos por outros autores (Damasiotis & Fitsilis, 2015; Dao, Kermanshachi, Shane, & Anderson, 2016; A. T. Nguyen et al., 2015; Vidal et al., 2011a). O processo de mensuração a partir do MCCP-PUB/BR apresenta vantagens de uso, com relação aos modelos de mensuração presentes na literatura, pois faz uso de uma escala típica de 0 a 10, onde zero representa o menor nível e 10 o maior nível de complexidade de um dado fator de complexidade do projeto. Nesse sentido, a proposta simplificada de classificação da complexidade em três categorias (baixa, média e alta) poderá contribuir no processo de disseminação do modelo devido a baixa curva de aprendizado necessária para sua adoção.

Outra contribuição prática do MCCP-PUB/BR se refere ao uso da classificação do nível de complexidade de projetos no processo de tomada de decisão estratégica por parte de gestores. A utilização de indicadores que incorporem, efetivamente, a dimensão “complexidade” ao contexto da gestão de projetos pode estabelecer uma nova perspectiva ao processo de tomada de decisão estratégica.

Com relação à gestão pública, o MCCP-PUB/BR poderá contribuir como uma importante ferramenta de apoio à gestão de projetos se considerarmos uma nova perspectiva que surge a partir do reconhecimento da complexidade como uma dimensão importante para uma melhor gestão de projetos. Além disso, poderá ser útil para implementação de boas práticas de gestão associadas ao nível de complexidade dos projetos trazendo um novo olhar para o portfólio de projetos.

Sob o ponto de vista gerencial, a adoção do modelo MCCP-PUB/BR para avaliação da complexidade de projetos do setor público proporciona ao gestor público uma ferramenta para que possa realizar a avaliação da complexidade dos projetos públicos não só na etapa inicial de planejamento do projeto. O modelo MCCP-PUB/BR foi estruturado de modo que o gestor possa reavaliar a complexidade de um ou mais projetos do seu portfólio durante todo o ciclo de vida do projeto. Desse modo, com o uso do MCCP-PUB/BR será possível estabelecer como parâmetro as fases utilizadas para avaliação de projetos e políticas públicas (ex-ante, pari-passu e ex-post), dando ao gestor a flexibilidade para medir a complexidade de um ou mais projetos do seu portfólio durante todo o seu desenvolvimento.

Por fim, o uso do MCCP-PUB/BR possibilitará a construção de uma base de conhecimento sobre a complexidade de projetos do setor público brasileiro que poderá ser útil para aplicação em outras pesquisas da área de gerenciamento de projetos.

5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O processo de desenvolvimento da pesquisa apontou várias limitações que contemplam aspectos operacionais relativos à aplicação do Método Delphi e a mensuração da complexidade de projetos e adentram em aspectos técnicos inerentes a composição da base de dados e ao modelo proposto por esta tese.

Inicialmente, considerando a aplicação do Método Delphi para a coleta de dados com especialistas, a pesquisa limitou-se pela dificuldade em manter contato com os 16 especialistas para que pudessem participar de uma 2ª rodada onde deveriam validar o conjunto de 20 fatores considerados mais relevantes após procedimentos de análise de dados conduzidas pelo pesquisador. É importante destacar que esse procedimento de validação numa 2ª rodada com especialistas faz parte dos procedimentos previstos na aplicação do Método Delphi. De modo a minimizar os efeitos dessa limitação e não comprometer o andamento da pesquisa considerou-se que a validade do conjunto de fatores seria dada, unicamente, pelos resultados da análise de dados. No entanto, entende-se que o processo de validação dos fatores de complexidade através de uma 2ª rodada com os especialistas contribuiria para dar maior robustez aos resultados obtidos pela pesquisa.

Com relação a mensuração da Complexidade de Projetos, uma limitação que pode ser relatada pela pesquisa diz respeito a dificuldade tanto de especialistas, quanto de profissionais em medir a complexidade de projetos, seja pelo seu caráter subjetivo e/ou pela inexistência de um padrão conceitual que ajude na tarefa. Nesse sentido, dividir o processo de mensuração da

complexidade com a avaliação individual de fatores de complexidades contribuiu, em parte, para minimizar esse obstáculo. No entanto, permaneceu como limitação da pesquisa a capacidade de capturar, dentro de uma visão multifatorial, a representatividade das interações existentes entre os fatores que medem a complexidade de projetos segundo o modelo.

Sobre os aspectos técnicos, considerou-se como uma das limitações da pesquisa o fato das informações que deram origem a base de dados não manterem nenhum tipo de associação prévia com a avaliação de projetos. Durante as fases de coleta de dados, em virtude da pouca vivência de profissionais e especialistas brasileiros com modelos de mensuração de complexidade de projetos, optou-se por coletar informações sobre a percepção desses profissionais sem associá-la especificamente a um dado projeto. Entretanto, a implementação de um modelo de classificação da complexidade que passe a ser utilizado pelos profissionais tende a ampliar a compreensão do conceito de complexidade de projetos e, conseqüentemente, suprimir essa limitação em trabalhos futuros.

No que concerne ao recorte feito pela pesquisa, este diminuiu o universo de possíveis colaboradores e impôs a necessidade de perfis específicos para os respondentes da pesquisa. Tal fato trouxe como limitação à pesquisa uma maior dificuldade para identificação de possíveis respondentes com perfil aderente aos requisitos estabelecidos para compor a amostra. Somado a isso, a decisão de incorporar, exclusivamente, a percepção de complexidade de projetos de profissionais que atuam ou já atuaram no setor público do Brasil acabou por reduzir a capacidade de generalização do modelo. Tornando-se, portanto, uma limitação quanto aos resultados da pesquisa.

Ainda sobre aspectos técnicos, identificou-se duas limitações pertencentes ao modelo de classificação da complexidade de projetos proposto nesta tese:

1. Atribuição de pesos aos fatores de complexidade;
2. Aprendizagem limitada a construção do modelo;

Com relação à primeira, o modelo proposto pela pesquisa trouxe como limitação a impossibilidade de classificar a complexidade de projetos atribuindo pesos distintos entre os fatores de complexidade. No modelo desenvolvido por esta pesquisa, cada um dos 10 fatores contribui igualmente no processo de classificação da complexidade do projeto. Sendo assim, não é possível atribuir pesos diferenciados a cada um dos fatores de complexidade, portanto, pode-se considerar como uma limitação do modelo desenvolvido nesta pesquisa.

No entanto, é válido destacar que num primeiro momento, a inserção de pesos diferenciados ao modelo ampliaria a quantidade de dados a serem informados para obter a classificação da complexidade do projeto, visto que, ao invés de avaliar somente 10 fatores de complexidade, o usuário teria que estabelecer outros 10 valores de peso para cada um dos fatores, totalizando 20 informações. Considerando que um dos objetivos propostos pelo modelo consiste em facilitar a mensuração da complexidade de projetos, optou-se por manter o modelo com pesos fixos e assumiu-se esta limitação como uma decisão estratégica de pesquisa.

No que diz respeito a segunda, a pesquisa limitou-se a utilizar os procedimentos de aprendizagem de máquina, exclusivamente, durante o processo de construção do modelo de classificação da complexidade de projetos. No entanto, é comum em modelos robustos de aprendizagem de máquina pressupor um processo de aprendizagem contínua. Nesse caso, novas experiências deveriam ser incorporadas ao modelo de forma automatizada permitindo que este pudesse se ajustar melhor ao seu novo conjunto de experiências. A decisão por não incorporar essa característica ao modelo da pesquisa baseou-se, unicamente, no fato de que o objetivo principal da pesquisa foi construir um modelo que fosse capaz de classificar os projetos quanto ao seu nível de complexidade. Neste caso, o modelo resultante da pesquisa cumpriu com este objetivo.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

A partir das limitações identificadas na **Seção 5.3**, foi possível enumerar algumas sugestões de trabalhos futuros visando dar continuidade a pesquisa:

1. Elaborar um estudo de maior amplitude com especialistas da área de gestão de projetos para validação do conjunto de fatores de complexidade de projetos;
2. Propor a criação de um modelo de classificação da complexidade de projetos que reflita a percepção de profissionais da área de gestão de projetos do setor privado brasileiro e elaborar um estudo comparativo entre os dois modelos;
3. Realizar um estudo com múltiplos casos para avaliar a precisão do modelo em portfólios de projetos de diferentes órgãos da administração pública e promover um análise comparativa entre os resultados obtidos por cada um dos portfólios;

4. Construir um modelo que considere a atribuição pesos distintos entres os fatores no processo de mensuração da complexidade de projetos;
5. Implementar a aprendizagem contínua através das experiências resultantes do uso do modelo de classificação da complexidade de projetos de modo a incorporar novos casos ao modelo;
6. Desenvolver uma ferramenta de software que incorpore o modelo de classificação da complexidade de projetos para aplicação em testes reais de classificação de projetos e contribua para sanar o problema da coleta de dados sem associação a projetos específicos;
7. Realizar experimentos fazendo uso de outras técnicas de aprendizagem de máquina e compará-las ao uso do SVM para classificação da complexidade de projetos;

5.4 CONCLUSÕES

Esta tese de Doutorado criou um modelo de mensuração da complexidade de projetos (MCCP-PUB/BR) para classificação de projetos quanto ao seu nível de complexidade (baixa, média, alta) e servir de ferramenta de apoio aos profissionais e gestores que atuam com gerenciamento de projetos no setor público brasileiro.

Preliminarmente, conclui-se a partir da pesquisa que, a alocação de fatores em dimensões de complexidade não os exclui do compartilhamento de interações e interações entre si. Logo, mantêm-se em aberto a compreensão sobre como mensurar esses relacionamentos e seu impacto global na complexidade de projetos.

Como outra conclusão da pesquisa, a adoção de técnicas de aprendizagem de máquina para construção de modelos de classificação da complexidade de projetos se mostrou uma oportunidade viável por possibilitar a construção de um modelo de mensuração da complexidade de projetos baseado em experiências. Somado a isso, este tipo de modelo apresenta como característica relevante, a possibilidade de evoluir a partir do acúmulo novas experiências.

Os resultados obtidos pelo MCCP-PUB/BR a partir de um processo de validação contendo 36 casos de teses indicaram uma acurácia média de 100% na classificação do nível de complexidade dos projetos, tomando como base um estudo comparativo dos resultados esperados *versus* resultados preditos pelo modelo. O índice de precisão evidencia a qualidade de classificação do modelo de aprendizagem de máquina desenvolvido por esta pesquisa.

Sob o ponto de vista prático, a disponibilização do MCCP-PUB/BR busca confrontar-se com a ideia de que os modelos de mensuração existentes não são instrumentos intuitivos para serem utilizados por usuários finais e que seus resultados são difíceis de comunicar por não fazer uso de padrões conhecidos que facilitem a compreensão (Vidal, Marle, & Bocquet, 2011a; Poveda Bautista et al., 2018).

Nesse sentido, toda a concepção do MCCP-PUB/BR esteve alicerçada na ideia de construir um modelo que apresentasse robustez sob o ponto de vista teórico e incorporasse em seu núcleo características que favorecessem a usabilidade com uma curva de aprendizado reduzida. Para tanto, o uso dos dez fatores de complexidade de maior relevância, a avaliação cada fator de complexidade usando uma escala de 0 a 10 pontos e a definição de somente três níveis de classificação da complexidade de projetos com base numa escala ascendente (baixa, média, alta) buscou facilitar e tornar mais intuitivo o uso do MMCP-PUB/BR, contrariando as afirmações feitas por Vidal, Marle, & Bocquet (2011a) e Poveda Bautista et al. (2018).

Isto posto, conclui-se que o MCCP-PUB/BR pode incorporar uma nova perspectiva ao gerenciamento de projetos do setor público brasileiro, pois está ancorada num modelo de fácil utilização e compreensão e que se propõe a considerar a classificação do nível de complexidade de projetos como uma dimensão a mais na avaliação do sucesso ou fracasso de projetos, na priorização de projetos em portfólios e na definição de boas práticas de projetos que possam favorecer a estratégia organizacional.

Numa visão voltada ao gestor de projetos, o MCCP-PUB/BR o habilita a classificar o nível de complexidade de cada um dos seus projetos, além de acompanhar a complexidade durante o ciclo de vida a partir de medições realizadas no decorrer do projeto. Conclui-se, portanto, que a inclusão da dimensão complexidade ajudará ao gestor de projetos a ter uma visão mais abrangente e holística para a tomada de decisão referente aos projetos, pois com uso do MCCP-PUB/BR assume-se a existência de um novo indicador de desempenho e decisão para compor o triângulo de ferro.

Ademais, o uso do MCCP-PUB/BR possibilitará ao gestores de projetos públicos realizarem um acompanhamento da evolução dos níveis de complexidade dos projetos pertencentes ao seu portfólio durante o ciclo de vida do projeto, podendo atuar de forma proativa para resolução de problemas ou direcionamento de atividades com base numa análise do nível de complexidade do projeto. A possibilidade de avaliar o nível de complexidade em qualquer etapa do projeto, traz uma melhor compreensão da evolução do projeto e possibilita ao gestor uma visão mais detalhada dos fatores que atuam direta ou indiretamente no aumento

ou diminuição dos níveis de complexidade do projeto, bem como auxilia o gestor na tomada de decisão para evitar que a complexidade possa comprometer o sucesso do projeto.

Ainda sob o aspecto gerencial, conclui-se a adoção do MCCP-PUB/BR poderá estabelecer um modelo de classificação da complexidade de projetos padronizado dentro do setor público brasileiro, facilitando o desenvolvimento de análises comparativas entre projetos de portfólios distintos sob a dimensão da complexidade. Sendo assim, o nível de complexidade medido através do MCCP-PUB/BR pode ser utilizado como um dos indicadores de referência para órgãos públicos avaliarem os resultados dos seus projetos.

