

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica

MARCELLA ROCHA FRANCO

**PLANEJAMENTO ADAPTATIVO EM GESTÃO DE PROJETOS COMPLEXOS:
CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CONTEXTO DE
P&D COLABORATIVO EM NANOTECNOLOGIA**

BELO HORIZONTE
2023

MARCELLA ROCHA FRANCO

**PLANEJAMENTO ADAPTATIVO EM GESTÃO DE PROJETOS COMPLEXOS:
CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CONTEXTO DE
P&D COLABORATIVO EM NANOTECNOLOGIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor(a) em Inovação Tecnológica.

Área de concentração: Gestão da Inovação, Propriedade Intelectual e Empreendedorismo.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Glaura Goulart Silva

BELO HORIZONTE
2023

Ficha Catalográfica

F825p Franco, Marcella Rocha.
2023 Planejamento adaptativo em gestão de projetos complexos [manuscrito]:
T caracterização e proposta metodológica para o contexto de P&D colaborativo em
nanotecnologia / Marcella Rocha Franco. 2023.
1 recurso online (145 f. : il., gráfs., tabs., color.) : pdf.

Orientadora: Glaura Goulart Silva.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de
Química (Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica).

Bibliografia: f. 110-120.

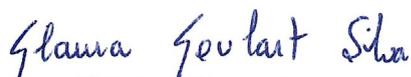
Apêndices: f. 121-145.

1. Inovações tecnológicas – Teses. 2. Projetos de desenvolvimento – Teses. 3.
Nanotecnologia – Teses. 4. Tecnologia da informação – Teses. 4. Planejamento –
Teses. 5. Pesquisa e desenvolvimento – Teses. 6. Cooperação universitária – Teses. 7.
Administração de projetos – Teses. 8. Empreendedorismo – Teses. I. Silva, Glaura
Goulart, Orientadora. II. Título.

CDU 043

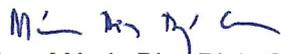
**ATA DA SESSÃO DE DEFESA DA 30ª TESE DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS, DA DISCENTE MARCELLA ROCHA FRANCO, Nº DE REGISTRO 2018718198.**

Aos 27 (vinte e sete) dias do mês de junho de 2023, às 14 horas, no Auditório do CTNano/UFMG, reuniu-se a Comissão Examinadora composta pelos Professores Doutores: Glaura Goulart Silva do Programa de Pós-graduação em Inovação Tecnológica da UFMG (Orientadora), Márcia Dias Diniz Costa do INMETRO - Laboratório Associado para Inovação em Instrumentação Científica - LA3IC, Daniel Bastos de Rezende do Departamento de Engenharia Química da UFMG, Jonathan Simões Freitas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFMG e Raoni Barros Bagno do Programa de Pós-graduação em Inovação Tecnológica da UFMG, para julgamento da Tese de Doutorado em Inovação Tecnológica - Área de Concentração: Gestão da Inovação, Propriedade Intelectual e Empreendedorismo da discente Marcella Rocha Franco, Tese intitulada: **“PLANEJAMENTO ADAPTATIVO EM GESTÃO DE PROJETOS COMPLEXOS: CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CONTEXTO DE P&D COLABORATIVO EM NANOTECNOLOGIA.”** A Presidente da Banca abriu a sessão e apresentou a Comissão Examinadora, bem como esclareceu sobre os procedimentos que regem da defesa pública de tese. Após a exposição oral do trabalho pela discente e arguição pelos membros da Banca Examinadora na ordem registrada acima, com a respectiva defesa da candidata. Finda a arguição, a Banca Examinadora se reuniu, sem a presença da discente e do público, tendo deliberado unanimemente pela sua **APROVAÇÃO**. Nada mais havendo para constar, lavrou-se e fez a leitura pública da presente Ata que segue assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora e pelo coordenador do Programa. Belo Horizonte, 27 de junho de 2023.



Professora Doutora Glaura Goulart Silva (Orientadora)

(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)



Doutora Márcia Dias Diniz Costa

(INMETRO - Laboratório Associado para Inovação em Instrumentação Científica - LA3IC)



Professor Doutor Daniel Bastos de Rezende
(Departamento de Engenharia Química da UFMG)



Professor Doutor Jonathan Simões Freitas
(Faculdade de Ciências Econômicas da UFMG)



Professor Doutor Raoni Barros Bagno
(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)



Professor Doutor Ado Jório de Vasconcelos
Coordenador do PPG em Inovação Tecnológica da UFMG

**“PLANEJAMENTO ADAPTATIVO EM GESTÃO DE PROJETOS COMPLEXOS:
CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CONTEXTO DE P&D
COLABORATIVO EM NANOTECNOLOGIA.”**

MARCELLA ROCHA FRANCO, Nº DE REGISTRO 2018718198

Tese **Aprovada** pela Banca Examinadora constituída pelos Professores Doutores:



Professora Doutora Glaura Goulart Silva (Orientadora)

(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)



Doutora Márcia Dias Diniz Costa

(INMETRO - Laboratório Associado para Inovação em Instrumentação Científica - LA3IC)



Professor Doutor Daniel Bastos de Rezende

(Departamento de Engenharia Química da UFMG)



Professor Doutor Jonathan Simões Freitas

(Faculdade de Ciências Econômicas da UFMG)



UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Professor Doutor Raoni Barros Bagno

(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professor Doutor Ado Jório de Vasconcelos

Coordenador do PPG em Inovação Tecnológica da UFMG

Belo Horizonte, 27 de junho de 2023.

*À minha mãe Roseli Rocha,
aos meus avós Antônio e Nair
e ao meu parceiro de vida Gustavo,
minhas raízes e meu porto!*

AGRADECIMENTOS

A meu anjo da guarda por sempre guiar os meus passos e iluminar meu caminho. Ao universo por sempre cuidar de tudo.

À minha mãe Roseli e aos meus avós Antônio e Nair, por nunca me deixarem desistir, pelos valores e princípios que formaram meu caráter, pelo amor incondicional, incentivo e colo. Mas, principalmente por sempre confiarem e acreditarem em mim. Ao Gustavo, meu parceiro de vida, pelo amparo e compreensão, mas principalmente por ser porto e nunca medir esforços para trazer luz aos meus dias chuvosos.

Às famílias Rocha e Monteiro, pelo colo, carinho e apoio, em especial minhas tias Rosângela, Rosa Emília e Rosilene. Ao meu pai Betônio pelos conselhos e por sempre me encorajar e me apoiar. Amo vocês!

À professora Glaura Goulart, a quem expresso imensa gratidão e admiração, por todos os ensinamentos, palavras de incentivo, apoio profissional e confiança, mas principalmente por ter sido durante esse tempo de formação inspiração e um exemplo de profissional a ser seguido.

Aos professores do PPGIT e da UFMG, pelos ensinamentos, suporte acadêmico e pela oportunidade de formação com qualidade. Em especial aos professores Raoni Bagno e Jonathan Simões que sempre me instigaram na busca por conhecimento, pelos ensinamentos e apoio à minha formação.

Ao professor Rochel Lago e aos colegas do e do INCT/Midas, onde fiz o primeiro pouso, pelo acolhimento, aprendizado, convívio diário, boas risadas, ajudas e desabafos. Também aos colegas do CTNano/UFMG, em especial à Leice pela amizade e parceria, e ao Vinícius que sempre me acolheram com carinho e nunca mediram esforços em ajudar. Às secretárias Eni e Letícia, por todo suporte e apoio nesta trajetória.

E por fim aos amigos (antigos e novos) pelo carinho, acolhimento, palavras de incentivo e força, fundamentais para trazer leveza à caminhada. A todos, “meu muito obrigada”!

RESUMO

Embora na literatura já seja discutido o uso de abordagens adaptativas para o gerenciamento de projetos complexos, uma vez que as metodologias tradicionais não estão preparadas para lidar com cenários dinâmicos e imprevisíveis, elas são discutidas, principalmente em projetos de Tecnologia da Informação (TI), e até o momento não tiveram sua aplicação consolidada no campo da nanotecnologia. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar o uso de um modelo adaptativo e prescritivo para contribuir, em tempo real, com o gerenciamento de projetos complexos de Pesquisa & Desenvolvimento na área da nanotecnologia. Assim, foi realizado um estudo de caso único em profundidade de um projeto colaborativo de PD&I do Centro de Tecnologias em Nanomateriais e Grafeno da UFMG (CTNano/UFMG) em parceria com uma indústria multinacional. Para tanto, utilizou-se a combinação das abordagens de rastreamento de processos - *process tracing* - na perspectiva do encadeamento de eventos instigados por agentes, com as dimensões de complexidades. A estrutura metodológica foi aplicada durante a evolução do projeto e se baseou no mapeamento cognitivo das narrativas dos principais atores envolvidos no projeto, na pesquisa documental e na observação participante. O mapeamento, combinado à abordagem das dimensões, permitiu descrever cada evento em termos de agente, ação, objeto, instrumento, produto e desafio. Foi possível construir um mapa em evolução temporal com as dimensões das complexidades, que apresentaram elementos de complexidade em quatro dimensões: sócio-política, incerteza, estrutural e ritmo. O modelo, quando aplicado em tempo real, conferiu maior clareza sobre a realidade do projeto e apoiou a tomada de decisão dos agentes, permitindo adaptações e ajustes no plano, à medida que o projeto avançou. Os resultados obtidos indicam a possibilidade do uso de uma abordagem adaptativa de Gerenciamento de Projetos (GP), capaz de contribuir em tempo real tanto com a compreensão das complexidades quanto com a tomada de decisão pelos gerentes (de projeto). As implicações para a pesquisa incluem a contribuição do mapa de eventos e da abordagem das dimensões para a literatura de GP, a partir da proposta de um modelo adaptativo. Este resultado pode ser visto como o ponto de partida para novos estudos que visem avançar na investigação sobre as abordagens adaptativas para o GP com uso da nanotecnologia.

Palavras-chave: Projetos complexos de PD&I; Planejamento adaptativo; nanotecnologia; Gestão de projetos complexos.

ABSTRACT

Although in the literature the use of adaptive approaches for complex PM is already discussed since traditional methodologies are not prepared to deal with dynamic and unpredictable scenarios, they are discussed, mainly in Information Technology (IT) projects, and so far have not had their consolidated application in the field of nanotechnology. The objective of this study was to develop and evaluate the use of an adaptive/flexible approach to contribute to the management of complex new product development (NPD) projects in the area of nanotechnology. Thus, a single in-depth case study was carried out of a collaborative RD&I project at the Center for Technologies in Nanomaterials and Graphene at UFMG (CTNano/UFMG) in partnership with a multinational industry. For this purpose, a combination of process tracing approaches - process tracing - was used from the perspective of chaining events instigated by agents, with the dimensions of complexities. The methodological structure was applied during the project's evolution and was based on the cognitive mapping of the narratives of the main actors involved in the project, on documentary research and on participant observation. The mapping, combined with the dimensions approach, allowed describing each event in terms of agent, action, object, instrument, product and challenge. It was possible to build a map in temporal evolution with the dimensions of complexities, which presented elements of complexity in four dimensions: sociopolitical, uncertainty, structural and pace. The model, when applied in real time, provided greater clarity about the reality of the project and supported the agents' decision-making, allowing adaptations and adjustments to the plan as the project progressed. The results obtained indicate the possibility of using an adaptive project management approach, capable of contributing in real time both to the understanding of complexities and to decision-making by (project) managers. Implications for research include the contribution of the event map and the dimension approach to the project management literature, based on the proposal of an adaptive model. This result can be seen as the starting point for further studies aimed at advancing the investigation of adaptive approaches to project management using nanotechnology.

Keywords: Complex RD&I projects; adaptive planning; nanomaterials project; complex project management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipologia de projetos adaptada de Gorod et al., (2008) e traduzida de Brakhshi et al., (2016).	32
Figura 2- “Clusters” identificados nas investigações do campo da complexidade de projetos.	33
Figura 3- Características dos projetos complexos, tendo em vista as três principais escolas de pensamento.	35
Figura 4- Evolução do histórico na literatura do campo das complexidades.	36
Figura 5- Representação do processo de gestão ágil baseado no Scrum para o desenvolvimento de projetos.	48
Figura 6- Diferença dos pontos de comunicação entre as equipes ágeis e as tradicionais nos projetos de PD&I.	51
Figura 7- Quadro teórico utilizado como base para a construção do modelo proposto.	58
Figura 8- Resumo do processo de pesquisa adotado durante a coleta e análise dos dados.	65
Figura 9- Eventos codificados, mapeados e alocados de modo cronológico no PDP proposto por Resende e Bagno (2017).	73
Figura 10- Dimensões das complexidades identificadas a partir de seus indicadores nos eventos mapeados.	79
Figura 11- Mapa das dimensões das complexidades identificadas durante o projeto de PD&I, até a fase de escalonamento em laboratório.	86
Figura 12- Agentes e/ou grupos identificados nas três organizações envolvidas no caso em estudo. O número à frente de cada agente e/ou grupo corresponde à frequência de aparição nos eventos.	88
Figura 13- Interações praticadas entre os agentes envolvidos nos eventos mapeados.	90
Figura 14- Categorias de agentes identificados nos eventos de acordo com as fases do PDP.	91
Figura 15- Proposta de um modelo prescritivo e flexível/ adaptável, capaz de auxiliar os gestores de projetos a lidarem com as complexidades em projetos de nanotecnologia.	93

LISTA DE QUADROS

Tabela 1- Quadro síntese das dimensões dos elementos complexos presentes em projetos. ...	41
Tabela 2- Quadro de informantes e os respectivos papéis ocupados na organização e no projeto.	67
Tabela 3- Quadro de eventos adaptado para as entrevistas semiestruturadas e codificação dos eventos.	68
Tabela 4- Quadro de eventos (49) essenciais para a compreensão do caso em estudo.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAG – Abordagens Adaptativas de Gestão
AIPM – *Australian Institute for Project Management*
APM – *Association for Project Management*
ASGM – Agile Stage-Gate Management
BH-TEC – Parque Tecnológico de Belo Horizonte
CBAN – Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia
CBCIN – Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia
CETENE – Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CQ – Controle de Qualidade
CT&I – Ciência Tecnologia e Inovação
CTNano/UFMG – Centro de Tecnologias em Nanomateriais e Grafeno da UFMG
DNP – Desenvolvimento de Novos Produtos
DT – Desenvolvimento Tecnológico
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESCLAB – Escalonamento
ET – Escopo técnico
IBN – Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia
ICT – Instituição de Ciência e Tecnologia
INCT – Instituição Nacional de Ciência e Tecnologia
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
IPMA – *International Project Management Association*
ISO/ TC – *International Organization for Standardization/Technical Committee*
GAP – Gerenciamento ágil de projetos
GP – Gerenciamento de projetos
KETs – *Key Enabling Technologies*
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MACTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
P&D – Pesquisa & Desenvolvimento
PD&I – Pesquisa, desenvolvimento & inovação
PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

PMI – *Project Management Institute*

PMBOK – *Project Management Body of Knowledge*

POC – Prova de Conceito

PP – Projeto de pesquisa

RMQ – Requisitos mínimos de qualidade

SGM – Stage-gate Management

SibratecNano – Centro de Inovação em Nanotecnologia

SisNANO – Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia

SMS – Saúde, Meio ambiente e Segurança

SoS – Sistemas de sistemas

TAE – Tecnologia atualmente empregada

TED – Tecnologia em desenvolvimento

TI – Tecnologia da Informação

U-E – Universidade-Empresa

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFRG – Universidade Federal do Rio Grande

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Contextualização.....	18
1.2 Estrutura do documento	26
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 Colaborações em PD&I: Interação U-E.....	27
2.2 Complexidades nos projetos colaborativos de P&D.....	29
2.2.1 Conceituação da complexidade nos projetos	31
2.2.2 Avanços da literatura no campo da complexidade dos projetos	33
2.3 Dimensões das complexidades em projetos.....	36
2.3.1 Complexidade estrutural	37
2.3.2 Complexidade vinculada ao ritmo.....	37
2.3.3 Complexidade dinâmica.....	37
2.3.4 Complexidades sociopolíticas	38
2.3.5 Complexidade de incertezas.....	38
2.4 Gerenciamento das complexidades em projetos	43
2.5 Planejamento adaptativo	45
2.5.1 Pressupostos centrais das abordagens ágeis	46
2.5.2 Diferenças entre as abordagens tradicionais e ágeis no GP	49
2.5.3 Abordagem híbrida para o GP complexos de PD&I.....	52
3. OBJETIVO	58
4. METODOLOGIA.....	59
4.1 Classificação da pesquisa.....	59
4.1.1 Rastreamento de Processos - <i>Process Tracing</i>	60
4.1.2 O caso.....	63
4.2 Coleta de dados	64
4.2.1 Pesquisa documental	66
4.2.2 Observação participante	66
4.2.3 Entrevistas semiestruturadas	67
4.3 Análises dos dados coletados.....	67
4.3.1 Codificação e construção do mapa de eventos.....	68
4.3.2 Construção da narrativa e validação do mapa de eventos.....	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70

5.1	Eventos mapeados.....	70
5.2	Construção da narrativa	72
5.2.1	Pré-desenvolvimento.....	74
5.2.2	Desenvolvimento do produto	75
5.3	Dimensões das complexidades identificadas no caso investigado	78
5.3.1	Complexidades identificadas na dimensão de incertezas.....	80
5.3.2	Complexidades identificadas na dimensão sociopolítica	82
5.3.3	Complexidades identificadas na dimensão estrutural	84
5.3.4	Complexidades identificadas na dimensão de ritmo	85
5.4	Mapa das dimensões das complexidades	85
5.4.1	Macrofase 1: pré-desenvolvimento	87
5.4.2	Macrofase 2: desenvolvimento do produto	87
5.5	Relação U-E: agentes, papéis e interações identificadas	88
5.6	Proposta de abordagem para flexibilizar o GP de projetos complexos	91
5.6.1	Recomendações de uso.....	94
5.6.2	Resultados observados com o uso do modelo.....	96
5.6.3	Implicações teóricas	105
5.6.4	Implicações práticas	107
6.	CONCLUSÃO.....	108
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICE A – Artigos e trabalhos publicados.....	121
	APÊNDICE B – Quadro de eventos codificados	122
	APÊNDICE C – Descrição detalhada narrativa	131
	APÊNDICE D – Dimensões das complexidades	139
	APÊNDICE E – Atores e papéis	144
	APÊNDICE F – Descritivo da Proposta do Modelo	145

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório, procede-se à contextualização do tema do documento da tese e explicitam-se o problema, os objetivos e a proposição de pesquisa. Ao final deste capítulo, o restante da estrutura do documento vai ser apresentada.

1.1 Contextualização

No cenário das interações entre Universidade e Empresa (U-E), as práticas de cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) ocorrem em projetos com caráter desafiador, os quais, neste contexto, visam o uso de tecnologias disruptivas, envolvem a inovação, riscos e incertezas (D'este et al., 2016). Trata-se de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) que se fazem presentes principalmente nas áreas das ciências duras, como por exemplo da nanotecnologia ou de materiais avançados. Ambas são classificadas pela União Europeia como *Key Enabling Technologies* (KETs) ou tecnologias facilitadoras, pois possuem relevância sistêmica e permitem a inovação de processos, bens e serviços em diferentes setores industriais. Trata-se de tecnologias consideradas como intensivas em conhecimento, pois encontram-se associadas ao elevado nível P&D e a rápidos ciclos de inovação (Wessendorf et al., 2021).

Conforme Portaria MCTIC nº 1.122, de 19 de março de 2020, as tecnologias desenvolvidas no campo de materiais avançados e/ou nanotecnologia são definidas como “convergentes e habilitadoras” (Brasil, MCTI, 2021). As mesmas são consideradas prioritárias pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) no que se refere aos projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) no período entre 2020-2023 (Brasil, MCTIC, 2020). Os projetos que envolvem tecnologias dessa natureza são tidos como complexos e, ao seu início, ainda não permitem o planejamento ou controle por completo (Loch & Sommer, 2019). Isso ocorre devido a diversos fatores, como: a falta de conhecimento consequente da novidade a que o projeto se propõe (Pich et al., 2002; Winkelbach & Walter, 2015; Nachbagauer, 2021); a presença de imprevisibilidades, incertezas, interdependências e comportamentos dinâmicos, a não linearidade e as condições locais únicas (Vidal & Marle, 2008; Bakhshi et al., 2016).

No campo do gerenciamento de projetos (GP), as complexidades são vistas como uma variável-chave independente (contingente), que impactam em muitas decisões (Geraldini et al., 2011; Bakhshi et al., 2016). No contexto deste trabalho, elas se referem à propriedade do projeto

que confere a incapacidade de entender, prever e manter o controle por completo de seu comportamento (Vidal & Marle, 2008). E ainda precisam considerar outros fatores característicos dos projetos de inovação, como: o conhecimento incompleto, a presença de imprevisibilidades, incertezas, interdependências, comportamentos dinâmicos e condições locais únicas (Vidal & Marle, 2008; Bakhshi et al., 2016). Na literatura do GP, a complexidade tem sido investigada por meio de duas abordagens gerais de pesquisa (Geraldi et al., 2011; Bakhshi et al., 2016). A primeira está relacionada à “complexidade em projetos” e estuda a complexidade por meio das diferentes lentes teóricas (Manson, 2001); a segunda é orientada aos praticantes (gerentes), refere-se às “complexidades de projetos” e visa identificar tanto as características dos projetos complexos quanto como os indivíduos e as organizações respondem às mesmas (Geraldi et al., 2011; Jaafari, 2003; Geraldi & Adlbrecht, 2007).

Este estudo concentrou-se na segunda abordagem e aplicou a visão das dimensões para investigar as complexidades em um projeto colaborativo de PD&I focado no Desenvolvimento de Novo Produto (DNP) com uso da nanotecnologia. Essa é a visão proposta por Geraldi et al., 2011 e reforçada por outros autores (Rezende et al., 2018; Elia et al., 2020) como resposta ao desafio encontrado por William (2002), que identifica a necessidade de definir uma estratégia para melhorar a compreensão sobre a origem da complexidade nos projetos e assim fornecer um entendimento comum para apoiar os gerentes no GP. Na literatura, o insucesso dos projetos complexos de PD&I envolvendo o uso de tecnologias disruptivas têm sido associados principalmente aos desafios de gestão.

Segundo Vidal e Marle (2008), projetos complexos possuem imprevisibilidades que geram mudanças e impactam no seu gerenciamento. No campo de GP, a falta do conhecimento sobre as complexidades também tem sido apontada como um desafio, pois, se não são identificadas, conseqüentemente, não podem ser gerenciadas. Segundo Geraldi et al. (2011), uma vez compreendidas, as complexidades podem ser usadas como o ponto de partida para uma reflexão sobre os desafios que o projeto enfrenta ou enfrentará e, ainda, são capazes de contribuir com o desenvolvimento de estratégias para encará-los. De acordo com Elia et al. (2020), a definição das complexidades e a exploração dos elementos que a fundamentam são fatores chave para garantir o sucesso no que tange ao GP complexos. Assim, estudiosos da área ressaltam a necessidade de uma melhor compreensão sobre as complexidades por parte dos gestores para contribuir com o êxito nesses projetos (Geraldi et al., 2011; Mata & Woerter, 2012; Conti, 2014; D’este et al., 2016; Rezende et al., 2018; Elia et al., 2020).

As abordagens tradicionais atualmente empregadas para o GP muitas vezes são menos eficazes para lidar com os projetos de natureza complexa, pois não permitem que a

complexidade seja compreendida ou gerenciada por completo (Geraldi et al., 2011; Baccarini, 1996; Elia et al., 2020). Propostas por organizações como o PMI, *Australian Institute for Project Management* (AIPM), *International Project Management Association* (IPMA), *Association for Project Management* (APM) e o *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), tais abordagens focam no planejamento por completo e são baseadas principalmente em relacionamentos hierárquicos e estáveis (Spundak, 2014). Elas se concentram no controle das incertezas de modo antecipado para evitar mudanças posteriores no decorrer do desenvolvimento do projeto (Biachi et al., 2020) e enfatizam a padronização de procedimentos. Portanto, são mais adequadas para a gestão de projetos que se fazem presentes em contextos nos quais as metas, objetivos e o meio para alcançá-los são claros desde o início (Shenhar & Dvir, 2007).

Como descrito, as abordagens tradicionais não estão preparadas para lidar com elementos desconhecidos, associados a altos riscos e a elevadas incertezas, que se fazem presentes em ambientes dinâmicos (Cooper, 2007). Matos et al. (2019) associam os elevados índices de insucesso dos projetos complexos de PD&I ao uso das abordagens tradicionais de gerenciamento. Segundo os autores, esse resultado tem levado ao crescente surgimento de metodologias alternativas, diferentes das tradicionais (Matos et al., 2019). Tendo em vista os cenários imprevisíveis, repletos de incertezas e com pouca clareza, estudiosos do campo de GP complexos indicam como estratégia o uso de abordagens com caráter adaptativo (Spundak, 2014; Shenhar, 2008). Diferente das metodologias tradicionais, as abordagens adaptativas de gestão (AAG) estão associadas às metodologias ágeis e aceitam as mudanças como uma parte integrante do projeto, sob o pressuposto de que o planejamento por completo em cenários complexos é praticamente impossível (Shenhar, 2008; Spundak, 2014; Matos et al., 2019).

De acordo com Eder et al. (2014), o desenvolvimento das práticas de AAG tem ganhado destaque desde 2002, a partir da criação do manifesto ágil por Beck et al. (2001) para o desenvolvimento de *softwares*. O manifesto apresenta um conjunto de princípios e valores focados nas melhores condições para GP presentes em ambientes dinâmicos, com incertezas e constantes mudanças. No geral, a proposta das abordagens ágeis é simplificar as práticas de GP, a partir do foco na participação e desenvolvimento das pessoas; no uso de ferramentas visuais e interativas de poucos padrões; no desenvolvimento iterativo com entregas de curto prazo; e na eliminação de atividades que não geram valor para o produto e/ou cliente (Eder et al., 2014).

Embora sejam aplicadas principalmente para o desenvolvimento de *softwares*, na literatura alguns estudos têm descrito a incorporação de abordagens ágeis em metodologias tradicionais para o GP de produtos físicos com caráter inovador (Conforto & Amaral, 2010;

2014; Amaral et al., 2011; Sommer et al., 2015; Cooper & Sommer, 2016; 2018). Desafiando a sabedoria convencional de que os métodos ágeis se aplicam apenas aos projetos de desenvolvimento de *softwares*, tais abordagens são denominadas híbridas, e são estruturadas a partir da incorporação das metodologias ágeis às tradicionais, de modo a fornecer alternativas mais flexíveis e adaptáveis para o GP complexos (Cooper & Sommer, 2016). Segundo Boehm e Turner (2002), enquanto as abordagens ágeis focam na resposta às mudanças e na entrega de valor recorrente, as tradicionais concentram-se nas metas de previsibilidade, estabilidade e garantia. Assim, estudiosos do campo de GP têm indicado o uso das abordagens híbridas para indústrias manufatureiras como uma estratégia para apoiar o desenvolvimento de produtos físicos inovadores, presentes em contextos dinâmicos e imprevisíveis (Salvato & Laplume, 2020; Vasconcelos et al., 2022).

De acordo, Vasconcelos et al. (2022), as abordagens ágeis podem apresentar diferentes desafios de implementação para as organizações, quando transferidas para os novos contextos presentes na indústria manufatureira (Vasconcelos et al., 2022). Segundo Salvato e Laplume (2020), isso ocorre pois o desenvolvimento de produtos físicos com caráter inovador costumam ser mais complexo que o de *softwares*, considerando inúmeras variáveis, como: o número das organizações, dos profissionais envolvidos e das interações praticadas entre eles; o nível de complexidade; os custos relacionados ao produto e aos protótipos nas fases iniciais de desenvolvimento; o desafio tecnológico inerente ao produto; e os longos prazos inerentes ao ciclo de desenvolvimento. Os autores ainda afirmam que, para a implementação com sucesso de tais abordagens no GP complexos, faz-se necessário considerar as restrições, ajustes e adaptações, necessárias às especificidades e às particularidades do projeto e do contexto no qual ele está inserido (Salvato e Laplume, 2020).

Assim, tendo em vista o desenvolvimento de projetos complexos com uso da nanotecnologia e executados pela parceria U-E, faz-se necessária a realização de ajustes e adaptações nos modelos ágeis de gestão existentes, uma vez que, até o momento, não foram descritas na literatura abordagens direcionadas a esse contexto. Tendo em vista as diversas aplicações e o elevado potencial de geração de valor, a nanotecnologia é considerada pelo MCTI como um campo tecnológico estratégico para o desenvolvimento social e econômico no âmbito mundial, inclusive para o Brasil, que possui algumas iniciativas exclusivas na área (Brasil, MCTIC, 2023). De acordo com a ISO/TC 229, a nanotecnologia engloba o entendimento, controle e uso das propriedades de materiais na nanoescala (nanomateriais). Trata-se de materiais com aplicações únicas em uma ou mais dimensões que, em geral, apresentam-se em tamanhos menores que 100 nanômetros. Na escala nanométrica, os materiais

apresentam comportamentos distintos, permitindo tanto o desenvolvimento de novos produtos e aplicações quanto a melhoria de desempenho de produtos existentes, quando incorporados em pequenas quantidades (ISO/TC 229, 2005).

No Brasil, existem iniciativas por parte do setor público e com interface ao setor privado, focadas em apoiar o desenvolvimento da nanotecnologia no país. O MCTI, por exemplo, tem atuado para criar e nutrir um ambiente colaborativo entre a academia e a indústria, a partir da combinação de competências em CT&I, com foco na ética e no desenvolvimento sustentável do ecossistema da nanotecnologia. Na esfera pública, pode-se destacar a criação do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, em 2003, complementado posteriormente pelo Plano Nacional de Nanotecnologia, em 2005. Neste mesmo ano, com o objetivo de executar projetos de PD&I em parceria internacional, formar e capacitar recursos humanos e científicos, também foi assinado o protocolo para o estabelecimento do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN) pelos governos do Brasil e da Argentina (Brasil, MCTI, 2023).

Outra iniciativa, também no âmbito internacional, foi a estruturação do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN), a partir da Portaria nº 117 de 13 de fevereiro de 2012. Trata-se de um centro virtual, formado por uma rede cooperativa de instituições do Brasil e da China, que objetiva o desenvolvimento científico e tecnológico do campo da nanotecnologia a partir da coordenação das atividades de pesquisa envolvendo a cooperação entre ambos os países. Esta organização foca na promoção do avanço científico e tecnológico a partir: da investigação e aplicação de materiais nanoestruturados; da consolidação e ampliação de pesquisas na área; e também do desenvolvimento de programas para mobilizar as empresas sediadas no Brasil a desenvolverem produtos na área de nanomateriais (Brasil, MCTIC, 2020).

O Brasil também foi integrante do projeto NANoREG, liderado pela União Europeia, no período entre 2013 e 2017. Essa iniciativa consistiu em um esforço científico mundial, que envolveu 17 países, com o objetivo de dar suporte científico à estruturação do processo de regulação e regulamentação da nanotecnologia e dos produtos desenvolvimento com a mesma. A participação do Brasil envolveu a presença de oito laboratórios brasileiros: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO); o Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Federal do Rio Grande (FURG); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (Brasil, MCTI, 2020). No âmbito do

MCTI também foram executadas outras ações importantes, incluindo estudos e projetos relacionados à nanotecnologia, como os relatórios sobre a Inovação em Fotônica e Nanotecnologia para dispositivos médicos (Brasil, MCTI, 2014) e sobre a Regulação da Nanotecnologia no Brasil e na União Europeia (Brasil, MCTI, 2018).

A Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), lançada em 2013, objetiva criar, integrar e fortalecer ações governamentais na área da nanotecnologia, com foco na promoção da inovação na indústria brasileira e no desenvolvimento econômico e social do país. Em 2019, por meio da portaria nº 3.459, de 26 de julho de 2019 a IBN foi instituída no âmbito do MCTI como o principal programa estratégico atual de incentivo da área (Brasil, MCTI, 2019). Junto a ele também foi elaborado um Plano de Ação de CT&I para as Tecnologias Convergentes e Habilitadoras. Ambas as iniciativas contribuem principalmente para o fortalecimento do sistema de PD&I envolvendo nanotecnologia; dão suporte ao processo de regulação e regulamentação; promovem iniciativas para contribuir com a formação e capacitação de recursos humanos e com a divulgação e popularização da nanotecnologia e sua aplicação; contribuem com a expansão de projetos de empreendedorismo e inovação, com o fortalecimento das parcerias nacionais e internacionais; e, ainda, apoiam a disponibilização de infraestrutura multiusuária, de acesso aberto a usuários públicos e privados, e visam a otimização dos recursos orçamentários (Brasil, MCTI, 2023).

A IBN também conta com o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNANO), formado por um conjunto de laboratórios multiusuários e de acesso aberto, direcionados à PD&I em nanociências e na nanotecnologia. Composto por 23 laboratórios selecionados por meio de chamada pública do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)/ MCTI nº 18/2019, o SisNANO está inserido, direta e indiretamente, em todas as ações estabelecidas no plano de Ação de CT&I para as tecnologia habilitadoras (Brasil, MCTI, 2023). Com o foco em fomentar e implantar a cultura da inovação nas empresas brasileiras, o MCTI também possui um instrumento voltado para a incorporação da nanotecnologia em produtos e processos. Conhecido como SibratecNano, o Centro de Inovação em Nanotecnologia é composto por duas redes específicas (Rede de Centro de Inovação em Nanomateriais e Nanocompósitos e Centro de Inovação em Nanodispositivos e Sensores), focadas em ampliar a competitividade das empresas brasileiras, principalmente as micro e pequenas, a partir do uso da nanotecnologia (SibratecNano, 2023). Além de apoiar diversos pesquisadores, de acordo com os dados disponibilizados pelo MCTIC, essas ações resultaram no beneficiamento de mais de 50 Universidades/Institutos de Ciência e Tecnologia

(ICTs), 200 grupos de pesquisa, 46 redes de pesquisa, 26 laboratórios multiusuários, 16 INCTs e 600 projetos (Brasil, MCTIC, 2019).

Como pode ser visto, por tratar-se de uma área intensiva em ciência e fortemente dependente das atividades de PD&I, a área de nanotecnologia envolve a atuação intensa e crescente de diversos grupos de pesquisa em todo o país. Isso inclui, por exemplo, centros de tecnologia e/ou plantas para a produção piloto de grafeno e nanomateriais de carbono, como o Centro de Nanotecnologia e Grafeno da Universidade Federal de Minas Gerais (CTNano/UFMG). Trata-se de uma Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) voltada ao desenvolvimento da pesquisa aplicada e focada na ampliação da competitividade de empresas brasileiras a partir da execução de projetos de PD&I em parceria com a indústria (CTNano, 2021). De acordo com Medeiros (2020), no contexto brasileiro, as ICTs podem exercer um papel singular na competitividade do setor industrial no que tange ao desenvolvimento de produtos e transferências de conhecimento e tecnologias. Assim, a construção de relações estreitas entre essas iniciativas e o mercado faz-se necessária, para permitir a conversão das características da nanotecnologia em benefícios reais para o setor produtivo, a partir da geração de novos produtos.

Embora sejam descritas na literatura iniciativas focadas no desenvolvimento e na evolução do campo da nanotecnologia, de acordo com Zhidebekkyzy et al. (2019), ainda existe uma carência de estudos sobre as estratégias de GP envolvendo o uso de nanomateriais. Segundo os autores, os projetos com o uso de nanotecnologia se diferem dos demais, pois lidam com matérias-primas em nanoescala e apresentam inúmeros desafios relacionados à saúde, ao meio ambiente e à segurança (SMS); à implementação; e a elevados investimentos financeiros (Zhidebekkyzy et al. 2019). De acordo com Jena e Das (2023), tais projetos compreendem diferentes fases que envolvem desde a pesquisa em laboratório e os testes para o aumento da escala (laboratório, piloto, industrial), à produção industrial, comercialização e descarte. Trata-se de um processo extenso, orientado pela pesquisa básica e composto por distintos desafios relacionados às relações estabelecidas entre U-E; à disponibilidade de equipe qualificada; aos longos ciclos de vida dos projetos; e à dificuldade de estimar os custos e os prazos reais. Tendo em vista estas dificuldades, os autores ainda ressaltam a necessidade da adoção de abordagens de GP capazes de adequar-se às necessidades presentes em cada fase do desenvolvimento (Jena & Das, 2023).

Ainda que as metodologias híbridas sejam indicadas na literatura como uma alternativa promissora para o GP complexos focados no DNP, estudiosos da área enfatizam a necessidade de maiores investigações a respeito do impacto de sua aplicação (Eder et al., 2012; Conforto et

al., 2014; Bianchi et al., 2020; Vasconcelos et al., 2022). Conforto, et al. (2014) também apontam a falta de estudos empíricos a respeito da aplicação de abordagens ágeis para o GP nas indústrias manufatureiras. Eles ainda ressaltam a necessidade de investigações mais profundas, no campo da gestão, a respeito das melhores estratégias para apoiar o desenvolvimento dos modelos de gerenciamento híbridos, ao considerar a combinação das abordagens tradicionais e ágeis, para equilibrar as necessidades da “agilidade”, do planejamento e das barreiras identificadas (Conforto, et al. 2014). Estudiosos da área também indicam a necessidade de modelos e *frameworks* capazes de considerar os aspectos de incerteza, dinamismo e complexidades, para apoiar os gestores na tomada de decisão e gestão dos projetos dessa natureza (Elia et al., 2020; Rezende et al., 2018; Pitsis et al., 2014).

Diante do exposto, tendo em vista a necessidade de adequação dos modelos adaptativos para os contextos a que se destinam e que até o momento não foram descritas na literatura abordagens para o GP complexos de PD&I com uso da nanotecnologia e executados pela parceria U-E, este estudo se propõe a responder à seguinte questão: *como desenvolver e aplicar uma abordagem de planejamento adaptativo/flexível para gerenciar um projeto complexo com uso de nanomateriais, executado em parceria U-E?* Busca, ainda, preencher parte da lacuna presente no campo de GP sobre a compreensão das complexidades por parte dos gestores. Assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar o uso de uma abordagem adaptativa/flexível para contribuir, em tempo real, com o GP complexos de PD&I com uso da nanotecnologia.

Para isso, foi desenvolvido um modelo prescritivo, com caráter adaptativo, ao combinar o rastreamento de processos – “*process tracing*” (Heise, 2022; Beach & Kaas, 2020; Langley, 1999) com a abordagem das dimensões (Geraldini et al., 2011; Bakhshi et al., 2016; Rezende et al., 2018). O modelo aqui proposto visa contribuir tanto com o aumento da compreensão dos elementos de complexidade por parte dos gerentes nos projetos com uso da nanotecnologia quanto com a disponibilização de abordagens de gestão capazes de lidar com ambientes dinâmicos e imprevisíveis, oriundos de projetos inovadores executados em parceria U-E no campo da nanotecnologia. Como resultado deste estudo espera-se fornecer aos gestores uma ferramenta capaz de conferir uma visão em tempo real sobre a realidade do projeto; servir como orientação para identificar e avaliar as complexidades no projeto como uma condição e, assim, explicá-las a partir de convergências e padrões, dadas questões incertas, dinâmicas, de ritmo e sociopolíticas (Geraldini et al., 2011; Bakhshi et al., 2016; Rezende et al., 2018).

1.2 Estrutura do documento

No capítulo 2 deste trabalho é apresentada uma revisão bibliográfica sobre as colaborações entre U-E voltadas à PD&I, as complexidades dos projetos, suas dimensões, os desafios de gestão e as abordagens adaptativas/ flexíveis e híbridas. Nos capítulos 3 e 4 são descritos, respectivamente, o objetivo do projeto e a metodologia utilizada. Já nos capítulos 5 e 6 estão descritos, respectivamente, os resultados, discussões e conclusões da pesquisa. No Apêndice A (material suplementar) são descritos os artigos e trabalhos publicados durante o desenvolvimento da pesquisa de doutorado; no Apêndice B (material suplementar) está descrito o quadro completo dos eventos codificados; e nos Apêndices C, D, E e F (material suplementar) constam, respectivamente, a descrição detalhada da narrativa, as dimensões das complexidades, os atores e papéis ocupados nas organizações e um descritivos com a proposta do modelo de caráter flexível para o gerenciamento de projetos complexos no campo da nanotecnologia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo tem por objetivo apresentar de forma não exaustiva o conceito adotado pela pesquisa para os projetos colaborativos de PD&I em nanotecnologia, para as dimensões das complexidades nos projetos complexos e para as abordagens adaptativas para o GP, as quais foram realizadas com base na literatura e no cenário de estudo, uma vez que os termos tratados são de natureza ampla e permitem a discussão por diferentes enfoques. O propósito é delimitar a conceituação que orientou as discussões teóricas do trabalho e permitiu a construção e proposição do novo modelo prescritivo com caráter adaptativo.

2.1 Colaborações em PD&I: Interação U-E

Enquanto no modelo tradicional, fechado, as empresas produzem, desenvolvem e comercializam as próprias ideias, no modelo da inovação aberta, as organizações inovam com sucesso por meio de colaborações (García-Vega & Vicente-Chirivella, 2020). Um exemplo recorrente de tais colaborações se refere à participação ativa de parceiros em projetos de P&D, com objetivo de otimizar a alocação de recursos e viabilizar a troca de conhecimento entre as organizações. No cenário da inovação, interações desse tipo são de suma importância, pois podem contribuir com a melhoria da capacidade das equipes de DNP para a resolução dos problemas. Assim, as colaborações entre U-E são vistas como uma estratégia promissora para a execução de projetos de PD&I, pois tornam viável o acesso ao conhecimento tecnológico disponível principalmente nas universidades, e necessário para o alcance do sucesso na inovação (Winkelbach & Walter, 2015). Conforme Houkes (2009), o conhecimento tecnológico refere-se ao conjunto ordenado de conhecimentos científicos e/ ou empíricos voltados à produção de bens e/ ou serviços.

Segundo D'este et al. (2016), as práticas de cooperação em PD&I são, geralmente, associadas aos projetos de pesquisa com natureza desafiadora, que envolvem riscos e incertezas. Trata-se de projetos focados no desenvolvimento de novos conhecimentos e produtos, que ainda demandam, em algum grau, a pesquisa exploratória e os processos de aprendizagem. Segundo Mata e Woerter (2013), existem dois principais mecanismos formais para o acesso das empresas a esse tipo de conhecimento: os acordos de cooperação e a aquisição de serviços de PD&I por meio da contratação. O primeiro inclui um mecanismo de governança multilateral e envolve pelo menos duas partes interessadas em participar de um projeto de pesquisa em colaboração

(Mata & Woerter, 2013). Já o segundo, envolve um tipo de conhecimento altamente codificado e demanda a construção de um acordo formal entre as partes com base no mercado, tendo em vista as especificidades das informações e os conhecimentos a serem compartilhados (Grimpe & Kaiser, 2010).

As organizações podem utilizar diferentes canais para acessar o conhecimento externo e executar projetos colaborativos, como, por exemplo, estabelecer parcerias com clientes, concorrentes, fornecedores e universidades (Un et al., 2010; Cruz-González et al., 2015). Contudo, Un et al. (2010) afirmam que as colaborações de P&D estabelecidas com fornecedores e universidades apresentam maior influência positiva quando comparada às demais, no que tange ao sucesso da inovação de produtos. De acordo com os autores, esse fator está relacionado à disponibilidade e facilidade do acesso ao conhecimento em ambos os canais. Os fornecedores, por disporem de um tipo de conhecimento prático focado no mercado de atuação, que embora possa ser limitado, contribui com o desenvolvimento dos produtos. E as universidades, por fornecerem acesso a um tipo de conhecimento amplo e multidisciplinar, focado no desenvolvimento e na viabilidade da inovação de produtos. No contexto deste trabalho, o conceito adotado para o termo “inovação de produto” refere-se à introdução no mercado de um bem e/ou serviço novo ou significativamente diferente do tradicionalmente praticado (Un et al., 2010).

De acordo com Medeiros (2020), as competências acumuladas pelas universidades e ICTs na forma de capital intelectual, tecnologias e infraestruturas para pesquisa em diferentes campos tecnológicos, são propícias para contribuir com a inovação tecnológica no setor industrial. Boehm e Hogan (2013) ainda afirmam que as universidades podem desempenhar um papel fundamental na ampliação da “economia do conhecimento” ao se envolverem ativamente na comercialização do conhecimento científico. No trabalho executado por Torres e Botelho (2022), foi possível constatar que a cooperação entre U-E tem sido fundamental para o desenvolvimento de inovações radicais em pequenas organizações, tendo em vista que essa estratégia de cooperação pode reduzir as incertezas tecnológicas nos projetos de PD&I. Segundo Sjöo e Hellström (2021), isso ocorre pois as relações construídas durante o desenvolvimento de projetos viabilizam tanto a troca e a combinação dos conhecimentos entre os diferentes cenários – acadêmico e industrial – quanto viabiliza o acesso à infraestrutura das organizações envolvidas.

No contexto das parcerias entre a U-E voltadas à P&D, Boehm e Hogan (2013)-destacam a importância da criação de confiança desde o início do processo de interação entre as partes. Os autores também apontam a relevância de diferentes aspectos para o sucesso dessa relação,

como: a satisfação (alcançada se a produção real for igual ou superior à expectativa), a lealdade (satisfação com os resultados entregues e alcançados) e a retenção (recomendações ou repetições de negócios). Afirmam, ainda, que as relações estabelecidas entre os indivíduos são essenciais e que a lealdade entre eles pode ser construída com base nas experiências de colaborações anteriores (Boehm & Hogan, 2013). Plewa et al. (2013) ainda ressaltam que a comunicação, a compreensão, a confiança e os indivíduos são os quatro impulsionadores para o sucesso dos projetos colaborativos de P&D entre U-E.

Tendo em vista as ligações interpessoais desenvolvidas a partir das interações praticadas, Plewa et al. (2013) afirmam que os agentes envolvidos de modo direto no projeto assumem papel-chave nas relações, as quais, de acordo com Boehm e Hogan (2013), podem evoluir para uma interação de lealdade, originada também a partir de experiências e colaborações anteriores. No trabalho de Barnes et al. (2002), é apontada a presença de três agentes que desempenham papel-chave nos projetos colaborativos de P&D entre U-E: um pesquisador líder, responsável por garantir a comunicação com a organização parceira, gerir as atividades dos pesquisadores e contribuir com a gestão dos projetos; um gerente de projetos, para monitorar o cumprimento do cronograma; e estudantes de pós-graduação, responsáveis pela condução das atividades técnicas nos projetos. Boehm e Hogan (2013) ainda ressaltam a importância do pesquisador líder, sendo ele o principal agente responsável por estabelecer e manter a colaboração entre as organizações. Os autores também indicam a necessidade do envolvimento de outros grupos de agentes, como profissionais governamentais e gerentes do escritório de transferência de tecnologia e de assuntos de comercialização (Boehm & Hogan, 2013).

Conforme descrito, a execução de projetos colaborativos (U-E) de P&D focados no desenvolvimento de produtos pode ser uma estratégia promissora para empresas interessadas em inovar, que desejam se manter competitivas em seus respectivos mercados. Contudo, mesmo que o cenário atual revele oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias de alto impacto, ainda se faz necessário compreender em maior profundidade tanto as implicações inerentes ao processo de desenvolvimento envolvendo o uso de tecnologias disruptivas quanto os desafios e as melhores práticas para superá-los.

2.2 Complexidades nos projetos colaborativos de P&D

É crescente o interesse global pela execução de projetos de P&D com o uso de tecnologias disruptivas/radicais, ao considerar às maiores chances de sucesso, em longo prazo,

para as organizações (Vogel & Lasch, 2018; García-Vega & Vicente-Chirivella, 2020; Elia et al., 2020). O *Project Management Institute* (PMI) define projeto como o esforço temporário para criar valor por meio de um produto, serviço ou resultado único (Guide, 2001). Trata-se de um conjunto de atividades planejadas, com objetivos bem definidos, realizadas dentro de um orçamento específico e em períodos pré-determinados (Meyer et al., 2002). Assim, os projetos contam com um cronograma definido e com uma equipe que deve cumprir um conjunto de expectativas para entregar resultados que focam na transformação de um estado inicial em um estado final (Vidal & Marle, 2008; Dinsmore & Cabanis-Brewin, 2011).

Os projetos são compostos por atividades interdependentes, que se relacionam por meio de uma série de fatores como: a ordem de prioridade, a obrigatoriedade de execução e/ou dependência de eventos externos. Tais atividades envolvem recursos de diferentes naturezas para atender aos critérios de qualidade e demandam de uma gestão eficiente para garantir a competitividade e a sobrevivência das organizações (Dinsmore & Cabanis-Brewin, 2011). Um conceito geral utilizado para definir o GP se refere à aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas para projetar as atividades que supram os requisitos de um projeto (GUIDE, 2001). De acordo com Vidal e Marle (2008), a visão do GP tende a se apoiar nas noções de planejamento e controle para a proposição e prescrição de modelos como estratégias para aumentar a capacidade dos humanos de controlar a realidade complexa dos projetos colaborativos de P&D (Vidal & Marle, 2008).

No contexto deste trabalho, os projetos colaborativos de P&D focam no desenvolvimento de produtos e estão associados ao processo pelo qual a tecnologia é incorporada a um novo conceito de produto, projetado para se adequar a sistemas específicos de produção (Lakemond et al., 2013). Nesta perspectiva, tais projetos também devem vincular o Desenvolvimento Tecnológico (DT) à industrialização, e ainda precisam considerar os desafios inerentes à transcrição e transição dos processos de menores (laboratório) às maiores escalas (produção a industrial). Ou seja, os projetos descritos neste estudo são mais intensivos em P&D e demandam de um tipo de conhecimento complexo e específico, disponível principalmente nas universidades (Winkelbach & Walter, 2015). Segundo Peng et al. (2014), projetos desta natureza são descritos como complexos e envolvem o uso de tecnologias disruptivas associadas a diversos níveis de incertezas, tendo em vista a novidade que se propõe.

De acordo com Sheard (2012), a complexidade em um projeto pode ser vista como a “incapacidade de prever o comportamento de um sistema, devido ao grande número de partes constituintes do mesmo e da densa relação praticada entre elas”. Os autores fazem esta afirmação tendo em vista a impossibilidade de identificar as simples relações causais entre as

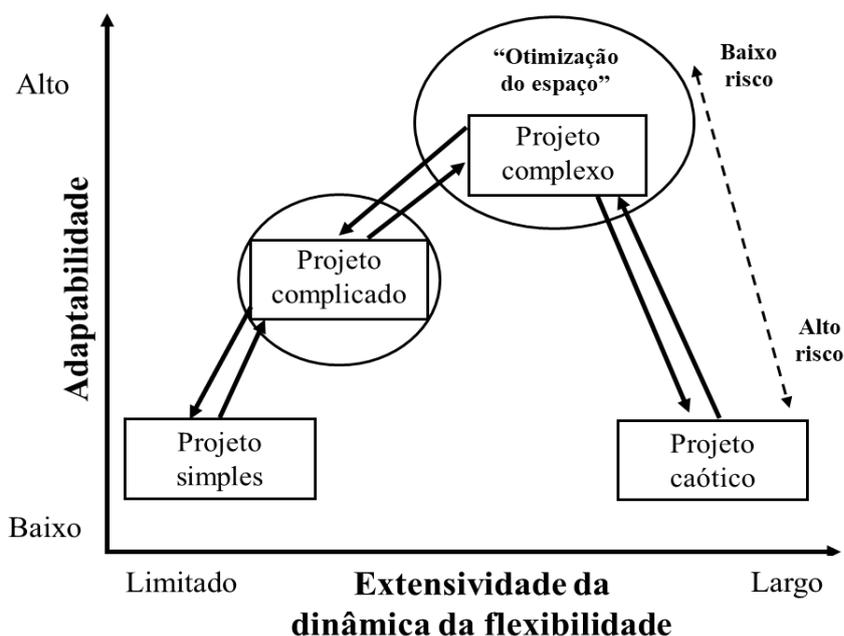
inúmeras interações realizadas entre os componentes do projeto (Sheard, 2012). Na literatura, alguns autores (Loch & Sommer, 2019; Loch et al., 2011; Brady & Davies, 2004; Lene & Loch, 2010), também utilizam o termo “projetos exploratórios” ao se referirem aos projetos colaborativos de P&D, os quais têm início em uma fase incipiente, a partir da geração de ideias, com a identificação e avaliação das oportunidades (Miller & Olleros, 2000), fase frequentemente descrita na literatura como caótica, de difícil previsão e estruturação (Khurana & Rosenthal, 1998).

Mesmo que os projetos complexos sejam construídos para alcançarem resultados finais bem definidos, ao seu início ainda não apresentam a clareza necessária para descrever por completo os objetivos ou meios para atingi-los (Elia et al., 2020; Loch & Sommer, 2019; Vidal & Marle, 2008). Deste modo, à medida que avançam, estão sujeitos a constantes modificações e/ou adequações (Loch & Sommer, 2019; Mcgrath & Macmillan, 1995), tendo em vista que o aumento do conhecimento é proporcional à redução das incertezas (Vidal & Marle, 2008). No campo de GP, a falta de conhecimento e compreensão por parte dos gerentes de projeto sobre as complexidades têm sido apontados como os principais desafios para o sucesso dos projetos dessa natureza, tendo em vista a impossibilidade de gestão do desconhecido (Geraldini et al., 2011; Mata & Woerter, 2012; Conti, 2014; D’Este et al., 2016; Rezende et al., 2018; Elia et al., 2020). Assim, torna-se clara a necessidade de uma maior compreensão a respeito das complexidades no que tange ao GP complexos.

2.2.1 Conceituação da complexidade nos projetos

Segundo Bakhshi et al. (2016), para uma melhor compreensão sobre o conceito da complexidade nos projetos, faz-se necessário entender a hierarquização dos tipos de projeto, tendo em vista as diferentes categorias dos sistemas organizacionais. Conforme informações apresentadas na Figura 1, Snowden e Boone (2007) categorizam esses sistemas em quatro tipos, sendo eles: simples, complicados, complexos e caóticos.

Figura 1- Tipologia de projetos adaptada de Gorod et al., (2008) e traduzida de Brakhshi et al., (2016).



Fonte: Traduzido de Brakhshi et al., (2016); Adaptado de Gorod et al., (2008).

De acordo com Bakhshi et al. (2016), os projetos simples possuem atividades limitadas, empreendidas para criar produtos ou serviços com claras relações de causa e efeito. No âmbito do GP, informações neste tipo de projeto são de domínio conhecido e resultam em operações auto evidentes, previsíveis e repetíveis (Bakhshi et al., 2016). Já os projetos complicados apresentam relações de causa e efeitos tanto nas atividades e nos elementos do projeto quanto na interação entre eles (Snowden & Boone, 2007). Ou seja, os projetos desta natureza englobam subconjuntos de projetos simples que, uma vez concluídos por certo número de vezes, tornam-se previsíveis e lineares, permitindo o acúmulo da experiência e a reprodução de resultados (custos, tempo e desempenho) (Bakhshi et al., 2016).

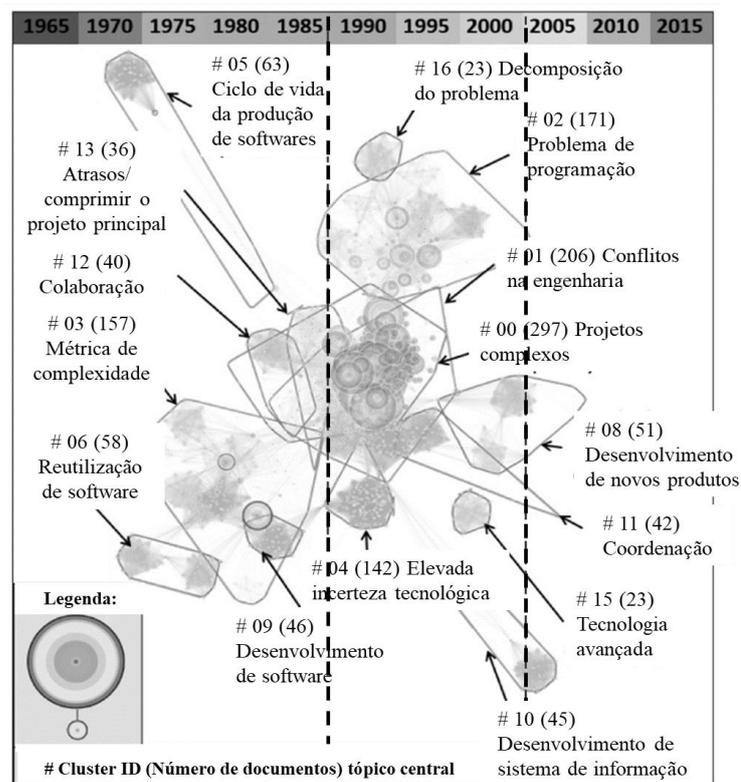
Os projetos complexos envolvem diferentes elementos inter-relacionados, como rotinas, indivíduos e tecnologias que, de modo interdependente, vinculam-se a uma unidade única – o projeto (Peng et al., 2012; Winkelbach & Walter, 2015). Em contraste com os projetos tradicionais, passíveis de planejamento completo, os complexos são caracterizados pelo conhecimento incompleto e pela diversidade das incertezas e riscos, consequentes de suas imprevisibilidades (Ahern et al., 2014). Segundo Bakhshi et al. (2016), os sistemas complexos exibem diversos comportamentos, como a auto-organização, propriedades emergentes e comportamentos não lineares, sendo, na maior parte das vezes, contraintuitivos e de difícil controle e gerenciamento. Já os projetos caóticos estão associados a sistemas incontroláveis e,

segundo Snowden e Boone (2007), não permitem que as relações de causa e efeito possam ser determinadas, uma vez que elas mudam constantemente e não apresentam padrões administráveis, apenas o caos e as turbulências. Assim, no que tange ao GP, o gerente de projetos deve, primeiro, agir para estabelecer a ordem, sentir a presença/ausência da estabilidade, para então responder à situação e transformar o caos em complexidade (Snowden & Boone, 2007).

2.2.2 Avanços da literatura no campo da complexidade dos projetos

Segundo Bakhshi et al. (2016), embora seja extensa a literatura a respeito das complexidades dos projetos, ainda há uma falta de compreensão do que de fato constitui a complexidade no mesmo. No estudo bibliométrico realizado por Rezende et al. (2018), foram identificadas três principais “ondas” de pesquisas sobre as complexidades nos projetos, divididas em três áreas principais: o desenvolvimento de *softwares*, o desenvolvimento de novos produtos e o gerenciamento das complexidades nos projetos, conforme informações apresentadas na Figura 2.

Figura 2- “Clusters” identificados nas investigações do campo da complexidade de projetos.



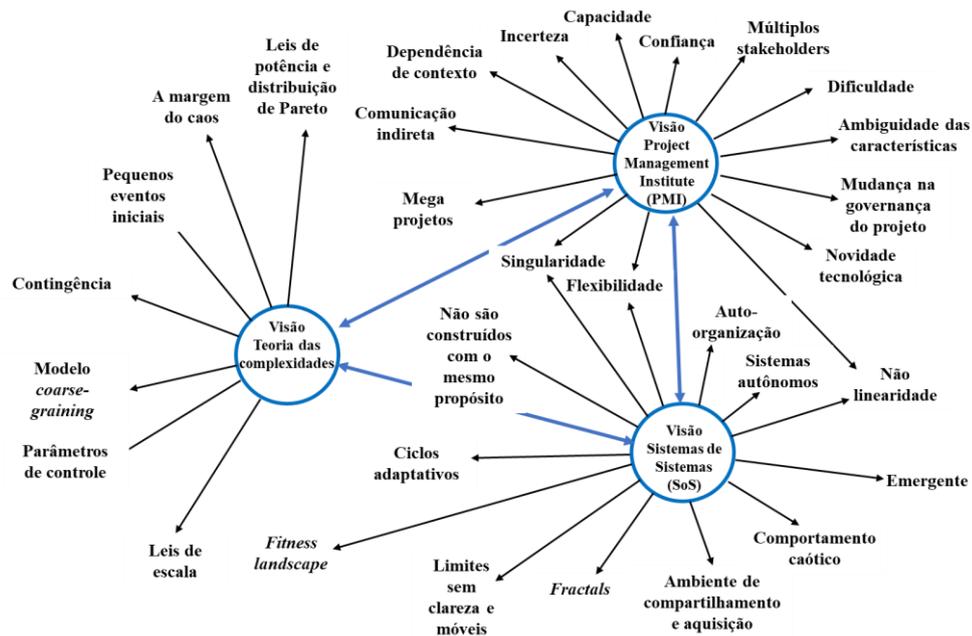
Fonte: Traduzido e adaptado Rezende et al. (2018).

A primeira “onda” identificada foi até 1985, e embora não apresente relação direta com as complexidades de projetos, foi marcada pela geração de ideias importantes relacionadas à estrutura e à dinâmica organizacional, à inovação, aos grandes projetos, ao pensamento sistêmico, à teoria da complexidade, à programação e à alocação de recursos. A segunda, contemplada entre 1990 e 2004, foi caracterizada pela publicação de numerosos artigos interligados e focados em tópicos específicos, como: cronogramas dos projetos, alocação de recursos e programação, publicações essas que, rapidamente, convergiram para uma discussão central sobre a classificação dos projetos complexos, a adaptabilidade organizacional, os aprendizados, a inovação, a dinâmica do sistema, as incertezas e as ambiguidades. Já a terceira e atual onda, iniciada em 2005, caracteriza-se por discussões direcionadas à complexidade dos projetos e foca no desenvolvimento de *frameworks* e modelos para ajudar os gerentes de projetos e as organizações na busca por estratégias e abordagens para adaptação e gerenciamento (Rezende et al., 2018).

Em resumo, o campo de pesquisa da complexidade dos projetos evoluiu de diferentes trabalhos seminais desconectados para uma discussão mais ampla e centralizada, focada em caracterizar e classificar projetos complexos para, assim, identificar modelos e estruturas com capacidade de apoiar os gerentes. Ou seja, os estudos no campo do GP migraram de uma perspectiva técnica (das escolas de engenharia e computação), para uma abordagem gerencial (na escola de negócios) (Rezende et al., 2018).

Embora na área do GP a complexidade seja discutida em seu sentido mais amplo, mediante as metas, objetivos, requisitos e experiência de gestores, a forma e o arranjo da organização (Cristóbal et al., 2018; Rezende et al., 2018; Geraldi et al., 2010; Geraldi & Aldbrecht, 2008), ainda não existe um consenso global sobre este conceito. Ao analisar mais de 420 publicações no campo da complexidade de projetos, Bakhshi et al. (2016) identificaram três principais perspectivas de pensamentos: a do PMI, a dos “sistemas de sistemas” (SoS) e a “visão das teorias de complexidade”, conforme informações apresentadas na Figura 3.

Figura 3- Características dos projetos complexos, tendo em vista as três principais escolas de pensamento.



Fonte: Traduzido de Brakhshi et al. (2016).

Segundo Brakhshi et al. (2016), no geral, a maioria dos pesquisadores que tendem à perspectiva do PMI, enfatizam a complexidade estrutural, a incerteza e os elementos sociopolíticos (Baccarini, 1996; Jaafari, 2003; Turner & Cochrane, 1993; Tatikonda & Rosentahl, 2000). Essa perspectiva foi construída pelo PMI para definir a complexidade do projeto tendo em vista duas abordagens propostas por Baccarini (1996): a primeira enfatiza a diferenciação e conectividade; e a segunda introduz a complexidade do projeto como um conceito subjetivo, com foco na dificuldade de compreensão dos objetivos e dos métodos de obtenção dos resultados (Turner & Cochrane 1993).

A perspectiva do SoS refere-se aos sistemas heterogêneos de grande escala, que são operáveis de forma independente por si só, mas que se encontram interligados em rede por um objetivo comum (Snowden & Boone, 2007; Jamshidi, 2008; Braha et al., 2006). Nesta perspectiva, os pesquisadores têm considerado como fundamentos e características a autonomia e independência, o pertencimento, a conectividade, a diversidade e a emergência (Braha et al., 2006). Assim, os agentes podem se organizar de modo espontâneo para lidar com as diferentes perturbações e conflitos externos e internos aos projetos complexos, a partir da dinâmica de constantes evoluções e adaptações (Braha et al., 2006).

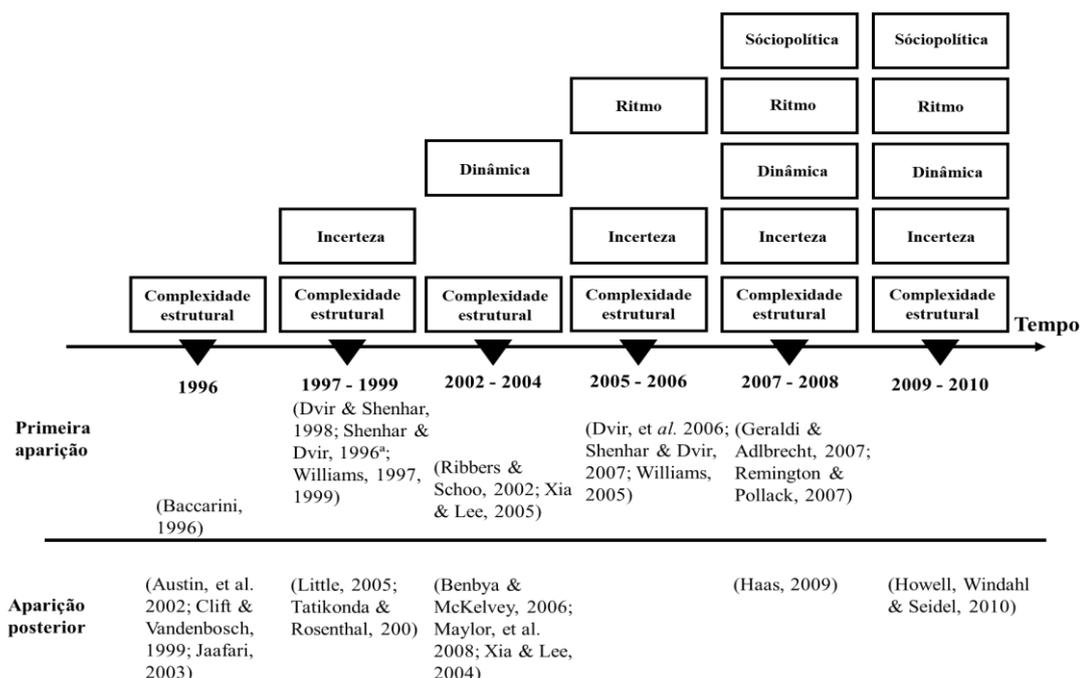
Quanto à visão das teorias das complexidades, Geraldi et al. (2011) consideram a complexidade em dimensões, a partir da categorização da perspectiva de diferentes autores, como: das complexidades (Senhar & Dvir, 1996), da coevolução (Benbya & McKelvey, 2006),

da contingência (Baccarini, 1996), das restrições (Rand, 2000), dos sistemas (Snowden & Boone, 2007), das redes (Pryke, 2005), da não linearidade e caos (Singh & Singh, 2002) e a partir da adaptação e auto-organização (Jaafari, 2003). A abordagem das dimensões de complexidades, proposta por Geraldi et al. (2011) e utilizada por outros pesquisadores no campo do GP, permite investigar a complexidade nos projetos a partir de “padrões de conceituações” (Zolin et al., 2009; Geraldi et al., 2011; Rezende et al., 2018; Elia et al., 2020).

2.3 Dimensões das complexidades em projetos

A abordagem das dimensões foi proposta a partir de pesquisas bibliométricas no campo do GP, em que pesquisadores identificaram (Geraldi et al., 2011) e confirmaram (Rezende et al., 2018) a presença de convergências nas conceituações das complexidades dos projetos tendo em vista o avanço temporal e as descobertas de diferentes autores (Baccarini, 1996; Dvir & Shenhar, 1998; Shenhar & Dvir, 1996a; Williams, 1999; Austin et al., 2002; Clift & Vandenbosch, 1999; Jaafari, 2003; Little, 2005; Tatikonda & Rosenthal, 2000; Ribbers & Schoo, 2002; Benbya & McKelvey, 2006; Maylor et al., 2008; Xia & Lee, 2004; Dvir et al., 2006; Shenhar & Dvir, 2007; Williams, 2005; Geraldi & Adlbrecht, 2007; Remington & Pollack, 2007; Haas, 2009; Howell et al., 2010), conforme informações apresentadas na Figura 4.

Figura 4- Evolução do histórico na literatura do campo das complexidades.



Fonte: Traduzida e adaptada de Geraldi et al. (2011).

Diante das várias teorias descritas na literatura, Geraldi et al. (2011), propuseram o uso da abordagem das dimensões para investigar o efeito das complexidades nos projetos, tendo em vista cinco questões centrais: estruturais, dinâmicas, de ritmo, sociopolíticas e de incertezas.

2.3.1 Complexidade estrutural

A complexidade estrutural é o tipo de complexidade mais citada na literatura e encontra-se associada ao elevado número de elementos distintos e interdependentes. Ela se refere ao conjunto de entidades inter-relacionadas que precisam ser consideradas na tomada de decisão do projeto. A maior parte dos trabalhos definem esta dimensão de complexidades a partir de três atributos centrais: tamanho (ex: do projeto ou escopo), variedade (ex: tipos de conhecimento ou de tecnologias) e interdependência (ex: reflexo do tamanho da equipe, tendo em vista os tipos de conhecimento requeridos para o projeto) (Geraldi et al., 2011).

2.3.2 Complexidade vinculada ao ritmo

A complexidade vinculada ao ritmo está associada aos aspectos temporais de um projeto. O ritmo refere-se à taxa na qual os projetos devem ser entregues, tendo em vista uma medida definida como ótima no seu planejamento (Geraldi et al., 2011; Rezende et al., 2018). Segundo Geraldi et al. (2011), o ritmo é um tipo importante de complexidade, pois a urgência e a criticidade do alcance das metas e dos objetivos de um projeto em vista do tempo exigem diferentes estruturas e a atenção gerencial. Diferente das outras complexidades, o ritmo não é um construto absoluto que apresenta indicadores e pode ser definido apenas em relação a um valor padrão estabelecido como ótimo (ex: velocidade da execução das atividades no projeto, vide cronograma planejado) (Geraldi et al., 2011).

2.3.3 Complexidade dinâmica

A complexidade dinâmica refere-se às mudanças e como essas mudanças (ex: especificações, metas, equipes, fornecedores ou contexto ambiental) podem afetar o projeto (ex: alto nível de desordem, retrabalho, ineficiência ou tendências de mercado) em função do tempo (Maylor et al., 2008; Geraldi et al., 2011; Rezende et al., 2018). Maylor et al. (2008) afirmam que grande parte dos projetos complexos se fazem presentes em contextos dinâmicos, definidos conforme as modificações que ocorrem em cada um dos atributos envolvidos em decorrência

do tempo. Geraldi et al. (2011) afirmam que as complexidades dinâmicas podem ser mapeadas a partir da identificação de mudanças em qualquer uma das outras dimensões. Os autores citam como exemplo o impacto das incertezas relacionadas a uma tecnologia disruptiva tanto nos prazos, cronograma e no ritmo do projeto, quanto nas interações sociopolíticas praticadas entre as organizações envolvidas (Geraldi et al., 2011).

2.3.4 Complexidades sociopolíticas

A complexidade sociopolítica está relacionada diretamente aos agentes humanos e às interações praticadas entre eles nos projetos (Geraldi & Aldbrecht, 2008). Trata-se de um tipo de complexidade comportamental, pois envolve o efeito humano e se caracteriza pela presença de diversas aspirações, modelos mentais e valores dos tomadores de decisão (Roth & Senge, 1996). Geraldi e Aldbrecht (2008) referem-se a esta complexidade como a “complexidade da interação” e apontam a transparência, a empatia e a cultura como alguns dos fatores resultantes de tais interações. Segundo Geraldi et al. (2011), embora esta seja uma complexidade de fácil conceituação, ela é de difícil gerenciamento, pois pode envolver a ambiguidade de informações, a falta de comprometimento e o resultado das relações estabelecidas entre os indivíduos.

Geraldi et al. (2011) também identificaram quatro atributos nesta dimensão: i) relevância/importância de (ex: o quanto está “em jogo?”); ii) apoio para (projeto) ou de (*stakeholders*) (ex: apoio da alta administração na resolução de conflitos); iii) convergências e ajustes (ex: as opiniões, interesses e requisitos estão alinhados ou contraditórios ou mal definidos de modo a permitir maiores divergências?); e iv) transparência de (ex: agendas ocultas) – tendo em vista até que ponto existem interesses ocultos das organizações envolvidas na missão do projeto (Geraldi et al., 2011).

2.3.5 Complexidade de incertezas

Segundo Pich et al. (2002), no que tange ao campo do GP, as incertezas são inerentes aos objetivos e metas de um projeto e estão relacionadas às imprevisibilidades, às tarefas, aos tipos de projetos, ao escopo tecnológico e à teoria da complexidade. Ao se tratar dos gerentes de projetos, Geraldi et al. (2011) se referem às incertezas como uma lacuna inevitável entre a quantidade de informações disponíveis e o conhecimento idealmente necessário para a tomada de decisões. Elas se fazem presentes em cenários onde há criação de algo único e na solução de novos problemas (Geraldi & Adlbrecht, 2007), e podem se referir tanto ao estado atual e futuro

de cada elemento que compõem o projeto quanto ao modo como tais elementos interagem e ao impacto resultante dessa interação (Geraldi et al., 2011). A incerteza é parte constitutiva na tomada de decisão e diferente do risco, possível de ser calculado, às incertezas não permitem conhecer todas as suas variáveis e conseqüentemente não podem ser calculadas (Knight, 1971) ou gerenciadas por completo nos projetos, a partir do uso de metodologias tradicionais (Elia et al., 2020).

Exemplos de atributos mapeados no estudo bibliométrico realizado por Geraldi et al. (2011) estão relacionados à novidade (ex: tecnologia de ponta ou estrutura contratual incomum), à experiência (ex: do gerente de uma organização ou da equipe envolvida) e à disponibilidade de informações (ex: conhecimento necessário para a tomada de decisão) (Geraldi et al., 2011). Tendo em vista o impacto das incertezas no contexto do GP complexos, Meyer et al. (2002) e Pich et al. (2002) sugerem a abordagem das complexidades em quatro categorias centrais: variações, previstas, imprevistas e caos ou turbulência.

- Incertezas relacionadas a variações

As variações estão relacionadas às mudanças que não foram previstas no planejamento do projeto, mas que podem acontecer durante a sua execução (ex: tempo ou equipe subestimadas para a execução das atividades do projeto) (Meyer et al., 2002; Pich et al., 2002).

- Incertezas previstas

As incertezas previstas são influências que podem ser identificadas e compreendidas, mas que a equipe do projeto não tem certeza se vão acontecer (ex: efeitos colaterais de um novo medicamento) (Meyer et al., 2002; Pich et al., 2002).

- Incertezas imprevistas

As incertezas imprevistas não podem ser identificadas durante o planejamento do projeto, uma vez que a equipe desconhece a possibilidade da ocorrência dos eventos ou os consideram improvável (ex: efeitos colaterais diferentes dos previstos para um novo medicamento) (Meyer et al., 2002; Pich et al., 2002).

- Incertezas relacionadas ao caos e a turbulência

Já as incertezas relacionadas ao caos ou à turbulência fazem-se presentes em projetos inovadores e se referem às incertezas fundamentadas sobre a estrutura básica do plano de projeto. Assim, elas demandam um tipo de compreensão conceitual e não permitem o planejamento completo (ex: necessidade de alterações fundamentais na estrutura do projeto) (Meyer et al., 2002; Pich et al., 2002).

O Quadro 1 disponível na Tabela 1 apresenta um resumo das cinco dimensões de complexidade passíveis de ocorrência no GP, elaborada a partir dos resultados dos estudos bibliométricos realizados por Geraldi et al. (2011) e Rezende et al. (2018), em adição às incertezas categorizadas por Pich et al. (2002) e Meyer et al. (2002). Ambas as abordagens foram consideradas em conjunto, para contribuir com a compreensão e identificação das complexidades nos projetos.

Tabela 1- Quadro síntese das dimensões dos elementos complexos presentes em projetos.