Vale ressaltar que a pesquisa não teve pretensão de ser considerada completa, pois apresentou limitações em termos amostrais e não se propôs a fazer generalizações estatísticas em virtude do método de aprendizagem de máquina se mostrar inadequado para esse tipo de inferência. Portanto, os resultados obtidos no processo de validação podem variar a depender do conjunto de teste utilizado. No entanto, os resultados obtidos a partir das três rodadas de experimentos sugerem que as variações percentuais na acurácia média não demonstram potencial significativo que possa comprometer o desempenho geral do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdou, S. M., Yong, K., & Othman, M. (2016). Project Complexity Influence on Project management performance – The Malaysian perspective. *MATEC Web of Conferences*, 66, 00065. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166600065>
- Afonso, M. H. F., Souza, J. V. de, Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2012). Como Construir Conhecimento Sobre O Tema De Pesquisa? Aplicação Do Processo Proknow-C Na Busca De Literatura Sobre Avaliação Do Desenvolvimento Sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5(2). <https://doi.org/10.5773/rgsa.v5i2.424>
- Aggarwal, C. C. (2017). *Outlier Analysis. Artificial Intelligence Review* (2nd ed., Vol. 24). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47578-3>
- Andrade Neto, A. N., & Vacovski, E. (2017). O gerenciamento de projeto e sua importância para a qualidade e a efetividade no setor público. *Gestão Pública*, 8(5), 16.
- Araujo, A. R. S., Moura, H. P. De, & França, C. (2015). Complexity within software development projects: An exploratory overview. *Revista Gestão.Org*, 3(Edição Especial), 445–455.
- Atkinson, R. (1999). Project-management--cost--time-and-quality--two-best_1999_International-Jour. *International Journal of Project Management*, 17(6), 337–342. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00069-6)
- Azim, S. M. (2010). *Understanding and Managing Project Complexity*. University of Manchester.
- Azim, S. M., Gale, A., Lawlor-Wright, T., Kirkham, R., Khan, A., & Alam, M. (2010). The importance of soft skills in complex projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 3(3), 387–401. <https://doi.org/10.1108/17538371011056048>
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201–204. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00093-3](https://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00093-3)
- Bakhshi, J., Ireland, V., & Gorod, A. (2016). Clarifying the project complexity construct: Past, present and future. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1199–1213. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.002>
- Barbosa, J. J., Pereira, T. M., & Oliveira, F. L. P. de. (2018). Uma proposta para identificação de outliers multivariados. *Ciência e Natura*, 40, 40. <https://doi.org/10.5902/2179460X29535>
- Bertalanffy, L. von. (2010). *Teoria geral dos sistemas - fundamentos, desenvolvimento e aplicações* (5a ed). Petrópolis: Editora Vozes.
- Bertelsen, S. (2003). Complexity – Construction in a New Perspective. *11th Annual Conference in the International Group for Lean Construction*, 1–12.
- Bholowalia, P., & Kumar, A. (2014). EBK-Means: A Clustering Technique based on Elbow Method and K-Means in WSN. *International Journal of Computer Applications*, 105(9), 17–24. Retrieved from <https://www.ijcaonline.org/archives/volume105/number9/18405-9674>
- Bosch-Rekveltdt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H., & Verbraeck, A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6),

- 728–739. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.008>
- Burges, C. J. C. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 121–167. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21196.x>
- Câmara, R. (2015). SVM – Entendendo Sua Matemática – Parte 1 – A Margem. Retrieved June 12, 2019, from <http://www.decom.ufop.br/imobilis/svm-entendendo-sua-matematica-parte-1-a-margem/>
- Chapman, R. J. (2016). A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects. *International Journal of Project Management*, 34(6), 937–956. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.05.001>
- Cicmil, S., Williams, T., Thomas, J., & Hodgson, D. (2006). Rethinking Project Management: Researching the actuality of projects. *International Journal of Project Management*, 24(8), 675–686. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.08.006>
- Cousineau, D., & Chartier, S. (2010). Outliers detection and treatment: a review. *International Journal of Psychological Research*, 3(1), 58. <https://doi.org/10.21500/20112084.844>
- Cristianini, N., & Shawe-Taylor, J. (2000). *An Introduction to Support Vector Machines and other kernel-based learning methods*. Cambridge University Press.
- Curlee, W., & Gordon, R. L. (2010). *Complexity theory and project management*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3), 458–467.
- Damasiotis, V., & Fitsilis, P. (2015). Assessing Software Project Management Complexity: PMCAT tool. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 312, 235–242. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06764-3>
- Damasiotis, V., Fitsilis, P., Considine, P., & O’Kane, J. (2017a). Analysis of software project complexity factors. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences - ICMSS '17* (pp. 54–58). <https://doi.org/10.1145/3034950.3034989>
- Damasiotis, V., Fitsilis, P., Considine, P., & O’Kane, J. (2017b). Analysis of software project complexity factors. *Proceedings of the 2017 International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences - ICMSS '17*, 54–58. <https://doi.org/10.1145/3034950.3034989>
- Daña, J. (2014). *Chaos Theory in Project Management*. Masarykova univerzita.
- Dao, B. (2016). *Exploring and measuring project complexity*. Texas A&M University.
- Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., & Anderson, S. (2016). Project Complexity Assessment and Management Tool. *Procedia Engineering*, 145, 491–496. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.026>
- Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., & Hare, E. (2016). Exploring and Assessing Project Complexity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(5), 04016126. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001275](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001275)
- de Lima, F. J., Cirqueira, J. C., Pinto, V. C., & de Souza, W. A. da R. (2017). Gerenciamento de Projetos : Um Modelo de Monitoramento e Controle de Projetos Públicos Executados

- com Recursos de Transferências Voluntárias. *Revista de Gestão e Projetos*, 8, 102–117. <https://doi.org/10.5585/gep.v8i1.485>
- de Mello, R. F., & Ponti, M. A. (2018). *Machine Learning: A Practical Approach on the Statistical Learning Theory*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94989-5>
- de Souza, E. G., & Reinhard, N. (2015). Uma Revisão Bibliográfica dos Fatores Ambientais que Influenciam a Gestão de Projetos de Sistemas de Informação no Setor Público. *Revista de Gestão e Projetos*, 06(02), 27–41. <https://doi.org/10.5585/gep.v6i2.226>
- dos Santos, E. M. (2002). *Teoria e aplicação de Support Vector Machines à aprendizagem e reconhecimento de objetos baseados na aparência*. Universidade Federal da Paraíba - Campus II.
- Dunović, I. B., Radujković, M., & Škreb, K. A. (2014). Towards a New Model of Complexity – The Case of Large Infrastructure Projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 730–738. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.082>
- Ensslin, L., Ensslin, S. R., Lacerda, R. T. D. O., & Tasca, J. E. (2010). ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. Brasil: Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil, 10(4), 2015.
- Ensslin, L., Ensslin, S. R., & Pacheco, G. C. (2012). Um estudo sobre segurança em estádios de futebol baseado na análise bibliométrica da literatura internacional. *Perspectivas Em Ciência Da Informação*, 17(2), 71–91. <https://doi.org/10.1590/S1413-99362012000200006>
- Faceli, K., Lorena, A. C., Gama, J., & Carvalho, A. C. P. L. F. (2011). *Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina*. Rio de Janeiro: LTC Editora.
- Fávero, L. P., & Belfiore, P. (2017). *Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®* (1st ed.). Elsevier Brasil.
- Fitsilis, P. (2009). Measuring the complexity of software projects. *2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering, CSIE 2009*, 7(May 2009), 644–648. <https://doi.org/10.1109/CSIE.2009.936>
- Fitsilis, P., & Damasiotis, V. (2015). Software Project's Complexity Measurement: A Case Study. *Journal of Software Engineering and Applications*, 08(10), 549–556. <https://doi.org/10.4236/jsea.2015.810052>
- Fitsilis, P., Kameas, A., & Anthopoulos, L. G. (2011). Classification of Software Projects' Complexity. In J. Pokorny, V. Repa, K. Richta, W. Wojtkowski, H. Linger, C. Barry, & M. Lang (Eds.), *Information Systems Development* (pp. 149–159). New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9790-6>
- Geraldi, J., & Adlbrecht, G. (2007). On Faith, Fact, and Interaction in Projects. *Project Management Journal*, 12(1), 32–44.
- Geraldi, J., Maylor, H., & Williams, T. (2011). Now, let's make it really complex (complicated): A systematic review of the complexities of projects. *International Journal of Operations and Production Management*, 31(9), 966–990. <https://doi.org/10.1108/01443571111165848>
- Ghosh, B. S., Forrest, D., Dinetta, T., Wolfe, B., & Lambert, D. C. (2012). Enhance PMBOK® by Comparing it with P2M, ICB, PRINCE2, APM and Scrum Project Management Standards. *PM World Journal*, XIV(I), 1–77. <https://doi.org/10.1111/j.1475->

6765.2009.01902.x

- Gidado, K. I. (1996). Project complexity: The focal point of construction production planning. *Construction Management and Economics*, 14(3), 213–225.
<https://doi.org/10.1080/014461996373476>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas De Pesquisa Social*. (Editora Atlas S.A, Ed.) (6a ed.). São Paulo: Editora Atlas.
- Gilson, M., Feitosa, G., & Souza, B. C. De. (2018). Elementos-base para Modelo de Gestão de Projeto na Esfera Pública Brasileira: uma proposição. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 9(2), 1–19.
- Gleick, J. (1989). *Caos a criação de uma nova ciência* (16a ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Gonçalves, A. R. (2009). Máquina de Vetores Suporte.
- Gul, S., & Khan, S. (2011). Revisiting Project Complexity : Towards a Comprehensive Model of Project Complexity, 15.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: a comprehensive foundation* (2nd ed.). Hamilton: Prentice Hall, Inc.
- He, Q., Luo, L., Hu, Y., & Chan, A. P. C. (2015). Measuring the complexity of mega construction projects in China-A fuzzy analytic network process analysis. *International Journal of Project Management*, 33(3), 549–563.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.07.009>
- He, Q., Luo, L., Wang, J., Li, Y., & Zhao, L. (2012). Using analytic network process to analyze influencing factors of project complexity. *International Conference on Management Science and Engineering - Annual Conference Proceedings*, 1781–1786.
<https://doi.org/10.1109/ICMSE.2012.6414413>
- Higgins, J. P. T., & Green, S. (2008). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Willey Online Library. <https://doi.org/10.1002/9780470712184>
- Hodge, D. R., & Gillespie, D. (2003). Phrase completions: An alternative to Likert scales. *Social Work Research*, 27(1), 45–55. <https://doi.org/10.1093/swr/27.1.45>
- Hsu, C., & Ohio, T. (2007). The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. *Practical Assessment Research and Evaluation*, 12(10), 1–8.
- Hussein, B. A., Silva, P. P., & Pigagaite, G. (2013). Perception of Complexities in Development Projects. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013 IEEE 7th International Conference On*, 2(September), 537–542.
<https://doi.org/10.1109/IDAACS.2013.6662982>
- IPMA. (2006). *ICB - IPMA Competence Baseline, Version 3.0*. IPMA® - International Project Management Association. Nijkerk, The Netherlands: International Project Management Association.
- Kassel, D. S. (2010). *Managing public sector projects - A Strategic Framework for Success in an Era of Downsized Government*. (T. & F. Group, Ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
<https://doi.org/10.1097/IGC.0b013e318221eb92>
- Kelleher, J. D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2015). *Fundamental of Machine Learning for predictive Data Analytics: algorithms, worked examples, and case studies*. The Mit Press.
- Kermanshachi, S., Dao, B., Shane, J., & Anderson, S. (2016). An Empirical Study into

- Identifying Project Complexity Management Strategies. *Procedia Engineering*, 145, 603–610. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.050>
- Kerzner, H. (2009). *Project Management - A system approach to planning, scheduling and controlling* (10th ed). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90164-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90164-3)
- Kerzner, H. (2014). *Gestão de Projetos: as melhores práticas* (3a ed). Bookman Editora.
- Kian, M. R. E., Sun, M., & Bosché, F. (2016). A Consistency-checking Consensus-building Method to Assess Complexity of Energy Megaprojects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 226(October 2015), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.160>
- Kowalczyk, A. (2017). *Support Vector Machines Succinctly*. Morrisville: Syncfusion. Retrieved from www.syncfusion.com.
- Lafetá, F. G. (2016). *Projetos Complexos: Estudo de caso sobre Gestão de Projetos e Complexidade em uma Empresa de Energia*. Universidade Federal Fluminense.
- Lafetá, F. G., Barros, C. de O., & Leal, P. D. (2016). Projetos Complexos: Estudo de Caso sobre a Complexidade dos Projetos de Engenharia de Telecomunicações em uma Empresa do Setor de Óleo e Gás. *Revista de Gestão e Projetos*, 07(01), 41–55. <https://doi.org/10.5585/gep.v7i1.382>
- Larson, E. W., & Gobeli, D. H. (1989). Significance of project management structure on development success. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 36(2), 119–125.
- Lima, A. R. G. (2002). *Máquinas de Vetores Suporte na Classificação de Impressões Digitais*. Universidade Federal do Ceará.
- Lock, D. (2007). *Project Management* (9th ed.). Hampshire: Gower Publishing Company.
- Lorena, A. C. (2006). Investigação de estratégias para a geração de máquinas de vetores de suporte multiclases. *Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Doutor em*, 203. <https://doi.org/10.11606/T.55.2006.tde-26052006-111406>
- Lorena, A. C., & Carvalho, A. C. P. L. F. (2003). *Introdução às Máquinas de Vetores de Suporte*. São Carlos.
- Lorena, A. C., & Carvalho, A. C. P. L. F. (2007). Uma Introdução às Support Vector Machines. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 14(2), 43–67. <https://doi.org/10.22456/2175-2745.5690>
- Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., & Shi, Q. (2015). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International Journal of Project Management*, 33(3), 610–622. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.12.005>
- Ludwig, B. (1997). Predicting the future: have you considered using Delphi methodology? *Journal of Extension*, 35(5), 1–4. Retrieved from <https://www.joe.org/joe/1997october/tt2.php/02/2003>
- Luiz, T. B. P., Gaiardo, G. F., & da Silva, J. L. S. (2018). Utilização de máquina de vetor de suporte para previsão de níveis de água subterrânea. *Águas Subterrâneas*, 32(1), 25–34. <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28921>
- Lukosevicius, A. P. (2015). *Modelo de Avaliação da Complexidade Relativa em Portfólio de Projetos de Engenharia Civil*. Universidade Federal Fluminense - UFF.

- Lukosevicius, A. P., Marchisotti, G. G., & Soares, C. A. P. (2016). Panorama da complexidade: principais correntes, definições e constructos. *Sistemas & Gestão*, 11(4), 455. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n4.1157>
- Lukosevicius, A. P., Soares, C. A. P., Joia, L. A., Lukosevicius, A. P., Soares, C. A. P., & Joia, L. A. (2017). Caracterização da complexidade em projetos de engenharia. *Gestão & Produção*, (0), 0–0. <https://doi.org/10.1590/0104-530x2957-16>
- Maximiano, A. C. A. (2010). *Administração de projetos: como transformar ideias em resultados*. Editora Atlas.
- Maylor, H., Vidgen, R., & Stephen, C. (2008). Managerial Complexity in Project-Based Operations: A Grounded Model and Its Implications for Practice. *Project Management Journal*, 39(1), 15–26. <https://doi.org/10.1002/pmj>
- Medeiros, B. C. (2017). *Life Cycle Canvas (LCC): análise de um modelo de gestão visual para o planejamento de projetos*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Retrieved from <http://www.albayan.ae>
- Michel, M. H. (2009). *Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais*. (Atlas, Ed.) (2. ed.). São Paulo: Editora Atlas S.A.
- Michie, D., Spiegelhalter, D. J., & Taylor, C. C. (1994). *Machine Learning, Neural, and Statistical Classification*. Ellis Horwood. <https://doi.org/10.2307/2291432>
- Mohri, M., Rostamizadeh, A., & Talwalkar, A. (2018). *Foundations of Machine Learning* (2nd ed.). London: The Mit Press.
- Morin, E. (1984). *Ciencia con consciencia*. Barcelona: Anthropos.
- Naveira, R. B. (1998). Caos e complexidade nas organizações. *Revista de Administração Pública*, 32(5), 69–80. <https://doi.org/10.1080/07391102.2013.817953>
- Neto, F. S., & Piscopo, M. R. (2015). Knowledge Evolution on Complex Projects: a Scientific Production Analysis. *Revista De Gestao E Secretariado-Gesec*, 6(3), 91–116. <https://doi.org/10.7769/gesec.6i3.434>
- Newman, M. E. (2011). Complex systems: A survey. *ArXiv Preprint ArXiv:1112.1440*. <https://doi.org/10.1039/c8me00031j>
- Nguyen, A. T., Nguyen, L. D., Le-Hoi, L., & Dang, C. N. (2015). Quantifying the complexity of transportation projects using the fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1364–1376. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.007>
- Nguyen, L. D., Tran, D. Q., Nguyen, A. T., & Le-Hoi, L. (2016). Computational model for measuring project complexity in construction. *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2016.7851609>
- Oehmen, J., Thuesen, C., Parraguez Ruiz, P., & Geraldi, J. (2015). *Complexity management for projects, programmes, and portfolios: An engineering systems perspective*.
- Oliveira, G. M. G. de. (2014). *Ajuste de parâmetros em algoritmos de aprendizado de máquina utilizando transferência de aprendizado*. Universidade Federal do ABC.
- Oliveira, R. R., Martins, H. C., Dias, A. T., & Monteiro, P. R. R. (2014). Uma proposta de instrumento de pesquisa para a avaliação do desempenho do Escritório de Gerenciamentos de Projetos. *Revista de Gestão e Projetos*, 5(1), 84–99.