Dimensão	Definição	Atributos	Grupos	Indicadores
Estrutural	Conjunto de elementos e entidades inter-relacionadas que devem ser levados em consideração no processo de tomada de decisão em um projeto (Geraldi et al., 2011).	Tamanho ou número (Crawford et al. 2005; Dvir et al., 2006; Geraldi e Adlbrecht 2007; Green, 2004; Maylor et al., 2008; Hobday, 1998; Muller & Turner, 2007; Shenhar, 2001).	Tamanho (ou número) de...	Escopo; orçamento do projeto; tecnologias envolvidas; equipes multidisciplinares; número e disponibilidade de especialistas; (Geraldi e Adlbrecht 2007). Número e diversidade de recursos e/ou resultados (Green, 2004). Integração de elementos (Xia e Lee, 2005). Diferenciação tecnológica e interdependência (Baccarini, 1996; Chapman e Hyland, 2004). Estrutura hierárquica (Baccarini, 1996). Tamanho da equipe (Little, 2005); Multicultural, multilíngue, múltiplos fusos horários (Eriksson et al., 2002; Geraldi e Adlbrecht, 2007; Maylor et al., 2008); Número de projetos simultâneos ou das interações entre os projetos (Perttu, 2006). Unidades organizacionais (Geraldi e Adlbrecht, 2007; Müller e Turner, 2007). Burocratização de processos; diversidade de caminhos para solução; Número de recursos, ou de partes interessadas e suas interdependências; interdependência das partes interessadas (órgãos reguladores, fornecedores e parceiros, cliente, usuário (Maylor et al., 2008).
		Variedade (Baccarini, 1996; Eriksson et al., 2002; Geraldi e Adlbrecht, 2007; Maylor et al., 2008).	Variedade de ...	
		Interdependência (Maylor et al., 2008; Hobday, 1998; Chapman & Hyland, 2004; Little, 2005; Williams, 10999; Xia & Lee, 2005).	Interdependência de ...	
Dinâmica	Mudanças em qualquer uma das outras dimensões e o impacto das mesmas no projeto.	Mudanças: variabilidade e dinamismo (Maylor et al., 2008); quantidade e impacto (Geraldi & Aldbrecht, 2007); necessidade de redesenhos (Xia e Lee, 2005).	Mudanças em...	Identificação de mudanças no escopo (incertezas dinâmicas frente ao surgimento de novas tecnologias); ou no ritmo (imposições de novas legislações); ou sócio-políticas (demissões entre os principais agentes envolvidos no projeto) (GERALDI et al. 2011).
Ritmo	Taxa na qual os projetos devem ser entregues tendo em vista um nível ótimo de medida definido.	Ritmo (Dvir et al. 2006; Shenhar & Dvir, 2007; Williams, 2005).	Velocidade de...	Velocidade de avanço dos projetos, tendo em vista o cronograma das atividades (GERALDI et al. 2011).
	Refere-se aos atores humanos (agentes)	Importância (Maylor et al., 2008).	Importância de...	Confiança e empatia (Benbya e McKelvey, 2006; Cicmil e Marshall, 2005; Cooke-Davies et al., 2007). Ferramentas apropriadas; aplicação correta da ferramenta de GP; padronização dos processos no projeto sem

Sociopolítica	envolvidos no projeto, bem como todas as interações praticadas entre eles.	Apoio para (o projeto) ou de (partes interessadas) (Maylor et al., 2008).	Apoio para... ou de...	burocratização; apoio da alta direção no projeto ou na resolução de conflitos; confrontos de personalidade; comprometimento das partes interessadas; interferências (in)útil; resistência; propriedade; autoridade apropriada e responsabilidade; Conflitos; lutas de poder; e agendas ocultas entre as partes interessadas; requisitos e prioridades conflitantes; falta de compreensão dos objetivos compartilhados no projeto; expectativas realistas do cronograma e orçamento; comunicação adequada das informações do projeto; controle da seleção e dos recursos humanos pelos gerente de projeto; alinhamento entre os objetivos do projeto e a estratégia da organização; clareza do patrocinador; o projeto está de acordo com a realidade das organizações; o processo de aquisição do cliente e do fornecedor suporta o objetivo do projeto (Maylor et al, 2008).
		Ajuste/ convergência (Maylor et al., 2008).	Ajuste/ convergência com...	
		Transparência (Maylor et al., 2008; Banbya & McKelvey, 2006; Cicmil & Marshall, 2005; Cooke-Davies et al., 2007).	Transparência de...	
Incertezas	Incertezas relacionadas às tarefas, a tipologia de projetos e ao escopo tecnológico	Novidade (Shenhar, 2001; Tatikonda & Rosenthal, 2000).	Caos ou turbulência	Maturidade, novidade comercial e tecnológica (Geraldi e Adlbrecht, 2007; Maylor et al., 2008). Visão clara e bem definida, requisitos, business case, escopo, compreensão das implicações, metas e critérios de sucesso e suas medições, tangibilidade de benefícios, número de incógnitas (Maylor et al., 2008). Expectativa realista das partes interessadas (Hobday, 1998), ambiguidade das medições de desempenho (Cicmil e Marshall, 2005; Geraldi e Adlbrecht, 2007). Grau de novidade dos aspectos tecnológicos e organizacionais (Turner e Cochrane, 1993; Hobday, 1998; Geraldi e Adlbrecht, 2007), grau de customização dos componentes e do produto final (Little, 2005), incerteza nos métodos (Geraldi e Adlbrecht, 2007; Maylor et al, 2008; Turner e Cochrane, 1993). Nível de maturidade da organização, gerenciamento de riscos e qualidade, experiência do gerente de projetos, membros da equipe com conhecimento (técnico, de negócios e de GP) e experiência anteriores de trabalho em conjunto; visão compartilhada da equipe para o projeto, confiança em especialistas-chave; clareza das responsabilidades e tarefas (Maylor et al., 2008). Clareza em relação ao cenário organizacional e tecnológico (Geraldi e Adlbrecht, 2007; Hobday, 1998; Maylor et al., 2008).
		Experiência (Maylor et al., 2008; Mykytyn & Green, 1992).	Incertezas imprevistas	
		Disponibilidade de informações (Geraldi & Adlbrecht, 2007; Hobday, 1998; Maylor et al., 2008).	Variações	
			Incertezas previstas	

Fonte: Adaptado pelo autor de Geraldi et al. (2011).

Embora a abordagem das dimensões possa contribuir para a identificação das complexidades, tendo em vista padrões de definições, Geraldi et al. (2011) ressaltam que a avaliação das mesmas nos projetos é subjetiva e sofre influência direta do gerente de projeto, tendo em vista as suas experiências, percepções e respostas. Contudo, os autores também defendem a importância da utilização de um conceito que descreva as complexidades a partir de um padrão, de modo a possibilitar sua identificação e compreensão com maior precisão. Apontam, ainda, que esse conceito (o das dimensões) pode ser utilizado como o ponto de partida para uma reflexão em maior profundidade, tanto sobre os desafios enfrentados em um projeto quanto sobre as estratégias para superá-los (Geraldi et al., 2011).

2.4 Gerenciamento das complexidades em projetos

Um conceito geral define o GP como a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas para projetar as atividades e suprir os requisitos de um projeto (Guide, 2001; Vidal & Marle, 2008). Diferente dos gerentes tradicionais, os envolvidos em projetos complexos enfrentam eventos de difícil previsão e interpretação, que possuem interdependências e produzem relações de causalidade que não são claras para a tomada de decisão (Bakhshi et al., 2016; Daniel & Daniel, 2018). Assim, os profissionais que atuam nestes cenários precisam fazer suas escolhas, tendo em vista ambientes dinâmicos, instáveis, de difícil previsão e que se encontram em constante evolução (Cristóbal et al., 2018). Vidal e Marle (2008) ainda ressaltam que esses gestores lidam com a complexidade percebida, uma vez que eles não podem compreender ou lidar com toda a realidade e complexidade de um projeto. Ou seja, existe uma lacuna entre a quantidade de informações disponíveis e o conhecimento necessário para a tomada de decisão. Deste modo, a complexidade passa a ser assimilada e interpretada de modo individual, a partir de suas experiências, vivências e modelos mentais (Jaafari, 2003).

Segundo Amaral et al. (2011), os principais desafios inerentes aos projetos complexos de inovação estão associados à sua execução, tendo em vista: a necessidade de mudanças no escopo e nos requisitos do projeto; a dificuldade de planejar um escopo que não é claro desde o início; a ausência de flexibilidade das estruturas organizacionais envolvidas; e a administração dos riscos mediante o desenvolvimento de inovações. De acordo com Elia et al. (2020), a complexidade afeta tanto a modelagem, a avaliação e o controle dos projetos, quanto os

objetivos, tempo, custos, qualidade e a sua segurança. Os autores ainda argumentam que a identificação das complexidades e a exploração dos elementos que a fundamentam são fatores chave para garantir o sucesso no que tange ao GP desta natureza (Elia et al., 2020). Outros autores, como Baccarini (1996) e Rezende et al. (2018), corroboram com esta argumentação e ainda enfatizam a necessidade de uma maior compreensão, por parte dos gerentes, de como a complexidade pode ser gerenciada, tendo em vista o seu impacto na tomada de decisão.

Conforme exposto, são numerosos os fatores que dificultam o GP complexos de PD&I. Estudiosos da área (Cristóbal et al., 2018; Rezende et al., 2018; Loch & Sommer, 2019; Elia et al., 2020) ressaltam a necessidade do desenvolvimento de modelos de gestão diferentes dos tradicionais para contribuir com a redução no índice de insucesso nos projetos desta natureza. De acordo com os autores, tais modelos precisam contribuir tanto com a identificação e compreensão das complexidades quanto com a definição das estratégias para melhor gerenciá-las. É importante ressaltar que, conforme descrito na literatura (Baccarini, 1996; Geraldi et al., 2011; Rezende et al., 2018), essa compreensão é de suma importância, pois vai impactar no planejamento do projeto, na gestão, coordenação e controle das atividades, na tomada de decisão, no objetivo, nos custos e na qualidade das entregas.

Na literatura, são descritas algumas ferramentas de gestão com capacidade de contribuir com a identificação das complexidades em projetos. Turner e Cochrane (1993) propõem a matriz de metas e métodos para identificar o nível de complexidade nos projetos e o perfil dos gerentes requeridos. Outro exemplo é a matriz Stacey (1996), que permite avaliar a complexidade nos projetos em duas dimensões: grau de incertezas e nível de concordância. Williams e Hilson (2002), em extensão à proposta de Baccarini (1996), sugerem um modelo para a avaliação da complexidade a partir do número de elementos e das interdependências entre eles. Já a estrutura Cynefin, proposta por Snowden e Boone (2007), permite que os gerentes de projetos visualizem novas oportunidades a partir de diferentes pontos de vista para assimilar conceitos complexos e abordar os problemas e as oportunidades do mundo real. Contudo, dependendo da categoria do produto, entre 40% a 90% dos projetos de inovação ainda falham de modo parcial ou total.

Alguns autores afirmam que o resultado de insucesso em projetos desta natureza está associado principalmente aos desafios de gestão (D'Este et al., 2016; Matos et al., 2019). Geraldi et al. (2011) ressaltam que a falta de conhecimento e compreensão a respeito das complexidades nos projetos resultam na impossibilidade de seu gerenciamento. Diferentes

pesquisadores do campo de GP (Geraldi et al., 2011; Elia et al., 2020; Rezende et al., 2018; Bakhshi et al., 2016; Vidal & Marle, 2008) apontam a necessidade de novas ferramentas que possam contribuir com as tratativas das imprevisibilidades nos projetos complexos, uma vez que os modelos tradicionais não estão preparados para lidar com os cenários de instabilidade. Elia et al. (2020) ainda afirmam que, na presença de incertezas, a ação racional orientada ao plano só pode ser praticada até certo ponto; assim, a improvisação para os imprevistos torna-se necessária.

Diante do exposto, para o GP complexos faz-se necessária a adoção de novas abordagens que permitam lidar com as complexidades em ambientes dinâmicos e imprevisíveis. Vidal e Marle (2008) sugerem o uso de abordagens dinâmicas e adaptativas para suportar as imprevisibilidades e permitir que os gestores aproveitem as oportunidades oriundas das complexidades. Segundo Shenhar (2008), os procedimentos de gestão com maior flexibilidade e de caráter adaptativo podem contribuir com a obtenção do sucesso no GP complexos.

2.5 Planejamento adaptativo

De acordo com Elia et al. (2020), diferente da visão mecânica compartilhada de modo dominante pelas práticas atuais de gestão, a perspectiva da complexidade reconhece que o mundo está interconectado e demanda novos métodos que permitam explorar de modo sistêmico as situações emergentes dependentes do caminho. Segundo Urueña et al. (2016), no campo do GP, o pensamento sistêmico fornece flexibilidade para gerenciar a inovação, as complexidades e incertezas com mais sucesso que as abordagens tradicionais. No trabalho realizado por Rezende et al. (2018), ao tratar do GP complexos, foram identificadas tendências recentes que mostram uma mudança dos aspectos do gerenciamento tradicional focado no controle total para abordagens adaptativas. Segundo Matos et al. (2019), os elevados índices de insucesso nestes projetos têm levado ao crescente surgimento de metodologias alternativas para permitir adaptações, tendo em vista as imprevisibilidades decorrentes de seu ciclo de vida. Tais abordagens possuem caráter flexível e, na literatura, são mais comumente designadas como “ágeis” ou “adaptativas” (Spundak, 2014).

2.5.1 Pressupostos centrais das abordagens ágeis

Diferente das metodologias tradicionais, as abordagens ágeis aceitam a mudança como uma parte integrante do projeto, sob o pressuposto da impossibilidade do planejamento completo em cenários complexos (Matos et al., 2019). Ou seja, elas focam nas mudanças dos projetos tendo em vista as necessidades identificadas durante o ciclo de vida (Shenhar, 2008); para, assim, contribuir com a melhoria das condições do gerenciamento, a partir de um conjunto de princípios e valores (Eder et al., 2014). Essas abordagens se referem ao “Gerenciamento ágil de projetos” (GAP) e têm sido difundidas na literatura desde o final dos anos 90, principalmente para o desenvolvimento de projetos de *softwares* (Eder et al., 2014).

Segundo Amaral et al. (2011), trata-se de abordagens fundamentadas em um conjunto de princípios, cujo objetivo é contribuir para a agilidade (simplicidade, flexibilidade, rapidez) e geração de melhores resultados (desempenho e simplificação do GP), a partir do uso de práticas visuais e iterativas (Eder et al., 2014). Embora na literatura sejam descritas diferentes definições para as abordagens do GAPs, no contexto deste trabalho, foi adotado o conceito de Amaral et al. (2011, p.), que se refere ao GAP como uma abordagem fundamentada em um conjunto de princípios focados em simplificar o GP, tornando-o mais flexível e iterativo, para se obterem melhores resultados em termos de desempenho (tempo, custo e qualidade), com menores esforços de gestão e maiores níveis de inovação e agregação de valor para o cliente.

O desenvolvimento de práticas para o GAP ganhou destaque em 2001, a partir do manifesto ágil por Beck et al. (2001), como apoio ao desenvolvimento ágil de projetos de *softwares*. Segundo Eder et al. (2014), esse foi considerado o marco para a disseminação dos métodos ágeis e o ponto de partida para os inúmeros estudos nesta área. De acordo com Beck et al. (2001), o manifesto foi criado com o objetivo de descobrir e compartilhar as melhores práticas para o desenvolvimento de *softwares*, tendo em vista quatro valores centrais: i) os indivíduos e as interações praticadas (pessoas); ii) o *software* em funcionamento (a partir de entregas “pequenas” e recorrentes de resultados), iii) a colaboração e interação constantes com o cliente (durante todo o ciclo do projeto); e iv) a possibilidade de responder às mudanças (adaptação) (Beck et al., 2001).

No geral, de acordo com Eder et al. (2014), o manifesto se propõe a simplificar as práticas de gerenciamento a partir do foco na participação e do desenvolvimento das pessoas; do uso de ferramentas visuais e interativas; da utilização de poucos padrões; do uso de um tipo

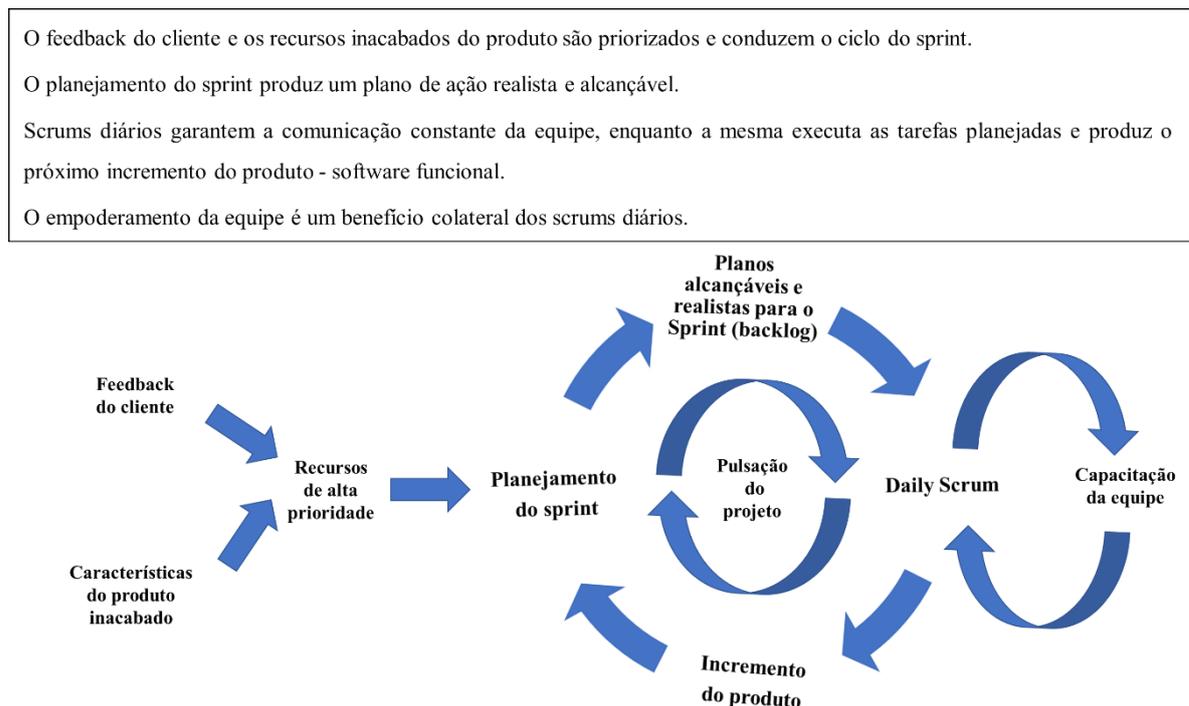
de desenvolvimento iterativo com entregas recorrentes em prazos curtos; e da eliminação de atividades que não geram valor ao produto/cliente (Eder et al., 2014). No contexto deste trabalho, o conceito de “práticas” será o mesmo adotado por Amaral et al. (2011), e refere-se a um tipo específico de ação profissional ou de gerenciamento que contribui para a execução de um processo, podendo empregar uma ou mais técnicas e ferramentas. As abordagens ágeis, quando aplicadas no desenvolvimento de projetos, apoiam o planejamento adaptativo e a entrega evolutiva de resultados, por meio de tratativas interativas, com tempos definidos, que focam na incrementação evolutiva do produto e na frequente comunicação entre os membros da equipe e das partes interessadas (Cooper & Sommer, 2018).

As abordagens ágeis se adaptam às incertezas e consideram as mudanças em grande parte do processo de desenvolvimento (Bianchi et al., 2020). Segundo Cooper e Sommer (2018), essa dinâmica de trabalho resulta em um sistema adaptável e flexível, capaz de prosperar na presença de mudanças, tendo como o ponto central a constante evolução que surge a partir do planejamento dinâmico, realizado em curto prazo. Na literatura das abordagens ágeis, são descritas diferentes metodologias, como por exemplo: *Extreme Programming (XP)*, *Scrum*, *Adaptive Software Development*, *Crystal*, *Feature-Driven Development* e *Pragmatic Programming* (Beck et al., 2001). Segundo Sommer et al. (2015), cada metodologia possui seu conjunto de ferramentas e abordagens, própria cultura de desenvolvimento e oferece diferentes vantagens. As abordagens ágeis trazem ao projeto um novo senso de propriedade, maior motivação aos envolvidos e ainda permitem aprimorar a comunicação e o compartilhamento do conhecimento. O cerne de ser ágil está relacionado à possibilidade de se adaptar às mudanças introduzidas ativamente no projeto, por meio de alterações no escopo e/ou nas especificações do produto, de modo controlado e sem interromper o ritmo da equipe (Cooper & Sommer, 2016).

Embora existam diferentes metodologias ágeis, as práticas do *Scrum* têm sido utilizadas no desenvolvimento de *hardwares* e de produtos físicos (Cooper & Sommer, 2016). Segundo Beck et al. (2001), tais práticas estão associadas a um conjunto de metodologias que divide o processo de desenvolvimento em uma série de *sprints* curtos, iterativos e incrementais. Cooper e Sommer (2018) descrevem quatro componentes centrais inerentes a este processo: i) reuniões de planejamento do *sprint* (a equipe de desenvolvimento se reúne para definir o que pode realizar no *sprint* e cria um plano de tarefas); ii) reuniões rápidas e recorrentes (encontros diários entre a equipe de desenvolvimento para garantir o alcance das metas estabelecidas,

revisar o que foi feito nas últimas 24 horas, resolver problemas e definir o que precisa ser feito no próximo *sprint*); iii) demonstração (ao final de cada *sprint* os novos recursos desenvolvidos ou incrementos realizados no produto serão demonstrados e validados entre as partes interessadas - cliente); e iv) reuniões retrospectivas (ocorre entre a equipe ao final de cada *sprint* para revisar as atividades e discutir as oportunidades de melhorias) (Cooper & Sommer, 2018). As informações apresentadas na Figura 5 representam o processo descrito pelos autores.

Figura 5- Representação do processo de gestão ágil baseado no Scrum para o desenvolvimento de projetos.



Fonte: Traduzido de Cooper e Sommer, (2016); adaptado de Wells (2009).

De acordo com Cooper e Sommer (2016), os artefatos (ou instrumentos) ágeis criam a pulsação do projeto e incorporam ao gerenciamento das mudanças os ciclos de aprendizado. Segundo os autores, o uso de tais artefatos fornece maior visibilidade da realidade do projeto e permite identificar tanto as atividades em execução quanto o que precisa ser feito conforme o planejado (Cooper & Sommer, 2016). Conforto et al. (2014) se referem aos artefatos como os componentes do projeto e ainda citam o uso de ferramentas visuais, como *backlogs* de produto e do *sprint*, quadro *Scrum* e gráficos de *burndown*, para simplificar a comunicação entre as partes envolvidas. Segundo Bianchi et al. (2020), para a obtenção do sucesso, as abordagens

ágeis precisam ir além do uso de ferramentas, artefatos ou práticas individuais, e necessitam estar relacionadas à cultura e à maneira holística de pensamento da organização.

2.5.2 Diferenças entre as abordagens tradicionais e ágeis no GP

De acordo com Amaral et al. (2011), enquanto o GP tradicional apresenta um escopo fixo orientado ao plano, com variações apenas no custo e no tempo, as abordagens do ágeis ou *agile* são orientadas pela visão/valor e possuem um escopo variável, tendo em vista a presença dos ambientes dinâmicos e imprevisíveis. No trabalho realizado por Conforto et al. (2014), para identificar quais ações, ferramentas e técnicas se diferem entre ambas as abordagens, foi feita uma comparação entre as práticas descritas nas literaturas de gestão ágil e tradicional. Os autores identificaram diferenças consideráveis em seis práticas de manejo: i) uso do conceito de “visão do produto”; ii) uso de ferramentas e processos simples para facilitar a comunicação do plano de projeto; iii) planejamento iterativo; iv) desenvolvimento de atividades por equipes autogerenciadas e autodirigidas; v) monitoramento e (vi) constantes atualizações no plano de projeto realizadas pelas próprias equipes autogerenciadas e autodirigidas (Conforto et al., 2014).

Segundo Highsmith (2004), a visão de produto e o uso de processos simples para facilitar a comunicação prevê a aplicação de ferramentas visuais para ajudar os envolvidos na visualização e comunicação do plano do projeto. Essa estratégia requer um alto grau de interação entre os membros da equipe e se difere da forma tradicional (estrutura analítica) devido à maneira de abordar e apresentar o projeto (Highsmith, 2004; Cohn, 2005). Outra diferença identificada por Conforto et al. (2014) refere-se à abordagem iterativa, associada às atividades de planejamento e ao horizonte do plano do projeto. Ao contrário das metodologias tradicionais, focadas em um plano único para todo o projeto, o planejamento deve acontecer fase a fase, mediante a sua evolução. Assim, é possível trabalhar a entrega rápida e contínua de partes do projeto, que devem ser revisadas e aprimoradas de modo constante, repetindo a sequência recorrente do planejamento e ação ao longo do ciclo de vida (Conforto et al., 2014). É importante ressaltar que essas práticas possibilitam a obtenção de constantes *feedbacks* por parte do cliente, permitem responder às frequentes mudanças (de requisitos, necessidade, riscos), e ainda possibilitam aproveitar as oportunidades identificadas ao longo do projeto (Highsmith, 2004; Cohn, 2005).

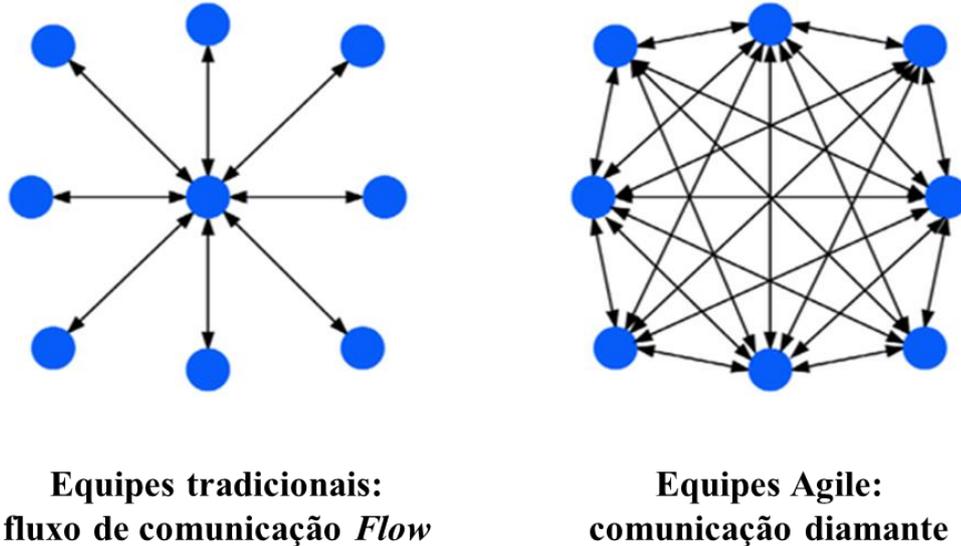
A presença de equipes autogerenciadas e autodirigidas também foi identificada por Conforto et al. (2014) como uma diferença considerável entre as duas abordagens na literatura (Boehm & Turner, 2004; Highsmith, 2004). O autogerenciamento da equipe do projeto e a responsabilidade compartilhada são discutidos a partir das abordagens de GAP como práticas fundamentais para a gestão (Boehm & Turner, 2004; Highsmith, 2004). A ênfase na simplicidade, no desenvolvimento iterativo e no envolvimento do cliente no projeto exige que os membros da equipe tenham forte domínio tanto dos aspectos técnicos do produto quanto dos aspectos gerenciais (Conforto et al., 2014). De acordo com Amaral et al. (2011), a autogestão das equipes é de suma importância em cenários de elevada complexidade e novidade, uma vez que a padronização não se faz presente em ambientes desconhecidos e incertos. Conforto et al. (2014) ainda afirmam que esta estrutura contribui tanto para garantir o comprometimento e o envolvimento da equipe no que tange ao desenvolvimento do plano quanto para monitorar a evolução do projeto (Conforto et al., 2014).

Conforto et al. (2014) também identificaram diferenças relacionadas aos agentes e papéis ocupados nas equipes de projetos. Na literatura das abordagens ágeis são descritos três grupos centrais de agentes chave: *own product*, *scrum master* e a equipe de desenvolvimento (Beck et al., 2001; Cooper & Sommer, 2016; 2018; Conforto et al., 2014; Vasconcelos et al., 2022). O *own product* (proprietário do produto) é o responsável por garantir que a equipe agregue valor ao negócio e refere-se a um representante das partes interessadas no produto ou seja, a voz do cliente. No entanto, ele não é responsável pelas atividades diárias da equipe, sendo as mesmas de responsabilidade do *scrum master* (ou mestre do projeto), o qual assume o papel de liderança e tem duas missões específicas: i) remover qualquer obstáculo relacionado à execução do projeto; e ii) garantir que a equipe siga as práticas e as regras do *Agile* a partir do uso adequado das ferramentas e dos artefatos. Já a equipe de desenvolvimento corresponde a um time multidisciplinar, com dedicação exclusiva às atividades do projeto (Cooper & Sommer, 2016).

Cooper e Sommer (2016) defendem que a divisão dos papéis em funções claras confere mudanças nos caminhos de comunicação dentro do projeto e permite um maior compartilhamento de conhecimento entre os agentes envolvidos. Segundo os autores, isso ocorre pois, como o líder ou gerente do projeto não é mais o ponto focal e tomador das decisões no dia a dia, assim, a equipe precisa estar em constante comunicação para distribuir as tarefas diárias e tomar as decisões. Essa mudança no processo da tomada de decisão qualifica e confere

à equipe do projeto um maior senso de propriedade e engajamento (Cooper & Sommer, 2016). Ou seja, a presença de um gerente centraliza e limita a comunicação e as trocas do conhecimento entre os membros da equipe, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6- Diferença dos pontos de comunicação entre as equipes ágeis e as tradicionais nos projetos de PD&I.



Fonte: Traduzido de Cooper e Sommer (2016).

Embora sejam utilizadas principalmente no campo de TI, para o desenvolvimento de *softwares*, na literatura são descritos estudos sobre a aplicação de GAP por indústrias de manufatura para o desenvolvimento de produtos físicos com caráter inovador em outras áreas industriais (Conforto & Amaral, 2010; Amaral et al., 2011; Cooper & Sommer, 2016; 2018). Amaral et al. (2011) afirmam que o gerenciamento de projetos complexos e inovadores por meio do uso de metodologias tradicionais têm sido alvo de numerosos questionamentos. De acordo com Vasconcelos et al. (2022), isso ocorre pois os projetos de PD&I são caracterizados pela incerteza e demandam soluções específicas relacionadas ao ambiente dinâmico em que se encontram, que, por sua vez, estão mais relacionados às abordagens ágeis, com caráter adaptativo.

Alguns estudiosos deste campo de pesquisa (Conforto et al., 2014; Highsmith, 2004; Chin, 2004; Conforto & Amaral, 2010; Amaral et al., 2011; Cooper & Sommer, 2016; 2018) descrevem a possibilidade da adaptação de abordagens de GAP para o desenvolvimento de produtos físicos, cujas características se assemelham à de projetos inovadores de *softwares*. Nas empresas de manufatura, o *agile* foi adotado pela primeira vez por departamentos de TI ou por

grupos de P&D nos quais o desenvolvimento de *software* era uma das partes fundamentais dos projetos de desenvolvimento de *hardware*. Como resultado, os grupos de P&D, ao experimentar essa abordagem, modificaram as metodologias tradicionais de *stage-gate*, tradicionalmente utilizadas para atender às suas necessidades (Sommer et al., 2015). Denominadas “híbridas” (Salvato & Laplume, 2020; Cooper & Sommer, 2016, 2018; de Vasconcelos et al., 2020), tais abordagens possuem caráter adaptativo, podem melhorar as interações entre os agentes no projeto, reduzir os tempos dos ciclos de desenvolvimento e ainda contribuir com o gerenciamento dos recursos (Cooper & Sommer, 2016).

2.5.3 Abordagem híbrida para o GP complexos de PD&I

De acordo com Vasconcelos et al. (2020), as abordagens híbridas desafiam a “sabedoria convencional” de que os métodos de desenvolvimento ágil se aplicam apenas aos projetos de *software*. Segundo os autores, as empresas que desenvolvem produtos físicos em cenários incertos, com elevada imprevisibilidade, também podem utilizar este tipo de abordagem para o GP complexos (Vasconcelos et al., 2020). Mais especificamente, os modelos híbridos são desenvolvidos a partir da integração dos métodos ágeis às abordagens tradicionais para fornecer maior flexibilidade ao GP (Sommer et al., 2015). O *Agile Stage-Gate Management* (ASGM) é um exemplo de modelo híbrido resultante da integração de abordagens ágeis do tipo *Scrum* a modelos tradicionais de SGM para GP complexos de PD&I (Salvato & Laplume, 2020). Embora na literatura sejam descritos outros modelos híbridos (*Water-Scrum-Fall*, *Waterfall-Agile* e V híbrido) no contexto desta pesquisa o ASGM foi a abordagem considerada, pois representa uma mudança significativa sobre o pensamento do gerenciamento de DNP desde a proposição do SGM, até os dias atuais (Sommer & Cooper, 2016) .

Enquanto as abordagens tradicionais de SGM possuem uma tratativa disciplinada ao desenvolvimento de produtos, a partir da divisão do processo em estágios discretos desde a ideia até o lançamento (Cooper, 2007), o *Agile* traz agilidade, adaptabilidade e velocidade aos projetos de desenvolvimento (Cooper & Sommer, 2016; Bianchi et al., 2020). De acordo com Cooper (1988), o SGM é um macro modelo de desenvolvimento de produto que engloba desde a geração da ideia até o lançamento do produto no mercado. O mesmo é dividido em estágios que apresentam tarefas bem definidas, entregas prescritas e “portões” *go/no go* para auxiliar na tomada de decisão. Quando integrados, os métodos ágeis conferem ao modelo SGM um caráter

adaptável, a partir do uso de ferramentas e artefatos que permitem o planejamento fase a fase, o controle diário do trabalho e a estruturação dos relatos da evolução do projeto (Karlstrom & Runeson, 2005). Segundo Cooper e Sommer (2016), isso é possível, pois as reuniões recorrentes viabilizam uma comunicação mais assertiva entre as partes interessadas e envolvidas, que geram o *feedback* rápido e contínuo dos clientes, que conseqüentemente contribuem com a eficiência do projeto e com a qualidade final das entregas.

Para a integração dos métodos ágeis ao SGM (AGSM), com foco no GP de P&D manufaturados ou físicos (*hardware*), o *Agile* deve ser aplicado como um método de gestão intrínseco a cada um dos estágios do SGM, os quais passam a ser planejados em curtos prazos, de modo iterativo (Cooper & Sommer, 2018). A aplicação dos híbridos ASGM estão associados à geração de diferentes benefícios como: maior agilidade e potencial de adaptação às mudanças, considerando as necessidades do cliente (Sommer et al., 2015; Cooper & Sommer, 2016); melhoria na integração e comunicação entre os envolvidos no projeto, aumento da produtividade e ganho de agilidade no lançamento de produtos no mercado (Cooper & Sommer, 2016). Segundo Salvato e Laplume (2020), as abordagens híbridas para o desenvolvimento de produtos são, em princípio, construídas considerando os parâmetros explícitos do projeto para lidar com as incertezas, adaptabilidade, flexibilidade, velocidade e integração.

No modelo híbrido de ASGM, tanto os *gates* do SGM para a tomada de decisão quanto às abordagens ágeis são mantidas (Cooper & Sommer, 2016). Sommer et al. (2015) sugerem o uso do SGM em uma abordagem mais macro e a aplicação dos artefatos e das ferramentas de abordagens ágeis para operacionalizar a gestão das atividades corriqueiras. Conforme descrito por Cooper e Sommer (2018), cada estágio do SGM deve ser composto por uma série de *sprints* planejados em tempo real, com tempos definidos, para viabilizar um processo responsivo e adaptativo. Ao final de cada *sprint*, a equipe do projeto precisa produzir algum tipo de resultado tangível (protótipo, modelo físico, etc.) para ser demonstrado e validado junto às partes interessadas (incluindo clientes), de modo a permitir a identificação de mudanças necessárias no projeto. Assim, a voz do cliente se torna um condutor dinâmico ao longo do projeto e as retrospectivas pós-*sprint* permitem verificar a conclusão das atividades e a necessidade de melhorias. Os *gates* continuam sendo os principais pontos de decisão, fornecendo uma visão geral das fases do projeto e funcionando como um guia para as atividades e produtos esperados em cada estágio de desenvolvimento (Cooper & Sommer, 2018).

Na literatura, diferentes autores afirmam que o uso de ASGM para o GP de alta incerteza contribui com a agilidade de resposta às mudanças e confere maior produtividade às equipes dos projetos de P&D (Cooper, 2016; Cooper & Sommer, 2016; 2018; 2020; Schmidt et al., 2018; Sommer et al., 2015). De acordo com Cooper e Sommer (2016), nos projetos que envolvem a inovação radical, os modelos híbridos oferecem benefícios adicionais para o gerenciamento da alta incerteza, a partir da construção de versões de produtos incrementais, ciclos de aprendizados rápidos e do envolvimento frequente do cliente. Na literatura, o método *Scrum* em específico, tem sido descrito como o método *Agile* mais indicado para o desenvolvimento de projetos de *hardwares* e de produtos físicos inovadores (Cooper & Sommer, 2016; 2018). Segundo Rubin (2013), isso é possível pois a inovação envolve variabilidade e incerteza, e o *Scrum* abrange a variação útil a partir do desenvolvimento iterativo, da adaptação/transparência, de modo simultâneo à redução do risco no projeto.

Enquanto o *Agile* tem como foco a entrega rápida de valor e a capacidade de resposta à mudança, a partir da construção de protótipos para determinar quais recursos agregam valor, o SGM tem metas de previsibilidade, estabilidade e garantia (Boehm & Turner, 2004). Assim, o ASGM foca em equilibrar o *Agile* e o SGM, ao estabelecer uma tensão saudável entre o planejamento fixo e a resolução iterativa de problemas e do controle do processo, tendo em vista a desordem produtiva (Sommer et al., 2015). Cooper e Sommer (2016) afirmam que o argumento para a adoção de um modelo híbrido de ASGM para o desenvolvimento de produtos físicos está associado tanto aos benefícios que ambos os modelos trazem e às circunstâncias de melhor funcionamento quanto como forma de fazer frente à relutância da alta administração em descartar a abordagem tradicional orientada ao planejamento completo, já testada e comprovada.

Sommer et al. (2015) realizaram um estudo de caso comparativo entre sete empresas manufatureiras (fabricantes de turbinas eólicas, de válvulas e sensores, de insulina, de brinquedo de plástico, de amplificadores de música, de janelas e de cabo de força cross-country) para verificar como a combinação do modelo SGM (a nível estratégico) e do método *Agile Scrum* (a nível operacional) conferiu melhorias de desempenho na execução dos projetos. Segundo os autores, as fontes mais promissoras dessas melhorias tiveram relação direta com a incorporação dos valores ágeis, tendo em vista o uso das ferramentas e do efeito das técnicas de comunicação, as quais contribuíram de modo direto com o compartilhamento do conhecimento e com o envolvimento e a motivação da equipe no projeto. Os desafios mapeados

estavam relacionados aos atrasos de distribuição dos recursos, à falta de sinergia entre o sistema de recompensas e o método e à ausência da cultura *Agile*, pressuposto para a implementação de tais modelos nas organizações. Os autores propuseram um modelo híbrido ASGM e afirmaram que, embora essa seja uma estratégia promissora para o GP, ainda se faz necessária uma melhor compreensão a respeito dos mecanismos de sucesso para garantir a ampliação de seu desempenho (Sommer et al., 2015).

Cooper e Sommer (2018) também realizaram um estudo para descobrir os pontos fortes, desafios e aprendizados de seis indústrias manufatureiras (Chamberlain, Danfoss, GE, Honeywell, Lego Group e Tetra Pak) que fizeram a transição do SGM para o ASGM, a fim de melhorar os resultados do GP complexos. Segundo os autores, as organizações adotaram o modelo híbrido para resolver desde conflitos internos à ampliação dos ganhos (eficiência e agilidade) de processo no desenvolvimento de produtos. Como resultados do uso da abordagem híbrida foram identificados ganhos na redução do tempo de lançamento e do aumento da produtividade, estimados em aproximadamente 30%. Ganhos similares aos encontrados por Cooper (2016) em estudos anteriores. Cooper e Sommer (2018) indicam que a agilidade de resposta às mudanças relacionadas tanto ao mercado-quanto às necessidades do cliente também foram benefícios citados pelos entrevistados. Como pontos negativos foram identificadas inconsistências entre os dois sistemas na definição de produtos e dos ciclos de planejamento (curtos x longos). Os desafios mapeados estavam relacionados ao ceticismo gerencial, à falta de recursos para apoiar as equipes dedicadas e à dificuldade de produzir um produto concreto para a demonstração nos *sprints* de duas semanas de duração (Cooper & Sommer 2018).

No estudo qualitativo realizado por Salvato e Laplume (2020) também foi investigada a aplicação do ASGM no gerenciamento do DNP eletromecânicos complexos (por exemplo, componentes de automóveis, sistemas de propulsão ferroviária e dispositivos médicos) em empresas globais. Após extensas entrevistas com profissionais de gestão experientes, verificou-se o impacto positivo promovido pelo ASGM frente a redução nos tempos de lançamento no mercado e a ampliação dos níveis de inovação dos produtos. Também foram identificados impactos negativos, como: a baixa eficiência dos recursos, devido a necessidade de frequentes demonstrações de produtos, à estruturas duplicadas de gerenciamento e a necessidade de recursos dedicados. Assim, embora o uso do ASGM nas empresas investigadas tenha permitido tanto a redução dos tempos de lançamentos dos produtos no mercado quanto o aumento nos níveis de inovação, ele ampliou os recursos necessários para a conclusão dos projetos.

Embora sejam descritos na literatura benefícios do uso de abordagens ASGM para o GP de desenvolvimento de produtos físicos, Conforto et al. (2014) identificaram diferentes desafios associados à implementação de tais modelos no cenário de empresas manufatureiras, como: a necessidade de equipes dedicadas; problemas de integração entre todos os membros da equipe; dificuldade de estruturação de equipes multidisciplinares para atender todas as competências exigidas no projeto; a falta de comprometimento por parte do cliente e de personas com alto grau de influência, essenciais para a tomada de decisão; e o envolvimento superficial de fornecedores. Contudo, Conforto et al. (2014) apontam a existência de dez gatilhos que podem funcionar como habilitadores de GAP: tipo de estrutura organizacional; equipes multidisciplinares de projetos; formalização do processo de desenvolvimento de produtos; envolvimento do cliente/parte interessada no desenvolvimento do produto; envolvimento do fornecedor ou parceiro no processo de desenvolvimento do produto; experiência dos membros da equipe do projeto (em anos); experiência do gerente de projetos (em anos); tamanho da equipe do projeto (em números); dedicação da equipe do projeto; e localização da mesma.

De acordo com Spundak (2014), os fatores críticos para o sucesso da aplicação de abordagens adaptativas estão atrelados, principalmente, à dimensão da comunicação e à proximidade entre os membros da equipe e o seu alto nível de habilidades. Com base na literatura atual, Vasconcelos et al. (2022) indicam a existências de três desafios centrais para o desenvolvimento e aplicação de modelos híbridos: i) falta de consistência em relação à forma como as soluções (abordagens híbridas) têm sido propostas; ii) falta de clareza e consistência dos parâmetros e princípios dos projetos por trás dessas soluções; e iii) a dificuldade de definir bem as contingências relacionadas à adoção de tais abordagens. Conforto et al. (2014) apontam a necessidade de pesquisas futuras focadas em explorar a correlação dos gatilhos e práticas de GAP para desenvolver modelos de gestão híbridos para diferentes indústrias.

Salvato e Laplume (2020) ainda afirmam que os trabalhos que abordam o desempenho do ASGM são poucos e que futuros pesquisadores poderiam analisar os resultados em diferentes níveis de gestão para estimar com maior riqueza de detalhes o desempenho das implementações dessa abordagem. Vasconcelos et al. (2022) enfatizam a oportunidade da execução de novos estudos para o desenvolvimento de abordagens híbridas considerando contingências-chave, como por exemplo as complexidades, que podem ser vinculadas aos parâmetros e princípios de *design*. Assim, é clara a necessidade de investigações mais profundas, no campo do GP, a respeito das estratégias para desenvolver modelos de híbridos de

gestão, considerando as práticas de gerenciamento ágil e tradicional, para equilibrar as necessidades da agilidade e as barreiras identificadas no desenvolvimento de físicos e/ou de *hardwares* (Cooper & Sommer, 2016; Conforto et al., 2014; Eder et al., 2012).

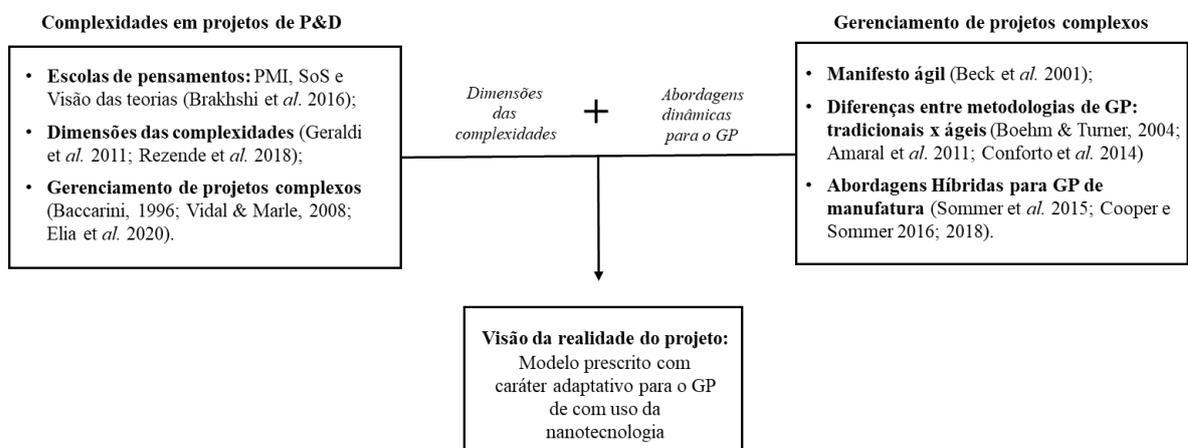
Diante do exposto, tendo em vista a presença de uma lacuna na literatura de GP sobre o conhecimento necessário para a tomada de decisão nos projetos complexos de PD&I e a falta de ferramentas disponíveis para o seu gerenciamento, torna-se clara a necessidade do desenvolvimento de novos modelos, os quais precisam contribuir tanto com a identificação e a compreensão das complexidades quanto com a flexibilização do gerenciamento; e, ainda, precisam apoiar o processo iterativo para a resolução dos problemas emergentes do ciclo de vida dos projetos.

3. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar o uso de uma abordagem adaptativa/flexível para contribuir, em tempo real, com o GP complexos de PD&I na área da nanotecnologia. O modelo prescritivo, com caráter adaptativo de gerenciamento aqui proposto inclui como objetivos específicos: (a) com a construção de um mapa de eventos em tempo real, a partir dos desdobramentos das ações dos agentes envolvidos de modo direto no desenvolvimento do projeto; (b) um mapa com a visão sistêmica da realidade do projeto, tendo em vista as dimensões das complexidades em cada uma das fases do desenvolvimento, mediante as questões sociopolíticas, de incertezas, estruturais, de ritmo e dinâmicas; e, ainda, (c) a prescrição do passo a passo de uma estratégia para flexibilizar o gerenciamento do projeto, diante da realidade do mesmo, de modo a permitir adaptações e/ou ajustes mediante o seu avanço.

Diante do exposto, a lacuna de conhecimento identificada para o trabalho de doutoramento diz respeito tanto à falta de compreensão dos elementos de complexidade por parte dos gerentes em projetos com uso da nanotecnologia quanto à disponibilidade de modelos de gestão preparados para lidar com ambientes dinâmicos e imprevisíveis, oriundos de projetos inovadores executados em parceria U-E. Na Figura 7 é apresentado o quadro teórico conceitual construído durante o desenvolvimento da pesquisa de doutorado, a partir da combinação de referenciais teóricos, considerando as complexidades e o gerenciamento em projetos complexos de PD&I, para a estruturação do modelo proposto.

Figura 7- Quadro teórico utilizado como base para a construção do modelo proposto.



Fonte: Elaborada pela autora.

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta e discute o método adotado para o alcance do objetivo da pesquisa, a partir da descrição das escolhas metodológicas, com as justificativas das principais decisões tomadas e das reflexões, quando necessárias, sobre suas possíveis limitações.

4.1 Classificação da pesquisa

Considerando a escassez na literatura a respeito dos aspectos gerais relacionados ao GP complexos envolvendo o uso da nanotecnologia a partir da parceria U-E, a abordagem de pesquisa selecionada para a execução deste projeto foi a qualitativa. A mesma possibilitou a obtenção de um panorama profundo do contexto de estudo, por permitir a compreensão dos fenômenos em seu contexto específico (Gray, 2012). Segundo Denzin e Lincoln (1998), a pesquisa qualitativa é um campo de investigação que, por si só, possibilita a divisão de disciplinas, áreas e assuntos. Segundo os autores, ela envolve o uso de estudos e a coleção de uma variedade de materiais empíricos (estudos de caso, experiências pessoais, histórias de vida, entrevistas, observações, análises históricas, dentre outros), que permitem descrever a rotina e a problemática de momentos e significados na vida dos indivíduos. A pesquisa qualitativa fornece multimétodos, que envolvem abordagens interpretativas e naturalistas, possibilitando a realização de estudos em ambientes nativos, com o objetivo de interpretar os fenômenos em termos dos significados que os indivíduos lhes atribuem (Denzin & Lincoln, 1998).

O método qualitativo engloba as pesquisas empíricas, realizadas em campo, baseadas nas experiências e vivências do pesquisador, que busca solucionar desacordos e dúvidas sobre os fatos de alta relevância, levantando questões de tal modo que as respostas obtidas possam contribuir com a solução de problemas da sociedade (Mills, 1960). Além disso, de acordo com Denzin (2014), a pesquisa qualitativa pode ser associada a um processo de significação, em que o pesquisador trabalha dentro de uma realidade híbrida e se compromete a estudar a sociedade a partir da perspectiva do indivíduo que interage. Segundo o autor, o pesquisador é o principal responsável pelo impacto gerado no cenário do estudo, sendo o indivíduo o principal objeto de pesquisa. O rigor deste tipo de pesquisa concentra-se tanto na definição explícita das perguntas a serem respondidas durante a realização da investigação quanto na descrição detalhada dos procedimentos adotados em campo, que podem inclusive ser replicados em outras investigações (Denzin, 2014). Para a realização deste projeto, tendo em vista os objetivos formulados, o método selecionado foi o *process tracing*.

4.1.1 Rastreamento de Processos - *Process Tracing*

Foi realizado um estudo de caso único em profundidade, a partir da aplicação da abordagem do rastreamento de processos – “*Process Tracing*” (Heise, 2022; Beach, 2020). A seleção do método se deu com enfoque explicativo, objetivando não apenas descrever o caso, mas também inferir causalidades entre os eventos e as dimensões dos elementos de complexidade (Freitas et al., 2021). Na literatura, o *Process Tracing* é visto por diferentes autores (Beach & Pedersen, 2019; George & Bennett, 2005; Goertz & Mahoney, 2012; Rohlfing, 2012) como o processo utilizado para analisar um caso único, a partir de testes formais de hipóteses ou abordagens voltadas a narrativas, para detectar o mecanismo causal entre as condições iniciais (A) e um resultado (B). Ou seja, a abordagem de processos envolve o estudo de como e por que algum fenômeno significativo em evolução temporal se desdobra ao longo do tempo (Langley, 2007). Trata-se de uma abordagem que permite a compreensão de como os vários resultados sociais e políticos são produzidos a partir de eventos que, por sua vez, são resultantes das ações e interações entre agentes presentes em diferentes fatores contextuais.

Em um sentido mais amplo, o rastreamento de processos é definido como uma abordagem dinâmica de pesquisa, que foca em rastrear os processos ligados às mudanças, tendo em vista a evolução temporal (Bengtsson & Ruonavaara, 2017). Embora a palavra “processo” assuma uma série de significados, na abordagem do *process tracing*, o pensamento em processo se refere à ocorrência de fenômenos dinâmicos – em termos de movimento, atividade, eventos, mudança e evolução temporal (Langley, 2007). De acordo com Chia e Langley (2004), esse pensamento também deve considerar “o como” e “o porquê” das “situações” – pessoas, organizações, estratégias, ambientes – que mudam, agem e evoluem ao longo do tempo. Langley (2007) também aponta a necessidade de uso da abordagem de processos, em substituição aos modelos tradicionais que realizam cortes transversais no contexto em estudo e fornecem uma imagem parcial do mundo sem considerar a influência do tempo, assumindo um estado de equilíbrio (Langley, 2007). Deste modo, tais abordagens são importantes para a prática, pois se preocupam em apreciar e teorizar os padrões temporais, ao invés de focar na covariação entre as variáveis independentes (Bizzi & Langley, 2012).

Collier (2011), define o *process tracing* como uma ferramenta analítica que possibilita realizar inferências (deduções) descritivas e causais a partir das evidências diagnósticas, compreendidas muitas vezes como a parte de uma sequência temporal de eventos ou fenômenos. Trata-se de uma ferramenta que utiliza o desenho de pesquisa longitudinal, cujos dados consistem em uma sequência de eventos (com atos individuais ou coletivos; ou mudanças

de “estado”), representados por observações não padronizadas, extraídas de uma unidade única de análise (Waldner, 2012; Melo et al., 2020; Collier, 2011). Neste contexto, os eventos são definidos como as ações de um determinado agente ou grupos sobre um objeto específico, em um determinado espaço de tempo (Heise & During, 1997; Melo et al., 2020). Os eventos podem incluir decisões, reuniões, conversas ou até mesmo uma interação interpessoal entre os agentes que impactam diretamente na contextualização global do caso (Langley, 1999).

Langley (1999) indica a presença de quatro desafios centrais para a aplicação dessa abordagem nos trabalhos de investigação: i) os dados do processo tendem a ser compostos por eventos – “o que aconteceu e quem fez o quê quando”, e, portanto, requerem teorias de processo destinadas a compreender padrões em sequências de eventos; ii) os dados do processo geralmente têm limites ambíguos que abrangem várias unidades e níveis de análises; iii) geralmente incluem vários graus de integração temporal que podem influenciar os eventos de maneiras desconhecidas, o que gera dificuldade na avaliação de como os vários pontos de dados se encaixam; e iv) os dados do processo são ecléticos e abrangem uma ampla variedade e tipos de informações qualitativas e quantitativas. Assim, a autora propõe o uso de sete ferramentas metodológicas para criar sentido aos dados brutos coletados e facilitar o uso dessa abordagem: narrativa, quantificação, teoria fundamentada, sintética, mapeamento visual, agrupamento temporal e modelos alternativos (Langley 1999).

Lerman et al. (2022) afirmam que o uso da narrativa tem sido a estratégia mais praticada em estudos de caso, uma vez que permite a construção de uma história detalhada a partir dos dados brutos coletados. Langley (1999) aponta três estratégias centrais para a construção das narrativas: (a) a partir da cronologia de eventos, para ajudar a organizar os dados; (b) como uma ferramenta analítica mais substancial que captura sequências temporais e conexões dentro de uma narrativa; e (c) a narrativa voltada a resultados (Langley, 1999). Segundo Langley (1999), embora o uso das ferramentas e estratégias possa ajudar na identificação dos significados, padrões e mecanismos de dados mapeados nos processos, também se faz necessário o uso da criatividade e da experiência do pesquisador (rotulada como o “salto criativo” não codificável e não rastreável em um projeto de pesquisa) para o desenvolvimento das percepções teóricas (Langley, 1999).

No trabalho realizado por Huy et al. (2014), a narrativa foi utilizada como a abordagem de processo para examinar o papel crítico desempenhado pelos gerentes para a mudança organizacional radical em uma grande empresa de tecnologia da informação. No modelo indutivo construído pela autora do trabalho, foi possível explicar as relações dinâmicas e interativas entre os agentes e suas reações emocionais em várias fases de mudanças. O estudo foi conduzido em tempo real, durante o processo de mudança no período de três anos (Huy et

al., 2014). Já Melo et al. (2020) utilizaram a narrativa voltada a resultados como a abordagem de rastreamento de processos para um estudo de caso aprofundado. O estudo foi realizado para identificar os padrões de causalidade em uma sequência de eventos que sustentou uma narrativa sobre a construção da capacidade de GP de inovação aberta em uma organização industrial. Os autores afirmam que a escolha da abordagem se deu devido ao interesse de não apenas descrever de forma densa o caso em estudo, mas também de identificar os mecanismos causais que sustentaram este processo (Melo et al., 2020).

Segundo Beach (2020) e Melo et al. (2020), a abordagem de processos, quando executada para o estudo de um caso único, permite a obtenção de uma melhor compreensão da dinâmica causal responsável pelo histórico particular dos resultados mapeados no caso em estudo. No estudo de caso realizado por Smith (2014), as narrativas também foram utilizadas como um mecanismo para apresentar a cronologia dos eventos mapeados sobre os paradoxos estratégicos de seis diferentes equipes da alta gestão, de modo a estabelecer uma história de confiabilidade. Foi realizado um estudo de caso único para cada unidade estratégica de negócio e as narrativas, construídas a partir de diferentes técnicas de coleta de dados, permitiram descrever o contexto organizacional, as estratégias exploratórias, a cronologia de desafios e as respostas da liderança sênior. O estudo ocorreu em tempo real e a autora intercalou a escrita das narrativas com a coleta dos dados. Assim, à medida que o projeto evoluiu, foi possível tomar notas de suas percepções e reflexões (Smith, 2014).

No campo de GP complexos, Lenfle e Loch (2010) também utilizaram a abordagem da narrativa voltada à cronologia de eventos para organizar os dados coletados a partir de análises históricas. O estudo foi realizado para compreender como o GP lida com a flexibilidade e a novidade em projetos complexos exploratórios de PD&I a partir de uma análise de múltiplos casos. A abordagem da narrativa orientada a resultados também foi utilizada por Lenfle (2014) em um estudo de caso em profundidade a respeito do projeto de desenvolvimento do míssil *Sidewinder Air-to-Air*, executado entre os anos de 1947 a 1957 pela Marinha dos Estados Unidos da América. O objetivo de Lenfle (2014) ao adotar a narrativa orientada foi compreender tanto a dinâmica de funcionamento interno de um projeto de PD&I de alta tecnologia quanto a sua estratégia de governança.

Como pode ser visto, o uso da estratégia do *process tracing* com a narrativa como abordagem para a realização de estudos de caso único e em profundidade tem sido amplamente utilizada na literatura e pode ocorrer de modo concomitante à evolução temporal do caso em estudo. No contexto deste trabalho, essa abordagem foi utilizada para mapear os eventos em tempo real e, assim, acompanhar os desdobramentos do projeto complexo de PD&I que envolveu o uso da nanotecnologia. Os eventos foram orientados de modo cronológico e

identificados a partir de dados temporais e históricos (Langley, 2007). A utilização do *process tracing* também permitiu verificar a viabilidade de uso de uma abordagem adaptativa/flexível para o GP complexo. O estudo ainda abrangeu a investigação dos elementos de complexidade nas diferentes fases do projeto de PD&I, a partir do desdobramento dos eventos à medida que o projeto avançou durante as fases do DT e do escalonamento em laboratório.

4.1.2 O caso

O cenário de estudo foi o Centro de Tecnologias em Nanomateriais e Grafeno da UFMG (CTNano/UFMG), focado no desenvolvimento de produtos, processos e serviços com uso da nanotecnologia para ampliar a competitividade da indústria. Trata-se de uma Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) voltada a projetos de PD&I colaborativo. Iniciado em 2010, o centro acumula mais de 20 anos de experiência em nanotecnologia e é reconhecido na América Latina por sua excelência no que tange à execução de pesquisas aplicadas no campo de nanomateriais (CTNano, 2021). A sede do CTKano/UFMG está localizada no Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-TEC), possui 3.050 m² de área construída, contando com um prédio com 4 andares e mais de 10 laboratórios equipados com alta tecnologia, incluindo equipamentos para caracterização, síntese e incorporação de nanomateriais em produtos. O centro já formou mais de 200 pesquisadores e alunos que foram responsáveis pelo depósito de mais de 30 documentos de patentes junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) e conta com uma equipe multidisciplinar (química, física, biologia e engenharia) composta por aproximadamente 60 colaboradores (Silva et al., 2020).

O CTKano/UFMG tem como visão ser uma plataforma para a contínua transferência de tecnologia para pequenas, médias, grandes e também novas empresas de base tecnológica (CTNano, 2021). Trata-se de uma organização voltada a projetos (Winch, 2014; Gemünden et al., 2018), focada no desenvolvimento de soluções em parceria com diferentes empresas, mediante a alocação de uma equipe técnica especializada para atender às demandas específicas de cada projeto. Tanto os projetos quanto as entregas, os cronogramas de execução e outros itens de planejamento são definidos em conjunto com as empresas parceiras. Geralmente, as etapas de PD&I envolvem a avaliação das rotas de processo mais adequadas, com foco nas questões relacionadas à qualidade e reprodutibilidade. O centro também realiza provas de conceito e ajustes nas características dos produtos a partir da análise dos aspectos industriais, tendo em vista a viabilidade de escalonamento até a escala piloto (Silva et al., 2020).

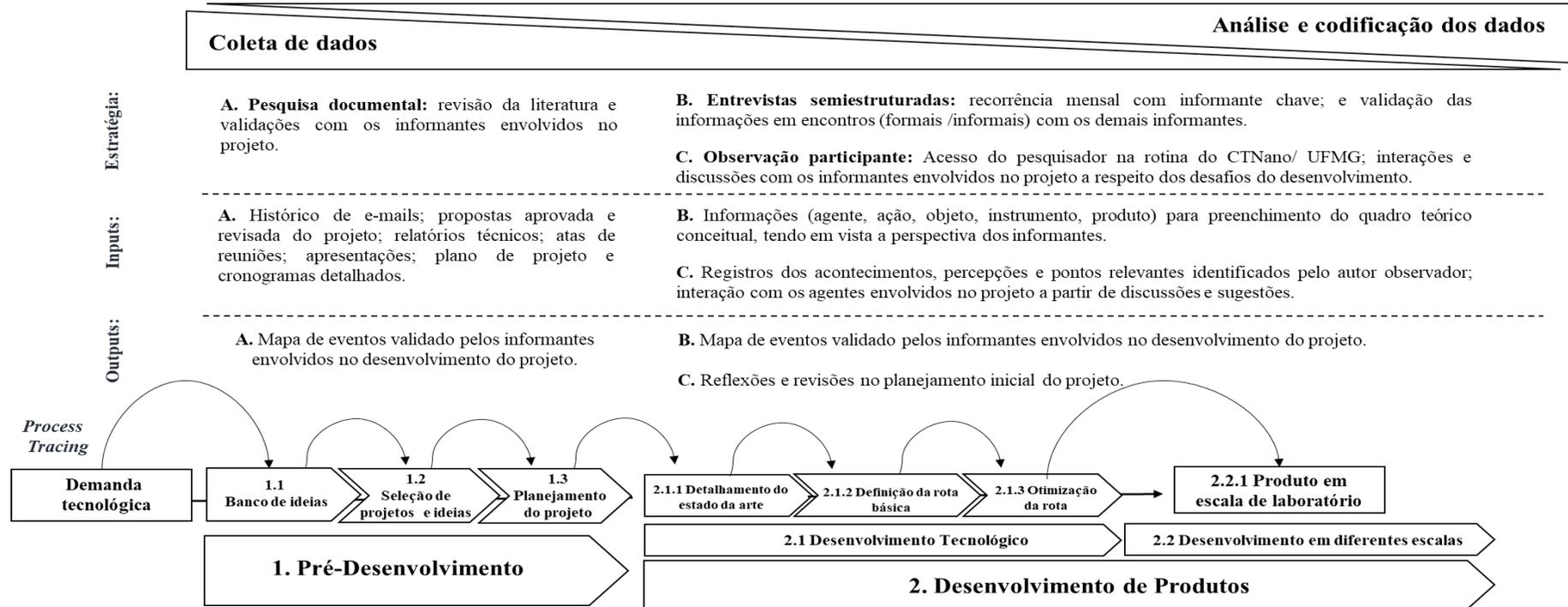
Mais especificamente, foi investigado um projeto de PD&I executado pelo CTKano em parceria com uma multinacional para a solução de um desafio real. Trata-se de um projeto de

PD&I focado no desenvolvimento de um novo material com alto desempenho, desde o DT, passando pelo escalonamento, até a escala piloto, de modo a solucionar uma demanda tecnológica proposta por uma multinacional: o entupimento dos chutes presentes no processo de beneficiamento do minério (Amurin et al., 2022) . Os chutes aqui descritos fazem referência a uma estrutura física construída entre os equipamentos de uma linha de beneficiamento/produção do minério, para garantir o escoamento do mesmo. O recorte para a investigação abrangeu desde a fase do pré-desenvolvimento até o aumento da escala em laboratório. A seleção do caso se deu devido: i) à forte interação do centro com a indústria brasileira; ii) a tratar-se de um projeto de pesquisa aplicada com foco no desenvolvimento de um produto com aplicação da nanotecnologia (nanocompósito); iii) a tratar-se de uma ICT voltada ao desenvolvimento de projetos complexos de PD&I; iv) ao arranjo estabelecido entre as três organizações presentes em uma única cadeia de valor: multinacional (contratante), CTNano/UFMG (contratada) e indústria interessada em explorar comercialmente a tecnologia a partir da incorporação em um novo produto (fornecedor); e v) à possibilidade de acompanhar a evolução do projeto em tempo real, tendo em vista o livre acesso do pesquisador ao centro.

4.2 Coleta de dados

Os dados foram coletados de modo recorrente, à medida que o projeto avançou, por meio da pesquisa documental, entrevistas semiestruturadas e pela observação participante, a partir da interação semanal do pesquisador autor com os informantes envolvidos no projeto. É importante ressaltar que a coleta e a análise dos dados ocorreram de modo paralelo e em tempo real durante o desenvolvimento das fases do DT e do escalonamento em laboratório, apresentando algumas sobreposições, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8- Resumo do processo de pesquisa adotado durante a coleta e análise dos dados.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.1 Pesquisa documental

A pesquisa documental foi realizada durante toda a investigação, principalmente durante a fase do pré-desenvolvimento, e foi o ponto de partida e a fonte primária para a coleta dos dados no caso, que foram levantados a partir de: a) histórico dos e-mails trocados entre os agentes envolvidos de modo direto no projeto, desde a fase do pré-desenvolvimento; b) proposta aprovada e c) revisada do projeto, construídas por ambas as organizações para solucionar a demanda tecnológica; d) relatórios técnicos com a descrição dos resultados obtidos nas diferentes etapas do desenvolvimento do projeto; e) atas das reuniões dos agentes envolvidos; f) apresentações compartilhadas entre as organizações; e g) cronogramas detalhados compartilhados pelo informante-chave. Ainda, a pesquisa documental foi utilizada para triangular os dados identificados a partir das entrevistas com os informantes envolvidos no projeto.

4.2.2 Observação participante

A partir da observação participante, vivenciada de modo direto pela pesquisadora autora ao longo do período de dois anos, foi possível acompanhar, em tempo real, o desdobramento dos eventos nas fases do DT e do escalonamento em laboratório. Para registro dos acontecimentos, foram tomadas notas em um caderno de campo, sobre o comportamento, percepções e pontos relevantes identificados pela autora durante as observações. A qual, uma vez familiarizada, realizou interações junto à equipe envolvida no desenvolvimento do projeto, a partir de discussões, questionamentos e sugestões, tendo em vista o planejamento inicial e o mapa de eventos com a realidade do projeto. As interações praticadas durante a coleta dos dados tiveram recorrência quinzenal e geraram discussões acerca dos eventos mapeados no passado e em evolução temporal, assim, quando cabível, foram promovidas discussões em tempo real a respeito da realidade do projeto. A observação participante também complementou a coleta dos dados, pois além de permitir a imersão e interação da pesquisadora autora com o caso investigado, também favoreceu a descrição e interpretação da relação entre os eventos (Gümüşay & Amis, 2021).

4.2.3 Entrevistas semiestruturadas

No geral, o principal método utilizado para a coleta dos dados foi a entrevista semiestruturada que, segundo Geertz (1973), permite que os agentes envolvidos no estudo expressem, em linguagem própria, os seus conceitos e crenças de causalidade. As entrevistas foram estruturadas com auxílio do quadro para a codificação de eventos, fundamentado na estrutura conceitual de Heise e During (1997), conforme descrito no item 4.3.1. O quadro de eventos foi utilizado nos encontros quinzenais formais, ao longo do período de dois anos, junto a um informante-chave (especialista/ pesquisador), eleito por se tratar do agente responsável pela gestão e entrega das atividades (operação) do projeto (líder técnico). Ainda, com o enfoque de validação, outros agentes da ICT também envolvidos no projeto foram entrevistados (Tabela 2 – Quadro de informantes) em encontros formais e informais, de maneira semiestruturada e não estruturada, em grupo e/ou de modo individual ao final das macrofases de desenvolvimento. A seleção dos informantes para este estudo se deu devido à elevada frequência de presença nos eventos e aos papéis de liderança ocupados na organização e no projeto.

Tabela 2 Quadro de informantes e os respectivos papéis ocupados na organização e no projeto.

Informantes	Papel na ICT	Papel no projeto
Coordenador/ mediador/ pesquisador	Coordenador geral da organização	Responsável pela tomada de decisões.
Supervisor/ pesquisador	Supervisor de projetos	Responsável por supervisionar a execução do projeto.
Especialista/ pesquisador	Especialista técnico	Responsável pela gestão da equipe técnica e execução das atividades experimentais.

Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Análises dos dados coletados

Os dados foram estruturados a partir do quadro de eventos proposto por Heise e During (1997) e analisados por meio da narrativa orientada a resultados (Lerman et al., 2022; Langley, 1997; 2007).

4.3.1 Codificação e construção do mapa de eventos

O quadro conceitual, apresentado na Figura 7, foi utilizado para orientar a condução das entrevistas, que foram estruturadas e codificadas com apoio do quadro de eventos. Para tanto, foi utilizada a estrutura conceitual proposta por Heise e During (1997), adaptada por outros autores (Freitas, 2014; Ferreira, 2018), contendo os elementos agente, ação, objeto, instrumento e produto, conforme apresentado no Quadro 3.

Tabela 3- Quadro de eventos adaptado para as entrevistas semiestruturadas e codificação dos eventos.

Elementos	Definições
Agente	Instigador de um acontecimento.
Ação	A fusão dos elementos do “quadro de eventos” em um acontecimento.
Objeto	A entidade que é movida ou mudada, de modo que a repetição do acontecimento requer reposição da entidade. Pessoas podem ser objetos.
Instrumento	Uma entidade que é usada pelo agente para avançar causalmente o acontecimento sem ser significativamente mudada pelo acontecimento. Pessoas, organizações sociais, e verbalizações podem ser instrumentos.
Produto	Uma entidade que vem à existência como um resultado de um acontecimento e que habilita ou desabilita acontecimentos subsequentes.

FONTE: Ferreira (2018).

Segundo Heise e During (1997), os elementos contidos no quadro se referem ao conjunto das categorias de sentido básicas utilizadas para a descrição de eventos sociais de modo completo. Assim, o preenchimento de forma categórica de todos os campos, conforme informações demandadas, possibilita a construção de uma estrutura que pode ser utilizada como a base para diferentes situações serem compreendidas como um evento (Heise & During, 1997; Freitas, 2014; Ferreira, 2018). Após a construção do mapa de eventos, também ocorreram encontros formais e informais, individuais e em grupo, para validar as informações levantadas durante as entrevistas semiestruturadas. Tais eventos também permitiram legitimar a cronologia e a definição dos eventos essenciais a serem considerados na lista final de análise, para darem o sentido necessário à compreensão da narrativa no contexto em estudo.

4.3.2 Construção da narrativa e validação do mapa de eventos

De posse da lista de eventos, foi construída de modo recorrente, à medida que o projeto avançou, uma narrativa voltada a resultados (Kouame & Langley, 2018; Melo et al., 2021). Para facilitar as análises dos dados empíricos de modo cronológico, foi adotada a abordagem da correspondência de padrão – *Pattern Matching*, a qual, segundo Reay e Jones (2016), pode ser utilizada em estudos qualitativos para evitar a simples reprodução das situações empíricas na descrição dos casos, a partir do uso de um modelo pré-existente do “tipo ideal”, que permite avaliar e comparar com os padrões do “tipo real” identificados. Assim, o modelo do “tipo ideal” utilizado neste estudo foi o PDP (Resende & Bagno, 2017) utilizado pelo centro para o GP, com recorte específico até a fase piloto.

Ao construir a narrativa, foi possível identificar tanto as organizações, agentes e interações praticadas entre eles quanto os desdobramentos dos eventos durante o desenvolvimento do projeto. De posse do quadro de eventos e após a construção da narrativa, ela foi validada junto aos informantes de modo individual e em três reuniões de grupo. Neste momento também foram realizadas discussões para a definição dos eventos considerados como essenciais para a compreensão e análise do caso.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Eventos mapeados

Foram mapeados, ao todo, 62 eventos; contudo, apenas 49 foram considerados como essenciais pelos informantes para a compreensão do caso em estudo, conforme apresentado no quadro da Tabela 4, em sua versão completa no APÊNDICE B (Material suplementar – Quadro de eventos mapeados). É importante ressaltar que, embora os eventos tenham sido numerados (1 - 49) para facilitar sua identificação, alguns ocorreram de modo paralelo e apresentaram sobreposições temporais.

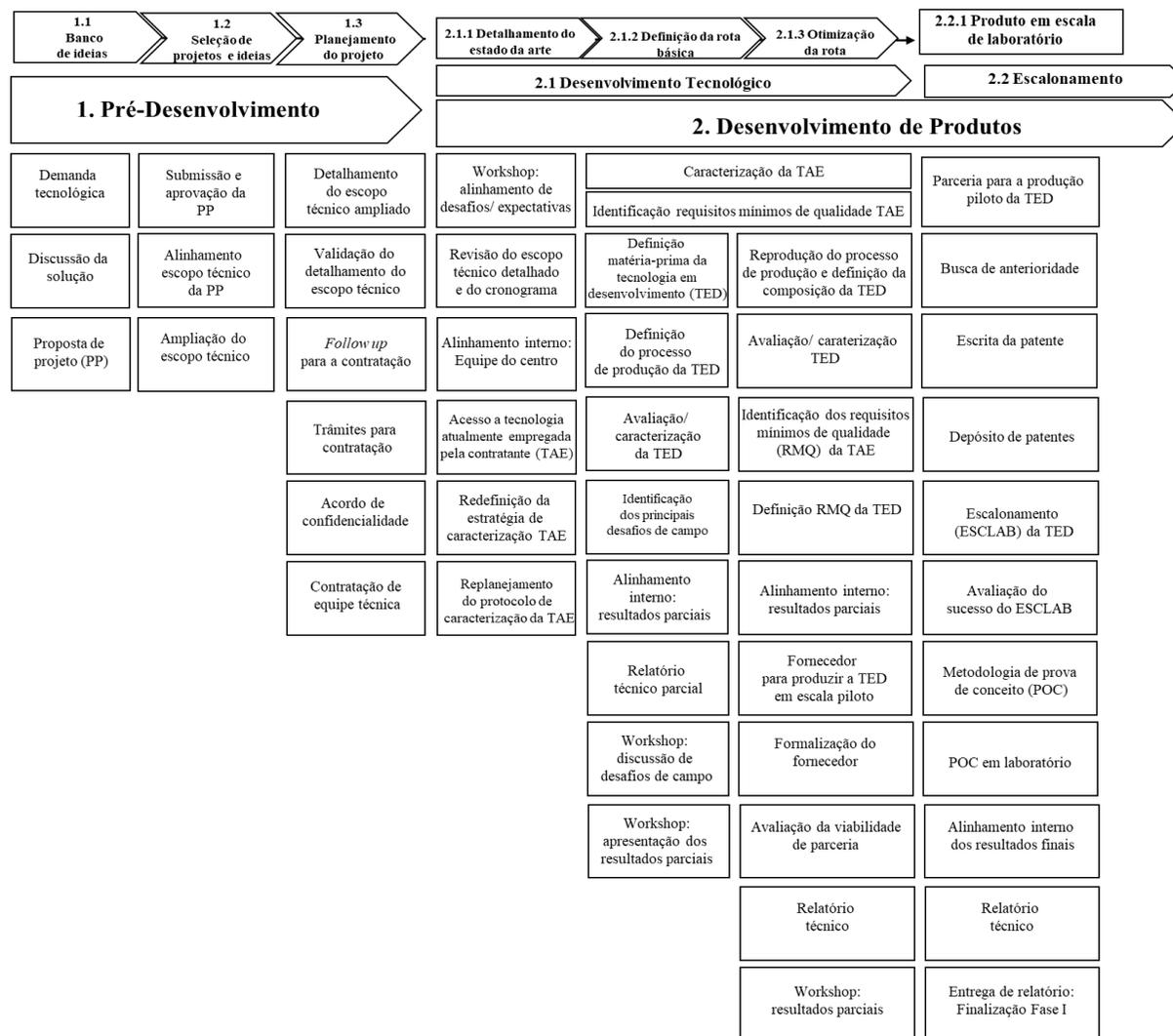
Tabela 4- Quadro de eventos essenciais para a compreensão do caso em estudo.

Identificação (nº)	Eventos	Identificação (nº)	Eventos
1	Demanda tecnológica apresentada pela multinacional.	26	Relatório técnico - parcial.
2	Discussão da solução.	27	<i>Workshop</i> : discussões desafios de campo.
3	Escrita da proposta do projeto (PP).	28	<i>Workshop</i> : apresentação de resultados parciais.
4	Submissão e aprovação da PP.	29	Reprodução do processo de produção e composição da TED.
5	Alinhamento para ajuste da ampliação do escopo técnico (ET) da PP.	30	Avaliação caracterização da TED.
6	Ampliação do ET.	31	Identificação RMQ da TAE.
7	Detalhamento do ET ampliado.	32	Definição RMQ da TED.
8	Validação do detalhamento do ET.	33	Alinhamento interno – Equipe CTNano: resultados parciais.
9	<i>Follow up</i> para contratação.	34	Busca por fornecedores em potencial para produzir a TED.
10	Trâmites para contratação.	35	Formalização do fornecedor.
11	Acordo de confidencialidade.	36	Avaliação da viabilidade de parceria.
12	Contratação de equipe técnica para desenvolvimento do projeto.	37	Relatório técnico - parcial.
13	<i>Workshop</i> : alinhamento dos desafios e expectativas.	38	<i>Workshop</i> : Apresentação de resultados parciais.
14	Detalhamento do ET e cronograma.	39	Parceria para produção piloto da TED.
15	Alinhamento interno entre a equipe do CTNano.	40	Busca de anterioridade.
16	Acesso à tecnologia atualmente empregada (TAE) pela contratante.	41	Escrita da patente.
17	Redefinição da estratégia de caracterização da TAE.	42	Depósito da patente.
18	Replanejamento do protocolo de caracterização da TAE.	43	ESCLAB da TED.
19	Caracterização da TAE.	44	Avaliação do sucesso do ESCLAB
20	Identificação dos requisitos mínimos de qualidade (RMQ) da TAE.	45	Metodologia Prova de Conceito (POC).
21	Definição das matérias-primas da tecnologia em desenvolvimento (TED).	46	POC em laboratório.
22	Definição do processo de produção da TED.	47	Alinhamento interno dos resultados finais.
23	Avaliação/ caracterização da TED.	48	Relatório técnico.
24	Identificação dos principais desafios em campo.	49	Entrega de relatório: finalização projeto Fase I.
25	Alinhamento interno – Equipe CTNano: resultados parciais.		