<https://doi.org/10.5585/gep.v5i1.222>

- Olsen, R. P. (1971). Can project management be defined? Project Management Institute.
- Osgood, C. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. H. (1957). *The measurement of meaning*. University of Illinois press.
- Padalkar, M., & Gopinath, S. (2016a). Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management? A taxonomical examination from literature. *International Journal of Project Management*, 34(4), 688–700. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.02.009>
- Padalkar, M., & Gopinath, S. (2016b). Six decades of project management research: Thematic trends and future opportunities. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1305–1321. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.006>
- Passos, M. F. D., & Laros, J. A. (2015). Construction of an abbreviated Five-Factor personality scale. *Revista Avaliação Psicológica*, 14(1), 115–123. <https://doi.org/10.15689/ap.2015.1401.13>
- Perrow, C. (1965). Hospitals: technology, structure, and goals. *Handbook of Organizations*, 650–677.
- Peters, B. G. (2008). Os dois futuros do ato de governar: processos de descentralização e recentralização no ato de governar. *Revista Do Serviço Público*, 59(3), 289–307. <https://doi.org/10.21874/RSP.V59I3.151>
- Pinto, J. de S. (2012). *Variáveis dos Atributos Complexidade e Incerteza em Projetos: proposta de criação de Escala de Mensuração*. Universidade de Campinas - UNICAMP.
- PMI. (2006). *Government Extension to the PMBOK Guide Third Edition*. Project Management Institute, Inc. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-09-0414> [pii]
- PMI. (2013a). *PMI's Pulse of the Profession In Depth Report: Navigating Complexity (USA)*.
- PMI. (2013b). *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®). — Quinta edição*. Project Management Institute, Inc (5a ed.). Project Management Institute.
- Ponchirolli, O. (2007). A TEORIA DA COMPLEXIDADE E AS ORGANIZAÇÕES The Theory of the Complexity and the Organizations O surgimento de um novo paradigma, 81–100. <https://doi.org/10.1111/corg.12093>
- Poveda Bautista, R., Diego Mas, J. A., & Leon Medina, D. (2018). Measuring the Project Management Complexity : The case of Information Technology Projects . *Complexity*, 2018.
- Qureshi, S. M., & Kang, C. W. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.04.006>
- Remington, K., & Pollack, J. (2007). *Tools for Complex Projects*. Gower Publishing Limited.
- Remington, K., Zolin, R., & Turner, R. (2009). A Model of Project Complexity : Distinguishing dimensions of complexity from severity. *The 9th International Research Network of Project Management*, (October), 11–13.
- Rezende, S. O. (2003). *Sistemas Inteligentes - fundamentos e aplicações*. Editora Manole.

- Rodríguez Montequín, V., Villanueva Balsera, J., Cousillas Fernández, S. M., & Ortega Fernández, F. (2018). Exploring Project Complexity through Project Failure Factors: Analysis of Cluster Patterns Using Self-Organizing Maps. *Complexity*, 2018, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2018/9496731>
- Rolstadås, A., & Schiefloe, P. M. (2017). Modelling project complexity. *International Journal of Managing Projects in Business*, 10(2), 295–314. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-02-2016-0015>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2013). *Metodologia de Pesquisa* (5 ed). Porto Alegre: Penso.
- Santos, L. M. L. dos, Pelosi, E. M., & de Oliveira, B. C. S. M. (2012). Teoria da Complexidade e as múltiplas abordagens para compreender a realidade social. *Serviço Social Em Revista*, 14(2), 47–72. <https://doi.org/10.5433/1679-4842.2012v14n2p47>
- Santos, I. E. (2013). *Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica* (9 ed.). Niterói: Impetus.
- Schlundewein, S., & Ison, R. (2004). Human Knowing and Perceived Complexity: Implications for Systems Practice. *Emergence: Complexity & Organization*, 6(3), 27–32. <https://doi.org/10.1002/sres.v33.5/issuetoc>
- Schölkopf, B., Burges, C., & Vapnik, V. (1996). Incorporating invariances in support vector learning machines. In *International Conference on Artificial Neural Networks* (pp. 47–52). Berlin: Springer.
- Sedaghat-seresht, A., Fazli, S., & Mozaffari, M. M. (2012). Using DEMATEL Method to Modeling Project Complexity Dimensions, 2(11), 11211–11217.
- Shalev-shwartz, S., & Ben-david, S. (2014). *Understand Machine Learning from theory to algorithm*. New Yorkk: Cambridge University Press.
- Siffert, C. (2009). Teoria do Caos e Complexidade. São Paulo: Júlio Torres Editores. Retrieved from www.juliotorres.ws
- Silva, R. A. da, Freitas, L. S. de, & Cândido, G. A. (2014). Sistema Adaptativo Complexo: Estudo de Caso em uma Agência Bancária. *Revista Administração Em Diálogo - RAD*, 16(2), 1–27. <https://doi.org/10.20946/rad.v16i2.11444>
- Simon, H. (1969). *The Architecture of Complexity Organizations: Systems, Control, and Adaptation*. (J. Littered Ed., Ed.). New York: Wiley.
- Sinha, S., Kumar, B., & Thomson, A. (2006). Measuring project complexity: A project manager's tool. *Architectural Engineering and Design Management*, 2(3), 187–202. <https://doi.org/10.1080/17452007.2006.9684615>
- Soares, P. B., Carneiro, T. C. J., Calmon, J. L., & Castro, L. O. da C. de O. (2016). Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science TT - Bibliometric analysis of the Brazilian scientific production on Building and Construction Technologies in the Web of . *Ambiente Construído*, 16(1), 175–185. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>
- Stacey, R. D. (1996). *Complexity and creativity in organizations*. Berrett Koehler Publishers (2nd ed., Vol. 2). San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, Inc. <https://doi.org/10.1177/107179199700400115>
- Stacey, R. D. (2011). *Strategic management and organisational dynamics - The challenge of*

- complexity to ways of thinking about organisations* (6a ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
- Stacey, R. D., Griffin, D., & Shaw, P. (2000). *Complexity and management : fad or radical challenge to systems thinking?* (Routledge, Ed.), 日本畜産学会報 (Routledge, Vol. 84). Londres: Routledge. Retrieved from <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Tan, P.-N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2009). *Introdução ao Data Mining*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda.
- Theobald, O. (2017). *Machine Learning for absolute beginners* (2nd ed.).
- Tôrres, J. J. M. (2005). Teoria da complexidade: uma nova visão de mundo para a estratégia. *I Ebec, II*, 1–10. Retrieved from http://www.mettodo.com.br/pdf/Teoria_da_Complexidade_e_Estrategia.pdf
- Turner, J. R., & Cochrane, R. A. (1993). Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of Project Management*, 11(2), 93–102. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(93\)90017-H](https://doi.org/10.1016/0263-7863(93)90017-H)
- Van Selst, M., & Jolicoeur, P. (1994). A Solution to the Effect of Sample Size on Outlier Elimination. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 47(3), 631–650. <https://doi.org/10.1080/14640749408401131>
- Vapnik, V. N. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer. New York: Springer International Publishing.
- Vapnik, V. N. (1998). *Statistical Learning Theory*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Vapnik, V. N. (2000). *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag (2nd ed.). New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1126/science.1246848>
- Vapnik, V. N., & Chervonenkis, A. Y. (1971). On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities. *Theory of Probability and Its Applications*, XVI(2), 280. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21852-6_3
- Vasconcellos, M. J. E. de. (2005). Pensamento Sistêmico: uma epistemologia científica para uma ciência novo-paradigmática. In *Congresso Brasileiro de Sistemas* (p. 8).
- Vidal, L.-A., & Marle, F. (2008). Understanding project complexity: Implications on project management. *Kybernetes*, 37(8), 1094–1110. <https://doi.org/10.1108/03684920810884928>
- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2007a). Modelling Project Complexity. In *Proceedings of the International Conference on Engineering Design* (pp. 1111–1120). Retrieved from http://www.designsociety.org/publication/25645/modelling_project_complexity
- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2007b). Modelling Project Complexity. In *International Conference on Engineering Design, ICED* (pp. 1–10). Retrieved from http://www.designsociety.org/publication/25645/modelling_project_complexity
- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2011a). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 29(6), 718–727. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.005>
- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2011b). Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5388–5405. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.016>

- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2013). Building up a project complexity framework using an international Delphi study. *International Journal of Technology Management*, 62(2/3/4), 251. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2013.055158>
- Vieira, E. J., Martins, H. C., & Gonçalves, C. A. (2014). Teoria da Complexidade: Um estudo em organizações em diversas perspectivas. *Revista Economia & Gestão*, 14(36), 85–112. <https://doi.org/10.5752/P.1984-6606.2014v14n36p85>
- Waldrop, M. M. (1993). *Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos*. (S. and Schuster, Ed.). Simon and Schuster.
- Weaver, P. (2007). A simple view of complexity in project management. In *4th World Project Management Week*. Singapore: Practical PM Pty Ltda.
- Whitty, S. J., & Maylor, H. (2009). And then came Complex Project Management (revised). *International Journal of Project Management*, 27(3), 304–310. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.03.004>
- Williams, T. . (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17(5), 269–273. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00047-7)
- Williams, T. . (2002). *Modelling Complex Projects*. John Wiley & Sons, Ltd. John Wiley & Sons, Ltd.
- Winter, M., Smith, C., Morris, P., & Cicmil, S. (2006). Directions for future research in project management: The main findings of a UK government-funded research network. *International Journal of Project Management*, 24(8), 638–649. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.08.009>
- Wirick, D. W. (2009). *Public-Sector Project Management: Meeting the Challenges and Achieving Results*. *Public-Sector Project Management: Meeting the Challenges and Achieving Results*. <https://doi.org/10.1002/9780470549131>
- Wood, H. L., & Ashton, P. (2010). The Factors of Project Complexity. *CIB World Building Congress*, , Salford, UK, 69–80. Retrieved from https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24048.pdf
- Wood, H. L., & Gidado, K. (2008). Project Complexity in Construction. *Cobra 2008*, (January 2008), 1–13.
- Wood Jr, T. (1993). Caos: a criação de uma nova Ciência. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 33(4), 94–105. Retrieved from http://www.scielo.br/pdf/rae/v33n4/a09v33n4.pdf%0Ahttp://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BIBA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003378%5Cnhttp://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-75901993000400009&script=sci_arttext&tlng=es
- Xia, B., & Chan, A. P. C. (2012). Measuring complexity for building projects: a Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 7–24. <https://doi.org/10.1108/09699981211192544>
- Xia, W., & Lee, G. (2004). Grasping the complexity of IS development projects. *Communications of the ACM*, 47(5), 68–74. <https://doi.org/10.1145/986213.986215>
- Xia, W., & Lee, G. (2005). Complexity of information systems development projects: Conceptualization and measurement development. *Journal of Management Information Systems*, 22(1), 45–83.

Zanchet, A., Marques, C., & Martins, G. de A. (2011). Epistemologia das Abordagens Metodológicas na Pesquisa Contábil: do Normativismo ao Positivismo. *EnANPAD*, 1–17. Retrieved from <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/EPQ1737.pdf>

APÊNDICE A – Publicações selecionadas para o portfólio bibliográfico (1ª Etapa)

Id	Título	Ano	Base	Periódico
1	Addressing Project Complexity: The Role of Contractual Functions	2018	Scopus	Journal of Management in Engineering
2	Toward Project Complexity Evaluation: A Structural Perspective	2018	Scopus	IEEE Systems Journal
3	Measuring the Project Management Complexity: The Case of Information Technology Projects	2018	Scopus	Complexity
4	Exploring Project Complexity through Project Failure Factors: Analysis of Cluster Patterns Using Self-Organizing Maps	2018	Scopus	Complexity
5	Complexity, uncertainty and mental models: From a paradigm of regulation to a paradigm of emergence in project management	2018	Science Direct	International Journal of Project Management
6	Project complexity and team-level absorptive capacity as drivers of project management performance	2018	Science Direct	International Journal of Project Management
7	Exploring and Assessing Project Complexity	2017	Scopus	Journal of Construction Engineering and Management
8	Investigating the Relationship between Project Complexity and Success in Complex Construction Projects	2017	Scopus	Journal of Management in Engineering
9	Modelling 208project complexity	2017	Scopus	International Journal of Managing Projects in Business
10	Discovering complexity and emergent properties in project systems: A new approach to understanding project performance	2017	Science Direct	International Journal of Project Management
11	Complexity in Project Management	2017	Science Direct	Procedia Computer Science
12	Caracterização da complexidade em projetos de engenharia	2017	Scielo	Gestão & Produção
13	Framework de avaliação da complexidade de projetos em portfólios de engenharia civil.	2017	Scielo	Ambiente Construído
14	Analysis of Software Project Complexity Factors	2017	ACM	International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences
15	Project Complexity Influence on Project management performance-The Malaysian perspective	2016	Scopus	MATEC Web of Conferences
16	Conceptual framework for evaluation of complexity in new product development projects	2016	Scopus	IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)
17	An Empirical Study into Identifying Project Complexity Management Strategies	2016	Science Direct	Procedia Engineering

Id	Título	Ano	Base	Periódico
18	Complexity, uncertainty-reduction strategies, and project performance	2016	Science Direct	International Journal of Project Management
19	Project Complexity Indicators and Management Strategies – A Delphi Study	2016	Science Direct	Procedia Engineering
20	Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management? A taxonomical examination from literature	2016	Science Direct	International Journal of Project Management
21	Clarifying the project complexity construct: Past, present and future	2016	Science Direct	International Journal of Project Management
22	Identifying and Measuring Project Complexity	2016	Science Direct	Procedia Engineering
23	Project Complexity and Risk Management (ProCRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects	2016	Science Direct	International Journal of Project Management
24	Project Complexity Assessment and Management Tool	2016	Science Direct	Procedia Engineering
25	Six decades of project management research: Thematic trends and future opportunities	2016	Science Direct	International Journal of Project Management
26	Projetos Complexos: Estudo de Caso sobre a Complexidade dos Projetos de Engenharia de Telecomunicações em uma Empresa do Setor de Óleo e Gás	2016	Spell	Revista de Gestão e Projetos – GeP
27	Assessing software project management complexity: PMCAT tool	2015	Scopus	Springer
28	Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling	2015	Scopus	International Journal of Project Management
29	Drivers of complexity in engineering projects	2015	Scopus	Springer
30	Complexity in project management: Analysis from the conceptual model working with people	2015	Scopus	DYNA Management
31	Measuring the complexity of mega construction projects in China—A fuzzy analytic network process analysis	2015	Science Direct	International Journal of Project Management
32	Management and Planning Under Complexities of Metro Construction	2015	Science Direct	Procedia Economics and Finance
33	A Consistency-checking Consensus-building Method to Assess Complexity of Energy Megaprojects	2015	Science Direct	Procedia – Social and Behavioral Sciences
34	Quantifying the complexity of transportation projects using the fuzzy analytic hierarchy process	2015	Science Direct	International Journal of Project Management
35	Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective	2015	Science Direct	International Journal of Project Management
36	Complexity within Software Development Projects: na Exploratory Overview	2015	Spell	Revista Gestão.Org

Id	Título	Ano	Base	Periódico
37	Evolução do Conhecimento sobre Projetos Complexos: Uma Análise da Produção Científica	2015	Spell	Revista de Gestão e Secretariado
38	Measuring 210project complexity	2014	Scopus	IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SOSE)
39	Moving beyond project complexity: Exploring empirical dimensions of complexity in the construction industry	2014	Scopus	ARCOM Conference
40	Proposta de Método de Mensuração da Complexidade em Projetos	2014	Spell	Revista de Gestão e Projetos – GeP
41	Perception of complexities in development projects	2013	Scopus	IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems
42	How hard can it be? Actively managing complexity in technology projects: The complexity assessment tool offers a framework for articulating, assessing, and managing sources of complexity in technology projects	2013	Scopus	Research-Technology Management
43	Building up a project complexity framework using an international Delphi study	2013	Scopus	International Journal of Technology Management
44	The challenges of managing complexity in projects: An Australian perspective	2013	Science Direct	International Journal of Project Management
45	Managing global megaprojects: Complexity and risk management	2013	Science Direct	International Business Review
46	Entendendo e gerenciando a complexidade de projetos	2013	Spell	Revista de Gestão e Projetos – GeP
47	Complexity in the Management of Rural Development Projects: Case of LASESA (Spain)	2013	Scielo	Cuadernos de Desarrollo Rural
48	Using analytic network process to analyze influencing factors of project complexity	2012	Scopus	IEEE International Conference on Management and Engineering (ICMSE)
49	Keeping it simple? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in mega project planning	2012	Scopus	International Journal of Project Management
50	Contribution to the research of project complexity and management processes	2012	Scopus	IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT)
51	Systems thinking: Taming complexity in project management	2012	Scopus	On the Horizon
52	Factors of complexity for managers of projects of information systems	2012	Scopus	International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics: IMCIC
53	A taxonomy for measuring complexity in agent-based systems	2011	Scopus	IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)
54	Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process	2011	Scopus	International Journal of Project Management

Id	Título	Ano	Base	Periódico
55	Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects	2011	Science Direct	Expert Systems with applications
56	Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework	2011	Science Direct	International Journal of Project Management
57	Desafios para a gestão de projetos urbanos com elevada complexidade: análise do Programa Integrado Entrada da Cidade em Porto Alegre, RS	2011	Scielo	Ambiente Construído
58	Modelling 211project complexity	2010	Scopus	ARCOM Conference
59	Complexity Theory and Project Management	2010	Scopus	Jonh Wiley & Sons
60	Project complexity indices based on topology features	2010	Scopus	World Academy of Science, Engineering and Technology
61	The importance of soft skills in complex projects	2010	Scopus	International Journal of Managing Projects in Business
62	Factors of complexity in construction projects	2009	Scopus	ARCOM Conference
63	Measuring the complexity of software projects	2009	Scopus	WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering
64	What complexity assessments can tell us about projects: Dialogue between conception and perception	2009	Scopus	Technology Analysis and Strategic Management
65	Understanding project complexity: Implications on project management	2008	Scopus	Kybernetes
66	Modelling 211project complexity	2007	Scopus	International Conference on Engineering Design – ICED
67	Looking into the Challenges of Complex IT Projects	2006	ACM	Communications of the ACM
68	Grasping the Complexity of IS Development Projects	2004	ACM	Communications of the ACM
69	The concept of project complexity—a review	1996	Science Direct	International Journal of Project Management

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

APÊNDICE B – Publicações selecionadas para o portfólio bibliográfico (2ª Etapa)

Id	Título	Ano	Periódico
1	Complexity for Megaprojects in the Energy Sector	2017	Journal of Management in Engineering
2	Exploring project complexities and their problems: a critical review of the literature	2016	Tese de Doutorado
3	A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects	2016	International Journal of Project Management
4	Software project's complexity measurement: A case study	2015	Journal of Software Engineering and Applications
5	Exploring project complexities: a critical review of the literature	2015	AIPM National Conference. Hobart, Australia
6	Towards a new model of complexity – the case of large infrastructure projects	2014	Procedia – Social and Behavioral Sciences
7	Navigating Complexity: A Practice Guide	2014	PMI (2014)
8	Project complexity mapping in five dimensions for complex transportation projects	2013	Journal of Management in Engineering
9	Measuring complexity for building projects: A Delphi study	2012	Engineering, Construction and Architectural Management
10	Evaluating a Complexity Framework – a Practitioners View on Project Complexity, Project Perspectives; the Annual Publication of International Project Management Association	2012	Annual Publication of International Project Management Association (IPMA)
11	Classification of software projects complexity	2011	Information Systems Development: Asian Experiences
12	Now, let's make it really complex (complicated): A systematic review of the complexities of projects	2011	International Journal of Operations and Production Management
13	Complex Project Management. Global Perspectives and the Strategic Agenda to 2025	2011	International Centre of Complexity Project Management
14	Understanding and Managing Project Complexity	2010	Tese de Doutorado
15	Playing with Complexity. Management and Organisation of Large Infrastructure Projects	2010	Erasmus University Rotterdam
16	A model of project complexity: Distinguishing dimensions of complexity from severity	2009	Proceedings of the 9 th International Research Network of Project Management Conference
17	And then came Complex Project Management (revised)	2009	International Journal of Project Management
18	Complexity in Projects: A Study of practitioners' Understanding of Complexity in Relation to Existing Theoretical Models	2009	Tese de Doutorado
19	Exploring the Complexity of Projects: Implications of Complexity Theory for Project Management Practice	2009	PMI (2014)
20	Patterns of complexity: The thermometer of complexity	2008	Project Perspectives
21	Defining uncertainty in projects – a new perspective	2008	International Journal of Project Management

Id	Título	Ano	Periódico
22	Project complexity in construction	2008	COBRA 2008 – Construction and Building Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors
23	An overview of complexity theory and its application to the construction industry	2008	Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2008 – Proceedings of the 24 th Annual Conference
24	On faith, fact, and interaction in projects	2007	Project Management Journal
25	Complexity of Megaprojects	2007	CIB World Building Congress 2007
26	Towards a complexity framework for managing projects	2007	E:CO Emergence: Complexity and Organization
27	A simple view of complexity in project management	2007	Proceedings of the 4 th World Project Management Week. Singapore
28	The application of complexity theory to the field of project management	2007	Tese de Doutorado
29	Introducing the project complexity model—a new approach to diagnosing and managing projects (Part 1 of 2)	2007	PM World Today
30	A Framework for Project Complexity in New Product Development (NPD) Projects	2006	University of Hertfordshire Business School Working Paper
31	Diversity as a determinant of system complexity	2005	Complexity in Design and Engineering
32	Context-adaptive agility: Managing complexity and uncertainty	2005	IEEE Software
33	Complexity of information systems development projects: Conceptualization and measurement development	2005	Journal of Management Information Systems
34	The impact of cognitive complexity on project leadership performance	2004	Information and Software Technology
35	Managing project complexity: a managerial view	2004	The 17 th Nordic conference on Business Studies
36	Theories of complexity: Common denominators of complex systems	2003	Complexity
37	Project management in the age of complexity and change	2003	Project Management Journal
38	“Development of a Measure to Assess the Complexity of Information Systems Development Projects”	2002	Proceedings of the 23 rd International Conference on Information Systems
39	Principles of complexity and chaos theory in project execution: A new approach to management	2002	Cost Engineering (Morgantown, West Virginia)
40	Simplifying complexity: A review of complexity theory	2001	Geoforum
41	The need for new paradigms for complex projects	1999	International Journal of Project Management
42	Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems	1998	Routledge

Id	Título	Ano	Periódico
43	Project complexity: The focal point of construction production planning	1996	Construction Management and Economics
44	Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them	1993	International Journal of Project Management

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

APÊNDICE C – Mapeamento de Fatores de Complexidade de Projetos

Dimensão	Fator	Xia & Lee (2004, 2005)	Geradi & Adlbrecht (2007)	Vidal & Marle (2008)	Wood & Ashton (2009)	Azim et al (2010)	Bosch-Rekvelde et al (2011)	He et al (2012)	Fitsilis & Damasiotis (2015)	Nguyen et al (2015)	Dao (2016)	Abdou et al (2016)	Bakhshi, Ireland & Gorod (2016)
Ambiental	Condições geológicas			•	•					•	•		•
	Condições climáticas			•	•		•			•	•	•	
	Tamanho (área)						•			•			
	Distância entre locais						•			•	•		•
	Riscos ambientais			•	•		•			•			
Conformidade	Influências políticas						•	•		•	•	•	•
	Quantidade de requisitos de conformidade			•	•			•		•	•		•
	Variedade de requisitos de conformidade			•	•			•			•		•
	Mudanças nos requisitos de conformidade				•	•	•	•			•		
	Pouca experiência com os requisitos de conformidade do local						•	•		•	•	•	
	Nível de competição entre concorrentes			•			•					•	•
	Consciência dos envolvidos da necessidade de conformidade						•	•			•		
Financeira													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mudanças e cortes orçamentários			•	•	•		•		•	
Variedade de fontes de financiamento			•		•		•		•	•
Volume de recursos financeiros			•		•		•	•	•	•
Ausência de dados sobre custos do projeto				•			•		•	
Planejamento fiscal e custos de encargos comerciais							•		•	
Alto custo (valor) do projeto			•	•			•			
Duração do projeto					•		•			•
Informacional										
Volume de informação a ser analisada	•	•					•			
Variedade de informação a ser analisada	•		•				•			
Quantidade de fontes de informação	•	•	•		•		•			
Mudanças nas informações relacionadas com o projeto	•	•			•		•		•	
Quantidade itens a serem integrados	•		•		•		•			
Variedade de itens a serem integrados	•		•				•			
Dificuldade no processo de aquisição de informação				•			•		•	•
Dificuldade na difusão de informações				•			•		•	

Organizacional

Quantidade de níveis hierárquicos na estrutura organizacional	•		•	•	•		•	•		•	
Quantidade de unidades/departamentos envolvidos			•	•	•	•	•			•	•
Interdependências organizacionais entre unidades/departamentos		•	•	•	•		•			•	•
Ambiente de rede			•	•	•					•	•
Mudanças na estrutura organizacional	•		•		•	•				•	
Mudanças nos processos de negócio	•	•			•	•				•	
Importância estratégica do projeto					•	•				•	
Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto				•		•			•		
Nível de maturidade organizacional		•			•						
Variedade de habilidades interorganizacionais		•	•	•	•						

Planejamento

Pouco planejamento do projeto				•			•				
Falta de clareza nas especificações do projeto			•	•	•		•	•	•	•	
Cronograma rígido de metas e objetivos				•			•	•	•		

Pessoas	Quantidade de metas e objetivos		•		•	•			•	•	•
	Variedade de metas e objetivos		•		•	•				•	•
	Importância estratégica do projeto				•	•			•		
	Duração do projeto		•	•	•	•	•		•	•	
	Grandeza do escopo	•	•		•	•		•	•	•	•
	Inter-relação entre as fases do projeto		•		•	•			•	•	
	Alinhamento de metas				•	•	•				•
	Coordenação do projeto			•	•			•			
	Disponibilidade de pessoas para o projeto	•	•	•	•	•	•	•	•		
	Experiência e habilidades	•		•	•	•	•	•	•	•	•
	Quantidade de pessoas no projeto	•			•	•			•	•	
	Rotatividade de pessoas no projeto	•			•				•		
	Confiança nas pessoas	•			•	•	•				
	Diferenças culturais	•	•		•	•	•			•	•
	Senso de cooperação	•	•		•		•				•
	Nível de produtividade				•						
	Diversidade de equipes	•	•	•	•						•
	Localização geográfica das pessoas	•			•		•		•	•	•
	Ausência de liderança	•			•						
	Comunicação entre as pessoas	•	•	•	•					•	
	Definição de Papéis e funções	•		•	•						

	Qualidade	Stakeholders
Ausência de processo de gestão da qualidade		
Mudanças no projeto		
Exigências nos requisitos de qualidade		
Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade		
Conhecimento sobre requisitos e processos de qualidade		
Aquisição incomum		
Comunicação dos requisitos de qualidade		
Falta de experiência com o parceiro		
Quantidade de Stakeholders		
Diversidade de Stakeholders		
Relacionamento com os Stakeholders		
Comunicação com os Stakeholders		
Nível de coesão dos Stakeholders		
Empreendimentos Conjuntos (Joint Ventures)		
Qualidade dos Stakeholders		

Tarefas	Localização geográfica dos Stakeholders	•	•	•				•		
	Interdependências entre os Stakeholders	•		•	•			•		
	Quantidade de tarefas		•	•	•		•	•		•
	Dependência entre tarefas		•	•	•	•	•			•
	Inter-relação entre tarefas		•	•	•		•			•
	Tamanho da tarefas		•	•	•					
	Dinâmica da tarefas	•		•	•	•			•	
	Variedade das tarefas	•	•	•	•	•			•	•
	Duração das tarefas			•			•			•
	Nível de inovação das tarefas		•	•	•			•		•
Tecnológica	Clareza na especificação das tarefas			•	•			•		
	Disponibilidade de recursos tecnológicos			•	•	•	•		•	•
	Diversidade de recursos tecnológicos	•	•	•	•	•		•		•
	Dependência de processos tecnológicos	•	•	•	•	•			•	•
	Inter-relação entre recursos tecnológicos	•	•	•	•	•		•	•	
	Interação dos recursos tecnológicos com o ambiente externo			•		•			•	
	Quantidade de recursos tecnológicos	•	•	•	•				•	

Exigência de conteúdo local					•	•				•
Mudanças associadas aos recursos tecnológicos	•	•		•	•	•	•		•	•
Dificuldade de incorporação de tecnologias		•	•	•	•		•		•	•

APÊNDICE D – Questionário de Pesquisa – Aplicação com Especialistas

Questionário de Pesquisa

Este questionário de pesquisa foi construído com o objetivo de coletar dados relativos a percepção de **especialistas brasileiros**, atuantes na área de **Gestão de Projetos do Setor Público**, com relação a um conjunto de 96 fatores de complexidade de projetos identificados a partir de uma revisão da literatura e os seus respectivos impactos no **AUMENTO** da Complexidade de Projetos.

Sua avaliação é de grande importância para a qualidade e o desenvolvimento desta pesquisa. Esta pesquisa está sendo feita sob a orientação do Prof. Dr. Manoel Veras de Sousa Neto (PPGA/UFRN).

OBS: É garantido ao respondente sigilo absoluto com relação as informações e respostas concedidas nesse questionário. Os pesquisadores só farão uso de dados agregados para análise dos resultados.

Dúvidas e sugestões podem ser encaminhadas para marcoslins@gmail.com – Marcos L Lins Filho – Doutorando em Administração – PPGA/UFRN.

Seção I – Perfil do Respondente			
Nessa primeira parte, busca-se obter informações sobre o perfil pessoal do respondente, bem como suas qualificações, atuação e experiência.			
Nome (opcional):			
Contato (opcional):			
Sexo:	Masculino ☐	Feminino ☐	
Idade (anos):	Menos de 30 ☐	31-40 ☐	41-50 ☐ Mais de 50 ☐
Qualificação:	Nível Médio ☐ Nível Superior ☐ Especialização ☐	Mestrado ☐ Doutorado ☐	
Setor de Atuação:			
Experiência em Gestão de Projetos (em anos):			
Certificação na área de Gestão de Projetos: Sim ☐ Não ☐			
Se SIM, quais? _____			
Função na empresa:	Gerente ☐ Assessor ☐	Analista ☐ Diretor ☐	

	Executivo (CEO) ☐	Supervisor ☐
	Consultor ☐	Outra ☐

O Questionário de Pesquisa está dividido em mais 11 seções.

O objetivo de cada seção subsequente é atribuir valor aos fatores de complexidade de cada uma das 11 dimensões identificadas, indicando o nível de influência desse fator no **AUMENTO** da Complexidade de Projetos.

OBS: Uma escala de 1 a 10 foi utilizada para indicação do nível de Influência do fator na Complexidade de Projetos.

O valor 1 representa um nível **Muito baixo** e o valor 10 representa um nível **Muito alto**.

A escala visa mensurar a percepção de influência de cada fator para o **AUMENTO** da Complexidade de Projetos.