5.2 Construção da narrativa

Ao incorporar a combinação da abordagem das dimensões de complexidades com a coleta de dados recorrentes pelo *process tracing*, ao modelo de gestão adotado pelo centro (Resende & Bagnó, 2017), foi estruturada, de modo gradual, a narrativa voltada a resultados contendo os 49 eventos, considerados pelos informantes chave como essenciais para a compreensão do caso em estudo. É importante ressaltar que, à medida que o projeto avançou, a narrativa foi estruturada e também validada em tempo real, junto aos informantes. Assim, à medida que os eventos foram mapeados, eles foram alocados de modo cronológico nas macrofases do PDP, conforme informações apresentadas na Figura 9, e descritos com maior riqueza de detalhes no APÊNDICE C (Material suplementar – Narrativa detalhada).

Figura 9- Eventos codificados, mapeados e alocados de modo cronológico no PDP proposto por Resende e Bagno (2017).



Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.1 Pré-desenvolvimento

Foram mapeados 12 eventos (24,5% do total) na macrofase de pré-desenvolvimento, que estiveram relacionados ao processo de ideação, construção e aprovação da proposta do projeto, tendo em vista o desafio tecnológico proposto pela multinacional (empresa contratante). Ao todo, esta macrofase teve duração de 15 meses, considerando o tempo em que o processo de contratação do projeto ficou congelado devido as burocracias internas da empresa contratante.

- *Banco de ideias*

O primeiro evento identificado nesta subfase refere-se ao contato inicial, realizado pela empresa contratante junto ao CTNano/UFMG para a solução de uma demanda tecnológica (evento 1). Após o contato inicial, as partes envolvidas discutiram uma solução/ideia com uso da nanotecnologia para solucionar a demanda tecnológica compartilhada (evento 2). As discussões resultaram na proposta de um projeto colaborativo de PD&I para o desenvolvimento de um novo material de alto desempenho com uso da nanotecnologia (evento 3). Os 3 (três) eventos mapeados nesta subfase ocorreram em um intervalo de tempo de 1 (um) mês.

- *Seleção de projetos e ideias*

Esta subfase do PDP teve duração de 2 (dois) meses e foi iniciada pela submissão e aprovação da proposta do projeto junto à plataforma de inovação aberta da empresa contratante (evento 4). Uma vez aprovada, a mesma foi submetida a novas discussões entre as partes para o alinhamento (evento 5) da ampliação do escopo técnico (evento 6).

- *Planejamento do projeto*

A fase de planejamento teve duração de doze meses e foi iniciada pelo detalhamento do escopo do projeto ampliado (evento 7), posteriormente validado pela empresa contratante (evento 8). Embora finalizado para contratação, o projeto permaneceu congelado por um período próximo a 8 (oito) meses devido à burocracia interna da empresa contratante. Mediante um posterior *follow up* (evento 9) realizado pela equipe do CTNano/UFMG junto à mesma, foram retomados os trâmites para a contratação do projeto (evento 10). Tendo em vista o caráter

de inovação do projeto, foi alinhado entre as partes um acordo de confidencialidade (evento 11). Ao final do processo de contratação, a equipe técnica responsável pela execução do projeto, conforme descrito no detalhamento, foi contratada (evento 12).

5.2.2 Desenvolvimento do produto

A maior parte dos eventos, cerca de 75,5% (38), foram identificados na macrofase de desenvolvimento do produto que demandou de 24 meses de execução. Essa fase foi subdividida nas fases do DT e do escalonamento, e se referiu ao desenvolvimento e incorporação da tecnologia no novo produto e ao aumento de escala, três subfases com duração de 6 (seis), 8 (oito) e 10 (dez) meses, respectivamente, conforme descrito a seguir.

- *DT – Detalhamento do estado da arte*

A fase do DT foi iniciada pela realização de um *workshop* (evento 13) entre as partes envolvidas no projeto para o alinhamento das expectativas, tendo em vista os desafios de campo e o estágio inicial de maturidade da tecnologia. As informações levantadas contribuíram de modo direto para a revisão do escopo técnico e cronograma detalhados, inicialmente planejados (evento 14). Após revisão, o cronograma e escopo foram discutidos e validados durante a reunião de alinhamento da equipe interna do CTNano/UFGM (evento 15).

Tendo em vista a necessidade de investigar as características da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante, as atividades do cronograma foram iniciadas pela disponibilização de amostras da mesma à equipe do CTNano/UFGM (evento 16). Estratégia acordada entre as partes para facilitar a identificação/definição tanto dos requisitos de qualidade quanto do desempenho da tecnologia em desenvolvimento. Após recebimento das amostras, tendo em vista a grande dimensão dos materiais, a infraestrutura necessária e a dificuldade de manipulação, foi preciso redefinir a estratégia de caracterização inicialmente planejada (evento 17). Devido à necessidade de infraestrutura e *know how* específicos, foi preciso envolver os especialistas da empresa contratante no replanejamento do protocolo de caracterização da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante (evento 18).

- *DT – Definição da rota básica*

Esta subfase foi iniciada com as atividades previstas para a caracterização/identificação da tecnologia atualmente empregada (evento 19), como apoio à identificação/definição dos requisitos de qualidade para a tecnologia em desenvolvimento (evento 20). É importante ressaltar que ambos os eventos se estenderam à subfase de otimização da rota e ocorreram de modo paralelo aos eventos posteriormente mapeados em ambas as fases. De modo concomitante, por meio de testes experimentais, foram definidas as matérias-primas (evento 21) e o processo de produção/rota tecnológica (evento 22) da tecnologia em desenvolvimento, a qual, uma vez produzida, foi submetida à avaliação/caracterização (evento 23), para avaliar o cumprimento dos critérios de qualidade pré-estabelecidos.

Também em paralelo aos eventos descritos anteriormente (19 - 23), 18 relatórios técnicos do desempenho da tecnologia atualmente empregada em diferentes plantas de produção foram avaliados pela equipe do CTNano/UFG. Os mesmos foram estudados para identificar os principais gargalos inerentes às realidades de campo (evento 24). Ao final dos testes iniciais e da avaliação dos relatórios, foi realizada uma reunião de alinhamento/validação entre a equipe técnica interna do CTNano/UFG (evento 25) para discussão das informações e resultados alcançados, que foram posteriormente inseridos no relatório técnico parcial (evento 26). Após a elaboração do relatório parcial, foi realizado um *workshop* dividido em dois momentos: o primeiro foi utilizado para discutir os desafios mapeados em campo, tendo em vista os resultados encontrados a partir das análises dos relatórios compartilhados (evento 27); e o segundo tanto para a apresentação dos resultados pela equipe do CTNano/UFG quanto para a discussão, junto à equipe técnica da empresa contratante, dos desafios enfrentados e resultados alcançados até o momento (evento 28).

- *DT – Otimização da rota*

Esta subfase foi iniciada com a reprodução do processo de produção e definição da composição da tecnologia em desenvolvimento (evento 29), para posterior caracterização e validação (evento 30) da reprodutibilidade dos resultados obtidos. Em paralelo ao desenvolvimento da tecnologia, também foram realizadas atividades para identificar tanto os requisitos mínimos de qualidade para a tecnologia desenvolvida, tendo em vista a análise dos resultados de caracterização (evento 31), quanto o perfil abrasivo dos minérios (evento 32).

Após a obtenção dos diferentes resultados, foi realizada uma reunião para as validações e discussões entre a equipe interna do CTNano/UFMG (evento 33).

Tendo em vista o interesse da empresa contratante de obter um material com capacidade de ser utilizado na substituição da tecnologia atualmente empregada, com as seis variações de materiais, foi identificada a necessidade de investigações em escalas superiores às inicialmente planejadas. Uma vez que a produção e comercialização de produtos não estão contempladas no modelo de negócios do CTNano/UFMG, os informantes envolvidos no projeto buscaram junto ao mercado, em uma feira de negócios da área, um fornecedor com capacidade e interesse de incorporar a tecnologia em desenvolvimento em um novo produto (evento 34). A partir de uma reunião do mesmo junto ao CTNano/UFMG e a empresa contratante, foi formalizado o interesse em produzir e comercializar a tecnologia em desenvolvimento (evento 35). Para ajuste da parceria, foi realizada uma avaliação da viabilidade de produção do material desenvolvido na infraestrutura do fornecedor em potencial, a partir de uma visita técnica em suas instalações industriais (evento 36).

Em paralelo aos eventos relacionados à prospecção de um potencial fornecedor (eventos 34, 35 e 36) foi elaborado o relatório técnico parcial (evento 37), contendo os resultados parciais discutidos e avaliados na reunião entre a equipe do CTNano/UFMG. A entrega do relatório com os resultados parciais obtidos na subfase da otimização da rota e fechamento do DT ocorreu mediante a realização de um *workshop* de alinhamento entre a equipe do CTNano/UFMG e a empresa contratante (evento 38).

- *Escalonamento – Aumento de escala em laboratório*

Tendo em vista a necessidade de produção industrial, a subfase do escalonamento foi iniciada pela interação da equipe do CTNano/UFMG com o fornecedor para avaliar a parceria para a produção piloto da tecnologia (evento 39). Em paralelo, foi realizada a busca de anterioridades em bancos de patentes e artigos científicos (evento 40), atividade essencial para a construção de um documento de patente de processo e produto (evento 41), que teve o pedido posteriormente depositado (evento 42) junto ao INPI.

De modo concomitante ao processo de proteção intelectual (eventos 40, 41 e 42), foram mapeados eventos relacionados à reprodução do processo de produção em maiores escalas (laboratório) (evento 43) e à caracterização do produto obtido frente aos critérios de qualidade (evento 44). Também para avaliar o desempenho da tecnologia frente a sua aplicação, foi definida uma estratégia (evento 45) para a execução de uma prova de conceito (POC) em escala

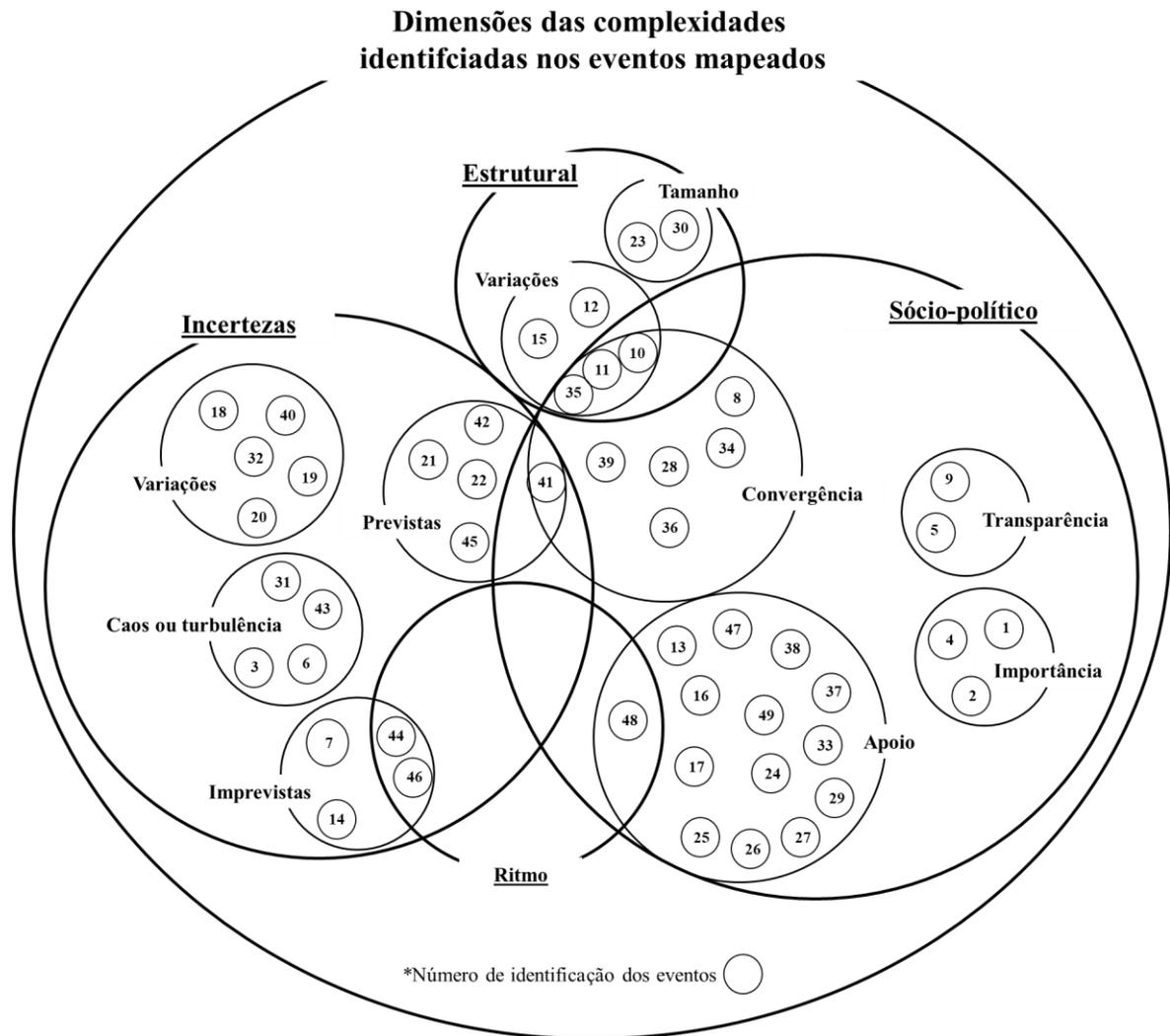
de laboratório (evento 46). Os resultados obtidos foram avaliados e discutidos em uma reunião de alinhamento da equipe do CTNano (evento 47) e foram inseridos no relatório técnico final (evento 48), entregue pela equipe à empresa contratante para a finalização da fase I do projeto (evento 49). É importante ressaltar que fase I do projeto correspondeu apenas as etapas iniciais do desenvolvimento, envolvendo desde o pré-desenvolvimento ao desenvolvimento tecnológico e o aumento de escala em laboratório. Assim, para viabilizar as investigações em maiores escalas, após finalização do escalonamento em laboratório foi proposto o projeto fase II com foco na aplicação da tecnologia até a fase piloto.

5.3 Dimensões das complexidades identificadas no caso investigado

Conforme descrito anteriormente, a abordagem das dimensões foi utilizada para avaliar os elementos de complexidade nos eventos (Rezende et al., 2018; Geraldi et al., 2011). Ao combinar esta abordagem com o *process tracing* (na dinâmica da coleta recorrente dos dados) e com apoio do quadro síntese (Tabela 1), foi possível identificar em tempo real as dimensões das complexidades nos eventos mapeados, a partir da identificação dos atributos e seus indicadores de dimensão durante o DT e o escalonamento em laboratório. É importante ressaltar que a Tabela 1, referente ao quadro das dimensões das complexidades, foi utilizada para apoiar a identificação das dimensões das complexidades, a partir dos atributos com os indicadores de complexidades descritos em cada dimensão.

Os elementos de complexidade mapeados nos eventos se fizeram presentes em apenas quatro das cinco dimensões da complexidade descritas na literatura: sociopolítica, incertezas, estrutural e de ritmo. A maior parte dos eventos apresentou atributos e indicadores presentes nas dimensões sociopolíticas (25 eventos) e de incertezas (19 eventos). Os atributos e indicadores da dimensão estrutural foram identificados em 10 eventos, dos quais três também se fizeram presentes na dimensão sociopolítica e dois na dimensão de incertezas. Na dimensão do ritmo, foram mapeados três eventos que apresentaram indicativos deste tipo de complexidade. Na Figura 10 é apresentado o agrupamento dos eventos mapeados nas quatro dimensões de complexidades identificadas.

Figura 10- Dimensões das complexidades identificadas a partir de seus indicadores nos eventos mapeados.



Fonte: Elaborada pela autora.

Esse resultado será descrito com maior riqueza de detalhes no tópico seguinte e pode ser associado a dois principais fatores: i) o arranjo estrutural do projeto envolvendo três organizações com contextos e especialidades diferentes: acadêmico/ científico e industrial, ao considerar as dificuldades relacionadas às interações praticadas entre as mesmas para reduzir a ambiguidade de informações e aumentar o alinhamento das expectativas e interesses (Roth & Senge, 1996; Geraldi & Aldbrecht, 2007; Vidal & Marle, 2008; Plewa et al., 2013; Geraldi et al., 2011); e ii) Dos desafios tecnológicos e incertezas associadas aos projetos de PD&I que envolvem o uso de tecnologias disruptivas com elevados níveis de incertezas (Loch & Sommer, 2019; Loch et al., 2006; Brady & Davies, 2004; Mcgrath & Macmillan, 1995).

5.3.1 Complexidades identificadas na dimensão de incertezas

Os eventos agrupados nesta dimensão apresentaram atributos com indicadores de incertezas associados às tarefas, tipologia e escopo técnico do projeto. Tendo em vista o impacto deste tipo de complexidade nos projetos desta natureza, para facilitar a identificação e posterior compreensão, foram utilizadas as quatro categorias de incertezas sugeridas por Pich et al. (2002): variação, imprevistas, previstas e caos ou turbulência, conforme apresentado no Quadro da Tabela 4 e descrito a seguir.

- Incertezas associadas às variações

Uma vez que as incertezas associadas às variações se referem às mudanças que não foram previstas no planejamento do projeto e que podem acontecer (Pich et al., 2002; Meyer et al., 2002), cinco eventos foram agrupados nesta categoria, conforme o número utilizado para identificação: o replanejamento do protocolo de caracterização da tecnologia atualmente empregada (evento 18), a caracterização (evento 19) e identificação dos requisitos mínimos de qualidade da mesma (evento 20); a identificação do perfil abrasivo dos minérios (evento 32) e a busca de anterioridade (evento 40), realizada apenas na etapa do desenvolvimento do produto. Todos os eventos agrupados nesta categoria demandaram ajustes do plano inicial do projeto, tendo em vista o aumento de informações decorrente do avanço do projeto.

- Incertezas previstas

Tendo em vista que as incertezas previstas se referem às influências que podem ser identificadas e compreendidas ao início do projeto, embora a sua ocorrência seja incerta (Pich et al., 2002), foram agrupados nesta categoria cinco eventos: as definições da matéria-prima (evento 21) e do processo de produção (evento 22), a escrita (evento 41) e depósito do documento de pedido de patente (evento 42) e a definição de uma estratégia para realizar a prova de conceito da tecnologia em desenvolvimento (evento 45). É importante ressaltar que tais eventos foram previstos no planejamento inicial do projeto e, assim, permitiram que os agentes envolvidos tivessem clareza da possibilidade da existência de desafios/complexidades associadas a execução das atividades previstas.

- Incertezas imprevistas

Diferente das incertezas anteriores, as incertezas imprevistas não podem ser identificadas na fase de planejamento do projeto e ao início do projeto ainda não podem ser previstas pelos gerentes (Pich et al., 2002). Assim, foram agrupados nesta categoria quatro eventos: detalhamento do escopo (evento 7), as revisões tanto do escopo técnico detalhado quanto do cronograma do projeto (evento 14), a avaliação do sucesso do escalonamento da tecnologia (evento 44) e a execução da prova de conceito da tecnologia (evento 46).

Nos eventos 7 e 14 as incertezas imprevistas estiveram associadas à impossibilidade do planejamento por completo das atividades devido ao grau de inovação do projeto, ao estágio inicial de desenvolvimento, à falta do conhecimento necessário e à necessidade de readequação do plano, tendo em vista o aumento do conhecimento obtido com o seu avanço. Khurana e Rosenthal (1998) afirmam que esta etapa inicial, referente à fase do *Fuzzy Front End* nos projetos desta natureza, são frequentemente caóticas, de difícil previsão e estruturação. Já os eventos 44 e 46, embora tenham relação com as atividades experimentais, a incerteza imprevista identificada no mapa de eventos esteve associada à Pandemia da Covid-19, a qual impactou diretamente o cronograma e ritmo do projeto, dificultando o acesso da equipe técnica à infraestrutura dos laboratórios para a execução dos experimentos conforme planejamento.

- Incertezas associadas ao caos ou turbulência

Tendo em vista que as incertezas relacionadas ao caos ou à turbulência estão associadas à incerteza sobre a estrutura fundamental do plano de projeto (Pich et al., 2002), nesta categoria foram agrupados quatro eventos: a escrita da proposta do projeto considerando o conhecimento incompleto referente a demanda tecnológica (evento 3); a ampliação da proposta do projeto, mediante a solicitação da empresa contratante (evento 6); a identificação/definição dos requisitos de qualidade da tecnologia em desenvolvimento (evento 31), de modo que a mesma apresentasse melhor desempenho que as seis variações da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante em uma propriedade específica; e a execução do escalonamento do processo em escala de bancada (evento 43), de modo a garantir a reprodutibilidade dos resultados em menores escalas. É importante ressaltar que os eventos agrupados nesta categoria apresentaram potencial de gerar impactos na estrutura fundamental do projeto, tendo em vista os tipos de atividades envolvidas.

5.3.2 Complexidades identificadas na dimensão sociopolítica

A maior parte dos eventos apresentaram atributos com indicadores de complexidade na dimensão sociopolítica. Esse resultado vai ao encontro da literatura, que indica que a maior parte dos fatores associados à complexidade dos projetos não são de origem técnica, mas sim organizacional (Vidal & Marle, 2008). Para melhor compreensão, os elementos de complexidade identificados nesta dimensão foram categorizados de acordo com os atributos sugeridos por Geraldi et al. (2011), conforme Quadro da Tabela 4 e descritos a seguir.

- Importância

Uma vez que a importância na dimensão sociopolítica se refere à relevância do que está em jogo para as partes interessadas no projeto (Geraldi et al., 2011), três eventos apresentaram indicadores com este atributo: o contato inicial da empresa contratante com o CTNano/UFGM (evento 1) para a proposição de uma demanda tecnológica; a avaliação de uma solução com uso da nanotecnologia, capaz de substituir a tecnologia atualmente empregada, tendo em vista suas variações na composição (seis tipos diferentes materiais) (evento 2); e a submissão e aprovação da proposta do projeto na plataforma de inovação aberta da empresa contratante (evento 4), devido ao interesse da viabilização do recurso para a contratação do projeto. É importante ressaltar que os eventos agrupados nesta categoria apresentaram indicadores focados na viabilização do projeto para a solução da demanda tecnológica, tendo em vista os impactos positivos da mesma no futuro.

- Apoio

Tendo em vista que o apoio na dimensão sociopolítica encontra-se associado a um tipo de suporte e/ou auxílio, praticado entre os agentes ou as organizações envolvidas no projeto para alcançar melhores resultados em suas atividades, foram identificados indicadores deste atributo em quatorze eventos: *workshop* de alinhamento (eventos 13, 27 e 38), realizado para promover a troca de conhecimento entre as partes por meio da apresentação e discussão dos resultados; o nivelamento técnico de informações a respeito da tecnologia atualmente empregada (evento 16), a partir da disponibilização de amostras para caracterização pela equipe do CTNano/UFGM; a redefinição da estratégia para a caracterização da tecnologia atualmente utilizada, construída em conjunto pelas partes (evento 17); a identificação dos principais

gargalos em campo (evento 24), tendo em vista a avaliação dos dezoito relatórios técnicos compartilhados pela empresa contratante; o alinhamento/validação interna dos resultados (eventos 25, 33 e 47) para o nivelamento do conhecimento entre a equipe do CTNano/UFMG; a elaboração (eventos 26, 37 e 48) e entrega (evento 49) do relatório técnico, como ativo de transferência do conhecimento desenvolvido durante a execução do projeto; e a reprodução do processo de produção e definição da composição da tecnologia em desenvolvimento (evento 29). Conforme descrito, foi possível perceber que os eventos com atributos de apoio se referiram às interações praticadas entre os agentes e/ou as organizações a fim de viabilizar a troca do conhecimento e o sucesso do projeto.

- Convergências/ajustes

Uma vez que as convergências/ajustes na dimensão sociopolítica estão associados às interações praticadas para a realização de alinhamentos (de interesses, opiniões e estratégias) entre partes envolvidas e interessadas no projeto (Geraldi et al., 2011), foram identificados indicadores com este atributo em nove eventos: a validação do escopo do projeto ampliado (evento 8); os trâmites necessários para a contratação do projeto (evento 10); a assinatura do acordo de confidencialidade pelas partes (evento 11); o *workshop* para a discussão e alinhamento das atividades para finalizar a caracterização da tecnologia atualmente empregada (evento 28); a busca por fornecedor potencial do novo produto com incorporação da tecnologia em desenvolvimento (evento 34); a formalização de seu interesse (evento 35); a validação da parceria, visto a viabilidade de produção na infraestrutura do mesmo (evento 36); a interação do mesmo junto à empresa contratante (evento 39) para alinhamento da fase piloto após conclusão do projeto; e a escrita do documento de patente (evento 41). Os eventos agrupados neste atributo estavam associados às interações praticadas entre as partes para alinhamento dos interesses.

- Transparência

Tendo em vista que a transparência é um atributo relacionado à existência de interesses ocultos às organizações no contexto do projeto, foram identificados indicadores de transparência em dois eventos: discussão entre as partes para o alinhamento do escopo técnico da proposta do projeto (evento 5) e o *follow up* realizado pela equipe do CTNano/UFMG com a equipe da contratante, com foco em agilizar a contratação do projeto (evento 9). Conforme

descrito, é possível perceber que os eventos com o atributo de transparência estiveram associados às interações praticadas entre as organizações com foco em esclarecer os interesses ocultos.

5.3.3 Complexidades identificadas na dimensão estrutural

Conforme descrito a seguir, apenas oito eventos apresentaram elementos de complexidade na dimensão estrutural, tendo em vista que este tipo de complexidade está associado ao elevado número de elementos distintos e interdependentes de um projeto (Geraldi et al., 2011), conforme disponível no Quadro da Tabela 4 e a seguir.

- Indicadores de variações

As complexidades na dimensão estrutural se referem às variações de tipos de conhecimentos e/ou das tecnologias em um projeto (Geraldi et al., 2011) foram cinco eventos com indicadores deste atributo: os trâmites de contratação do projeto (evento 10) e a assinatura do acordo de confidencialidade (evento 11), tendo em vista as diferenças entre as organizações envolvidas; a contratação da equipe técnica responsável pela execução do projeto (evento 12), devido à necessidade do *know how* e formação dos profissionais; a validação e alinhamento, pela equipe do CTNano, do detalhamento técnico e do cronograma do projeto (evento 15), focado em mapear a infraestrutura necessária para a execução do projeto; e a formalização do interesse do fornecedor com potencial em produzir e comercializar o novo produto com a incorporação da tecnologia em desenvolvimento (evento 35), tendo em vista os tipos de cultura das três organizações envolvidas.

- Indicadores de tamanho

Segundo Geraldi et al. (2011), o atributo tamanho está associado ao tamanho do projeto ou de seu escopo; assim, os indicadores de tamanho foram identificados em dois eventos, referentes à avaliação da caracterização da tecnologia atualmente empregada (eventos 23 e 30). Este fator esteve associado ao tamanho da equipe, que foi inferior ao necessário para cumprir as atividades inicialmente planejadas no cronograma.

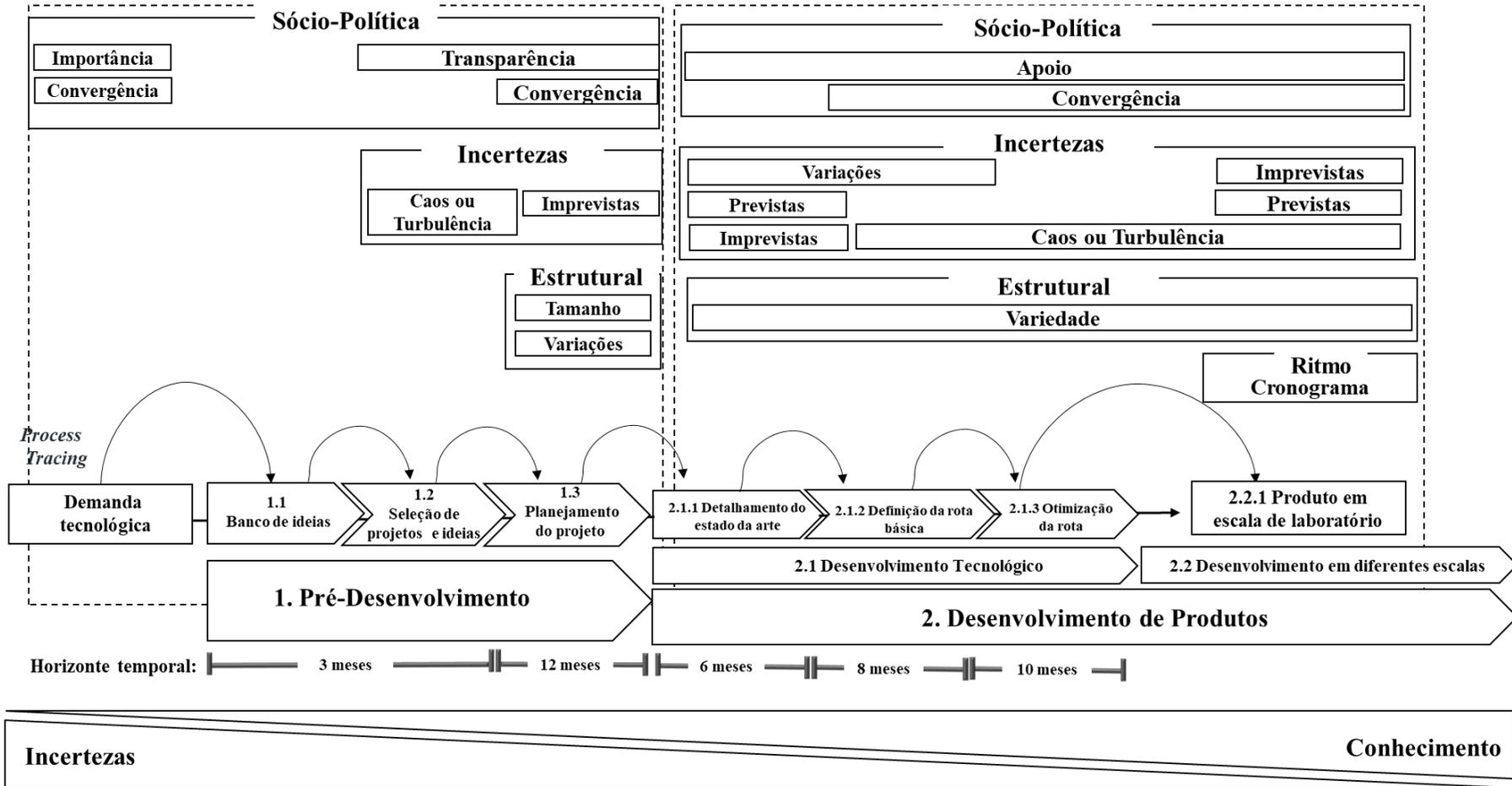
5.3.4 Complexidades identificadas na dimensão de ritmo

Tendo em vista que o ritmo se refere à taxa na qual os projetos devem ser entregues, a partir de uma medida definida como ótima no seu planejamento (Geraldi et al., 2011), apenas três eventos apresentaram elementos de complexidade na dimensão: a avaliação do sucesso do escalonamento em escala de bancada (evento 44); a POC realizada para comprovar o conceito da tecnologia (evento 46); e a construção do relatório técnico, todos realizados em ritmo acelerado devido à Pandemia imposta pela COVID-19 (evento 48).

5.4 Mapa das dimensões das complexidades

Para facilitar a compreensão das complexidades identificadas nos eventos, foi construído um mapa cronológico das mesmas, com apoio do PDP utilizado pelo CTNano/UFG para o GP de projetos, conforme informações disponíveis na Figura 11 e detalhado no APÊNDICE D (Material Suplementar – Quadro de complexidades). As dimensões das complexidades identificadas no mapa de eventos, a partir dos atributos e respectivos indicadores, foi validada junto aos informantes chave, considerando que os mesmos foram os responsáveis pela execução das ações e influenciaram de modo direto a sequência dos eventos. As atividades/ações relacionadas ao caso em estudo foram executadas, em sua grande maioria, com sucesso, devido ao *know how* da equipe técnica e às interações praticadas entre os agentes e as organizações envolvidas no projeto. É importante ressaltar que o quadro síntese contendo as dimensões dos elementos complexos (Tabela 1) também foi utilizado durante as validações. O mesmo foi útil tanto para apoiar a explicação do pesquisador autor sobre o significados dos indicadores e dimensões das complexidades quanto para facilitar sua compreensão por parte dos informantes.

Figura 11- Mapa das dimensões das complexidades identificadas durante o projeto de PD&I, até a fase de escalonamento em laboratório.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.1 Macrofase 1: pré-desenvolvimento

Nesta macrofase, os eventos mapeados se referiram ao processo de ideação, construção e aprovação da proposta do projeto, tendo em vista o desafio tecnológico da empresa contratante. As complexidades mapeadas foram caracterizadas a partir dos indicadores sócio-políticos (importância, convergência e transparência), de incertezas (caos ou turbulência e imprevistas) e estruturais identificados nos eventos. Este resultado foi ao encontro ao descrito por Miller e Olleros (2000), que apontam como caótica e de difícil previsão e estruturação a fase inicial dos projetos de PD&I com aplicação de tecnologias disruptivas.

5.4.2 Macrofase 2: desenvolvimento do produto

- *Desenvolvimento tecnológico*

Como previsto na literatura (Coad et al., 2021), os eventos mapeados nesta fase estiveram associados a uma série de atividades experimentais focadas em viabilizar a aplicação da tecnologia para o desenvolvimento do produto. As atividades tiveram como base tanto o conhecimento científico da equipe do CTNano/UFMG na área de nanotecnologia quanto o conhecimento industrial dos especialistas da empresa contratante. Ainda, foi identificado o replanejamento do cronograma das atividades e a constante interação entre as partes para viabilizar a reprodução da tecnologia com foco nos requisitos para a aplicação final. As complexidades mapeadas nesta fase foram caracterizadas tendo em vista os indicadores sócio-políticos (apoio e convergência), de incertezas (imprevistas, variações, previstas e caos ou turbulência) e estruturais identificados nos eventos.

- *Desenvolvimento em diferentes escalas - laboratório*

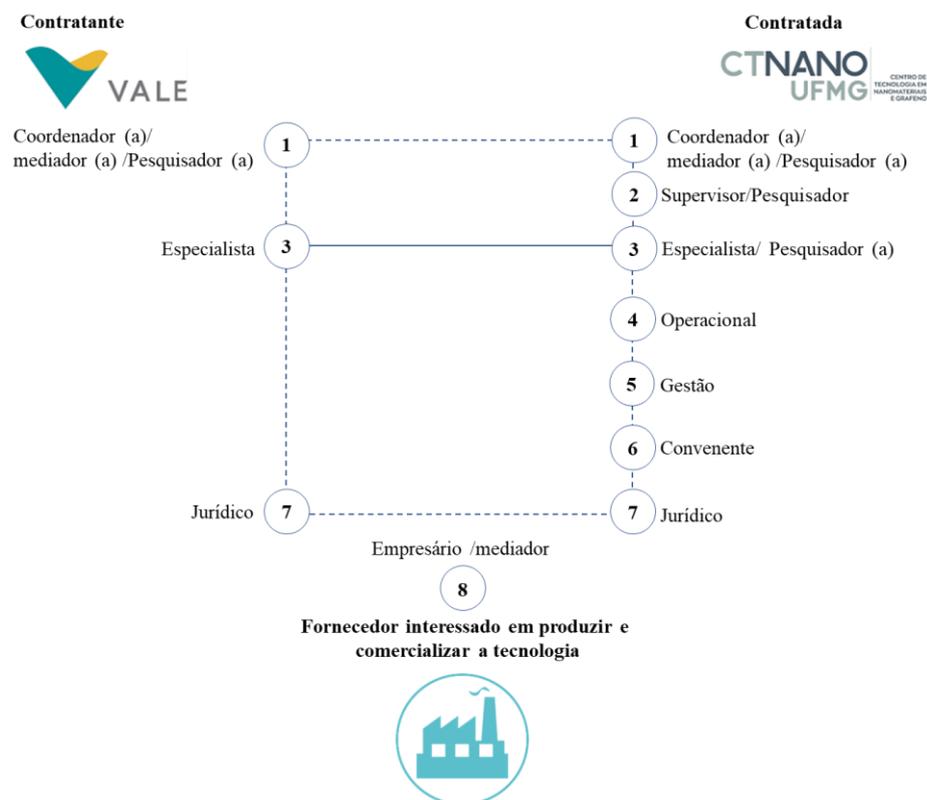
Esta subfase foi marcada por eventos relacionados à reprodutibilidade e à comprovação do conceito da tecnologia em maiores escalas ainda na condição de laboratório. Conforme previsto na literatura (Loch et al., 2011; Snowden, 2002; Williams, 2002; Loch & Sommer, 2019; Lenfler, 2019), esta subfase não pôde ser planejada e especificada por completo, visto o pioneirismo da tecnologia em desenvolvimento. Assim, a mesma foi marcada por indicadores de incertezas que demandaram tratativas flexíveis, orientadas à descoberta, para alcançar o resultado final a que a fase I do projeto se propôs. Ainda nesta subfase, com o foco em alcançar

a condição piloto, foram identificados alguns eventos relacionados ao fechamento de parceria com uma empresa interessada em produzir e comercializar tecnologia (fornecedor), que ao início do projeto não foram planejados. Nesta subfase, as complexidades foram caracterizadas tendo em vista indicadores de incertezas (caos ou turbulência, previstas e imprevistas), sócio-políticos (convergência e apoio), estruturais e de ritmo, sendo a última decorrente da Pandemia da Covid-19.

5.5 Relação U-E: agentes, papéis e interações identificadas

Ao organizar os eventos para a construção da narrativa, foi possível identificar os principais agentes e os seus respectivos papéis, desempenhados nas organizações envolvidas no caso em estudo: contratante, CTNANO/UFMG e fornecedor. Ao todo, foram mapeadas oito categorias de agentes envolvidos de modo direto nos eventos, conforme apresentado na Figura 12, construída a partir das informações disponíveis no APÊNDICE E (Material Suplementar – Quadro com a descrição dos agentes e/ou grupos envolvidos no projeto).