Seção II – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão AMBIENTAL

Na segunda seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **AMBIENTAL** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

41. Condições Geológicas do local do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

41. Condições Climáticas do local do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

41. Tamanho (área em m2) do local a ser realizado o projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

41. Distância entre locais utilizados durante o projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

41. Riscos ambientais relacionados ao projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção III – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão CONFORMIDADE

Na terceira seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **CONFORMIDADE** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

41. Influências políticas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

41. Quantidade de requisitos de conformidade do projeto (Volume de requisitos)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

8. Variedade de requisitos de conformidade do projeto (Diversidade dos requisitos)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

9. Mudanças nos requisitos de conformidade do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

10. Pouca experiência com os requisitos de conformidade do local do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

11. Nível de competição entre os concorrentes (Manutenção da Conformidade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

12. Consciência dos envolvidos da necessidade de conformidade do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção IV – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão FINANCEIRA

Na quarta seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **FINANCEIRA** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

13. Mudanças e cortes orçamentários no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

14. Variedade de fontes de financiamento do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

15. Volume de recursos financeiros do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

16. Ausência de dados sobre custos do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

17. Planejamento fiscal e de custos de encargos comerciais do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

18. Alto custo (valor) do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

19. Duração do projeto (Tempo)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção V – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão INFORMACIONAL

Na quinta seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **INFORMACIONAL** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

20. Volume de informação a ser analisada (Quantidade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

21. Variedade de informações a serem analisadas (Diversidade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

22. Quantidade de fontes de informação

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

23. Mudanças nas informações relacionadas com o projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

24. Quantidade de itens a serem integrados (Processo de Integração) pelo projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

25. Variedade de itens a serem integrados (Processo de Integração) pelo projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

26. Dificuldade no processo de aquisição de informação (Capturar informações) do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

27. Dificuldade na difusão de informação (Comunicação) do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção VI – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão ORGANIZACIONAL

Na sexta seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **ORGANIZACIONAL** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

28. Quantidade de níveis hierárquicos na estrutura organizacional

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

29. Quantidade de unidades/departamentos envolvidos no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

30. Interdependências organizacionais entre unidades/departamentos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

31. Ambiente de rede do projeto (Envolvimento de diversos atores conectados)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

32. Mudanças na estrutura organizacional

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

33. Mudanças nos processos de negócio

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

34. Importância estratégica do projeto para a organização

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

35. Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

36. Nível de Maturidade organizacional

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

37. Variedade de habilidades interorganizacionais (Diversidade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção VII – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão PESSOAS

Na sétima seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **PESSOAS** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um **X** um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

38. Disponibilidade de pessoas para o projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

39. Experiências e habilidades das pessoas envolvidas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos	Muito Alto
-------------	---	------------

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

40. Quantidade de pessoas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

41. Rotatividade de pessoas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

42. Confiança nas pessoas envolvidas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

43. Diferenças culturais entre as pessoas envolvidas no projeto (língua, país de origem etc)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

44. Senso de cooperação entre os envolvidos no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

45. Nível de produtividade das pessoas envolvidas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

46. Diversidade de equipes envolvidas no projeto (Variedade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

47. Localização geográfica das pessoas envolvidas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

48. Ausência de liderança no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

49. Comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

50. Definição de papéis e funções das pessoas no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos	Muito Alto
-------------	---	------------

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Seção VIII – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão PLANEJAMENTO

Na oitava seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **PLANEJAMENTO** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

51. Pouco planejamento do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

52. Falta de clareza nas especificações do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

53. Cronograma rígido de metas e objetivos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

54. Quantidade de metas e objetivos no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

55. Variedade de metas e objetivos no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

56. Importância estratégica do projeto (sob o ponto de vista do Planejamento)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

57. Duração do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

58. Grandeza do escopo do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

59. Inter-relação entre as fases do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

60. Alinhamento de metas do projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

61. Coordenação de projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção IX – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão QUALIDADE

Na nona seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **QUALIDADE** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um **X** um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

62. Ausência de processo de gestão da qualidade

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

63. Mudanças no projeto

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

64. Exigências nos requisitos de qualidade

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

65. Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

66. Conhecimento sobre requisitos e processos de qualidade

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

67. Aquisição Incomum no projeto (Ex. Aquisição de itens de qualidade desconhecida)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

68. Comunicação dos requisitos de qualidade

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos	Muito Alto
-------------	---	------------

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

78. Interdependências entre os Stakeholders

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção XI – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão TAREFAS

Na décima primeira seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **TAREFAS** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

79. Quantidade de tarefas

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

80. Dependências entre tarefas (Relação de dependência)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

81. Inter-relação entre tarefas (Conectividade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

82. Tamanho das tarefas (Grandeza de Escopo)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

83. Dinâmica das tarefas (Mudanças e Comportamento)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

84. Variedade das tarefas (Diversidade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

85. Duração das tarefas (Tempo)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

86. Nível de Inovação das tarefas

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

87. Clareza na especificação (requisitos) das tarefas

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Seção XII – Fatores de Complexidade de Projetos – Dimensão TECNOLÓGICA

Na décima segunda seção, o objetivo é atribuir valor aos fatores de complexidade da dimensão **TECNOLÓGICA** indicando o nível de influência desse fator na Complexidade de Projetos.

Marque com um X um dos valores entre 1 e 10, correspondente, ao nível de influência na sua avaliação.

88. Disponibilidade de recursos tecnológicos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

89. Diversidade de recursos tecnológicos (Variedade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

90. Dependência de processos tecnológicos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

91. Inter-relação entre processos tecnológicos (Conectividade)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

92. Interação dos recursos tecnológicos com o ambiente externo

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

93. Quantidade de recursos tecnológicos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

94. Exigência de conteúdo local para os recursos tecnológicos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

95. Mudanças associadas aos recursos tecnológicos

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

96. Dificuldade de incorporação de tecnologias no projeto (Desconhecimento)

Muito Baixo	Escala de Influência do fator na Complexidade de Projetos								Muito Alto
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

97. Na sua opinião, algum(ns) fator(es) de complexidade de projetos não foi citado(s) entre os avaliados? Em caso positivo, qual(is) o(s) fator(es) e que avaliação(ões) você daria seguindo a mesma escala?

98. Se você tivesse que classificar as dimensões com relação ao impacto no AUMENTO da COMPLEXIDADE DE PROJETOS que ordem você estabeleceria para cada uma destas dimensões?

Atribua valores entre 1 e 11, estabelecendo um ranking DECRESCENTE de complexidade entre as dimensões listadas abaixo:

OBS: A dimensão com valor 1 deverá ser a dimensão com maior impacto no AUMENTO da complexidade de projetos. Já a dimensão com valor 11 deverá corresponder a dimensão com menor impacto.

Dimensão de Complexidade	Posição no Ranking
Ambiental	
Conformidade	
Financeira	
Informacional	
Organizacional	
Pessoas	
Planejamento	
Qualidade	
Tarefas	
Tecnológica	
Stakeholders (Partes Interessadas)	

Muito obrigado.

APÊNDICE E – Tabulação de Dados – Aplicação de Questionário com Especialistas

Fator	Dimensão	Esp 01	Esp 02	Esp 03	Esp 04	Esp 05	Esp 06	Esp 07	Esp 08	Esp 09	Esp 10	Esp 11	Esp 12	Esp 13	Esp 14	Esp 15	Esp 16
Condições Geológicas do local do projeto	Ambiental	1	8	10	5	5	7	10	3	1	5	8	9	1	6	8	4
Condições Climáticas do local do projeto	Ambiental	1	9	7	5	5	7	7	3	1	1	7	6	2	5	7	6
Tamanho (área em m2) do local a ser realizado o projeto	Ambiental	1	6	7	4	5	7	7	3	2	1	8	5	4	6	7	4
Distância entre locais utilizados durante o projeto	Ambiental	4	9	8	5	6	8	9	6	1	3	8	6	5	6	9	4
Riscos ambientais relacionados ao projeto	Ambiental	8	8	10	10	6	8	8	7	1	1	9	8	3	4	10	6
Influências políticas no projeto	Conformidade	10	10	10	8	10	9	8	10	10	5	9	10	8	8	8	8
Quantidade de requisitos de conformidade do projeto (Volume de Requisitos)	Conformidade	7	7	8	10	8	9	7	8	5	2	7	9	8	8	7	8
Variedade de requisitos de conformidade do projeto (Diversidade de Requisitos)	Conformidade	10	7	8	10	7	9	9	9	6	2	7	10	9	7	9	7
Mudanças nos requisitos de conformidade do projeto	Conformidade	10	6	8	10	6	8	6	10	3	1	8	10	5	5	7	9

Pouca experiência com os requisitos de conformidade do local do projeto	Conformidade	10	6	10	10	2	8	7	3	7	3	7	10	7	8	8	8
Nível de competição entre os concorrentes (Manutenção da Conformidade)	Conformidade	3	5	7	5	4	8	7	7	1	1	5	8	5	7	8	7
Consciência dos envolvidos da necessidade de conformidade do projeto	Conformidade	8	7	5	10	7	8	7	4	8	5	8	9	5	7	7	9
Mudanças e cortes orçamentários no projeto	Financeira	10	7	9	8	8	10	8	10	9	7	9	8	10	9	10	6
Variedade de fontes de financiamento do projeto	Financeira	10	9	2	8	8	8	6	4	5	1	9	6	10	8	7	8
Volume de recursos financeiros do projeto	Financeira	10	6	8	5	3	9	7	9	9	1	7	7	10	10	5	7
Ausência de dados sobre custos do projeto	Financeira	8	9	3	8	9	10	8	10	8	1	6	9	10	10	7	8
Planejamento fiscal e de custos de encargos comerciais do projeto	Financeira	8	6	3	8	8	9	7	4	3	1	5	4	5	9	5	8
Alto custo (valor) do projeto	Financeira	9	7	6	5	8	10	7	7	10	3	7	3	10	10	6	9
Duração do projeto (Tempo)	Financeira	6	7	8	5	6	10	8	4	9	5	6	3	10	7	9	9

Volume de informação a ser analisada (Quantidade)	Informacional	6	7	8	8	6	9	9	8	7	3	10	6	5	10	8	8
Variedade de informações a serem analisadas (Diversidade)	Informacional	8	9	7	5	7	9	9	10	5	3	7	9	7	9	10	8
Quantidade de fontes de informação	Informacional	7	9	7	8	4	9	9	8	4	3	10	9	10	7	8	9
Mudanças nas informações relacionadas com o projeto	Informacional	8	9	8	10	8	9	9	10	5	1	7	10	10	10	8	9
Quantidade de itens a serem integrados (Processo de integração) pelo projeto	Informacional	9	7	8	6	7	9	8	8	2	4	6	10	10	9	7	9
Variedade de itens a serem integrados (Processo de Integração) pelo projeto	Informacional	10	9	8	6	9	9	8	9	2	4	6	10	7	8	8	8
Dificuldade no processo de aquisição de informação (Capturar informações) do projeto	Informacional	10	7	9	9	8	10	8	10	4	4	9	9	8	9	9	9
Dificuldade na difusão de informação (Comunicação) do projeto	Informacional	9	7	5	7	9	9	8	7	7	6	6	9	10	8	10	10

Quantidade de níveis hierárquicos na estrutura organizacional	Organizacional	8	7	3	6	9	9	9	7	7	5	10	8	7	10	7	6
Quantidade de unidades/departamentos envolvidos no projeto	Organizacional	10	8	8	5	9	9	8	8	9	4	5	8	10	7	7	8
Interdependências organizacionais entre unidades/departamentos	Organizacional	7	7	7	6	9	9	5	7	7	2	7	9	8	8	7	8
Ambiente de rede do projeto (Envolvimento de diversos atores conectados)	Organizacional	9	6	7	8	4	7	7	9	4	2	8	9	10	8	7	9
Mudanças na estrutura organizacional	Organizacional	6	8	10	7	7	9	8	9	9	5	9	10	10	10	9	7
Mudanças nos processos de negócio	Organizacional	6	8	7	8	8	9	9	10	8	5	8	9	10	6	8	10
Importância estratégica do projeto para a organização	Organizacional	10	7	10	6	4	10	8	7	10	8	10	9	10	10	9	9
Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto	Organizacional	9	8	10	7	6	8	7	9	6	3	7	9	10	9	9	7
Nível de Maturidade organizacional	Organizacional	10	9	5	10	8	8	10	8	8	4	10	10	10	8	10	9
Variedade de habilidades interorganizacionais (Diversidade)	Organizacional	6	9	8	10	8	8	7	7	3	8	8	10	10	10	8	7
Disponibilidade de pessoas para o projeto	Pessoas	10	5	10	6	9	10	8	9	10	3	6	8	10	10	9	9

Experiências e habilidades das pessoas envolvidas no projeto	Pessoas	8	5	10	7	8	9	9	9	8	3	4	8	10	10	10	8
Quantidade de pessoas no projeto	Pessoas	6	7	10	5	7	8	8	8	7	3	6	8	5	7	6	9
Rotatividade de pessoas no projeto	Pessoas	9	9	10	9	9	9	8	10	6	1	4	9	10	7	6	9
Confiança nas pessoas envolvidas no projeto	Pessoas	10	7	8	9	10	8	8	10	7	8	10	9	10	10	10	7
Diferenças culturais entre as pessoas envolvidas no projeto (língua, país de origem etc)	Pessoas	5	7	8	9	9	7	6	9	4	1	3	9	5	9	7	6
Senso de cooperação entre os envolvidos no projeto	Pessoas	10	5	10	9	9	8	4	6	6	5	9	9	10	10	8	8
Nível de produtividade das pessoas envolvidas no projeto	Pessoas	10	5	10	10	8	8	4	9	7	5	8	9	10	8	7	8
Diversidade de equipes envolvidas no projeto (Variedade)	Pessoas	7	7	10	10	8	7	8	8	5	5	6	9	3	10	7	6
Localização geográfica das pessoas envolvidas no projeto	Pessoas	10	7	6	5	6	6	3	4	2	1	6	7	5	6	5	6
Ausência de liderança no projeto	Pessoas	10	9	9	10	10	10	7	10	9	5	9	10	10	10	8	9
Comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto	Pessoas	7	5	9	10	9	8	8	10	8	5	8	9	10	8	10	10

Definição de papéis e funções das pessoas no projeto	Pessoas	10	6	8	10	10	10	3	10	7	8	10	9	10	10	8	9
Pouco planejamento do projeto	Planejamento	6	9	8	10	7	7	9	10	7	3	7	10	10	10	9	10
Falta de clareza nas especificações do projeto	Planejamento	9	9	8	10	7	9	9	10	5	3	7	10	10	10	9	10
Cronograma rígido de metas e objetivos	Planejamento	10	7	7	8	9	8	3	8	8	1	7	10	10	10	9	9
Quantidade de metas e objetivos no projeto	Planejamento	7	8	7	8	9	8	8	6	5	1	9	9	5	9	9	8
Variedade de metas e objetivos no projeto	Planejamento	9	9	7	8	8	8	8	8	2	1	6	9	5	8	10	7
Importância estratégica do projeto (sob o ponto de vista do Planejamento)	Planejamento	10	6	6	10	6	10	7	7	10	7	9	9	10	10	8	9
Duração do Projeto	Planejamento	7	6	8	5	8	8	7	5	8	5	9	8	5	8	6	9
Grandeza do escopo do projeto	Planejamento	8	8	8	10	8	9	9	7	8	5	7	8	5	10	7	10
Inter-relação entre as fases do projeto	Planejamento	5	8	8	6	8	8	7	7	6	5	9	8	5	10	8	7
Alinhamento de metas do projeto	Planejamento	8	7	8	10	7	8	6	8	3	6	9	9	5	10	8	9
Coordenação de projeto	Planejamento	6	6	7	10	3	10	6	10	9	6	8	10	10	10	9	8
Ausência de processo de gestão da qualidade	Qualidade	7	6	5	10	9	7	7	10	2	8	9	9	5	10	5	5
Mudanças no projeto	Qualidade	6	7	9	10	8	7	8	8	4	5	7	10	10	9	6	7
Exigências nos requisitos de qualidade	Qualidade	8	6	9	6	9	7	7	7	4	2	7	9	5	9	5	6

Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade	Qualidade	9	8	10	10	9	8	8	10	7	2	9	9	6	10	8	7
Conhecimento sobre requisitos e processos de qualidade	Qualidade	7	6	6	10	3	8	3	9	3	2	8	9	7	10	8	6
Aquisição incomum no projeto	Qualidade	8	9	10	10	6	10	5	10	8	1	6	10	10	10	9	8
Comunicação dos requisitos de qualidade	Qualidade	6	7	6	10	8	8	4	9	6	1	7	9	5	8	5	9
Falta de experiência com os parceiros	Stakeholders	8	6	7	10	8	9	8	4	9	8	9	8	5	10	7	8
Quantidade de Stakeholders	Stakeholders	7	9	8	8	7	10	9	7	7	5	7	9	5	10	8	8
Diversidade de Stakeholders (Variedade)	Stakeholders	9	9	9	8	7	8	8	8	7	5	8	9	5	10	7	7
Relacionamento com os Stakeholders	Stakeholders	10	7	9	8	3	8	6	10	7	4	9	10	10	10	10	9
Comunicação com os Stakeholders	Stakeholders	10	7	7	8	3	8	5	10	7	4	9	9	6	10	10	9
Nível de coesão dos Stakeholders	Stakeholders	10	6	10	10	3	8	6	10	5	4	8	9	6	10	9	8
Empreendimento Conjuntos (Joint Ventures) – Parcerias	Stakeholders	10	7	9	10	4	8	7	6	1	4	8	9	5	9	8	7
Qualidade dos Stakeholders	Stakeholders	8	7	10	10	3	8	5	7	2	5	8	7	5	10	7	7
Localização geográfica dos Stakeholders	Stakeholders	6	7	7	6	4	6	4	4	3	1	7	6	2	10	5	6