Figura 12- Agentes e/ou grupos identificados nas três organizações envolvidas no caso em estudo. O número à frente de cada agente e/ou grupo corresponde à frequência de aparição nos eventos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Todos os agentes e grupos identificados no caso em estudo tiveram sua presença descrita na literatura em projetos colaborativos de PD&I praticados mediante a interação U-E por Boehm e Hogan (2013). Também foram identificados nos eventos os três grupos de agentes chave descritos por Barnes et al. (2002): o pesquisador líder, responsável por garantir a comunicação com a organização parceira, gerir as atividades dos pesquisadores e contribuir com a gestão dos projetos; o gerente de projetos, para garantir o cumprimento do cronograma; e os estudantes de pós-graduação, responsáveis pela condução das atividades técnicas dos projetos. Conforme o esperado, devido às responsabilidades assumidas pelas partes, a maior parte dos agentes envolvidos no projeto, cerca de 60% do total, estiveram presentes no quadro de pessoal do CTNano, e o restante, 27% e 3% respectivamente, fizeram-se presentes nos quadros das organizações industriais envolvidas: contratante e fornecedor interessado em produzir e comercializar a tecnologia em desenvolvimento.

Conforme descrito na literatura, as interações U-E são de suma importância para a promoção da inovação a partir do desenvolvimento de novos produtos com a aplicação de tecnologias disruptivas desenvolvidas em laboratórios de pesquisa. Segundo Pich et al. (2002), o estabelecimento de dependências mútuas e das relações pessoais possibilita a construção de uma atmosfera de confiança e responsabilidade, em que as partes interessadas trabalham em conjunto em prol de interesses comuns. Os autores ainda afirmam que, após o alcance de um tipo de espírito colaborativo, os problemas que surgem na dimensão da complexidade de incertezas podem ser solucionados de forma colaborativa. Conforme informações descritas na Figura 13, foram identificados 14 tipos diferentes de interações praticadas entre os agentes envolvidos no projeto, sendo a maior parte delas (64% do total) envolvendo atores de diferentes contextos: acadêmico/científico e industrial.

Figura 13- Interações praticadas entre os agentes envolvidos nos eventos mapeados.

LEGENDA:

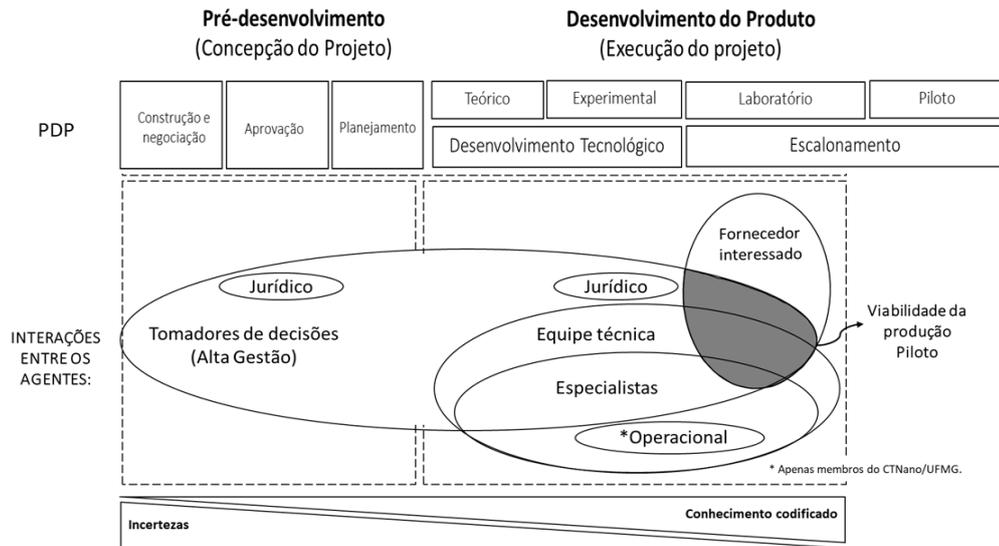
- Multinacional;
- Multinacional e CTNano/UFMG;
- CTNano/UFMG;
- CTNano/UFMG e Fornecedor interessado em produzir a tecnologia.
- CTNano/UFMG, multinacional e fornecedor interessado

Agentes e combinações de agentes envolvidos no projeto														
Categoria de agentes envolvidos														
	14- Arranjo para viabilizar a produção piloto	13- Interessado em prod. a tec. e resp. pelo desenvolvimento	12- Idealizadores, equipe téc. Resp. pelo projeto e jurídico	11- Equipe técnica executora do projeto	10- Equipe técnica responsável pela execução do projeto	9- Equipe técnica envolvida no projeto	8- Responsáveis pela entrega de resultados do projeto	7- Responsáveis técnicos pela execução do projeto	6- Idealizadores do projeto e equipe técnica envolvida	5- Idealizadores do projeto e jurídico	4- Idealizadores do projeto, jurídico, conveniente	3- Idealizadores do projeto - CTNANO/UFMG	2- Idealizadores do projeto	1- Indivíduo externo
1- Coordenador (a)/ mediador (a)/ Pesquisador (a)	X	X	X				X		X	X	X	X	X	X
2- Supervisor/ Pesquisador	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X
3- Especialista/ Pesquisador (a)	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X
4- Operacional				X	X	X			X					X
5- Gestão/ PMO			X						X	X	X			X
6- Conveniente										X	X			X
7- Jurídico			X							X	X			X
8- Empresário/ mediador	X	X												X

Fonte: Elaborada pela autora.

Como descrito anteriormente, a maior parte das complexidades mapeadas na dimensão sociopolítica estiveram associadas ao indicador de apoio e se referiram às interações praticadas entre as organizações para o compartilhamento de conhecimento. Esse resultado pode estar associado às diferenças entre os contextos acadêmico/científico e industrial e, também, ao baixo grau de maturidade da tecnologia, que teve o seu desenvolvimento iniciado na fase do DT. De acordo com Geraldi e Adlbrecht (2007), ao se tratar dos aspectos tecnológicos de um projeto complexo, quanto mais baixo for o nível de maturidade da tecnologia mais intensa será a interação entre as partes interessadas. Os autores ainda apontam que os indicadores mapeados nesta dimensão estão relacionados à identificação da necessidade de multidisciplinaridade (Geraldi & Adlbrecht, 2007). Essa demanda corrobora com os resultados encontrados ao considerar a diferença entre os cenários acadêmico/ industrial, os perfis e do *know-how* dos diferentes agentes envolvidos no projeto. Conforme apresentado na Figura 14, as interações entre as organizações interessadas no projeto se fizeram presentes em todas as fases do PDP executadas até o momento.

Figura 14- Categorias de agentes identificados nos eventos de acordo com as fases do PDP.



Fonte: Baseada em Resende & Bagno (2017).

5.6 Proposta de abordagem para flexibilizar o GP de projetos complexos

Ao combinar a experiência vivenciada pela pesquisadora autora durante a observação participante, as entrevistas semiestruturadas e a abordagem do *process tracing*, foi possível construir, em tempo real, um mapa com a visão da realidade do projeto, tendo em vista as dimensões das complexidades. A coleta de dados, realizada de modo simultâneo à evolução temporal do projeto durante a fase de DT, serviu para alimentar o mapa dos eventos, resultante das ações e interações praticadas entre os agentes envolvidos. Conforme descrito por Langley (2007), o *process tracing*, como abordagem de pesquisa, permitiu acompanhar como e porque os fenômenos significativos relacionados às complexidades no projeto se desdobraram em termos temporais. O uso da abordagem do *process tracing* foi de suma importância, pois permitiu compreender como os diferentes resultados políticos e sociais, associados às complexidades no projeto, foram produzidos nos eventos mapeados. Assim, foi possível investigar os mecanismos causais entre as condições iniciais do projeto (A) e os resultados (B) produzidos, ao considerar os desdobramentos das complexidades e suas dimensões em termos temporais.

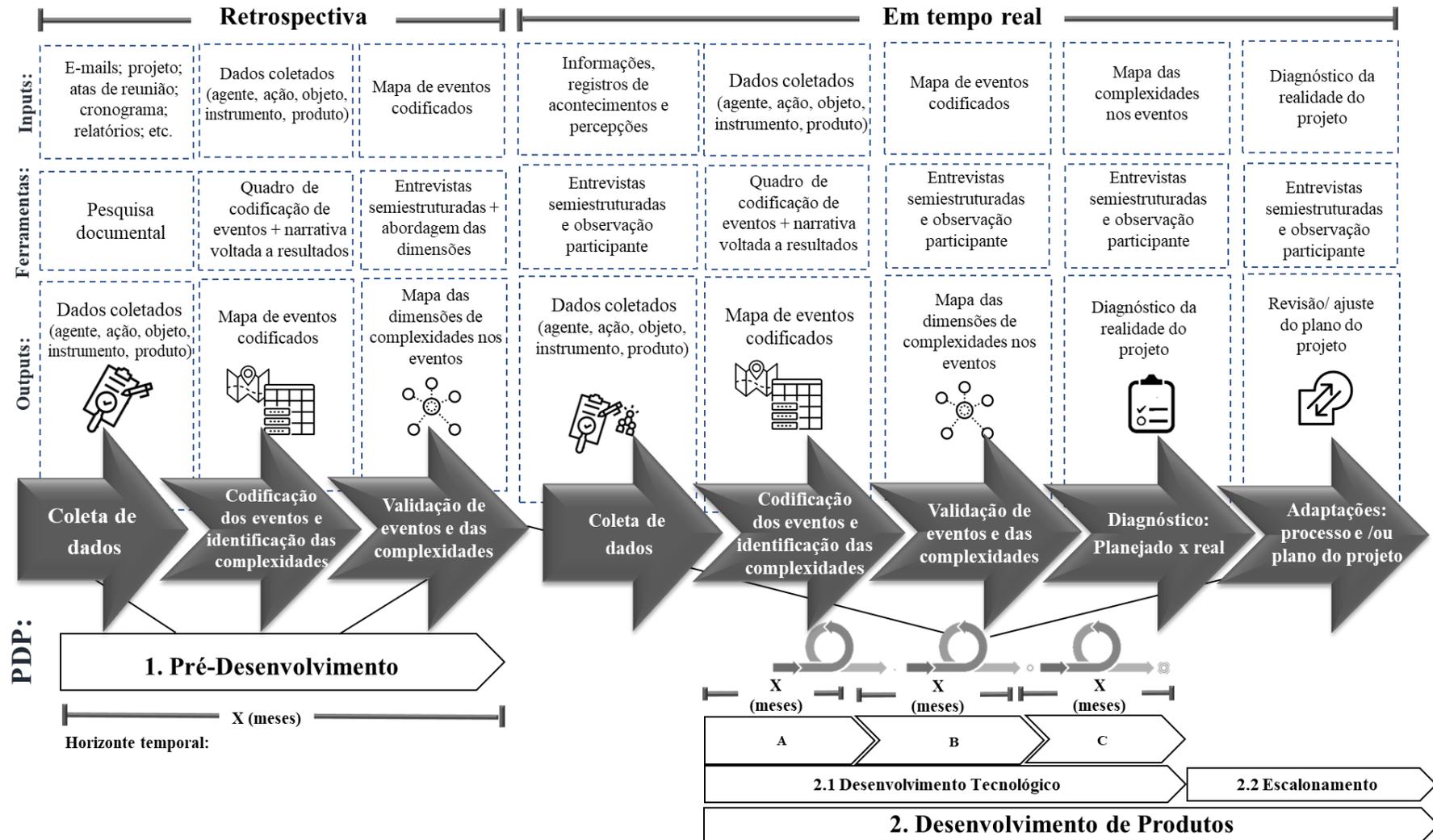
A investigação das dimensões das complexidades no projeto a partir do *process tracing* considerou “o como” e “o porquê” das “situações” – pessoas, organizações, estratégias, ambientes – mudaram, agiram e evoluíram ao longo do tempo. Deste modo, conforme indicado por Bizzi e Langley (2012), foi possível investigar o impacto do desdobramento das

complexidades no projeto tendo em vista a vivência prática, a partir da apreciação e a teorização dos padrões identificados mediante a evolução temporal. Após identificadas, as dimensões das complexidades foram inseridas em um mapa, que serviu como o ponto de partida para as discussões e interações promovidas pela pesquisadora autora junto aos agentes envolvidos no projeto. Assim, à medida que o projeto avançou durante o DT, o mapa das dimensões das complexidades (Figura 11) serviu para apoiar os agentes na identificação e compreensão das complexidades fase a fase e, ainda, gerou uma visão com maior clareza sobre os desafios e a realidade do projeto.

É importante ressaltar que os dados foram coletados e analisados de modo simultâneo, tendo em vista a evolução temporal do projeto a partir da fase do DT, conforme apresentado na Figura 8. O mapa referente à fase do pré-desenvolvimento foi construído durante o DT, a partir dos dados históricos coletados e validados junto aos agentes envolvidos no projeto durante as entrevistas semiestruturadas. Já os dados referentes à fase do DT foram coletados em tempo real, mediante o avanço do projeto, e também foram inseridos no mapa com as dimensões das complexidades. Assim, à medida que o projeto avançou, durante as interações promovidas a partir da observação participante, o mapa foi estruturado, apresentado, validado e discutido com os agentes envolvidos. Durante a observação participante, verificou-se que as discussões realizadas em tempo real acerca dos elementos visuais contidos no mapa das dimensões das complexidades conferiram aos agentes envolvidos uma visão com maior clareza das complexidades e seus desafios. Ainda, foi possível observar que os agentes conseguiram reavaliar e ajustar o plano inicial do projeto para as fases subsequentes, tendo em vista os desafios e as complexidades identificadas.

Ao fundamentar a experiência vivenciada durante o caso investigado com a literatura a respeito das abordagens adaptativas de GP complexos, conforme quadro teórico disponível na Figura 7, é proposto pela autora pesquisadora um modelo prescritivo com caráter adaptativo, conforme detalhado no Material Suplementar (Apêndice F - Descritivo da proposta do modelo). O modelo apresentado na Figura 15, desde que aplicado de modo recorrente, à medida que o projeto evolui, permite a obtenção de um mapa dinâmico com os eventos de cada fase do desenvolvimento. Esse mapa permite uma visão de maior clareza sobre a realidade do projeto e pode conferir agilidade às respostas por parte dos gestores diante das dimensões de complexidades enfrentadas. A experiência de pesquisa também permite afirmar que o modelo apresenta capacidade de aplicação em contextos semelhantes, desde que testado e aprimorado.

Figura 15- Proposta de um modelo prescritivo e flexível/ adaptável, capaz de auxiliar os gestores de projetos a lidarem com as complexidades em projetos de nanotecnologia.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.6.1 Recomendações de uso

- *Coleta dos dados*

A combinação das abordagens do *process tracing* e da correspondência de padrão permite organizar os dados à medida que são coletados, de modo cronológico, diante das diferentes fases do modelo de GP adotado pela organização. Na fase do pré-desenvolvimento, é preciso que a coleta de dados seja realizada a partir da pesquisa documental, para permitir que o gestor tenha acesso ao histórico das negociações, compreenda o contexto da parceria entre as organizações envolvidas e se conecte com os informantes e responsáveis pela tomada de decisão no projeto. Geralmente, a coleta de dados na fase do pré-desenvolvimento não ocorre em tempo real e tem como principal fonte as informações oriundas da pesquisa documental, que posteriormente precisam ser validadas pelos informantes chave do projeto.

Durante a fase do desenvolvimento do produto, recomenda-se que a coleta de dados seja feita de modo recorrente, com intervalos de 15 dias, à medida que o projeto evolui, por meio da observação participante e de entrevistas semiestruturadas, com auxílio do quadro de eventos, junto ao principal responsável pelo desenvolvimento do projeto (um tipo de “líder técnico”).

- *Codificação dos eventos e identificação das complexidades*

Após a coleta dos dados, os mesmos deverão ser codificados e estruturados com apoio do quadro de eventos contendo elementos chave (agente, ação, objeto, instrumento e produto) para obtenção de um mapa visual. Neste contexto, os elementos se referem a um conjunto de categorias com sentido básico que, em conjunto, permitem a descrição de eventos sociais de modo completo. Ao final desta etapa deve-se obter um mapa de eventos decorrentes das ações dos agentes, sobre determinado objeto, em determinado momento do tempo. Durante o desenvolvimento do produto, recomenda-se que o processo de codificação dos eventos seja realizado em evolução temporal e de modo recorrente, para que o mapa seja capaz de retratar a realidade do projeto em tempo real.

De posse do mapa de eventos, recomenda-se que as dimensões das complexidades sejam identificadas com apoio do quadro síntese, disponível no Quadro da Tabela 1, construído a partir dos resultados de estudos bibliométricos (Geraldi et al., 2011; Rezende et al., 2018) e da literatura de incertezas (Pich et al., 2002; Meyer et al., 2002). No quadro estão descritas as informações acerca da definição das dimensões das complexidades, de seus atributos, grupos e

indicadores, necessárias para o processo de identificação. É importante ressaltar que os eventos podem apresentar indicadores de complexidades em mais de uma dimensão, e precisam ser considerados tendo em vista o potencial de impacto do projeto, tanto na fase atual do desenvolvimento quanto nas fases subsequentes.

- *Validação dos eventos e das complexidades identificadas*

Após estruturado, recomenda-se que o mapa de eventos seja validado pelo gestor junto ao líder técnico e aos demais informantes durante as entrevistas semiestruturadas e encontros formais/informais, de modo individual e/ou em conjunto, tendo em vista as interações promovidas a partir da observação participante. Conforme descrito na literatura (Conforto et al., 2014; Highsmith, 2004), o uso de elementos visuais, característicos de abordagens ágeis, pode contribuir tanto com a simplificação da visão do plano do projeto quanto com a melhoria do processo de comunicação entre os agentes envolvidos. Assim, o uso de elementos visuais para orientar as discussões acerca das complexidades identificadas e das estratégias para superá-las nas diferentes fases de desenvolvimento, torna-se oportuno.

Ainda, recomenda-se que as discussões entre o gestor e agentes envolvidos no projeto sejam focadas no plano do projeto e gerem reflexões sobre a necessidade de adequações e ajustes, considerando a realidade identificada nos diferentes espaços temporais. É importante ressaltar que as discussões acerca do mapa de eventos contendo as complexidades pode contribuir com a visão do projeto, tendo em vista o planejamento inicial e os desafios identificados a partir da evolução temporal. Ao final deste processo, deve-se obter um mapa discutido e validado junto aos agentes envolvidos, contendo as dimensões das complexidades a nível do projeto.

Durante a fase de desenvolvimento do produto, é indicado que as entrevistas ocorram de modo recorrente em intervalos quinzenais, para garantir a atualização constante dos dados e eventos e, assim, permitir a construção da visão da realidade do projeto em tempo real. Recomenda-se que as interações praticadas durante a coleta dos dados e validação do mapa de eventos com as dimensões das complexidades ocorram em momentos diferentes, de modo alternado, com intervalos médios de 15 dias, conforme informações apresentadas na Figura 15.

○ *Diagnóstico: planejado x real*

Nesta etapa, é preciso que o gestor realize um diagnóstico da realidade do projeto a partir da comparação entre o plano inicial e os cenários atuais identificados de modo temporal, levando em conta o mapa das dimensões das complexidades. Essa estratégia vai permitir que o gestor, junto ao pesquisador líder, avaliem a necessidade de ajustes e/ou adequações das fases subsequentes do projeto, tendo em vista o cenário atual identificado. Recomenda-se, ainda, que o diagnóstico seja realizado como o fechamento de cada subfase do desenvolvimento, considerando o modelo de gestão adotado pela organização, e precisa ser realizado a partir do mapa de eventos com as dimensões das complexidades identificadas e discutidas. O diagnóstico ainda pode ser utilizado como um tipo de *gate* para a tomada de decisão, por parte do gestor e dos agentes envolvidos, levando em conta a necessidade de adequação do plano do projeto ou da possibilidade de avanço à fase subsequente.

○ *Adaptação do processo e/ou do planejamento do projeto*

Após avaliada a necessidade de ajustes e/ou adaptações, tanto do processo quanto do planejamento inicial do projeto, o mesmo deve ser adequado de acordo com a realidade identificada, considerando o mapa das dimensões das complexidades. É importante ressaltar que, quando necessárias, as adaptações no processo e/ou no plano do projeto precisam ser realizadas pelo gestor junto ao líder técnico após a conclusão da etapa do diagnóstico, considerada como um *gate* de decisão, para avanço ou não para as fases subsequentes.

5.6.2 Resultados observados com o uso do modelo

Tendo em vista que as abordagens tradicionais de gestão não estão preparadas para lidar com os ambientes dinâmicos e imprevisíveis, presentes em projetos complexos de PD&I, torna-se clara a necessidade de novos modelos, capazes de contribuir tanto com a identificação e compreensão das complexidades quanto com as estratégias para gerenciá-las. Na literatura, alguns autores (Loch & Sommer, 2019; Mcgrath & Macmillan, 1995; Pich et al., 2002; Elia et al., 2020) defendem a aplicação de abordagens flexíveis, com caráter adaptativo, para o GP complexo pois, na presença de incertezas, a ação racional orientada ao plano pode ser praticada apenas até certo ponto. Assim, torna-se necessária a improvisação do planejamento diante dos imprevistos decorrentes do ciclo de vida do projeto (Elia et al., 2020).

Conforme descrito na literatura, as abordagens flexíveis permitem adaptações no planejamento tendo em vista as incertezas, ao considerar as mudanças decorrentes do avanço dos projetos. Contudo, tais abordagens são discutidas principalmente em projetos de TI (Elia et al., 2020; Vasconcelos et al., 2020) e algumas acerca de indústrias manufatureiras (Sommer et al., 2015; Cooper & Sommer 2016, 2018; Bianchi et al., 2020), precisando, ainda, ter sua aplicação consolidada no campo da nanotecnologia. Embora o campo da nanotecnologia não seja um ambiente típico para a aplicação das abordagens adaptativas, a experiência obtida a partir da pesquisa permitiu comprovar a necessidade de adequações e validar o potencial de uso do modelo prescritivo com caráter adaptativo para flexibilizar a gestão do projeto complexo de PD&I no caso investigado, conforme descrito a seguir. É importante ressaltar que, além das informações descritas no quadro de eventos (disponível no APÊNDICE B), também foram tomadas notas no caderno de campo da pesquisadora autora.

- *Retrospectiva da fase do pré-desenvolvimento*

A investigação do caso foi iniciada durante a execução do projeto, após a fase do pré-desenvolvimento, durante a realização da fase do DT, e teve a pesquisa documental como o ponto de partida para a coleta dos dados. A preocupação inicial da pesquisadora autora foi acessar o histórico das negociações para compreender com detalhes os processos relacionados à estruturação da parceria entre as organizações e da concepção do projeto de PD&I. Assim, a maior parte das discussões e reflexões realizadas junto aos informantes focou tanto na retrospectiva dos fatos, com o objetivo de alimentar o quadro de eventos, quanto na compreensão dos pontos de sucesso e desafios enfrentados. É importante ressaltar que nem todos os informantes participaram da construção do projeto e foi possível observar que o quadro de eventos construído para esta fase trouxe maior clareza aos informantes sobre a estruturação da parceria e o histórico das negociações.

- *Desafios identificados com recorrência*

Durante as entrevistas semiestruturadas, foi possível perceber que parte dos desafios apontados com recorrência e validados pelos informantes se desdobram em uma sequência de eventos em evolução temporal. Um exemplo disso pode ser visto no desafio “realidade de campo”, relacionado à diferença entre os cenários U-E (eventos 1-3) e à “codificação do conhecimento”. Esse desafio se desdobrou em uma sequência de três eventos (1-3) e apresentou

elementos de complexidades nas dimensões sociopolíticas (importância) e de incertezas (caos ou turbulência). Também foi possível perceber que as discussões e reflexões acerca deste desafio foram pautadas principalmente pela “dificuldade de traduzir a demanda da indústria para a linguagem acadêmica/científica”. Essa percepção pode ser ilustrada pela fala do informante chave: “como traduzir a demanda da indústria para a linguagem acadêmica/científica?”.

Outro exemplo de desafio, apontado com recorrência pelos informantes e que também se desdobrou em uma sequência de eventos foi o “alinhamento das expectativas” entre as partes. O mesmo esteve associado à “dificuldade de codificação do conhecimento” e se fez presente em uma sequência de eventos (5-8) relacionados à ampliação do escopo do projeto. Nestes eventos, foram identificados elementos de complexidades nas dimensões sociopolíticas e de incertezas, associadas aos indicadores de transparência, caos ou turbulência, incertezas imprevistas e de convergência, respectivamente. Durante as interações promovidas junto ao informante chave, foram observadas preocupações relacionadas ao entendimento, por parte da empresa contratante, do nível de maturidade da tecnologia. Um exemplo pode ser ilustrado em sua fala: “Compreensão por parte da empresa contratante de que, embora o CTNano tivesse mais de 20 anos de experiência em pesquisas no campo da nanotecnologia, por se tratar de um novo produto com caráter inovador a tecnologia seria desenvolvida desde o estágio inicial”. O desafio apontado pelos informantes foi o “alinhamento das expectativas”, que posteriormente foi associado à dimensão sociopolítica (transparência) de complexidade.

○ *Conhecimento incompleto*

Outro ponto importante, também observado durante as entrevistas semiestruturadas para validação do mapa de eventos, foi a percepção, por parte do informante-chave, do impacto que a falta do conhecimento acerca da realidade do desafio ao início do projeto se desdobrou ao longo do tempo nos eventos mapeados. Um exemplo dessa percepção é descrito no evento 13, que apresentou indicadores sociopolíticos de complexidade (apoio), e pode ser confirmada nas falas dos informantes, conforme descritas a seguir:

“a intenção do 1º (primeiro) *Workshop* foi a verificação do problema real em campo”,
 “as informações coletadas foram fundamentais, tanto para o replanejamento e redirecionamento da caracterização das placas de revestimento fornecidas pela

empresa contratante quanto para o desenvolvimento do projeto” e “foram discutidos pontos que não foram previamente descritos na proposta do projeto”.

Assim, a equipe precisou rever o planejamento inicial para “encontrar uma solução factível à realidade da empresa de modo a atendê-la, independente da particularidade de cada unidade de extração”, focado em “diminuir os parâmetros operacionais para facilitar o desenvolvimento do projeto”. Neste contexto, os parâmetros operacionais se referem aos parâmetros identificados em cada uma das unidades de operação investigadas nos relatórios técnicos compartilhados pela empresa contratante.

- *Coleta em tempo real: desenvolvimento tecnológico e escalonamento*

De modo paralelo a evolução da fase do DT, após a retrospectiva dos eventos realizada para a fase do pré-desenvolvimento junto aos informantes, foi iniciada a coleta de dados em tempo real, mediante o avanço do projeto. Assim, em intervalos de quinze dias, durante dois anos, foram realizados encontros para as entrevistas semiestruturadas e para as discussões promovidas durante a observação participante. Os encontros para a coleta dos dados e validações e discussões acerca do mapa de eventos com as dimensões das complexidades foram realizados de modo alternado, de posse dos elementos visuais: quadro de eventos e mapa das complexidades. É importante ressaltar que, embora a coleta de dados nesta fase tenha ocorrido acompanhando o avanço do projeto, ela foi iniciada de fato em tempo real, a partir da subfase de definição da rota básica.

- *Interação com o cliente*

A partir das entrevistas semiestruturadas e das interações praticadas junto aos informantes durante o DT, foi possível observar a necessidade do envolvimento de especialistas da empresa contratada no desenvolvimento do projeto devido à falta, por parte da equipe do CTNano, de um tipo de visão industrial. Esse envolvimento foi de suma importância para o sucesso do projeto, ao considerar a diferença entre os cenários U-E, os desafios relacionados à escala industrial de trabalho e o conhecimento demandado para superá-los. Um exemplo dessa necessidade é descrita no evento 13 e pode ser ilustrada por algumas falas dos informantes: “Outro ponto abordado foi a necessidade de trabalho com a escala industrial estranha ao cenário acadêmico, que precisa ser trabalhada em toneladas” e as dificuldades sobre “Como transcrever

as ações para a realização das atividades em laboratório, tendo em vista o cenário industrial e da contratada?”.

○ *Necessidade de adequações e ajustes*

Durante a construção do mapa de eventos, após as entrevistas semiestruturadas, foi possível observar nos eventos 17 e 18 ações relacionadas à redefinição e replanejamento do plano do projeto, que apresentaram indicadores de complexidade nas dimensões de incertezas sociopolíticas (apoio) e de incerteza (variações). “Replanejar a estratégia definida para diagnosticar/caracterizar as amostras da tecnologia atualmente empregada” e “Replanejar as atividades detalhadas no cronograma” são exemplos de tais ações. Ambas as necessidades foram identificadas pelos informantes, a partir da ação de detalhamento técnico do cronograma do projeto (evento 14), apenas após a contratação da equipe e do acesso da mesma à tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante. De acordo com o informante chave, foi preciso reavaliar o escopo técnico detalhado devido à necessidade de “ter algo factível, executável”. Um exemplo de reflexão pode ser visto na fala do informante chave: “Como executar o que foi proposto no ambiente de laboratório? Como codificar as ações para a realização das atividades frente ao cenário industrial da contratada?”. É importante ressaltar que o informante-chave não participou da fase do pré-desenvolvimento e, portanto, não contribuiu com a construção do planejamento inicial, tornando-se membro da equipe apenas durante a contratação dos especialistas (evento 12).

Também foi possível observar que a redefinição e o replanejamento da estratégia de caracterização (eventos 17 e 18, respectivamente) não puderam ser previstos no plano inicial do projeto, e ocorreram apenas após o acesso da equipe de especialistas à tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante (evento 16). Pode-se afirmar que ambos os eventos foram resultado do desdobramento do desafio relacionado ao conhecimento incompleto sobre a realidade do desafio enfrentado pela empresa contratante em campo. Esse resultado pode ser ilustrado com alguns exemplos de considerações feitas pelo informante chave durante as entrevistas semiestruturadas:

“Existia apenas um conhecimento básico a respeito dos materiais constituintes de cada uma das placas – demandou conhecimento externo de profissionais especializados da contratada” e “A amplitude e dimensões das placas ainda não fornecidas pela empresa

contratante eram desconhecidas pela equipe, que não considerou o desafio de manuseio das mesmas”.

Ainda, foi possível verificar que a nova estratégia definida para a caracterização se estendeu por um período superior ao previsto no plano inicial e “não foi finalizada no tempo planejado”. Inicialmente, o informante-chave apontou como principal desafio o retrabalho, tendo em vista que parte dos materiais foram submetidos a um novo processo de caracterização. Contudo, a partir das discussões para validação do mapa, foi possível refletir que os desafios acerca da falta de conhecimento sobre as características da tecnologia atualmente empregada não foram considerados no planejamento, como respaldado pela fala do informante chave: “Tempo de caracterização inferior ao previsto devido às dificuldades de preparo do material” e “manuseio e manipulação dos materiais foram desafios”.

○ *Reflexões e mudanças nas percepções dos informantes*

De posse do mapa de eventos, durante as interações realizadas em tempo real junto aos informantes para a validação das informações, também foi possível perceber reflexões e mudanças em suas percepções conforme o avanço do projeto. Um exemplo pode ser relatado quanto à sequência dos eventos 19 e 20, relacionados à caracterização da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante. Os eventos apresentaram indicadores de complexidades de incertezas (variações) e foram iniciados na fase de definição da rota básica e finalizados durante a otimização da rota. Nas reuniões individuais para validação, durante a fase de definição da rota básica, foram identificadas mudanças nos pontos de vista de dois dos informantes (A e B) a respeito de suas percepções sobre o objetivo da caracterização da tecnologia no projeto, como mostram as falas a seguir.

A: “Acho que quem deu esses requisitos mínimos de qualidade foram as caracterizações que fizemos nos elementos utilizados atualmente pela empresa contratante” e B: “Não sei se o termo correto seria definir, pois nesse ponto está sendo feito um trabalho de investigação”.

Após finalizado o processo de caracterização, durante a coleta de dados na fase de otimização da rota, os mesmos informantes, ao serem questionados sobre esses eventos, apresentaram mudanças em seus pontos de vista, como pode ser verificado a seguir:

A: “Completando essa caracterização então temos um indicativo das qualidades que nosso material precisa ter” e B: “seria bom enfatizar aqui que foram finalizadas as caracterizações e chegamos em conclusões eficientes. E demos prosseguimento ao desenvolvimento do nano, nos abrindo portas para o futuro”.

- *Conscientização de processos intuitivos*

As interações praticadas junto aos informantes também contribuíram com a conscientização e o reconhecimento, por parte destes, de processos estabelecidos de modo intuitivo para a gestão e codificação do conhecimento. Um exemplo desse gerenciamento intuitivo pode ser visto na substituição do nome do processo, desenhado para facilitar o trabalho da equipe envolvida na caracterização da tecnologia atualmente empregada, de “protocolo de caracterização” para procedimento operacional padrão (POP) de caracterização. De acordo com a fala do informante chave, neste contexto: “o mais importante é desenhar um protocolo de caracterização com relação ao tipo de material”. É importante ressaltar que o POP de caracterização foi estabelecido e replicado entre a equipe do projeto, e ainda contribuiu com a padronização e a qualidade do processo de caracterização. Além disso, também foi desenvolvido um novo POP para garantir a reprodução do processo de produção da tecnologia em desenvolvimento (evento 29), tendo em vista a necessidade de registrar e documentar o processo estabelecido. Em ambos os eventos que apresentaram como resultado o POP, foram identificados elementos de complexidade sociopolíticos (apoio) relacionados à necessidade de compartilhamento do conhecimento entre a equipe envolvida no desenvolvimento do projeto.

Frente à codificação do conhecimento, os *workshops* e relatórios podem ser citados como exemplos de estratégias propostas inicialmente apenas para documentar/reportar o estágio de desenvolvimento, como descrito por um dos informantes: “Exatamente! Essa é a ideia dos relatórios e *workshops* parciais”. Contudo, com o apoio da literatura e das discussões e reflexões, foi possível verificar que, além do reporte, esses encontros formais tiveram papel essencial na codificação do conhecimento compartilhado nos relatórios técnicos, tendo em vista a diferença dos cenários U-E. Assim, as interações praticadas durante esses encontros contribuíram para a explicação das informações científicas descritas nos relatórios. Essa afirmação pode ser respaldada pelo desafio de “codificação do conhecimento”, apontado pelos informantes nos eventos relacionados tanto aos Workshops quanto aos relatórios, que apresentaram elementos de complexidades principalmente relacionados à dimensão sociopolítica (convergência).

○ *Demanda por infraestrutura industrial*

Durante o desenvolvimento do projeto, foi constatado o interesse das organizações envolvidas em expandir as investigações sobre a tecnologia em desenvolvimento para escalas superiores às de laboratório, tendo em vista os resultados parciais apresentados. Uma vez que apenas o escalonamento em laboratório foi previsto no projeto, na fase de otimização da rota foi iniciado um movimento provocado pela empresa contratada para viabilizar uma segunda fase do projeto, envolvendo uma indústria com capacidade e interesse de produzir e comercializar a tecnologia à empresa contratante.

Exemplos relacionados a esse movimento podem ser identificados nas ações descritas pelos informantes na sequência dos eventos 34 a 36, respectivamente, a ver:

“Contatar o fornecedor da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante”, “consolidar o interesse comercial do fornecedor interessado em produzir a tecnologia em desenvolvimento” e “avaliar a viabilidade de reprodução da tecnologia desenvolvida em bancada de laboratório na infraestrutura do fornecedor interessado”.

Também foi possível observar que os resultados dessas ações se desdobraram na proposição e aprovação de um novo projeto (fase II), com foco no desenvolvimento em escala piloto, iniciado após a conclusão do escalonamento em laboratório, mediante a parceria estabelecida com a empresa identificada. As complexidades identificadas nesta sequência de eventos (34-36) apresentaram indicadores na dimensão sociopolítica, mais especificamente associados à convergência.

Como pôde ser visto, o mapeamento dos eventos com apoio do *process tracing*, a partir da coleta e análise recorrente dos dados, forneceu aos agentes envolvidos maior visibilidade da realidade do projeto. De acordo com Bengtsson e Ruonavaara (2017), isso foi possível porque essa é uma abordagem dinâmica de pesquisa, que foca tanto em rastrear os processos frente às mudanças temporais quanto em compreender o motivo pelo qual as coisas – e/ou pessoas, e/ou organizações, e/ou estratégias, e/ou ambientes – mudam e/ou agem, e/ou evoluem, ao longo do tempo (Chia & Langley, 2004). Assim, à medida que o projeto evoluiu, foi possível identificar tanto os agentes, suas ações e interações praticadas (reuniões, conversas e até mesmo decisões), quanto o impacto das mesmas, a nível de projeto, do caso investigado.

Verificou-se que, ao combinar a abordagem das dimensões com o *process tracing*, foi possível construir em tempo real, durante o DT, um mapa com as complexidades, tendo em vista as discussões e reflexões acerca de padrões conceituais inerentes às dimensões das complexidades, relacionadas a questões de incertezas, sociopolíticas, de ritmo, dinâmica e estruturais (Geraldi et al., 2011). O mapa conferiu aos agentes envolvidos no projeto uma visão com maior profundidade sobre os desafios enfrentados em cada fase do desenvolvimento e ainda contribuiu com a tomada de decisão, tendo em vista o avanço às fases subsequentes do projeto. Esse resultado pode ser dito como de suma importância, uma vez que o insucesso dos projetos desta natureza está relacionado principalmente à falta de compreensão por parte dos gestores sobre as complexidades (Geraldi et al., 2011; Rezende et al., 2018; Elia et al., 2020).

Conforme observado, após a incorporação, a nível operacional, das abordagens das dimensões de complexidades e do *process tracing* ao PDP utilizado, foram gerados aspectos de agilidade, que se desdobraram em processos iterativos entre os agentes envolvidos e na geração de elementos visuais (quadros e mapas). Resultado similar ao encontrado por Cooper e Sommer (2016), que enfatizam que a aplicação dos artefatos ágeis conferem maior visibilidade da realidade do projeto aos gestores, permitindo identificar tanto as atividades já realizadas, quanto as que devem ser feitas (Cooper & Sommer, 2016). O mapa de eventos serviu como apoio para que os agentes envolvidos no projeto pudessem identificar e compreender as complexidades, e ainda reconhecer a necessidade dos ajustes e adequações no plano, considerando a evolução temporal. De acordo com Elia et al. (2020), a identificação das complexidades e a exploração dos elementos que a fundamentam são fatores chave para garantir o sucesso no que tange ao GP, uma vez que têm influência diretamente na tomada de decisão.

Diante do exposto, torna-se possível afirmar que o uso do modelo prescritivo com caráter adaptativo para o GP do projeto complexo de PD&I com uso da nanotecnologia se provou como uma estratégia promissora, tendo em vista o impacto positivo no projeto. O modelo que foi aplicado em tempo real, desde o DT até o escalonamento em laboratório, apresentou potencial de aplicação em contextos similares, mediante testes e ajustes. Assim, o uso da abordagem proposta pode ser visto como uma estratégia para o GP do próprio CTNano/UFMG, tendo em vista as complexidades características aos projetos de nanotecnologia que têm sido desenvolvidos.

5.6.3 Implicações teóricas

Diferente dos modelos adaptativos ASGM descritos na literatura, com foco no desenvolvimento de *hardwares*/produtos físicos inovadores (Sommer et al., 2015; Cooper & Sommer, 2016; 2018), a abordagem adaptativa aqui proposta considera as dimensões das complexidades como uma contingência-chave para o GP complexo com uso da nanotecnologia. Assim, além de conferir maior agilidade e adaptabilidade ao desenvolvimento, conforme os modelos de ASGM disponíveis, a abordagem proposta parte do pressuposto de que as adequações no plano do projeto precisam ser orientadas pelas dimensões das complexidades. Ele ainda, considera a complexidade como uma condição, entende o seu *status* de evolução temporal e permite abordá-la a partir de padrões de convergências, dado questões incertas, dinâmicas, ritmadas e sociopolíticas. Além de apoiar os gestores no reconhecimento e compreensão das complexidades ao nível do projeto, o modelo pode fornecer em tempo real, um mapa com a visão da realidade do projeto, e contribuir com a identificação da necessidade de adequações e ajustes no planejamento, e conseqüentemente, com a tomada de decisão.

Embora os modelos ASGM também foquem em adaptações, ao considerar as mudanças como parte essencial do projeto, conferindo adaptabilidade e maior agilidade ao desenvolvimento (Sommer et al., 2015; Cooper & Sommer, 2016; 2018), eles não consideram as dimensões das complexidades no GP. Requisito de suma importância ao considerar que os resultados relacionados ao insucesso dos projetos complexos associados à inovação estão ligados principalmente aos desafios de gestão (D'este et al., 2016; Matos et al., 2019). Sobretudo, fazem referência à falta de conhecimento e compreensão por parte dos gestores sobre as complexidades (Geraldini et al., 2011). Resultado esperado, tendo em vista a impossibilidade do gerenciamento de elementos que não podem ser identificados ou compreendidos (Elia et al., 2020). Assim, o modelo proposto preenche parte da lacuna descrita no campo do GP complexos a respeito da necessidade de desenvolvimento de abordagens adaptativas capazes de apoiar a gestão das complexidades nos projetos.

Ao considerar que a incorporação das abordagens das dimensões de complexidades junto ao *process tracing* no PDP (versão adaptada do SGM) do CTNano conferiu maior agilidade e visão para os agentes envolvidos no projeto, o modelo proposto pode ser considerado híbrido (Sommer et al., 2015; Cooper & Sommer, 2016; 2018). Como pôde ser visto, ao incorporar as abordagens combinadas ao PDP a nível operacional, foi possível construir um fluxo iterativo entre os agentes envolvidos e obter artefatos visuais no formato de quadros e mapas, que facilitaram a comunicação e o entendimento da evolução temporal dos

eventos. Os produtos gerados foram utilizados para nortear as discussões e reflexões junto aos agentes envolvidos acerca das complexidades identificadas a nível do projeto. Assim, essa estratégia permitiu a construção de uma visão com maior clareza da realidade do projeto e contribuiu com a tomada de decisão, tendo em vista a avaliação da necessidade ou da realização de adequações no planejamento, mediante a evolução temporal. Ainda, é importante ressaltar que a abordagem proposta, demonstrou potencial de integração a nível operacional em diferentes modelos SGM, não estando limitada ao modelo de gestão utilizado pelo CTNano. Este resultado pode ser visto como o ponto de partida para novos estudos, focados na investigação das abordagens adaptativas para o GP complexos executados pela parceria U-E.

Sob a ótica das implicações da pesquisa para o debate mais amplo do GP complexos, o modelo propõe uma abordagem adaptativa e dinâmica, capaz de apoiar os gestores na identificação e compreensão das complexidades no projeto em evolução temporal para, assim, gerenciá-las. Mais especificamente, as implicações para a pesquisa incluem a contribuição do mapa de eventos (*process tracing*) e da abordagem das dimensões para a literatura de GP, como uma proposta do modelo adaptativo de projetos de PD&I executados pela parceria U-E, em especial, com uso da nanotecnologia. Contribuição de relevância, ao considerar que as abordagens atuais de ASGM não consideram as dimensões das complexidades, são focados nas indústrias manufatureiras, principalmente no desenvolvimento de *hardwares* e produtos físicos inovadores (Cooper & Sommer, 2016, 2018; Elia *et al.*, 2020). Ou seja, elas não consideram o impacto das dimensões das complexidades no projeto, e não permitem a construção de uma visão com maior profundidade sobre os desafios enfrentados, visto questões sociopolíticas, de ritmo, dinâmicas e estruturais.

Além disso, conforme descrito por Vasconcelos Gomes *et al.* (2020), também foi possível verificar a necessidade de ajustes e adaptações das metodologias ágeis aos contextos a que se destinam e, ainda, validar a viabilidade de aplicação do modelo flexível para o GP de um projeto de PD&I executado em parceria pela U-E, envolvendo o uso da nanotecnologia. Deste modo, o modelo também traz implicações para o campo de projetos colaborativos U-E, uma vez que pode contribuir com o GP complexos focados no desenvolvimento de produtos com o uso de tecnologias disruptivas/radicais. Os quais, embora sejam construídos para alcançar resultados finais bem definidos, ao seu início ainda não apresentam a clareza necessária para descrever por completo os objetivos ou meios para atingi-los (Elia *et al.*, 2020; Loch & Sommer, 2019; Vidal & Marle, 2008). Assim, quando aplicado nestes contextos, o modelo está apto a suportar os gestores na tomada de decisão, mediante o avanço do projeto, considerando as dimensões das complexidades como uma contingência-chave.

5.6.4 Implicações práticas

Do ponto de vista prático, a experiência de pesquisa permitiu delinear recomendações que podem ser úteis e aplicáveis para o GP complexos, tanto no campo da nanotecnologia quanto em outros contextos, desde que testados e aprimorados. Para obtenção do sucesso na aplicação do modelo, recomenda-se que a coleta dos dados seja realizada de modo recorrente, para viabilizar a constante atualização do mapa de eventos e, assim, possibilitar a identificação das complexidades e de suas dimensões em tempo real. A coleta dos dados deve ser realizada a partir de interações e discussões com os agentes envolvidos, para fornecer aos gestores uma visão com maior clareza da realidade do projeto. Esse resultado pode conferir agilidade nas tratativas das complexidades e no processo de gerenciamento e, ainda, é capaz de contribuir com a tomada de decisão, em tempo real, a partir da identificação da necessidade de ajustes de rota e/ou adequações no plano inicial do projeto.

Do ponto de vista da estrutura organizacional, para potencializar o uso do modelo, recomenda-se a presença de um profissional (dedicado ou *part-time*) que exerça o papel de “facilitador das complexidades”. É recomendável que esse “facilitador” tenha *know how* em GP complexos e também conheça as abordagens do *process tracing* e das dimensões de complexidades. Tais conhecimentos são necessários para possibilitar que o profissional atue como um ponto de apoio externo ao gestor, em um ou mais projetos de PD&I complexos com uso da nanotecnologia. Assim, tendo em vista a sua posição externa de análise (excluído da rotina operacional), ele poderá apoiar o líder técnico do projeto com a geração de alertas e *insights* de replanejamentos cruciais para as correções das rotas. Ainda, o envolvimento deste “facilitador” em outros projetos também pode contribuir com a geração de *insights* interprojetos, tendo em vista a estruturação de diferentes mapas de complexidades, os quais, por sua vez, podem ser utilizados não apenas para a gestão visual das complexidades na organização, mas também para auxiliar no *benchmarking* de novos projetos, estimular planejamentos iniciais mais robustos e contribuir com o alinhamento de novos colaboradores.

Do ponto de vista dos profissionais de gestão, o modelo com caráter flexível pode ser útil para que os gerentes de projetos e pesquisadores do campo da nanotecnologia ajustem as rotas e/ou planos de projetos já em curso, conforme as necessidades identificadas. Como abordagem geral, o modelo aqui proposto apresenta potencial de aplicação em projetos complexos de PD&I com uso da nanotecnologia, executados em parceria por ICTs e a indústria, e ainda pode servir como suporte para outros estudos focados em viabilizar o uso de abordagens de planejamento adaptativo em projetos complexos de PD&I em outras áreas tecnológicas.

6. CONCLUSÃO

Este estudo concentrou-se em desenvolver uma abordagem capaz de apoiar o mapeamento das complexidades de um projeto complexo de nanotecnologia e propor um modelo adaptativo para apoiar os gerentes de projetos no GP complexos de PD&I com uso da nanotecnologia. Como pôde ser visto, nos eventos relacionados ao replanejamento, o uso do modelo permitiu a adaptação do plano inicial do projeto à medida que ele avançou. Durante a fase do DT, o estudo de caso em profundidade ocorreu em tempo real, com o enfoque no *process tracing*, que permitiu a construção de uma narrativa orientada a resultados, utilizada como base para a estruturação e codificação dos dados coletados em eventos por meio de um quadro de eventos. Essa abordagem também permitiu a identificação dos principais atores, organizações e suas interações, ações, objetos, instrumentos, produtos, desafios e as dimensões de complexidade presentes em cada um dos eventos.

Uma limitação desta pesquisa foi a obtenção dos resultados considerando apenas a percepção de um número limitado de informantes. Ou seja, o presente trabalho parte da perspectiva de uma ICT vinculada à universidade e considera a visão dos principais agentes (pesquisadores) envolvidos na execução do projeto. Embora o uso da abordagem das dimensões tenha sido oportuno para identificar os elementos de complexidade no projeto de PD&I investigado, ainda há um longo caminho a ser percorrido no campo do GP. Ao se tratar de um estudo de caso único, em profundidade e com recorte específico, a aplicação dos resultados obtidos em outras áreas tecnológicas pode ser limitada e precisam ser testadas. Sugestões para pesquisas futuras estariam relacionadas à aplicação dessa abordagem em diferentes campos de conhecimento para o GP de projetos complexos de PD&I executados em parceria U-E.

As implicações para a pesquisa incluem a contribuição do mapa de eventos (*process tracing*) e da abordagem das dimensões de complexidades para a literatura de GP a partir da proposição de um modelo prescritivo com caráter flexível. O qual, quando aplicado em tempo real, pode permitir a compreensão e a identificação das dimensões das complexidades e também servir de apoio para a tomada de decisão, tendo em vista a construção de um mapa em evolução temporal com a visão da realidade do projeto. Esse mapa confere aos gestores uma visão de maior clareza sobre os desdobramentos das ações fase a fase do projeto, e permite identificar a necessidade de ajustes e adequações no planejamento, como descrito nos eventos relacionados ao replanejamento.

A experiência de pesquisa permitiu delinear recomendações para o GP complexos a partir da proposição do modelo prescritivo que incluiu de modo recorrente e em evolução

temporal, a coleta de dados, iterações e discussões entre os agentes envolvidos. Essa dinâmica confere aos gestores maior clareza sobre a realidade do projeto e conseqüentemente, permite obter maior agilidade na tratativa das complexidades e na tomada de decisão. Para potencializar os resultados com a aplicação do modelo, recomenda-se a presença de um profissional (dedicado ou *part-time*) para exercer a função de “facilitador das complexidades”.

Como pôde ser visto, o modelo com caráter flexível pode ser útil para os gerentes de projetos e pesquisadores do campo da nanotecnologia realizarem ajustes e adequações nas rotas e/ou planos de projetos já em curso, conforme as necessidades identificadas. Do ponto de vista prático, a experiência de pesquisa permitiu delinear recomendações que podem ser aplicáveis para o GP complexos em outros contextos, desde que testados e aprimorados em novas oportunidades de pesquisa. Assim, o modelo que considera as dimensões das complexidades como uma contingência-chave para o GP complexos com uso da nanotecnologia, pode ser aplicado em projetos de PD&I presentes em outros contextos, desde que testado e adequado à realidade que se destina. Ainda, os resultados apresentados podem ser utilizados como o ponto de partida para novas pesquisas, que visem avançar nas investigações acerca do impacto das abordagens flexíveis/adaptativas para o GP complexos no campo da nanotecnologia e/ ou de tecnologias disruptivas em outras áreas tecnológicas.

REFERÊNCIAS

- Ahern, T., Leavy, B., & Byrne, P. J. (2014). Complex project management as complex problem solving: A distributed knowledge management perspective. *International journal of project management*, 32(8), 1371-1381.
- Amaral, D. C., Conforto, E. C., Benassi, J. L. G., & Araujo, C. D. (2011). Gerenciamento ágil de projetos: aplicação em produtos inovadores.
- Amurin, L. G., Felisberto, M. D., Ferreira, F. L., Soraes, P. H., Oliveira, P. N., Santos, B. F., Valeriano, J. C. S., Miranda, D. C., Silva, G. G. (2022). Multifunctionality in ultra-high molecular weight polyethylene nanocomposites with reduced graphene oxide: Hardness, impact and tribological properties. *Polymer*, 240, 124475.
- Austin, S., Newton, A., Steele, J. and Waskett, P. (2002), Modelling and managing project complexity, *International Journal of Project Management*, Vol. 20 No. 3, pp. 191-8.
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—a review. *International Journal of Project Management*, (14), 201–204.
- Bakhshi, J., Ireland, V., & Gorod, A. (2016). Clarifying the complexity construct: past present and future. *International Journal of Project Management*, (34), 1199-1213.
- Barnes, T., Pashby, I., & Gibbons, A. (2002). Effective university–industry interaction:: A multi-case evaluation of collaborative r&d projects. *European Management Journal*, 20(3), 272-285.
- Beach, D. (2020). Process Tracing Methods. *Oxford Bibliographies – International Relations*. Oxford University Press.
- Beach, D., & Kaas, J. G. (2020). The great divides: incommensurability, the impossibility of mixed-methodology, and what to do about it. *International Studies Review*, 22(2), 214-235.
- Beach, D., & Pedersen, R. B. (2019). Process-tracing methods: *Foundations and guidelines*. University of Michigan Press.
- Beck, K., Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., ... & Thomas, D. (2001). Manifesto for agile software development.
- Benbya, H., & McKelvey, B. (2006). Using coevolutionary and complexity theories to improve is alignment: A multi–Level approach. *Journal of Information technology*, 21(4), 284-298.
- Bengtsson, B., & Ruonavaara, H. (2017). Comparative process tracing: Making historical comparison structured and focused. *Philosophy of the Social Sciences*, 47(1), 44-66.
- Bianchi, M., Marzi, G., & Guerini, M. (2020). Agile, Stage-Gate and their combination: Exploring how they relate to performance in software development. *Journal of Business Research*, 110, 538-553.
- Bizzi, L., & Langley, A. (2012). Studying processes in and around networks. *Industrial marketing management*, 41(2), 224-234.

Boehm, B. W., & Turner, R. (2004). *Balancing agility and discipline: A guide for the perplexed*. Addison-Wesley Professional.

Boehm, D. N., & Hogan, T. (2013). Science-to-Business collaborations: A science-to-business marketing perspective on scientific knowledge commercialization. *Industrial Marketing Management*, 42(4), 564-579.

Brady, T. & Davies, A. (2004). Building project capabilities: from exploratory to exploitative learning. *Organization Studies*. (26), 601–1621.

Braha, D., Suh, N., Eppinger, S., Caramanis, M., & Frey, D. (2006). Complex engineered systems. In *Unifying Themes in Complex Systems*, 227-274. Springer, Berlin, Heidelberg.

Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Empreendedorismo e Inovação. Centro Brasil – China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia: CBCIN. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: < https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/Arquivo/Centro-Brasil-China-VF-29_01_2021.pdf>. Acessado em: 23 de abril de 2023.

Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC. (2018). Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras: Relatório do projeto inovação em fotônica e nanotecnologia para dispositivos médicos/ Coordenação Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras. Brasília.

Brasil, Portaria MCTI nº 1.122, de 19.03.202. Define as prioridades, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), no que se refere a projetos de pesquisa de desenvolvimento de tecnologias e inovações para o período 2020 a 2023. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 mar. 2020.

Brasil, Portaria MCTI nº 3.459, de 26.07.2019. Institui a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, como principal programa estratégico para o incentivo da nanotecnologia no país. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 jul. 2019.

Brasil, Portaria MCTI nº 5.365, de 02.12.2021. Institui a Política de Desenvolvimento Científico, Tecnológico e Inovação para as Tecnologias Habilitadoras, com o objetivo de criar, integrar e fortalecer as ações ministradas em ciência, tecnologia, inovações e empreendedorismo em tecnologias habilitadoras, com ênfase na dinamização econômica, agregação de valor tecnológico, geração de novos produtos, processos e serviços, estímulo à criação de empregos qualificados e garantia da autonomia tecnológica nacional. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 dez. 2021.

Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCTI (2023), “Nanotecnologia”. Brasília, MCTI. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANOTECONOLOGIA.html. Acesso em: 24 de abril 2023.

Brasil, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI (2014), “Regulação da Nanotecnologia no Brasil e na União Europeia - Diálogos Setoriais”, Brasília, MCTI. Disponível em:

https://eubrdialogues.com/sites/default/files/acoes/documentos/dialogos_setoriais_-_nanotecnologia_portugues.pdf. Acesso em: 23 de abril de 2023.

Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações Ministério da Saúde - MCTIC. (2019) Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras. Volume I Nanotecnologia. Brasília.

Chia, R., & Langley, A. (2004). The first organization studies summer workshop: Theorizing process in organizational research (call for papers). *Organization Studies*, 25(8), 1486.

Chin, G. (2004). Agile project management. *AMACOM, New York*.

Clift, T. B. & Vandenbosch, M. B. (1999), “Project complexity and efforts to reduce product development cycle time”, *Journal of Business Research*, Vol. 45 No. 2, pp. 187-98.

Coad, A., Segarra-Blasco, A., & Teruel, M. (2021). A bit of basic, a bit of applied? R&D strategies and firm performance. *The Journal of Technology Transfer*, 46(6), 1758-1783.

Cohn, M. (2005). *Agile estimating and planning*. Pearson Education.

Collier, D. (2011). Understanding process tracing. *PS: political science & politics*, 44(4), 823-830.

Conforto, E. C., & Amaral, D. C. (2010). Evaluating an agile method for planning and controlling innovative projects. *Project Management Journal*, 41(2), 73-80.

Conforto, E. C., Salum, F., Amaral, D. C., Silva, S. L., & De Almeida, L. F. M. (2014). Can agile project management be adopted by industries other than software development?. *Project Management Journal*, 45(3), 21-34.

Conti, R. (2014). Do non-competition agreements lead firms to pursue risky R&D projects?. *Strategic Management Journal*, 35(8), 1230-1248.

Cooper, R. G. (1998). *Product leadership: creating and launching superior new products* (pp. 189-351). Reading, MA: Perseus Books.

Cooper, R. G. (2007). Managing technology development projects. *IEEE engineering management review*, 35(1), 67-76.

Cooper, R. G. (2016). Agile–Stage-Gate Hybrids: The Next Stage for Product Development Blending Agile and Stage-Gate methods can provide flexibility, speed, and improved communication in new-product development. *Research-Technology Management*, 59(1), 21-29.

Cooper, R. G., & Sommer, A. F. (2016). The agile–stage-gate hybrid model: a promising new approach and a new research opportunity. *Journal of Product Innovation Management*, 33(5), 513-526.

- Cooper, R. G., & Sommer, A. F. (2018). Agile–Stage-Gate for Manufacturers: Changing the Way New Products Are Developed Integrating Agile project management methods into a Stage-Gate system offers both opportunities and challenges. *Research-Technology Management*, 61(2), 17-26.
- Cruz-Gonzalez, J., Lopez-Saez, P., & Navas-López, J. E. (2015). Absorbing knowledge from supply-chain, industry and science: The distinct moderating role of formal liaison devices on new product development and novelty. *Industrial Marketing Management*, 47, 75-85.
- CTNano. Quem somos. 2021. Disponível em: <<https://www.ctnano.org/>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.
- Daniel, P. A., & Daniel, C. (2018). Complexity, uncertainty and mental models: From a paradigm of regulation to a paradigm of emergence in project management. *International journal of project management*, 36(1), 184-197.
- Denzin, N. K. (1994). Introduction: Entering the field of qualitative research. *Handbook of qualitative research*.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (1998) (Eds). *Collecting and interpreting qualitative materials*. Thousand Oaks: Sage Publication.
- Denzin, N. K. (2014). Reading the challenges of a global community and the sociological imagination. *Qualitative Inquiry*, 20(9), 1122-1127.
- D'Este, P., Amara, N., & Olmos-Peñuela, J. (2016). Fostering novelty while reducing failure: Balancing the twin challenges of product innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, (113), 280-292.
- Dinsmore, P. C., & Cabanis-Brewin, J. (2011). *The AMA handbook of Project Management*: Amacom Book. A division of American Management Association.
- Dvir, D. & Shenhar, A. (1998), “In search of project classification: a non-universal approach to project success factors”, *Research Policy*, Vol. 27 No. 9, pp. 915-35.
- Dvir, D. O. V., Sadeh, A., & Malach-Pines, A. (2006). Projects and project managers: The relationship between project managers' personality, project types, and project success. *Project Management Journal*, 37(5), 36-48.
- Eder, S., Conforto, E. C., Amaral, D. C., & Silva, S. L. D. (2014). Diferenciando as abordagens tradicional e ágil de gerenciamento de projetos. *Production*, 25, 482-497.
- Elia, G., Margherita, A., & Secundo, G. (2020). Project management canvas: a systems thinking framework to address project complexity. *International Journal of Managing Projects in Business*, (14), 809-835.
- Ferreira, R. F. C. (2018). *Estratégia de influência: O ganho de vantagens competitivas de empresas em suas relações com o estado*. [Tese de Doutorado]. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Freitas, J. S., Melo, J. C. F., Salerno, M. S., Bagno, R. B., & Brasil, V. C. (2021). An innovative application of event structure analysis (ESA). *MethodsX*, (8), 101256.

- García-Vega, M., & Vicente-Chirivella, Ó. (2020). Do university technology transfers increase firms' innovation?. *European Economic Review*, (123), 103388.
- Geertz, C. (1973). Thick description: Toward an interpretive theory of culture. *The Cultural Geography Reader*.
- Gemünden, H. G., Lehner, P., & Kock, A. (2018). The project-oriented organization and its contribution to innovation. *International Journal of Project Management*, 36(1), 147-160.
- George, A. L., & Bennett, A. (2005). *Case studies and theory development in the social sciences*. mit Press.
- Geraldi, J. & Adlbrecht, G. (2007), "On faith, fact and interaction in projects", *Project Management Journal*, Vol. 38 No. 1, pp. 2-43.
- Geraldi, J., & Adlbrecht, G. (2008). On faith, fact, and interaction in projects. *IEEE Engineering Management Review*, 2(36), 35-49.
- 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 & production management*, (31), 966-990.
- Goertz, G., & Mahoney, J. (2012). A tale of two cultures. In *A Tale of Two Cultures*. Princeton University Press.
- Gorod, A., Gandhi, S. J., Sauser, B., & Boardman, J. (2008). Flexibility of system of systems. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 9(4), 21-31.
- Gray, D. E. (2012). Pesquisa no mundo real. trad. *Roberto Costa*. Porto Alegre, Penso.
- Grimpe, C., & Kaiser, U. (2010). Balancing internal and external knowledge acquisition: the gains and pains from R&D outsourcing. *Journal of management studies*, 47(8), 1483-1509.
- Guide, A. (2001). Project management body of knowledge (pmbok® guide). In Project Management Institute (Vol. 11, pp. 7-8).
- Gümüşay, A. A., & Amis, J. M. (2021). Contextual expertise and the development of organization and management theory. *European Management Review*, 18(1), 9-24.
- Haas, K. B. (2009), *Managing Complex Projects: A New Model*, Management Concepts, Vienna, VA.
- Heise, D. R. (2022). Theoretical Notes on Action Schemes in Society. *American Behavioral Scientist*, 46(2), 269–279.
- Heise, D. R., & Durig, A. (1997). A frame for organizational actions and macroactions. *Journal of Mathematical Sociology*, 22(2), 95-123.
- Highsmith, J. (2009). *Agile project management: creating innovative products*. Pearson education.
- Hobday, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organization. *Research policy*, 26(6), 689-710.

- Houkes, W. (2009). The nature of technological knowledge. In *Philosophy of technology and engineering science* (pp. 309-350). North-Holland.
- Howell, D., Windahl, C. and Seidel, R. (2010), "A project contingency framework based on uncertainty and its consequences", *International Journal of Project Management*, Vol. 28 No. 3, pp. 256-64.
- Huy, Q. N., Corley, K. G., & Kraatz, M. S. (2014). From support to mutiny: Shifting legitimacy judgments and emotional reactions impacting the implementation of radical change. *Academy of Management Journal*, 57(6), 1650-1680.
- International Organization for Standardization. ISO. **ISO/TC 229 - Nanotechnologies**. Disponível em: <<https://www.iso.org/committee/381983.html>>. Acesso em: 19 de abril de 2023.
- Jaafari, A. (2003). Project management in the age of complexity and change. *Project management journal*, 34(4), 47-57.
- Jamshidi, M. O. (2008). System of systems engineering-new challenges for the 21st century. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 23(5), 4-19.
- Jena, B. K., & Das, B. (2023, March). Can nanomaterial development & its commercialization be better organized through project management methodologies?. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2740, No. 1, p. 070004). AIP Publishing LLC.
- Karlstrom, D., & Runeson, P. (2005). Combining agile methods with stage-gate project management. *IEEE software*, 22(3), 43-49.
- Khurana, A., & Rosenthal, S. R. (1998). Towards holistic "front ends" in new product development. *Journal of Product Innovation Management: An international publication of the product development & management association*, 15(1), 57-74.
- Knight, F. H. (1971). Risk, uncertainty and profit, 1921. Library of Economics and Liberty.
- Kouamé, S., & Langley, A. (2018). Relating microprocesses to macro-outcomes in qualitative strategy process and practice research. *Strategic Management Journal*, 39(3), 559-581.
- Lakemond, N., Magnusson, T., Johansson, G., & Säfsten, K. (2013). Assessing interface challenges in product development projects. *Research-Technology Management*, 56(1), 40-48.
- Langley, A. (1999). Strategies for theorizing from process data. *Academy of Management review*, 24(4), 691-710.
- Langley, A. (2007). Process thinking in strategic organization. *Strategic organization*, 5(3), 271-282.
- Lenfle, S. (2014). Toward a genealogy of project management: Sidewinder and the management of exploratory projects. *International Journal of Project Management*, 32(6), 921-931.
- Lenfle, S., & Loch, C. (2010). Lost roots: How project management came to emphasize control over flexibility and novelty. *California management review*, 53(1), 32-55.

- Lenfle, S., Midler, C., & Hällgren, M. (2019). Exploratory projects: From strangeness to theory. *Project management journal*, 50(5), 519-523.
- Lerman, M. P., Mmbaga, N., & Smith, A. (2022). Tracing ideas from Langley (1999): Exemplars, adaptations, considerations, and overlooked. *Organizational Research Methods*, 25(2), 285-307.
- Little, T. (2005), "Context-adaptive agility: managing complexity and uncertainty", *IEEE Software*, Vol. 22 No. 3, pp. 28-35.
- Loch C. H., De Meyer A., & Pich M.T. (2006). Managing the unknown: A new approach to managing high uncertainty and risk in projects. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Loch, C. & Sommer, S. (2019). The Tension Between Flexible Goals and Managerial Control in Exploratory Projects. *Project Management Journal*, 50(5), 524-537.
- Loch, C. H., DeMeyer, A., & Pich, M. (2011). Managing the unknown: A new approach to managing high uncertainty and risk in projects. John Wiley & Sons.
- Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum*, 32(3), 405-414.
- Mata, J., & Woerter, M. (2013). Risky innovation: The impact of internal and external R&D strategies upon the distribution of returns. *Research Policy*, 42(2), 495-501.
- Matos, P. V., Romão, M., Sarmiento, J. M., & Abaladas, A. (2019). The adoption of project management methodologies and tools by NGOs: A mixed methods perspective. *Journal of Business Research*, 101, 651-659.
- Maylor, H., Vidgen, R., & Carver, S. (2008). Managerial complexity in project-based operations: A grounded model and its implications for practice. *Project management journal*, 39(1), S15-S26.
- MacMillan, I. C., & McGrath, R. G. (1995). Discovery-driven planning. *Harvard Business Review*, 73(4), 44-54.
- Medeiros, J. C. C. (2020). Novo arranjo para inovação nas instituições científicas, tecnológicas e de inovação (ICT): ambiente temático catalisador de inovação (ATCI) e a experiência da UFMG. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: < <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36100> >. Acesso em: 23 de novembro de 2022.
- Melo, J. C. F., Salerno, M. S., Freitas, J. S., Bagno, R. B., & Brasil, V. C. (2021). Reprint of: from open innovation projects to open innovation project management capabilities: a process-based approach. *International Journal of Project Management*, 39(2), 170-182.
- Meyer, A., Loch, C. H., & Pich, M. T. (2002). Managing project uncertainty: from variation to chaos. *MIT Sloan Management Review*, 43(2), 60.
- Miller, R., & Olleros, X. (2000). Project Shaping as a Competitive Advantage. The strategic management of large engineering projects: shaping institutions, risks, and governance. R. Miller and DR Lessard.

- Miller, R., & Lessard, D. R. (2001). *The strategic management of large engineering projects: Shaping institutions, risks, and governance*. MIT press.
- Mills, C. W. (1960). Remarks on the problem of industrial development. *Anais do Seminário Internacional Resistências às Mudanças-fatores que impedem ou dificultam o desenvolvimento*, 281-287.
- Nachbagauer, A. (2021). Managing complexity in projects: Extending the Cynefin framework. *Project Leadership and Society*,(2), 100017.
- Peng, D. X., Heim, G. R., & Mallick, D. N. (2014). Collaborative product development: The effect of project complexity on the use of information technology tools and new product development practices. *Production and Operations Management*, 23(8), 1421-1438.
- Pich, M. T., Loch, C. H., & Meyer, A. D. (2002). On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management. *Management science*, 48(8), 1008-1023.
- Pitsis, T. S., Sankaran, S., Gudergan, S., & Clegg, S. R. (2014). Governing projects under complexity: theory and practice in project management. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1285-1290.
- Plewa, C., Korff, N., Johnson, C., Macpherson, G., Baaken, T., & Rampersad, G. C. (2013). The evolution of university–industry linkages—A framework. *Journal of Engineering and Technology Management*, 30(1), 21-44.
- Pryke, S. D. (2005). Towards a social network theory of project governance. *Construction management and economics*, 23(9), 927-939.
- Rand, G. K. (2000). Critical chain: the theory of constraints applied to project management. *International Journal of Project Management*, 18(3), 173-177.
- Reay, T., & Jones, C. (2016). Qualitatively capturing institutional logics. *Strategic Organization*, 14(4), 441-454.
- Reiff, J., & Schlegel, D. (2022). Hybrid project management—a systematic literature review. *International journal of information systems and project management*, 10(2), 45-63.
- Remington, K. and Pollack, J. (2007), *Tools for Complex Projects*, Gower, Burlington, VT.
- Resende, R. G. & Bagno, R. B. (2017). Processo de Desenvolvimento de Produtos Integrado com a Metodologia de Avaliação de Prontidão Tecnológica: Proposta para um Centro de Tecnologia em Nanomateriais. In *Anais 11º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto*.
- Rezende, L. B., Blackwell, P., & Pessanha Gonçalves, M. D. (2018). Research focuses, trends, and major findings on project complexity: A bibliometric network analysis of 50 years of project complexity research. *Project Management Journal*, 49 (1), 42-56.
- Ribbers, P. M. A. and Schoo, K.-C. (2002), “Program management and complexity of ERP implementations”, *Engineering Management Journal*, Vol. 14 No. 2, p. 45.
- Rohlfing, I. (2012). *Case studies and causal inference: An integrative framework*. Springer.

- Roth, G. L., & Senge, P. M. (1996). From theory to practice: research territory, processes and structure at an organizational learning centre. *Journal of Organizational Change Management*, 9(1), 92-106.
- Rubin, K. S. (2012). *Essential Scrum: A practical guide to the most popular Agile process*. Addison-Wesley.
- Salvato, J. J., & Laplume, A. O. (2020). Agile stage-gate management (ASGM) for physical products. *R&d Management*, 50(5), 631-647.
- San Cristóbal, J. R., Carral, L., Diaz, E., Fraguera, J. A., & Iglesias, G. (2018). Complexity and project management: A general overview. *Complexity*, 2018.
- Sausser, B., Boardman, J., & Gorod, A. (2009). System of systems management. *System of systems engineering: innovations for the 21st century*, 191-217.
- Schmidt, T. S., Weiss, S., & Paetzold, K. (2018). Expected vs. real effects of agile development of physical products: Apportioning the hype. In *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (pp. 2121-2132).
- Sheard, S. A. (2012). Assessing the impact of complexity attributes on system development project outcomes. Stevens Institute of Technology.
- Shenhar, A. J. (2008). Unleashing the power of project management. *Industrial Management-Chicago then Atlanta*, 50(1), 14.
- Shenhar, A. J. (2001), "One size does not fit all projects: exploring classical contingency domains". *Management Science*, Vol. 47 o. 3, pp. 394-414.
- Shenhar, A. J. and Dvir, D. (1996), "Toward a typological theory of project management". *Research Policy*, Vol. 25 No. 4, pp. 607-32.
- Shenhar, A. J. and Dvir, D. (2007), *Reinventing Project Management: The Diamond Approach to Successful Growth and Innovation*, HBS Press Book, Boston, MA.
- SIBRATECNano. O SibratecNano. Disponível em: <http://www.sibratecnano.com/sibratecnano/>. Acesso em: 23 de abril de 2023.
- Silva, A. G., Vasconcelos, E. P., Silva, G. G., de Souza, L. V., Franco, M. R., Speziali, M. G., de Oliveira, M. P. D., de Souza, P. M. T. G., Lago R. M. & Castro, V. G. (2020) *Guia Prático de Escalonamento de Tecnologias - Da bancada à planta piloto: discussão sobre como inovar com sua pesquisa e se aproximar da indústria*. 1. ed. Belo Horizonte: Escalab / Wylinka.
- Singh, H., & Singh, A. (2002). Principles of complexity and chaos theory in project execution: A new approach to management. *Cost engineering*, 44(12), 23.
- Sjöö, K., & Hellström, T. (2021). The two sides of the coin: joint project leader interaction in university-industry collaboration projects. *R&D Management*, 51(5), 484-493.
- Smith, W. K. (2014). Dynamic decision making: A model of senior leaders managing strategic paradoxes. *Academy of management Journal*, 57(6), 1592-1623.
- Snowden, D. (2002). Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness. *Journal of knowledge management*, 6(2), 100-111.

- Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A leader's framework for decision making. *Harvard business review*, 85(11), 68.
- Sommer, A. F., Hedegaard, C., Dukovska-Popovska, L., and Steger-Jensen, K. (2015). Improved product development performance through Agile/Stage-Gate hybrids: The next-generation Stage-Gate process? *Research-Technology Management* 58(1): 34-44.
- Špundak, M. (2014). Mixed agile/traditional project management methodology—reality or illusion?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 939-948.
- Stacey, R. D. (1996). *Complexity and creativity in organizations*. Berrett-Koehler Publishers.
- Tatikonda, M. V., & Rosenthal, S. R. (2000). Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation. *IEEE Transactions on engineering management*, 47(1), 74-87.
- Torres, P. H., & Botelho, M. D. R. A. (2022). Financiamento à inovação e interação entre atividades científicas e tecnológicas: uma análise do Pappé. *Revista Brasileira de Inovação*, 17, 89-118.
- 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.
- Urueña, A., Hidalgo, A., & Arenas, Á. E. (2016). Identifying capabilities in innovation projects: Evidences from eHealth. *Journal of Business Research*, 69(11), 4843-4848.
- Un, C. A., Cuervo-Cazurra, A., & Asakawa, K. (2010). R&D collaborations and product innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 27(5), 673-689.
- Vasconcelos Gomes, L. A., Seixas Reis de Paula, R. A., Figueiredo Facin, A. L., Chagas Brasil, V., & Sergio Salerno, M. (2022). Design principles of hybrid approaches in new product development: a systematic literature review. *R&D Management*, 52(1), 79-92.
- Vidal, L. A., & Marle, F. (2008). Understanding project complexity: implications on project management. *Kybernetes*, (37), 1094-1110.
- Vogel, W., & Lasch, R. (2018). Complexity drivers in product development: A comparison between literature and empirical research. *Logistics Research*, 11(7), 1-42.
- Waldner, D. (2012). Process tracing and causal mechanisms. *The oxford handbook of philosophy of social science*, 65-84.
- Wells, D. 2009. A project heartbeat. The Agile Process. Disponível em: <http://www.agile-process.org/heartbeat.html>. Acesso em: 04 de Janeiro de 2023.
- Wessendorf, C., Kopka, A., & Fornahl, D. (2021). The impact of the six European Key Enabling Technologies (KETs) on regional knowledge creation. *Utrecht University, Human Geography and Planning*.
- Williams, T., & Hillson, D. (2002). Editorial—PMI Europe 2001. *International Journal of Project Management*, 20(3), 183-184.

Williams, T. (1999), "The need for new paradigms for complex projects", *International Journal of Project Management*, Vol. 17No. 5, pp. 269-73.

Williams, T. (2005), "Assessing and moving from the dominant project management discourse in the light of project overruns", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 52 No 4, pp. 497-508.

Winch, G. M. (2014). Three domains of project organising. *International journal of project management*, 32(5), 721-731.

Winkelbach, A., & Walter, A. (2015). Complex technological knowledge and value creation in science-to-industry technology transfer projects: The moderating effect of absorptive capacity. *Industrial Marketing Management*, 47, 98-108.

Xia, W. and Lee, G. (2004), "Grasping the complexity of IS development projects", *Communications of the ACM*, Vol. 47 No. 5.

Zhidebekkyzy, A.; Kupeshova, S.; Yesmurzayeva, A. (2019). " Gestão de Projetos em Nanotecnologia - Uma Revisão Sistemática da Literatura," *Montenegrin Journal of Economics* , Economic Laboratory for Transition Research (ELIT), vol. 15(3), páginas 227-244.

Zolin, R., Turner, R., & Remington, K. (2009). A model of project complexity: distinguishing dimensions of complexity from severity. In *International research network of project management conference (IRNOP)*, 1-30.

APÊNDICE A – Artigos e trabalhos publicados

Artigos completos publicados em periódicos

FRANCO, M. R.; DA CUNHA, L. R.; BIANCHI, R. F. Janus principle applied to food safety: an active two-faced indicator label for tracking meat freshness. sensors and actuators b-chemical. Sensors and Actuators B: Chemical. V. 333, 2021.

VASCONCELLOS, E.; SOUZA, P.; FRANCO, M.; CASTRO, V.; SOUZA, L.; LAGO, R.; SPEZIALI, M. Escalonamento de tecnologias: desenvolvimento de produto e processo do laboratório à escala piloto conectado ao mercado (parte 1). Química nova, V. XY, 2020.