Interdependências entre os Stakeholders	Stakeholders	8	9	8	8	8	6	4	6	2	1	8	6	1	10	7	7
Quantidade de tarefas	Tarefas	4	6	8	6	7	9	6	7	8	5	8	8	10	8	7	4
Dependência entre tarefas (relação de dependência)	Tarefas	3	7	8	7	8	9	7	8	6	3	7	10	10	9	7	5
Inter-relação entre tarefas (Conectividade)	Tarefas	3	7	8	7	8	9	8	8	6	5	7	10	10	9	8	5
Tamanho das tarefas (Grande de Escopo)	Tarefas	8	6	8	7	7	9	8	7	6	5	7	7	5	10	7	4
Dinâmica das tarefas (Mudanças e Comportamento)	Tarefas	7	7	10	7	9	8	8	8	2	2	8	9	5	8	7	4
Variedade das tarefas (Diversidade)	Tarefas	5	8	10	7	7	9	8	6	4	2	7	8	5	7	6	4
Duração das tarefas (Tempo)	Tarefas	4	6	10	8	8	7	6	5	6	4	8	7	5	6	6	5
Nível de Inovação das tarefas	Tarefas	8	8	9	8	9	7	7	7	8	3	7	9	10	7	8	7
Clareza na especificação (requisitos) das tarefas	Tarefas	4	9	10	8	3	9	3	9	7	8	10	10	10	8	8	7
Disponibilidade de recursos tecnológicos	Tecnológica	7	7	9	6	3	8	5	10	5	8	9	8	5	8	8	7
Diversidade de recursos tecnológicos (Variedade)	Tecnológica	3	8	9	6	3	6	8	9	2	7	7	8	5	8	5	6
Dependência de processos tecnológicos	Tecnológica	9	8	9	8	6	6	8	9	3	10	9	9	10	10	5	7
Inter-relação entre processos tecnológicos (Conectividade)	Tecnológica	7	9	7	8	4	7	7	9	2	8	9	9	10	8	7	7

Interação dos recursos tecnológicos com o ambiente externo	Tecnológica	8	8	7	8	8	7	7	8	2	3	9	8	10	8	9	8
Quantidade de recursos tecnológicos	Tecnológica	10	6	7	8	5	6	7	8	1	8	7	8	7	7	5	7
Exigência de conteúdo local para os recursos tecnológicos	Tecnológica	10	8	7	10	4	6	7	8	1	5	8	9	5	8	4	6
Mudanças associadas aos recursos tecnológicos	Tecnológica	10	9	7	10	7	6	7	9	2	1	7	10	5	9	6	6
Dificuldade de incorporação de tecnologias no projeto (Desconhecimento)	Tecnológica	8	9	7	10	8	8	8	9	5	3	9	10	8	8	8	8

APÊNDICE F – Cálculo de Média, Desvio Padrão e Média Normalizada dos Fatores (Questionário com Especialistas)

Id	Fator	Dimensão	Média	Desvio Padrão	Média Norm
A01	Condições Geológicas do local do projeto	Ambiental (A)	6,07	3,02	0,19
A02	Condições Climáticas do local do projeto	Ambiental (A)	5,50	2,21	0,05
A03	Tamanho (área em m2) do local a ser realizado o projeto	Ambiental (A)	5,29	1,94	0,00
A04	Distância entre locais utilizados durante o projeto	Ambiental (A)	6,64	1,82	0,33
A05	Riscos ambientais relacionados ao projeto	Ambiental (A)	7,50	2,14	0,54
C01	Influências políticas no projeto	Conformidade (C)	9,00	0,96	0,91
C02	Quantidade de requisitos de conformidade do projeto (Volume de Requisitos)	Conformidade (C)	7,93	0,92	0,65
C03	Variedade de requisitos de conformidade do projeto (Diversidade de Requisitos)	Conformidade (C)	8,43	1,22	0,77
C04	Mudanças nos requisitos de conformidade do projeto	Conformidade (C)	7,71	1,90	0,60
C05	Pouca experiência com os requisitos de conformidade do local do projeto	Conformidade (C)	7,43	2,47	0,53
C06	Nível de competição entre os concorrentes (Manutenção da Conformidade)	Conformidade (C)	6,14	1,61	0,21
C07	Consciência dos envolvidos da necessidade de conformidade do projeto	Conformidade (C)	7,21	1,67	0,47
F01	Mudanças e cortes orçamentários no projeto	Financeira (F)	8,71	1,27	0,84
F02	Variedade de fontes de financiamento do projeto	Financeira (F)	7,36	2,24	0,51
F03	Volume de recursos financeiros do projeto	Financeira (F)	7,36	2,13	0,51
F04	Ausência de dados sobre custos do projeto	Financeira (F)	8,21	1,93	0,72
F05	Planejamento fiscal e de custos de encargos comerciais do projeto	Financeira (F)	6,36	2,02	0,26
F06	Alto custo (valor) do projeto	Financeira (F)	7,43	2,06	0,53

F07	Duração do projeto (Tempo)	Financeira (F)	7,00	2,15	0,42
I01	Volume de informação a ser analisada (Quantidade)	Informacional (I)	7,71	1,54	0,60
I02	Variedade de informações a serem analisadas (Diversidade)	Informacional (I)	8,14	1,41	0,70
I03	Quantidade de fontes de informação	Informacional (I)	8,14	1,56	0,70
I04	Mudanças nas informações relacionadas com o projeto	Informacional (I)	8,93	1,00	0,89
I05	Quantidade de itens a serem integrados (Processo de integração) pelo projeto	Informacional (I)	8,07	1,33	0,68
I06	Variedade de itens a serem integrados (Processo de Integração) pelo projeto	Informacional (I)	8,21	1,25	0,72
I07	Dificuldade no processo de aquisição de informação (Capturar informações) do projeto	Informacional (I)	8,86	0,86	0,88
I08	Dificuldade na difusão de informação (Comunicação) do projeto	Informacional (I)	8,14	1,56	0,70
O01	Quantidade de níveis hierárquicos na estrutura organizacional	Organizacional (O)	7,57	1,87	0,56
O02	Quantidade de unidades/departamentos envolvidos no projeto	Organizacional (O)	7,86	1,51	0,63
O03	Interdependências organizacionais entre unidades/departamentos	Organizacional (O)	7,43	1,16	0,53
O04	Ambiente de rede do projeto (Envolvimento de diversos atores conectados)	Organizacional (O)	7,71	1,54	0,60
O05	Mudanças na estrutura organizacional	Organizacional (O)	8,50	1,34	0,79
O06	Mudanças nos processos de negócio	Organizacional (O)	8,29	1,33	0,74
O07	Importância estratégica do projeto para a organização	Organizacional (O)	8,50	1,87	0,79
O08	Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto	Organizacional (O)	8,21	1,25	0,72
O09	Nível de Maturidade organizacional	Organizacional (O)	8,93	1,44	0,89
O10	Variedade de habilidades interorganizacionais (Diversidade)	Organizacional (O)	8,29	1,33	0,74
PE01	Disponibilidade de pessoas para o projeto	Pessoas (PE)	8,50	1,70	0,79
PE02	Experiências e habilidades das pessoas envolvidas no projeto	Pessoas (PE)	8,21	1,85	0,72
PE03	Quantidade de pessoas no projeto	Pessoas (PE)	7,14	1,46	0,46
PE04	Rotatividade de pessoas no projeto	Pessoas (PE)	8,43	1,70	0,77
PE05	Confiança nas pessoas envolvidas no projeto	Pessoas (PE)	9,00	1,18	0,91
PE06	Diferenças culturais entre as pessoas envolvidas no projeto (língua, país de origem etc)	Pessoas (PE)	7,07	1,90	0,44
PE07	Senso de cooperação entre os envolvidos no projeto	Pessoas (PE)	8,21	1,93	0,72
PE08	Nível de produtividade das pessoas envolvidas no projeto	Pessoas (PE)	8,14	1,83	0,70

PE09	Diversidade de equipes envolvidas no projeto (Variedade)	Pessoas (PE)	7,57	1,91	0,56
PE10	Localização geográfica das pessoas envolvidas no projeto	Pessoas (PE)	5,86	1,61	0,14
PE11	Ausência de liderança no projeto	Pessoas (PE)	9,36	0,93	1,00
PE12	Comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto	Pessoas (PE)	8,64	1,45	0,82
PE13	Definição de papéis e funções das pessoas no projeto	Pessoas (PE)	8,79	2,04	0,86
PL01	Pouco planejamento do projeto	Planejamento (PL)	8,71	1,44	0,84
PL02	Falta de clareza nas especificações do projeto	Planejamento (PL)	9,07	1,07	0,93
PL03	Cronograma rígido de metas e objetivos	Planejamento (PL)	8,21	1,89	0,72
PL04	Quantidade de metas e objetivos no projeto	Planejamento (PL)	7,86	1,23	0,63
PL05	Variedade de metas e objetivos no projeto	Planejamento (PL)	7,86	1,29	0,63
PL06	Importância estratégica do projeto (sob o ponto de vista do Planejamento)	Planejamento (PL)	8,36	1,65	0,75
PL07	Duração do Projeto	Planejamento (PL)	7,07	1,44	0,44
PL08	Grandeza do escopo do projeto	Planejamento (PL)	8,14	1,41	0,70
PL09	Inter-relação entre as fases do projeto	Planejamento (PL)	7,43	1,40	0,53
PL10	Alinhamento de metas do projeto	Planejamento (PL)	8,00	1,41	0,67
PL11	Coordenação de projeto	Planejamento (PL)	8,07	2,20	0,68
Q01	Ausência de processo de gestão da qualidade	Qualidade (Q)	7,43	2,03	0,53
Q02	Mudanças no projeto	Qualidade (Q)	8,00	1,41	0,67
Q03	Exigências nos requisitos de qualidade	Qualidade (Q)	7,14	1,46	0,46
Q04	Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade	Qualidade (Q)	8,64	1,22	0,82
Q05	Conhecimento sobre requisitos e processos de qualidade	Qualidade (Q)	7,14	2,21	0,46
Q06	Aquisição incomum (Ex. Manter a qualidade ao lidar com itens não conhecidos)	Qualidade (Q)	8,64	1,78	0,82
Q07	Comunicação dos requisitos de qualidade	Qualidade (Q)	7,21	1,81	0,47
S01	Falta de experiência com os parceiros	Stakeholders (S)	7,64	1,74	0,58
S02	Quantidade de Stakeholders	Stakeholders (S)	8,00	1,36	0,67
S03	Diversidade de Stakeholders (Variedade)	Stakeholders (S)	8,00	1,24	0,67
S04	Relacionamento com os Stakeholders	Stakeholders (S)	8,50	2,03	0,79
S05	Comunicação com os Stakeholders	Stakeholders (S)	7,93	2,13	0,65

S06	Nível de coesão dos Stakeholders	Stakeholders (S)	8,07	2,13	0,68
S07	Empreendimento Conjuntos (Joint Ventures) - Parcerias	Stakeholders (S)	7,64	1,78	0,58
S08	Qualidade dos Stakeholders	Stakeholders (S)	7,29	2,02	0,49
S09	Localização geográfica dos Stakeholders	Stakeholders (S)	5,71	1,90	0,11
S10	Interdependências entre os Stakeholders	Stakeholders (S)	6,86	2,25	0,39
TF01	Quantidade de tarefas	Tarefas (TF)	7,00	1,71	0,42
TF02	Dependência entre tarefas (relação de dependência)	Tarefas (TF)	7,50	1,87	0,54
TF03	Inter-relação entre tarefas (Conectividade)	Tarefas (TF)	7,64	1,86	0,58
TF04	Tamanho das tarefas (Grande de Escopo)	Tarefas (TF)	7,14	1,51	0,46
TF05	Dinâmica das tarefas (Mudanças e Comportamento)	Tarefas (TF)	7,50	1,56	0,54
TF06	Variedade das tarefas (Diversidade)	Tarefas (TF)	6,93	1,64	0,40
TF07	Duração das tarefas (Tempo)	Tarefas (TF)	6,50	1,61	0,30
TF08	Nível de Inovação das tarefas	Tarefas (TF)	7,93	1,00	0,65
TF09	Clareza na especificação (requisitos) das tarefas	Tarefas (TF)	7,71	2,55	0,60
TC01	Disponibilidade de recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)	7,14	1,88	0,46
TC02	Diversidade de recursos tecnológicos (Variedade)	Tecnológica (TC)	6,50	1,99	0,30
TC03	Dependência de processos tecnológicos	Tecnológica (TC)	8,07	1,54	0,68
TC04	Inter-relação entre processos tecnológicos (Conectividade)	Tecnológica (TC)	7,71	1,49	0,60
TC05	Interação dos recursos tecnológicos com o ambiente externo	Tecnológica (TC)	8,07	0,83	0,68
TC06	Quantidade de recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)	7,00	1,30	0,42
TC07	Exigência de conteúdo local para os recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)	7,14	1,96	0,46
TC08	Mudanças associadas aos recursos tecnológicos	Tecnológica (TC)	7,71	1,73	0,60
TC09	Dificuldade de incorporação de tecnologias no projeto (Desconhecimento)	Tecnológica (TC)	8,43	0,85	0,77

* Média Normalizada = (Média calculada do fator – Menor média entre os fatores) / (Maior média entre os fatores – Menor média entre os fatores) – **Fonte:** He et al. (2015).

APÊNDICE G – Questionário de Pesquisa – Aplicação com Profissionais

Questionário de Pesquisa

Este questionário de pesquisa foi construído com o objetivo de coletar dados relativos a percepção de **profissionais brasileiros**, atuantes na área de **Gerenciamento de Projetos do Setor Público**, com relação a um conjunto de fatores de complexidade e seu nível de influência na complexidade do projeto.

O Questionário de Pesquisa está dividido em 2 seções. A primeira pretende identificar o perfil do respondente. Já a segunda, tem como objetivo colher a percepção, de profissionais brasileiros que atuam em projetos do setor público, com relação a um conjunto de fatores de complexidade identificados a partir da literatura e refinado com base na opinião de um grupo de especialistas.

Sua avaliação é de grande importância para a qualidade e o desenvolvimento desta pesquisa que está sendo feita sob a orientação do Prof. Dr. Manoel Veras de Sousa Neto (PPGA/UFRN).

OBS: É garantido ao respondente sigilo absoluto com relação as informações e respostas concedidas nesse questionário. Os pesquisadores farão uso exclusivo de dados agregados para análise dos resultados.

Dúvidas e sugestões podem ser encaminhadas para marcoslins@gmail.com – Marcos L L. Filho – Doutorando em Administração – PPGA/UFRN.

Seção I – Perfil do Respondente				
Nessa primeira parte, busca-se obter informações sobre o perfil pessoal do respondente, bem como suas qualificações, atuação e experiência.				
Nome (opcional):				
Contato (opcional):				
Sexo:	Masculino ☐		Feminino ☐	
Idade (anos):	Menos de 30 ☐	31-40 ☐	41-50 ☐	Mais de 50 ☐
Qualificação Profissional:	Nível Médio		Mestrado	
	Nível Superior		Doutorado	
	Especialização/MBA			
Experiência (ANOS):				
Função exercida nos projetos:	Gerente de Projetos		Consultor	
	Coordenador		Cliente / Patrocinador	
	Analista		Fornecedor	

APÊNDICE H – Tabulação de dados dos Profissionais da área de Gerenciamento de Projetos

ID	Sexo	Idade	Qualificação Profissional	Experiência em Projetos	Gerente de Projetos	Coordenador	Analista	Equipe Técnica	Consultor	Cliente/ Patrocinador	Fornecedor	Outras
1	Masculino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	1	0	0	1	1	0	0	0	0
2	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	8	1	0	0	0	0	0	0	0
3	Masculino	31-40 anos	Mestrado	5	1	0	0	0	0	0	0	0
4	Feminino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	4	0	1	1	0	1	0	0	0
5	Masculino	Maior que 50 anos	Doutorado	35	1	1	0	1	1	0	0	0
6	Masculino	41-50 anos	Mestrado	17	1	1	1	0	0	0	0	0
7	Feminino	31-40 anos	Doutorado	8	0	1	0	1	0	1	0	0
8	Masculino	31-40 anos	Doutorado	5	1	0	0	0	0	1	0	0
9	Feminino	31-40 anos	Mestrado	3	0	1	0	0	0	0	0	0
10	Masculino	41-50 anos	Nível Superior	5	1	1	1	1	0	0	0	0
11	Masculino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	8	1	0	1	1	1	0	0	0
12	Masculino	41-50 anos	Mestrado	18	1	1	0	1	1	0	0	0
13	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	12	1	1	1	0	0	0	0	0
14	Masculino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	5	1	0	1	0	0	0	0	0
15	Masculino	41-50 anos	Mestrado	18	1	1	0	0	1	0	0	0
16	Masculino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	12	1	1	1	1	0	0	0	0
17	Masculino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	30	1	1	0	0	1	0	0	0
18	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	11	0	0	1	0	0	0	0	0
19	Masculino	Maior que 50 anos	Nível Superior	12	1	1	0	0	0	0	0	0
20	Masculino	Maior que 50 anos	Mestrado	19	1	1	1	0	1	0	0	0
21	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	13	1	0	1	0	0	0	0	0
22	Masculino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	30	1	0	0	0	0	0	0	0
23	Masculino	Maior que 50 anos	Mestrado	33	0	0	1	1	1	0	0	0
24	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	5	1	0	1	0	0	0	0	0
25	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	8	1	0	0	0	0	0	0	0
26	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	20	0	0	0	0	1	0	0	0
27	Masculino	Maior que 50 anos	Nível Superior	5	0	0	0	1	0	0	0	0
28	Feminino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	6	1	0	0	1	0	0	0	0
29	Masculino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	10	1	0	0	0	0	0	0	0

30	Masculino	41-50 anos	Nível Superior	12	1	0	0	0	0	0	0	0
31	Feminino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	1	0	0	0	0	0	0	0
32	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	20	0	0	0	0	0	1	0	0
33	Masculino	Menor do que 30 anos	Nível Superior	8	1	0	0	0	0	0	0	0
34	Masculino	41-50 anos	Nível Superior	20	0	0	0	0	0	0	0	1
35	Masculino	31-40 anos	Mestrado	14	1	1	0	1	0	0	1	0
36	Masculino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	4	1	1	0	0	1	0	0	0
37	Masculino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	19	1	0	0	0	0	0	0	0
38	Feminino	31-40 anos	Mestrado	14	1	0	1	0	0	0	0	0
39	Feminino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	9	1	0	0	0	0	0	0	0
40	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	6	1	1	1	1	1	1	0	0
41	Masculino	41-50 anos	Mestrado	20	1	0	0	0	1	0	0	0
42	Feminino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	4	0	0	1	0	0	0	0	0
43	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	10	0	1	1	0	1	1	0	0
44	Masculino	31-40 anos	Mestrado	20	1	1	1	1	0	1	1	0
45	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	13	0	0	0	1	0	0	0	0
46	Masculino	31-40 anos	Mestrado	10	1	1	1	1	0	0	0	0
47	Masculino	41-50 anos	Doutorado	15	0	0	0	0	0	0	0	1
48	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	19	1	0	0	0	0	0	0	0
49	Feminino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	1	1	0	0	1	1	1	0
50	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	1	0	0	0	0	0	0	0
51	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	20	1	0	0	0	0	0	0	0
52	Masculino	Maior que 50 anos	Mestrado	20	1	0	0	1	1	0	0	0
53	Feminino	41-50 anos	Mestrado	20	1	0	0	0	0	1	0	0
54	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	19	1	1	0	0	1	1	0	0
55	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	18	1	0	0	1	0	0	0	0
56	Masculino	41-50 anos	Mestrado	20	1	1	1	1	1	0	0	0
57	Masculino	31-40 anos	Mestrado	10	0	0	0	0	0	0	0	1
58	Masculino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	8	1	0	0	1	1	0	0	0
59	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	22	1	1	0	0	1	1	0	0
60	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	13	1	1	1	1	1	1	1	0
61	Feminino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	10	1	0	1	1	0	0	0	0
62	Feminino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	12	1	1	0	0	1	0	1	0
63	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	0	1	0	0	0	0	0	0

64	Masculino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	5	1	0	0	0	0	0	0	0
65	Masculino	41-50 anos	Mestrado	2	0	0	0	0	0	1	0	0
66	Feminino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	10	0	1	0	1	0	0	0	0
67	Feminino	Menor do que 30 anos	Nível Superior	6	0	0	0	0	1	0	0	0
68	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	10	1	1	0	0	0	0	0	0
69	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	18	1	0	0	0	1	0	0	0
70	Masculino	Maior que 50 anos	Mestrado	15	1	0	0	0	0	0	0	0
71	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	13	0	1	0	0	0	0	0	0
72	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	4	0	0	1	0	0	0	0	0
73	Masculino	41-50 anos	Doutorado	23	1	0	0	0	1	1	1	0
74	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	12	1	1	1	0	1	0	0	0
75	Masculino	31-40 anos	Mestrado	15	1	1	0	1	1	1	1	0
76	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	14	1	1	1	0	0	0	0	0
77	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	16	1	0	1	1	1	0	0	0
78	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	0	0	0	0	1	0	0	0
79	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	8	1	0	1	0	1	0	0	0
80	Feminino	Menor do que 30 anos	Mestrado	3	0	0	1	0	0	0	0	0
81	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	20	1	0	0	0	0	0	0	0
82	Feminino	Menor do que 30 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	6	1	1	0	0	1	0	0	0
83	Feminino	31-40 anos	Doutorado	7	0	1	0	0	0	0	0	0
84	Feminino	31-40 anos	Mestrado	1	0	0	0	0	0	0	0	1
85	Masculino	Menor do que 30 anos	Mestrado	2	0	0	0	1	0	0	0	0
86	Feminino	Menor do que 30 anos	Mestrado	6	0	0	0	0	0	1	0	0
87	Feminino	Menor do que 30 anos	Mestrado	2	0	0	1	0	0	0	0	0
88	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	15	1	1	1	1	0	0	0	0
89	Feminino	31-40 anos	Mestrado	11	0	0	0	1	0	0	0	0
90	Feminino	Menor do que 30 anos	Mestrado	3	0	0	0	1	0	0	0	1
91	Masculino	Maior que 50 anos	Mestrado	15	1	1	1	0	0	0	0	0
92	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	2	0	1	0	0	0	0	0	0
93	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	20	1	1	1	0	1	0	0	0
94	Masculino	31-40 anos	Doutorado	4	0	0	0	1	0	0	0	0
95	Feminino	41-50 anos	Mestrado	20	1	1	1	1	1	0	0	0
96	Masculino	31-40 anos	Mestrado	2	0	0	0	1	0	0	0	0
97	Masculino	41-50 anos	Mestrado	12	1	0	1	0	0	1	0	0

98	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	4	0	0	0	1	0	0	0	0
99	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	1	0	0	1	0	1	0	0
100	Masculino	Maior que 50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	30	1	0	0	1	1	0	0	0
101	Masculino	Maior que 50 anos	Doutorado	30	1	0	0	0	1	0	1	0
102	Masculino	41-50 anos	Mestrado	15	1	0	0	1	1	0	0	0
103	Feminino	Maior que 50 anos	Mestrado	35	1	1	1	1	1	0	0	0
104	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	14	0	0	0	1	0	0	0	0
105	Feminino	31-40 anos	Mestrado	12	0	0	0	1	0	0	0	0
106	Masculino	41-50 anos	Mestrado	20	1	1	0	1	0	0	0	0
107	Masculino	41-50 anos	Mestrado	17	1	0	0	0	0	0	0	0
108	Masculino	41-50 anos	Mestrado	10	1	0	1	0	0	0	0	0
109	Masculino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	15	1	1	0	0	1	0	0	0
110	Masculino	31-40 anos	Mestrado	10	1	1	1	0	0	0	0	0
111	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	7	1	1	1	1	1	0	0	1
112	Feminino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	13	0	1	0	0	0	0	0	0
113	Masculino	31-40 anos	Doutorado	8	1	0	1	1	0	0	0	0
114	Feminino	41-50 anos	Mestrado	7	0	0	1	0	0	0	0	0
115	Masculino	Menor do que 30 anos	Mestrado	5	0	0	1	0	0	0	0	0
116	Feminino	41-50 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	10	1	0	0	1	0	0	0	0
117	Masculino	31-40 anos	Nível Superior	10	1	1	0	0	0	0	0	0
118	Masculino	31-40 anos	Especialização/MBA (lato sensu)	11	1	1	1	0	1	0	0	0

APÊNDICE I – Cálculo de Média, Desvio Padrão e Média Normalizada dos Fatores (Questionário com Profissionais)

Id	Fator	Média	Desvio Padrão	Média Norm
C01	Presença de influências políticas no projeto.	7,81	2,56	0,84
F01	Mudanças e cortes orçamentários no projeto	7,66	2,28	0,77
I05	Quantidade de itens a serem integrados pelo projeto.	6,87	1,98	0,36
O05	Mudanças na estrutura organizacional	6,80	2,26	0,32
PE05	Confiança nas pessoas envolvidas no projeto.	7,45	2,10	0,66
PL01	Pouco planejamento do projeto	7,98	2,13	0,94
Q04	Baixo comprometimento das pessoas com a qualidade do projeto.	7,94	2,19	0,92
I04	Mudanças nas informações relacionadas com o projeto.	7,37	2,18	0,62
O09	Nível de Maturidade Organizacional	7,15	2,12	0,50
PE11	Ausência de liderança no projeto.	8,10	2,25	1,00
TC05	Interação dos recursos tecnológicos presentes no projeto com o ambiente externo.	6,37	2,12	0,09
C03	Variedade de requisitos de conformidade do projeto (Diversidade de Requisitos)	6,92	1,94	0,38
S03	Diversidade de Stakeholders (Partes Interessadas) no projeto	7,12	2,23	0,48
O06	Mudanças nos processos de negócio	6,88	2,01	0,36
I06	Variedade de itens a serem integrados pelo projeto.	6,81	2,11	0,32
I07	Dificuldade no processo de aquisição de informação do projeto (Capturar Informações)	7,43	2,11	0,65
O08	Quantidade de contratos/pacotes de trabalho do projeto	6,66	2,19	0,24
O10	Variedade de habilidades interorganizacionais	6,19	2,20	0,00
PL02	Falta de clareza nas especificações do projeto.	8,10	1,94	1,00
TC09	Dificuldade de incorporação de tecnologias no projeto (Falta de conhecimento)	6,99	2,03	0,42

* Média Normalizada = (Média calculada do fator – Menor média entre os fatores) / (Maior média entre os fatores – Menor média entre os fatores) – **Fonte:** He et al. (2015).

APÊNDICE J – Detecção de Outliers – Distância de Mahalanobis – SPSS (Output)

```

DATASET CLOSE Conjunto_de_dados1.
EXAMINE VARIABLES=MAH_2
/PLOT BOXPLOT STEMLEAF
/COMPARE GROUPS
/STATISTICS DESCRIPTIVES EXTREME
/CINTERVAL 95
/MISSING LISTWISE
/NOTOTAL.

```

Explorar

Observações		
Saída criada		17-JUN-2019 15:52:26
Comentários		
Entrada	Dados	C:\Users\MARCOS\Desktop\Tese Doutorado\Base de Dados\BD_TAB_PROFISSIONAIS.sav
	Conjunto de dados ativo	Conjunto_de_dados2
	Filtro	<none>
	Ponderação	<none>
	Arquivo Dividido	<none>
	N de linhas em arquivo de dados de trabalho	118
Tratamento de valor ausente	Definição de ausente	Os valores ausentes definidos pelo usuário para variáveis dependentes são tratados como ausentes.
	Casos utilizados	As estatísticas são baseadas em casos sem valores ausentes para qualquer variável dependente ou fator usado.
Sintaxe		EXAMINE VARIABLES=MAH_2 /PLOT BOXPLOT STEMLEAF /COMPARE GROUPS /STATISTICS DESCRIPTIVES EXTREME /CINTERVAL 95 /MISSING LISTWISE /NOTOTAL.
Recursos	Tempo do processador	00:00:00,16
	Tempo decorrido	00:00:00,15

Resumo de processamento do caso

	Casos				
	Válido		Ausente		Total
	N	Porcentagem	N	Porcentagem	N
Mahalanobis Distance	118	100,0%	0	0,0%	118

Resumo de processamento do caso

	Casos
	Total
	Porcentagem
Mahalanobis Distance	100,0%

Descritivos

		Estatística	Erro Padrão
Mahalanobis Distance	Média	19,8305085	1,04854655
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior 21,9071000	
	5% da média aparada	19,4273005	
	Mediana	17,2252314	
	Variância	129,735	
	Desvio Padrão	11,39013105	
	Mínimo	2,24553	
	Máximo	49,11863	
	Intervalo	46,87310	
	Intervalo interquartil	19,85469	
	Assimetria	,512	,223
	Curtose	-,835	,442

Valores Extremos

			Número do caso	Valor
Mahalanobis Distance	Mais alto	1	46	49,11863
		2	57	42,72209
		3	71	41,77467
		4	77	41,73526
		5	94	41,54182
	Mais baixo	1	112	2,24553
		2	44	3,90693
		3	111	4,18439
		4	20	4,22189
		5	84	4,32906

Mahalanobis Distance

Mahalanobis Distance Stem-and-Leaf Plot

Frequency Stem & Leaf

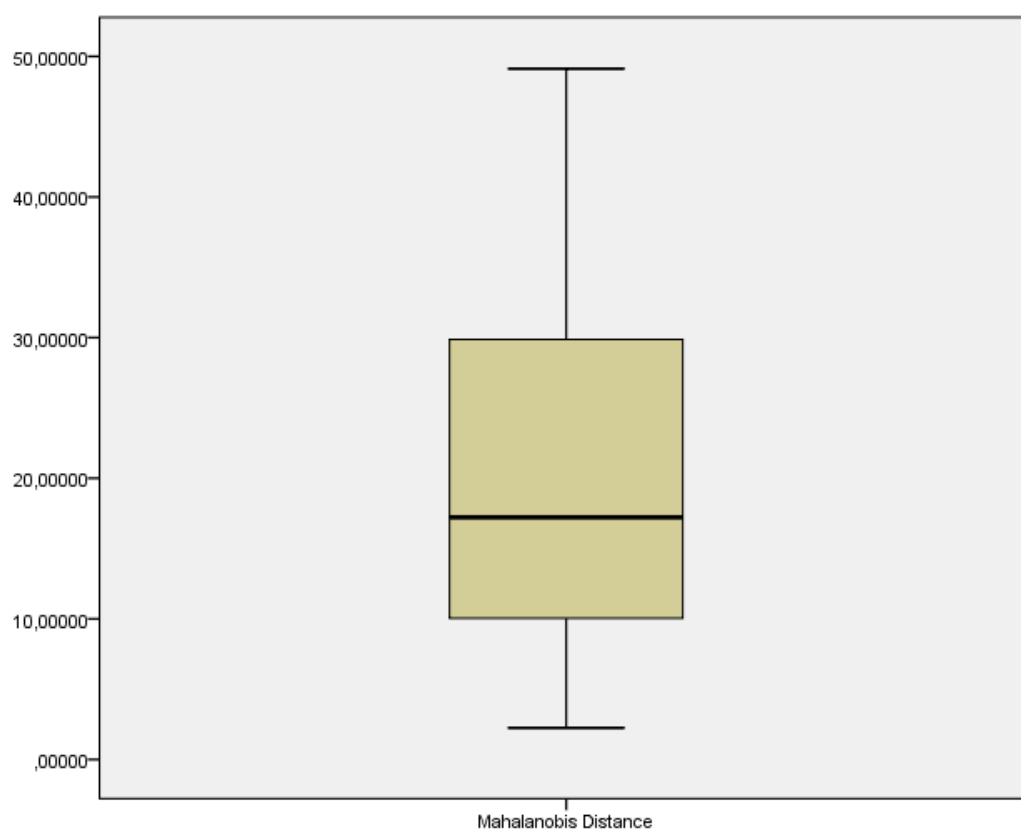
```

7,00  0 . 2344444
21,00 0 . 566677778888888889999
25,00 1 . 000000111111222333334444
14,00 1 . 55666777788899
9,00  2 . 000012334
14,00 2 . 55566667778899
13,00 3 . 0000001223334
7,00  3 . 5566779
7,00  4 . 0011112
1,00  4 . 9

```

Stem width: 10,00000

Each leaf: 1 case(s)



```
COMPUTE Prob_MD=1-CDF.CHISQ(MAH_2,20).
EXECUTE.
COMPUTE Outlier=Prob_MD < 0.01.
EXECUTE.
COMPUTE Outlier=Prob_MD < 0.001.
EXECUTE.
DATASET ACTIVATE Conjunto_de_dados2.
SAVE OUTFILE='C:\Users\MARCOS\Desktop\Tese Doutorado\Base de
Dados\BD_TAB_PROFISSIONAIS.sav'
/COMPRESSED.
```

Id	Distância de Mahalanobis (MD)				
1	26,00216	11	35,46448	24	29,87217
2	20,34032	12	11,41977	25	7,68956
3	14,38237	13	26,36006	26	13,04425
4	17,79277	14	8,70769	27	40,76664
5	32,07054	15	9,92910	28	30,53068
6	37,73703	16	8,06432	29	20,65289
7	12,48760	17	31,99842	30	30,57465
8	39,86097	18	15,23363	31	10,49304
9	33,62456	19	34,34159	32	19,23768
10	9,95283	20	4,22189	33	7,86416
		21	19,20030	34	11,97598
		22	9,70607	35	32,09602
		23	15,04875	36	30,51386

37	10,69445	65	36,28313	93	25,84069
38	11,28119	66	30,39846	94	41,54182
39	8,65459	67	12,73893	95	18,29090
40	17,20254	68	20,53063	96	25,90518
41	7,85989	69	14,78146	97	16,73707
42	10,49545	70	6,61753	98	13,72968
43	16,02973	71	41,77467	99	10,37867
44	3,90693	72	30,28083	100	8,73792
45	13,12192	73	11,22283	101	14,29578
46	49,11863	74	33,18810	102	23,01950
47	8,80902	75	27,72342	103	11,94790
48	24,91604	76	16,91291	104	13,17567
49	30,21676	77	41,73526	105	11,47225
50	8,37559	78	20,59767	106	12,92466
51	8,55549	79	28,87730	107	4,67557
52	14,10366	80	6,11195	108	27,52866
53	10,03495	81	8,13718	109	25,06087
54	28,17752	82	26,70282	110	35,19488
55	18,78924	83	29,95050	111	4,18439
56	33,31885	84	4,32906	112	2,24553
57	42,72209	85	22,71737	113	9,36134
58	6,44552	86	23,33739	114	36,55104
59	4,53209	87	26,89247	115	40,45135
60	37,25057	88	10,03777	116	13,82167
61	7,89354	89	17,28042	117	27,84761
62	11,98372	90	17,24793	118	18,38953
63	5,44369	91	8,91999		
64	21,10112	92	41,06838		

APÊNDICE K – Associação dos Agrupamentos usando o K-Means

Associação do cluster		
Número do caso	Cluster	Distância
1	1	6,909
2	2	3,471
3	1	4,144
4	3	3,535
5	1	7,619
6	2	8,907
7	3	4,092
8	2	8,729
9	1	7,729
10	3	2,613
11	1	8,926
12	3	2,608
13	2	6,272
14	3	3,700
15	3	4,313
16	3	3,050
17	1	5,738
18	3	2,655
19	2	7,740
20	3	2,681
21	1	4,560
22	3	4,136
23	3	4,199
24	1	7,188
25	3	3,068
26	3	3,240
27	2	9,299
28	3	3,992
29	1	5,504
30	2	5,160
31	3	2,905
32	3	7,984
33	3	3,090
34	3	5,666
35	1	7,356
36	2	6,550
37	3	4,245
38	3	3,770
39	3	3,752

40	3	4,478
41	3	3,031
42	3	2,915
43	3	3,722
44	3	1,648
45	3	4,216
46	1	8,026
47	3	3,423
48	1	6,040
49	3	3,933
50	3	3,447
51	3	3,933
52	3	3,662
53	3	4,462
54	3	3,535
55	3	4,072
56	1	9,276
57	1	9,974
58	3	2,763
59	3	3,291
60	1	6,740
61	3	3,188
62	1	3,983
63	3	3,519
64	3	3,689
65	1	7,097
66	3	2,758
67	3	3,922
68	1	5,957
69	3	3,620
70	3	2,938
71	1	5,999
72	3	6,656
73	3	3,696
74	3	7,399
75	1	6,294
76	2	3,729
77	1	9,178
78	2	5,547
79	3	4,089
80	3	3,635

81	3	3,879
82	3	5,552
83	3	7,131
84	3	3,411
85	1	6,455
86	1	5,639
87	1	5,808
88	3	4,173
89	1	6,284
90	3	6,743
91	3	3,543
92	2	6,616
93	1	5,470
94	3	10,689
95	3	4,775
96	2	5,661
97	3	4,615
98	3	3,467
99	3	4,536
100	3	2,832

101	3	4,881
102	1	5,792
103	3	4,010
104	3	3,108
105	3	3,756
106	3	4,772
107	3	2,403
108	2	8,039
109	1	5,054
110	1	8,605
111	3	2,712
112	3	2,722
113	3	2,919
114	2	7,703
115	1	7,849
116	3	6,536
117	1	4,986
118	1	4,655

APÊNDICE L – Código Fonte – Método do Cotovelo (*Elbow Method*)

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

## Realiza a Leitura da base de Dados e armazena na variável bdTese
bdTese = pd.read_csv ('bdKmeans.csv', header = 0)
bdTese.head()

## Seleciona somente os TOP 10 critérios para compor a Análise de Clusters
##
X = bdTese.iloc[:, [0,1,4,5,6,7,8,9,15,18]].values

from sklearn.cluster import KMeans

## Define o num de Clusters em 3 e o modo de inicialização dos centroides
kmeans = KMeans(n_clusters = 3, init = 'k-means++')

## Executa o Método de Agrupamento Kmeans##
kmeans.fit(X)

## Guarda os valores dos centróides dos Clusters na variável centroides ##
centroides = kmeans.cluster_centers_
print (centroides)

## Guarda os valores das distâncias do elementos para os centróides ##
distance = kmeans.fit_transform(X)

## Armazena a alocação por elemento em cada cluster na variável labels ##
##(vetor de classificação dos elementos)##
labels = kmeans.labels_
dt_labels = pd.DataFrame(labels)
dt_X = pd.DataFrame(X)
resultados = [dt_X, dt_labels]
resultadoKMeans = pd.concat(resultados,axis=1, ignore_index=True)
kmeans.score(X)

### Método Elbow
import matplotlib.pyplot as plt

wcss = []
varp = []
vartot = 0
print()
print ('##### Somatório dos Erros Quadráticos #####')
print()
for i in range(1, 10):
    kmeans = KMeans(n_clusters = i, init = 'random')
    kmeans.fit(X)
    print (i, kmeans.inertia_)
    wcss.append(kmeans.inertia_)

print()
print ('#####')
plt.plot(range(1, 10), wcss)
plt.title('Método do Cotovelo (Elbow Method)')
plt.xlabel('Número de Clusters')
plt.ylabel('Somatório dos Erros Quadráticos')
plt.show()

#####
```

APÊNDICE M – Código Fonte – Algoritmo de Classificação (Support Vector Machine - SVM)

```

import pandas as pd

baseTreino = pd.read_csv('bdTreino70.csv')

baseTreino.describe()
baseTreino.head()

baseTeste = pd.read_csv ('bdTeste30.csv')

previsores_treinamento = baseTreino.iloc[:, [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]].values
classe_treinamento = baseTreino.iloc[:, 10].values

previsores_teste = baseTeste.iloc[:, [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]].values

import numpy as np
classe_teste = np.array ([3, 3, 1, 1, 1, 3, 1, 3, 3, 2, 1, 3, 3, 2, 3, 3,
3, 3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 1, 1, 3, 3, 3, 2, 1, 3, 1, 1])

from sklearn.svm import SVC
classificador = SVC(C=2.0, kernel='linear', tol=0.001, max_iter=110)

classificador.fit(previsores_treinamento, classe_treinamento)
previsoes = classificador.predict(previsores_teste)

from sklearn.metrics import confusion_matrix, accuracy_score,
balanced_accuracy_score, classification_report
acuracia = accuracy_score(classe_teste, previsoes)
acuracia_balanceada = balanced_accuracy_score(classe_teste, previsoes)
relatorio = classification_report (classe_teste, previsoes)
matriz = confusion_matrix(classe_teste, previsoes)

print (relatorio)
import collections
collections.Counter(classe_teste)

#####
###
## Salvando Modelo

import pandas
from sklearn import model_selection
from sklearn.externals import joblib

arquivo = 'svm_modelo.sav'
joblib.dump (classificador, arquivo)

#####
###
## Carregando Modelo
arquivo = 'svm_modelo.sav'
carregar = joblib.load (arquivo)

import numpy as np
import pandas as pd

n_baseTrein = pd.read_csv ('out.csv')

```

```

previsores_treinamento = n_baseTrein.iloc[:, [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]].values
classe_treinamento = n_baseTrein.iloc[:, 10].values

df_previsoresTreino = pd.DataFrame(previsores_treinamento)
df_classeTreino = pd.DataFrame(classe_treinamento)

data_pred = pd.concat ([df_previsoresTreino, df_classeTreino], axis=1)

data_pred.to_csv("out.csv", index=False, mode='w', header=False)

data = np.array ([[7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7],[8, 7, 8, 9, 9, 10, 7, 8,
9, 9], [6, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6]])

df_data = pd.DataFrame(data)

predicao = classificador.predict (data)
df_pred = pd.DataFrame (predicao)

data_pred = pd.concat ([df_data, df_pred], axis=1)

data_pred.to_csv("out.csv", index=False, mode='a', header=False)

for i in range(3):
    if predicao[i]==1:
        print ('Complexidade Média')
    if predicao[i]==2:
        print ('Complexidade Baixa')
    if predicao[i]==3:
        print ('Complexidade Alta')

#####

```

APÊNDICE N – Resultados dos Experimentos

1ª Rodada de Experimentos – Resultados

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 70% (82 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 1					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,8888	C. Baixa	3	1	0
Acurácia Balanceada	0,8402	C. Média	1	9	1
Acurácia (Complex. Baixa)	0,75	C. Alta	0	1	20
Acurácia (Complex. Média)	0,82				
Acurácia (Complex. Alta)	0,95				
Coefic de Matthews (MCC)	0,7994				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 70% (82 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 2					
Métricas	Valor		C. Baixa	C. Média	C. Alta
Acurácia	0,9444	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	0,9538	C. Média	1	10	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	20
Acurácia (Complex. Média)	0,91				
Acurácia (Complex. Alta)	0,95				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9035				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 70% (82 observ.)			C. Baixa	C. Média	C. Alta
Conj. Teste. 30% (36 observ.)		C. Baixa	4	0	0
Grau da função = 3		C. Média	1	10	0
Métricas	Valor	C. Alta	0	0	21
Acurácia	0,9722				

Acurácia Balanceada	0,9697	
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	
Acurácia (Complex. Média)	0,91	
Acurácia (Complex. Alta)	1,00	
Coefic de Matthews (MCC)	0,9517	

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 70% (82 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor		C. Baixa	C. Média	C. Alta
Acurácia	1,0000	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	1,0000	C. Média	0	11	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	0	21
Acurácia (Complex. Média)	1,00				
Acurácia (Complex. Alta)	1,00				
Coefic de Matthews (MCC)	1,0000				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 70% (82 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 5					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	1,0000	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	1,0000	C. Média	0	11	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	0	21
Acurácia (Complex. Média)	1,00				
Acurácia (Complex. Alta)	1,00				
Coefic de Matthews (MCC)	1,0000				

2ª Rodada de Experimentos - Resultados

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 30% (36 observ.)					
Conj. Teste. 70% (82 observ.)					
Grau da função = 1					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9036	C. Baixa	7	0	0
Acurácia Balanceada	0,8878	C. Média	3	15	4
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	53
Acurácia (Complex. Média)	0,68				
Acurácia (Complex. Alta)	0,98				
Coefic de Matthews (MCC)	0,8107				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 30% (36 observ.)					
Conj. Teste. 70% (82 observ.)					
Grau da função = 2					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9398	C. Baixa	7	0	0
Acurácia Balanceada	0,9332	C. Média	3	18	1
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	53
Acurácia (Complex. Média)	0,82				
Acurácia (Complex. Alta)	0,98				
Coefic de Matthews (MCC)	0,8832				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 30% (36 observ.)					
Conj. Teste. 70% (82 observ.)					
Grau da função = 3					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9518	C. Baixa	7	0	0
Acurácia Balanceada	0,9484	C. Média	2	19	1
		C. Alta	0	1	53

Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	
Acurácia (Complex. Média)	0,86	
Acurácia (Complex. Alta)	0,98	
Coefic de Matthews (MCC)	0,9054	

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 30% (36 observ.)					
Conj. Teste. 70% (82 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9518	C. Baixa	7	0	0
Acurácia Balanceada	0,9484	C. Média	2	19	1
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	53
Acurácia (Complex. Média)	0,86				
Acurácia (Complex. Alta)	0,98				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9054				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 30% (36 observ.)					
Conj. Teste. 70% (82 observ.)					
Grau da função = 5					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9518	C. Baixa	7	0	0
Acurácia Balanceada	0,9484	C. Média	2	19	1
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	53
Acurácia (Complex. Média)	0,86				
Acurácia (Complex. Alta)	0,98				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9054				

3ª Rodada de Experimentos - Resultados

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 10% (12 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9722	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	0,9841	C. Média	0	11	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	20
Acurácia (Complex. Média)	1,00				
Acurácia (Complex. Alta)	0,98				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9519				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 20% (24 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor		C. Baixa	C. Média	C. Alta
Acurácia	0,9722	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	0,9697	C. Média	1	10	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	0	21
Acurácia (Complex. Média)	0,91				
Acurácia (Complex. Alta)	1,00				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9517				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 30% (35 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9722	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	0,9697	C. Média	1	10	0
		C. Alta	0	0	21

Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	
Acurácia (Complex. Média)	0,91	
Acurácia (Complex. Alta)	1,00	
Coefic de Matthews (MCC)	0,9517	

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 40% (47 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9444	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	0,9538	C. Média	1	10	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	20
Acurácia (Complex. Média)	0,91				
Acurácia (Complex. Alta)	0,95				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9035				

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 50% (59 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	0,9444	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	0,9538	C. Média	1	10	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	1	20
Acurácia (Complex. Média)	0,91				
Acurácia (Complex. Alta)	0,95				
Coefic de Matthews (MCC)	0,9035				

Parâmetros	Matriz de Confusão		
Conj. Trein. 60% (71 observ.)			
Conj. Teste. 30% (36 observ.)			
	C. Baixa	C. Média	C. Alta

Grau da função = 4		C. Baixa	4	0	0								
Métricas	Valor					C. Média	0	11	0				
Acurácia	0,9722									C. Alta	0	1	20
Acurácia Balanceada	0,9841												
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00												
Acurácia (Complex. Média)	1,00												
Acurácia (Complex. Alta)	0,95												
Coefic de Matthews (MCC)	0,9519												

Parâmetros		Matriz de Confusão			
Conj. Trein. 70% (47 observ.)					
Conj. Teste. 30% (36 observ.)					
Grau da função = 4					
Métricas	Valor	C. Baixa	C. Média	C. Alta	
Acurácia	1,0000	C. Baixa	4	0	0
Acurácia Balanceada	1,0000	C. Média	0	11	0
Acurácia (Complex. Baixa)	1,00	C. Alta	0	0	21
Acurácia (Complex. Média)	1,00				
Acurácia (Complex. Alta)	1,00				
Coefic de Matthews (MCC)	1,0000				