Livros

SILVA, A. G. et al. Guia Prático de Escalonamento de Tecnologias - Da bancada à planta piloto: discussão sobre como inovar com sua pesquisa e se aproximar da indústria. 1. ed. Belo Horizonte: Escalab / Wylinka, 2020.

APÊNDICE B – Quadro de eventos codificados

Material Suplementar - Quadro 1. Quadro utilizado para a codificação dos eventos definidos pelos agentes como essenciais para a compreensão do caso em estudo.

n°	Evento	Agentes/ Interações praticadas	Ação	Objeto Abstrato	Instrumento abstrato	Produto Abstrato	Desafios mapeados*	Desafio abstrato
1	Demanda tecnológica apresentada pela multinacional.	1- Indivíduo externo - Especialista	Apresentar o desafio tecnológico presente na empresa para equipe do CTNANO	Desafio tecnológico	E-mail institucional do CTNANO	Demanda tecnológica (<i>Market Pull</i>)	Codificação do conhecimento: como traduzir a demanda da indústria em uma linguagem acadêmica e científica, passível de ser atendida?	Realidade de campo
2	Discussão de uma solução para a demanda tecnológica proposta, a partir do uso da nanotecnologia.	2- Idealizadores do projeto	Discutir soluções (projeto de PD&I) para a demanda tecnológica via o uso da nanotecnologia	Demanda tecnológica	Convite para a submissão de um projeto na plataforma de inovação aberta	Parceria estabelecida para a solução da demanda tecnológica	Codificação do conhecimento: como traduzir a demanda da indústria em uma linguagem acadêmica e científica, passível de ser atendida?	Realidade de campo
3	Escrita da proposta de projeto para a solução da demanda tecnológica.	3- Idealizadores do projeto - CTNANO	Elaborar proposta de projeto	Troca de informações técnicas entre as partes com NDA	Escrita da proposta de projeto	Proposta do projeto de PD&I	Codificação do conhecimento: como traduzir a demanda da indústria em uma linguagem acadêmica e científica, passível de ser atendida?	Realidade de campo
4	Submissão e aprovação da proposta de projeto para a solução demandada.	3- Idealizadores do projeto - CTNANO	Submeter/ validar a proposta junto à empresa contratante	Proposta de projeto de PD&I	Plataforma de inovação aberta empresa contratante	Projeto de PD&I aprovado	Estratégia para a contratação do projeto: Plataforma de inovação aberta com ampla concorrência a nível nacional.	Ampla concorrência
5	Alinhamento para ajuste da ampliação do escopo técnico da proposta do projeto aprovada.	2- Idealizadores do projeto	Discutir o escopo do projeto aprovado	Projeto de PD&I aprovado	Reunião entre as partes	Troca de <i>know how</i> entre as partes	Compreensão por parte da empresa contratante de que, embora o CTNANO tivesse mais de 20 anos de experiência em pesquisas no campo da nanotecnologia, por se tratar de um novo produto com caráter inovador, a tecnologia seria desenvolvida desde o estágio inicial.	Alinhamento de expectativas

6	Ampliação do escopo técnico do projeto aprovado.	3- Idealizadores do projeto - CTNano	Discutir o escopo ampliado (projeto de PD&I) para solucionar o desafio	Projeto de PD&I aprovado	Revisão da proposta do projeto aprovado	Escopo do projeto ampliado	Codificação do conhecimento: dificuldade de traduzir a demanda da indústria para a linguagem acadêmica/científica.	Alinhamento de expectativas
7	Detalhamento do escopo técnico do projeto ampliado e aprovado.	3- Idealizadores do projeto - CTNano	Detalhar de modo técnico e econômico o projeto	Escopo de projeto ampliado	Reunião entre os tomadores de decisão da empresa contratada	Escopo do projeto ampliado detalhado	Codificação do conhecimento: dificuldade de traduzir a demanda da indústria para a linguagem acadêmica/científica.	Alinhamento de expectativas
8	Validação do escopo técnico do projeto detalhado.	2- Idealizadores do projeto	Validar as informações do projeto detalhado	Escopo de projeto ampliado	Planejamento financeiro e econômico do projeto	Aprovação do escopo ampliado e detalhado	Compreensão por parte da empresa contratante de que, embora o CTNano tivesse mais de 20 anos de experiência em pesquisas no campo da nanotecnologia, por se tratar de um novo produto com caráter inovador, a tecnologia seria desenvolvida desde o estágio inicial.	Alinhamento de expectativas
9	<i>Follow up</i> para a contratação do projeto aprovado e ampliado.	2- Idealizadores do projeto	Realizar <i>Follow</i> junto à empresa para a contratação do projeto	Detalhamento econômico e financeiro do projeto aprovado	Planejamento financeiro e econômico do projeto	Início da contratação do projeto	Priorização e baixa agilidade para a contratação do projeto por parte da contratante.	Contratação do projeto
10	Trâmites necessários entre as partes para a contratação do projeto.	4- Idealizadores do projeto, partes judicialmente responsáveis e conveniente	Contratar projeto aprovado	Escopo de projeto ampliado e aprovado	Assinatura do contrato	Projeto contratado	Burocracias inerentes ao processo da assinatura do contrato do projeto e pagamento dos recursos referente à primeira parcela.	Burocracia das organizações envolvidas
11	Acordo de confidencialidade entre as partes.	5- Idealizadores do projeto e partes judicialmente responsáveis	Acordar a confidencialidade	Escopo de projeto ampliado e aprovado	Negociação de confidencialidade de entre as partes	Acordo de confidencialidade entre as partes	Burocracia das organizações envolvidas tendo em vista os arranjos estruturais das mesmas.	Burocracia das organizações envolvidas
12	Contratação da equipe técnica responsável pela execução do projeto.	3- Idealizadores do projeto - CTNano	Montar equipe técnica especializada	Detalhamento econômico e financeiro do projeto aprovado	Processo seletivo externo	Contração de equipe	Dificuldade de encontrar mão de obra especializada disponível no mercado.	Seleção de equipe técnica especializada

13	<i>Workshop:</i> alinhamento dos desafios de campo e expectativas.	6- Idealizadores do projeto e equipe técnica envolvida no projeto	Identificar/avaliar os desafios de campo	<i>Know How</i> técnico das partes envolvidas	<i>Workshop</i> focado na interação técnica	Troca de <i>know how</i> entre as partes	A identificação de diferentes particularidades em cada uma das 19 plantas de extração do minério dificultou encontrar uma solução factível à realidade da empresa de modo a atender todas as plantas. Outro ponto abordado foi a necessidade de trabalho com a escala industrial –, tendo em vista o cenário acadêmico, a qual demanda do trabalho em toneladas.	Codificação de conhecimento
14	Detalhamento técnico e cronograma do projeto.	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Planejar o cronograma detalhado das atividades	<i>Know How</i> combinado entre as partes e detalhamento econômico do projeto	Aplicação de ferramentas de gestão	Cronograma detalhado	Ter algo factível; executável; Como executar o que foi proposto no ambiente de laboratório? Como transcrever as ações para a realização das atividades em laboratório, tendo em vista o cenário industrial da contratada?	Infraestrutura
15	Alinhamento interno entre a equipe do CTNano.	8- Responsáveis pela entrega de resultados do projeto	Validar/alinhar informações com a equipe contratada	Cronograma detalhado	Reunião de alinhamento entre a equipe contratada	Alinhamento da equipe CTNano	Identificação de modo estratégico de quais as atividades poderiam de fato ser executadas na infraestrutura da empresa contratada e quais demandam de ambientes externos, tendo em vista que a infraestrutura disponível no CTNano é limitada à escala de laboratório.	Infraestrutura
16	Acesso à tecnologia atualmente empregada (TAE) pela contratante para nivelamento das informações sobre as propriedades e	9- Equipe técnica envolvida no projeto	Nivelar/Alinhar o conhecimento	Tecnologia atualmente empregada	Acesso a amostras da tecnologia atualmente empregada	Acesso à tecnologia atualmente empregada.	Burocracias da empresa contratante para liberação do acesso à tecnologia atualmente empregada. Envolvimento de agentes da empresa contratante que não estiveram envolvidos de modo	Acesso à tecnologia atualmente empregada

	materiais da mesma.						direto na concepção do projeto de PDI.	
17	Redefinição da estratégia para caracterização da tecnologia atualmente empregada.	9- Equipe técnica envolvida no projeto	Replanejar a estratégia definida para diagnosticar/caracterizar as amostras da tecnologia atualmente empregada	Realidade tecnológica - Desafios de campo	Revisão da literatura e consulta ao <i>Know How</i> da empresa contratante	Redefinição da estratégia de caracterização redefinida	Variações dos tipos de materiais (seis) da tecnologia atualmente empregada; Informações limitadas a respeito da tecnologia, compartilhamento apenas de laudos técnicos dos fornecedores.	Realidade de campo
18	Replanejamento do protocolo de caracterização da TAE.	10- Equipe técnica responsável pela execução do projeto	Replanejar as atividades detalhadas no cronograma	Estratégia de caracterização redefinida	Aplicação de ferramentas de gestão	Replanejamento do plano do projeto para nova estratégia.	Desconhecimento da amplitude das dimensões da TAE.	Realidade de campo
19	Caracterização/identificação das características da TAE.	11- Equipe técnica executora do projeto	Caracterizar a tecnologia atualmente empregada - Requisitos mínimos de qualidade	Tecnologia atualmente empregada	Estratégia de caracterização redefinida	Início do diagnóstico da tecnologia atualmente empregada	Identificação da necessidade de ajustes experimentais das técnicas de caracterização, após acesso aos materiais, visto o tempo subestimado para a caracterização.	Realidade de campo
20	Identificação dos requisitos mínimos de qualidade (RMQ) da TAE.	10- Equipe técnica responsável pela execução do projeto	Avaliar a tecnologia atualmente empregada - Requisitos mínimos de qualidade	Tecnologia atualmente empregada	Análises dos resultados de caracterização	Informações iniciais para a definição dos requisitos de qualidade para a tecnologia em desenvolvimento	Tempo de caracterização inferior ao previsto, devido às dificuldades de preparo do material; Manuseio e manipulação dos materiais foram identificados como um desafio.	Realidade de campo
21	Definição das matérias-primas da tecnologia em desenvolvimento (TED).	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Definir matéria-prima.	Matérias-primas disponíveis comercialmente	Requisitos de qualidade para a tecnologia em desenvolvimento	Definição das matérias-primas	Dificuldades em encontrar matérias-primas comerciais que cumprissem com os requisitos necessários para a TED.	Produtos comerciais

22	Definição do processo de produção da TED.	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Definir o processo de produção da tecnologia em desenvolvimento	<i>KNOW HOW</i> interno	Testes experimentais	Definição do processo de produção	Dificuldade de processabilidade das matérias-primas durante o desenvolvimento do processo de produção.	Factibilidade do processo
23	Avaliação/ caracterização da TED.	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Caracterizar/avaliar a tecnologia em desenvolvimento	Tecnologia desenvolvida em escala de laboratório	Técnicas de caracterização	Caracterização da tecnologia em desenvolvimento - Controle de qualidade	Disponibilidade de equipe para realizar as caracterizações no laboratório.	Escassez de equipe
24	Identificação dos principais desafios de campo, visto as informações descritas nos relatórios técnicos compartilhados.	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Identificar/avaliar os desafios de campo	Relatórios técnicos internos de escoamento do minério fornecidos pela empresa contratante	Acesso ao <i>know how</i> externo (relatórios técnicos contratante)	Acesso à realidade de campo	Conexão das informações relevantes de cada um dos relatórios técnicos compartilhados, a fim de construir um documento único e conclusivo, para munir a empresa contratante de informações para definir um cenário crítico único para o desenvolvimento da tecnologia.	Codificação de conhecimento
25	Alinhamento/ validação, entre a equipe do CTNano, dos resultados obtidos até o momento.	8- Responsáveis pela entrega de resultados do projeto	Validar/alinhar informações com a equipe contratada	Resultados experimentais	Reunião - apresentação de resultados	Alinhamento da equipe CTNano	Identificação da melhor estratégia para apresentar os resultados obtidos para a empresa contratante, de modo que a mesma o enxergasse com relevância.	Alinhamento da equipe
26	Construção de relatório técnico - parcial.	10- Equipe técnica responsável pela execução do projeto	Documentar/ Reportar estágio de desenvolvimento do projeto;	Resultados experimentais discutidos e validados	Relatório técnico - parcial	Documentação dos resultados a partir da elaboração de um relatório técnico parcial.	Codificação dos resultados obtidos em ambiente de laboratório para elaborar um relatório técnico passível de compreensão pela empresa contratante.	Codificação de conhecimento
27	<i>Workshop</i> de alinhamento - Discussão entre as partes a respeito dos desafios de campo identificados nos relatórios compartilhados.	6- Idealizadores do projeto e equipe técnica envolvida no projeto	Identificar/avaliar os desafios de campo	Acesso a <i>Know how</i> externo - 18 Relatórios técnicos	<i>Workshop</i> : Discussão técnica	Troca de <i>know How</i> entre as partes	Codificação das informações fornecidas pela empresa contratante sobre a visão de aplicação em campo para a realidade do cenário acadêmico-científico.	Codificação de conhecimento

28	Workshop de alinhamento - Apresentação dos resultados parciais alcançados.	6- Idealizadores do projeto e equipe técnica envolvida no projeto	Documentar/ Reportar estágio de desenvolvimento do projeto;	Relatório técnico científico	Workshop: Apresentação de resultados	Troca de <i>know How</i> entre as partes	Alinhamento entre as partes para a finalização da caracterização da TAE no prazo inicialmente previsto no cronograma do projeto, visto a necessidade de uso da estrutura da empresa contratante.	Codificação de conhecimento
29	Reprodução do processo de produção e definição da composição da tecnologia em desenvolvimento.	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Validar/otimizar o processo de produção da tecnologia e definir a composição da mesma	Processo de produção definido	Testes experimentais	Reprodutibilidade dos resultados	Codificação dos testes experimentais em um Procedimento Operacional Padrão (POP), passível de reprodução por toda a equipe do CTNano.	Reprodução dos resultados
30	Avaliação/ caracterização da TED.	11- Equipe técnica executora do projeto	Caracterizar/avaliar a tecnologia em desenvolvimento	Tecnologia desenvolvida em escala de laboratório	Técnicas de caracterização	Reprodutibilidade dos resultados	Necessidade de caracterizar de uma vez um elevado número de amostras: equipe insuficiente.	Alinhamento da equipe
31	Identificação/ definição dos RMQ da TAE.	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Avaliar/caracterizar a tecnologia atualmente empregada - Requisitos mínimos de qualidade	Resultados de caracterização da tecnologia atualmente empregada	Análises dos resultados de caracterização	Diagnóstico da tecnologia atualmente empregada	Proposição de uma composição única para o nanocompósito, de modo que o mesmo apresente melhor desempenho quando comparado à TAE e suas variações de materiais.	Codificação de conhecimento
32	Definição dos RMQ da TED, a partir da identificação do perfil abrasivo dos minérios.	11- Equipe técnica executora do projeto	Identificar/avaliar os desafios de campo	Acesso a <i>Know how</i> externo - 18 Relatórios técnicos	Análise de <i>Know How</i> externo	Informações para a definição dos requisitos de qualidade para a tecnologia em desenvolvimento	Identificação/definição das principais características a serem avaliadas nos minérios, a fim de prever como os mesmos se comportam em campo. O que medir? O que se deve avaliar? Ter na equipe profissional da área de mineração para permitir maior assertividade ao processo.	Realidade de campo
33	Alinhamento/ validação, entre a equipe do CTNano, dos resultados obtidos até o momento.	8- Responsáveis pela entrega de resultados do projeto	Validar/alinhar informações com a equipe contratada	Resultados experimentais	Reunião de alinhamento da equipe contratada	Alinhamento da equipe CTNano	Identificação da melhor forma de apresentar os resultados obtidos à empresa contratante, de modo que a mesma o enxergasse com relevância.	Alinhamento da equipe

34	Busca por fornecedores interessados em produzir a TED.	11- Equipe técnica executora do projeto	Contatar o fornecedor da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante	Indicação de empresa com potencial interesse	Visita a feira e mineração - Feira Nacional de Mineração	Identificação de um fornecedor interessado em produzir a tecnologia	Acesso e identificação de oportunidade para fazer o contato com um fornecedor com potencial para produzir a TED.	Acesso ao mercado
35	Formalização do interesse do fornecedor em produzir a TED.	14- Arranjo para viabilizar a produção piloto	Consolidar o interesse do fornecedor em produzir a tecnologia em desenvolvimento	Acesso ao <i>Player</i> interessado em produzir a tecnologia	Reunião comercial de alinhamento	Confirmação do interesse do fornecedor em produzir a tecnologia em desenvolvimento	Burocracias da empresa contratante para aprovar o envolvimento de outra organização no projeto.	Burocracia das organizações envolvidas
36	Avaliação da viabilidade de produção da TED na infraestrutura do fornecedor interessado em produzir e comercializar.	13- Interessado em produzir a tecnologia e responsável pelo desenvolvimento.	Avaliar a viabilidade de reprodução da tecnologia desenvolvida em bancada de laboratório na infraestrutura do <i>player</i> interessado	<i>Know How</i> da contratada frente ao processo de produção para a avaliação da viabilidade de produção em escala industrial	Visita à infraestrutura do fornecedor interessado e avaliação da viabilidade técnica	Validação da factibilidade de produção na infraestrutura do fornecedor interessado	Interações praticadas entre a equipe CTNano junto ao setor responsável por disponibilizar os recursos para realização da visita.	Viabilização da visita pela contratada
37	Construção de relatório técnico parcial.	10- Equipe técnica responsável pela execução do projeto	Documentar/ Reportar estágio de desenvolvimento do projeto	Resultados experimentais	Relatório técnico - parcial	Documentação dos resultados a partir da elaboração de um relatório técnico parcial	Codificação dos resultados obtidos em ambiente de laboratório de modo a elaborar um relatório técnico que possa ser compreendido pela empresa contratante.	Codificação de conhecimento
38	<i>Workshop</i> para a apresentação dos resultados parciais.	6- Idealizadores do projeto e equipe técnica envolvida no projeto	Documentar/ Reportar estágio de desenvolvimento do projeto	Relatório técnico científico	Discussão técnica entre as partes - <i>Open Innovation</i>	Troca de <i>know How</i> entre as partes	Codificação da linguagem acadêmica para a linguagem industrial de campo	Codificação de conhecimento
39	Interação com fornecedor para ajuste de parceria para a produção piloto da TED.	14- Arranjo para viabilizar a produção piloto	Alinhar uma potencial parceria para viabilizar a produção industrial	Validação da factibilidade de produção na infraestrutura do <i>player</i>	Reunião comercial de alinhamento	Proposta da fase II do projeto com foco no desenvolvimento da escala piloto	Morosidade no processo interno de uma das organizações envolvidas para aprovação da proposta do projeto fase II – Desenvolvimento em escala piloto.	Burocracia das organizações envolvidas

40	Busca de anterioridade	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Proteger a Tecnologia da exploração comercial por terceiros	Tecnologia em desenvolvimento	Busca de anterioridade	Definição da estratégia de proteção intelectual	Busca assertiva em diferentes plataformas, de modo a identificar tecnologias similares a fim de definir a estratégia a ser empregada na proteção da tecnologia.	Visão sistêmica
41	Escrita do documento de patente para proteção do processo e produto inerentes à TED.	12- Idealizadores do projeto, equipe técnica responsável pela entrega do projeto e partes judicialmente responsáveis	Proteger a Tecnologia da exploração comercial por terceiros	Tecnologia em desenvolvimento	Escrita do documento de patente do produto e processo	Documento de patente produto e processo	Alinhamento e codificação das linguagens acadêmica e industrial de campo, a fim de construir um documento de patente que englobasse todas as informações relevantes e que protegesse a tecnologia frente à exploração comercial de terceiros.	Visão sistêmica
42	Depósito da patente junto ao INPI.	12- Idealizadores do projeto, equipe técnica responsável pela entrega do projeto e partes judicialmente responsáveis	Proteger a Tecnologia da exploração comercial por terceiros	Documento de Patente de produto e processo	Depósito de patente junto ao INPI	Depósito patente INPI	Comprovação da novidade da tecnologia em desenvolvimento, tendo em vista as tecnologias identificadas na busca de anterioridade.	Alinhamento entre as partes
43	Escalonamento (ESCLAB) do processo de produção da TED.	11- Equipe técnica executora do projeto	Reproduzir o processo de produção da tecnologia em desenvolvimento	Processo de produção definido	Escalonamento - laboratório	Escalonamento do processo de produção em escala de bancada	Reprodutibilidade dos resultados obtidos em menores escalas - Redefinição dos parâmetros do processo de conformação das peças para obter as propriedades requeridas. Tempo x Temperatura x Pressão	Variáveis de processo
44	Avaliação do sucesso do ESCLAB da TED em escala de bancada.	11- Equipe técnica executora do projeto	Caracterizar/ avaliar a tecnologia em desenvolvimento	Tecnologia em desenvolvimento	Técnicas de caracterização	Reprodução das características da tecnologia em maior escala	Uso controlado do laboratório devido à pandemia - muitas análises a serem executadas em um espaço curto de tempo em função de restrição de acesso.	Fatores externos - Pandemia
45	Definição da estratégia para Prova de conceito (POC)	7- Responsável técnico pela execução do projeto	Avaliar/validar o desempenho da tecnologia frente a sua funcionalidade	Demanda tecnológica	Revisão da literatura e consulta à	Metodologia para realização da POC	Identificação na literatura de metodologia com as especificidades necessárias	Realidade de campo

	ambiente de laboratório.				<i>Know How</i> externo		para executar o ensaio de desempenho – POC.	
46	POC em ambiente de laboratório.	11- Equipe técnica executora do projeto	Avaliar/validar o desempenho da tecnologia frente a sua funcionalidade	Tecnologia em desenvolvimento	Metodologia para realização da POC	Validação do conceito da tecnologia em ambiente de laboratório	Uso controlado do laboratório devido à pandemia - muitas análises a serem executadas em um espaço curto de tempo em função de restrição de acesso.	Fatores externos - Pandemia
47	Alinhamento/validação, entre a equipe do CTNano, dos resultados obtidos até o momento.	8- Responsáveis pela entrega de resultados do projeto	Validar/alinhar informações com a equipe contratada	Resultados experimentais	Reunião de alinhamento da equipe contratada	Alinhamento da equipe CTNano	Identificação da melhor estratégia para apresentar os resultados obtidos à empresa contratante, de modo que a mesma o enxergasse com relevância.	Codificação de conhecimento
48	Elaboração do relatório técnico final.	10- Equipe técnica responsável pela execução do projeto	Documentar/ Reportar estágio de desenvolvimento do projeto	Resultados experimentais	Reunião de alinhamento da equipe contratada	Documentação dos resultados - Relatório técnico	Tempo reduzido para a construção do documento devido à modificação requerida no cronograma frente à Pandemia.	Fatores externos - Pandemia
49	Entrega de relatório: Finalização da fase I do projeto.	6- Idealizadores do projeto e equipe técnica envolvida no projeto	Finalizar o projeto via a entrega do último relatório técnico	Relatório técnico científico	Compartilhamento via e-mail	Finalização com sucesso da Fase I do projeto	Codificação da linguagem acadêmica para a linguagem industrial de campo.	Codificação de conhecimento

APÊNDICE C – Descrição detalhada narrativa

Material Suplementar – Descrição detalhada da narrativa construída.

Macrofase 1: Pré-desenvolvimento

Esta fase refere-se à etapa de construção do projeto, a qual ocorreu no modelo de inovação aberta, devido a uma demanda tecnológica levantada pela multinacional (contratante) junto ao CTNano/ UFMG (contratado), para a solução de um desafio inerente a seu processo de produção. Os eventos alocados nesta fase corresponderam a cerca de 24,50% (12 do total dos 49 eventos mapeados) e foram divididos nas três subfases de acordo com o PDP (Resende & Bagno, 2017) utilizado pelo centro para o GP, conforme descritas a seguir:

- Subfase 1.1: Banco de ideias

O primeiro evento identificado nesta subfase, referiu-se ao contato inicial realizado pela empresa contratante junto ao CTNano/UFMG para a solução de uma demanda tecnológica (evento 1). Após o contato inicial, as partes envolvidas discutiram uma solução/ideia com uso da nanotecnologia, para solucionar a demanda tecnológica compartilhada (evento 2). As discussões resultaram na proposta de um projeto colaborativo de PD&I para o desenvolvimento do novo material de alto desempenho com uso da nanotecnologia (evento 3).

Os produtos mapeados em tais eventos foram a (1) demanda tecnológica, o (2) convite da empresa contratante ao CTNano/UFMG para submeter uma proposta de projeto em sua plataforma de inovação aberta e (3) uma proposta de projeto para a solução do desafio compartilhado, escrita pela equipe do CTNano. Todas as atividades previstas no PDP para esta fase foram identificadas nas ações contidas nos eventos mapeados. Além do esperado para esta subfase, também foram definidos entre as partes tanto os princípios para a aplicação da tecnologia quanto o mercado de aplicação, por tratar de uma proposta de projeto estruturada a partir de uma demanda real (*Market Pull*).

- Subfase 1.2: Seleção de projetos e ideias

Esta subfase do PDP foi iniciada pela submissão e aprovação da proposta do projeto junto à plataforma de inovação aberta da empresa contratante (evento 4). Uma vez aprovada, a

mesma foi submetida a novas discussões entre as partes para o alinhamento (evento 5) da ampliação do escopo técnico (evento 6), conforme demandado pela empresa contratante.

Os produtos mapeados nesta subfase foram: (4) a aprovação da proposta do projeto submetida na plataforma de inovação aberta da empresa contratante; (5) a troca de *know how* entre as partes devido a discussões estabelecidas para a ampliação do escopo técnico do projeto aprovado; e (6) o escopo do projeto ampliado. As atividades previstas nesta subfase no PDP foram identificadas nas ações dos eventos e, como pôde ser visto, foram cumpridas com sucesso.

- Subfase 1.3: Planejamento do projeto

A fase do planejamento foi iniciada pelo detalhamento do escopo do projeto ampliado (evento 7), posteriormente validado pela empresa contratante (evento 8). Embora pronto para contratação, o projeto permaneceu congelado por um período próximo a oito meses, devido à burocracia interna da empresa contratante. Mediante posterior *Follow up* (evento 9) realizado pela equipe do CTNano/UFMG junto a mesma, foram retomados os trâmites para a contratação do projeto (evento 10). É importante ressaltar que o processo de contratação do projeto teve duração superior a 6 (seis) meses, devido burocracias internas da empresa contratante. Tendo em vista o caráter de inovação do projeto, foi alinhado entre as partes um acordo de confidencialidade (evento 11). Ao final do processo da contratação, a equipe técnica responsável pela execução do projeto, foi contratada (evento 12).

Os produtos identificados nesta subfase foram: (7) o detalhamento do escopo técnico do projeto ampliado e (8) sua aprovação pelas partes envolvidas; (9) o início do processo de contratação do projeto, por parte da empresa contratante; (10) a contratação do projeto; (11) a assinatura do NDA; e (12) a contratação da equipe técnica especializada. Apenas parte das atividades previstas no PDP para esta subfase foram executadas, como as atividades relacionadas às buscas preliminares por tecnologias similares no estado da técnica e arte que, embora previstas, não foram realizadas. É importante ressaltar que as atividades relacionadas ao levantamento de potenciais parceiros, aplicações e mercados, foram realizadas nas subfases anteriores, por se tratar de um projeto executado no modelo de inovação aberta, sendo estruturado a partir de uma demanda tecnológica levantada por uma multinacional.

Macrofase 2: Desenvolvimento de Produtos

Conforme o esperado, a maior parte dos eventos, cerca de 75,5% (38), foram identificados nesta macrofase, que, conforme PDP utilizado pelo CTNano/ UFMG, divide-se em duas subfases principais: Desenvolvimento tecnológico e Desenvolvimento da tecnologia em diferentes escalas (escalonamento), conforme serão descritas nos próximos tópicos.

- Subfase 2.1.1 Desenvolvimento tecnológico: Detalhamento do estado da arte

A fase do DT foi iniciada pela realização de um *workshop* (evento 13) entre as partes envolvidas no projeto para o alinhamento das expectativas, tendo em vista os desafios de campo e o estágio inicial de maturidade da tecnologia. As informações levantadas contribuíram de modo direto para que a equipe envolvida no projeto pudesse revisar o escopo técnico e o cronograma detalhados, inicialmente planejados (evento 14). Os quais continham a descrição das informações técnicas, atividades e recursos demandados para a execução do projeto, considerando os aspectos de saúde, meio ambiente e segurança (SMS), como demandado para projetos desta natureza. Após revisão, o cronograma e o escopo foram discutidos e validados durante a reunião de alinhamento entre a equipe interna do CTNano/UFMG (evento 15). Os produtos gerados nestes eventos foram: (13) a troca de *know how* entre as partes durante as interações praticadas no *workshop*; (14) o cronograma detalhado; e (15) o alinhamento da equipe interna do CTNano/UFMG.

Tendo em vista a necessidade de investigar as características da tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante, as atividades do cronograma foram iniciadas pela disponibilização de amostras da mesma à equipe do CTNano/UFMG (evento 16). É importante ressaltar que esta estratégia foi acordada entre as partes para facilitar a identificação/definição dos requisitos mínimos de qualidade e de desempenho para a tecnologia em desenvolvimento. Após o recebimento das amostras, ao considerar as dimensões dos materiais (escala industrial) e a infraestrutura necessária, tendo em vista a dificuldade de manipulação, que não foram previstas ao início do projeto, foi preciso redefinir a estratégia de caracterização inicialmente planejada (evento 17). Ainda, devido à necessidade de infraestrutura e *know how* específicos, foi preciso envolver os especialistas da empresa contratante no replanejamento do protocolo de caracterização - posteriormente descrito como POP - para a tecnologia atualmente empregada pela empresa (evento 18).

Os produtos mapeados nestes eventos foram: (16) o acesso à tecnologia atualmente empregada pela empresa contratante, que também contribuiu com a interação e troca de *know*

how entre as partes; (17) a redefinição da estratégia de caracterização da tecnologia atualmente empregada; e (18) o replanejamento do plano do projeto para a nova estratégia de caracterização, tendo em vista os desafios encontrados. Conforme previsto no PDP, os eventos mapeados estiveram relacionados às atividades iniciais de pesquisa, embasadas pelo estado da arte (bancos de artigos científicos), com foco na definição de potenciais rotas tecnológicas, tendo em vista os aspectos de SMS. Assim, como pôde ser visto, as atividades previstas para esta subfase foram cumpridas.

- Subfase 2.1.2 Desenvolvimento tecnológico: Definição da rota básica

Esta subfase foi iniciada com as atividades previstas, conforme cronograma revisado para a caracterização/identificação da tecnologia atualmente empregada (evento 19), estratégia definida para apoiar a identificação/definição dos requisitos de qualidade para a tecnologia em desenvolvimento (evento 20). É importante ressaltar que ambos os eventos se estenderam à subfase de otimização da rota e ocorreram de modo paralelo aos eventos posteriormente mapeados em ambas as fases. De modo concomitante, por meio de testes experimentais, foram definidas as matérias-primas (evento 21) e o processo de produção/rota tecnológica (evento 22) da tecnologia em desenvolvimento. A qual, uma vez produzida, foi submetida à avaliação/caracterização (evento 23), para avaliar o cumprimento dos critérios de qualidade pré-estabelecidos. Os produtos mapeados nestes eventos foram: o (19) início do diagnóstico da tecnologia atualmente utilizada pela empresa contratante; (20) informações iniciais para a definição dos requisitos mínimos de qualidade da tecnologia em desenvolvimento; as definições (21) das matérias-primas e do (22) processo de produção e a (23) caracterização da tecnologia em desenvolvimento, a fim de conhecer as suas características e realizar o controle de qualidade.

Ainda, em paralelo aos eventos descritos anteriormente (19 - 23), 18 relatórios técnicos com a descrição do desempenho da tecnologia atualmente empregada em diferentes plantas de produção foram avaliados pela equipe do CTNano/UFMG. Os mesmos foram avaliados para identificar os principais gargalos inerentes às realidades de campo (evento 24). Ao final dos testes iniciais e da avaliação dos relatórios, foi realizada uma reunião de alinhamento/validação entre a equipe técnica interna do CTNano/ UFMG (evento 25), para discussões das informações e resultados alcançados, que foram posteriormente inseridas no relatório técnico parcial (evento 26). Os produtos identificados nos eventos mapeados foram: (24) o acesso à realidade de

campo; (25) o alinhamento interno da equipe CTNano/UFMG; e (26) a documentação dos resultados alcançados até o momento, a partir da elaboração de um relatório técnico parcial.

Após a elaboração do relatório parcial, foi realizado um *workshop*, dividido em dois momentos: o primeiro foi utilizado para discutir os desafios mapeados em campo, tendo em vista os resultados encontrados a partir das análises dos relatórios compartilhados (evento 27); e o segundo, tanto para a apresentação dos resultados obtidos até o momento, tendo em vista o desenvolvimento da tecnologia pela equipe do CTNano/ UFMG quanto para a discussão junto a equipe técnica da empresa contratante dos desafios enfrentados(evento 28).

Embora os testes de laboratório tenham sido iniciados nesta subfase (testes das rotas pré-definidas e caracterizações), conforme previsto no PDP, diferente do esperado, os mesmos não se referiram à realização de uma prova de conceito (POC) inicial, para avaliar se a tecnologia cumpriria com as definições vislumbradas. Como pôde ser visto nos eventos mapeados, os testes de laboratório estiveram relacionados às definições da matéria-prima e do processo de produção, e à caracterização da tecnologia em desenvolvimento.

- Subfase 2.1.3 Desenvolvimento tecnológico: Otimização da Rota

Esta subfase foi iniciada pela reprodução do processo de produção e definição da composição da tecnologia em desenvolvimento (evento 29), para posterior caracterização e validação (evento 30) da reprodutibilidade dos resultados obtidos. Em paralelo ao desenvolvimento da tecnologia, também foram realizadas atividades para identificar tanto (31) os requisitos mínimos de qualidade para a tecnologia desenvolvida, tendo em vista a análise dos resultados de caracterização, quanto o perfil abrasivo dos minérios (evento 32). Após a obtenção dos diferentes resultados, foi realizada uma reunião para as validações e discussões entre a equipe interna do CTNano/UFMG (evento 33). Os produtos mapeados nesta subfase foram: (29 - 30) sucesso na reprodutibilidade dos resultados; (31) informações a respeito do diagnóstico da tecnologia atualmente empregada, tendo em vista os resultados de caracterização; (32) informações para a definição dos requisitos de qualidade da tecnologia em desenvolvimento; e (33) o alinhamento interno da equipe do CTNano/UFMG.

Tendo em vista o interesse da empresa contratante de substituir a tecnologia atualmente empregada, composta por seis variações de materiais, pela tecnologia em desenvolvimento, foi identificada a necessidade de investigações em escalas superiores às de laboratório, conforme inicialmente planejado. Assim, uma vez que, a produção e comercialização de tecnologias não sejam compatíveis com o modelo de negócios do CTNano/UFMG, os informantes envolvidos

no projeto buscaram junto ao mercado, em uma feira de negócios da área, um fornecedor com potencial de produção (evento 34). O qual foi identificado e, a partir de uma reunião junto ao CTNano/UFGM e a empresa contratante, foi formalizado o seu interesse em produzir e comercializar a tecnologia em desenvolvimento (evento 35). Para ajuste da parceria, foi realizada uma avaliação da viabilidade de produção da tecnologia na infraestrutura do mesmo, a partir de uma visita técnica em suas instalações industriais (evento 36). Os produtos mapeados nestes eventos foram: (34) a identificação por parte da equipe CTNano/UFGM, (35) a confirmação do interesse e a (36) validação da factibilidade de infraestrutura de um fornecedor para produzir e comercializar a tecnologia em desenvolvimento.

É importante ressaltar que embora os eventos tenham sido numerados, vários deles aconteceram de modo paralelo. Um exemplo disso pode ser visto nos eventos relacionados à prospecção de um potencial fornecedor (34 – 36), que ocorreram de modo simultâneo a elaboração do relatório técnico parcial (37), contendo os resultados parciais discutidos e avaliados na reunião entre a equipe do CTNano/UFGM. A entrega do relatório, com os resultados parciais obtidos na subfase da otimização da rota e fechamento do DT, ocorreu mediante a realização de um *workshop* de alinhamento entre a equipe do CTNano/ UFGM e a empresa contratante (38). Os produtos mapeados em tais eventos foram: (37) o relatório técnico parcial e (38) a troca de *know how* entre as partes (contratante e contratado), tendo em vista as discussões dos resultados parciais obtidos até o momento do desenvolvimento.

Conforme previsto no PDD utilizado pelo centro para o GP, esta subfase correspondeu ao final da fase do desenvolvimento e foi finalizada com sucesso pois, como pôde ser visto, os parâmetros de processo, a composição e as matérias-primas para a tecnologia foram definidas, e ainda foram alcançadas condições satisfatórias para a rota, a partir da comprovação da reprodutibilidade dos resultados frente aos critérios de qualidade definidos entre o CTNano/ UFGM e a empresa contratante.

- Subfase 2.2.1 Desenvolvimento em diferentes escalas: Produto em laboratório

Tendo em vista a necessidade de produção industrial, a subfase do escalonamento foi iniciada pela interação da equipe do CTNano/UFGM com o fornecedor, para avaliar a parceria para a produção piloto da tecnologia (39). Em paralelo, foi realizada a busca de anterioridades em bancos de patentes e artigos científicos (evento 40), atividade essencial para a construção de um documento de patente de processo e produto (evento 41), que teve o pedido posteriormente depositado (evento 42) junto ao INPI. Os produtos mapeados em tais eventos

foram: (39) a proposição da fase II do projeto, para a realização do escalonamento da produção na escala piloto; (40) a definição de uma estratégia para a proteção intelectual da tecnologia em desenvolvimento, a partir das informações obtidas na busca de anterioridade; (41) a elaboração de um documento de patente do produto/ processo; e (42) o depósito do mesmo junto à plataforma do INPI.

De modo concomitante aos eventos relacionados ao processo de proteção intelectual (40 – 42), foram mapeados eventos relacionados à reprodução do processo de produção em maiores escalas/ quantidades (ainda em laboratório) (evento 43). O produto obtido foi avaliado/caracterizado (evento 44), a fim de verificar se os critérios de qualidade estabelecidos foram cumpridos. Ainda, para avaliar o desempenho da tecnologia frente a sua aplicação, foi definida uma estratégia (evento 45) para a execução de uma POC em escala de laboratório (evento 46). Os resultados obtidos foram avaliados e discutidos em uma reunião de alinhamento da equipe do CTNano (evento 47) e foram inseridos no relatório técnico final (evento 48), entregue pela equipe à empresa contratante para a finalização da fase I do projeto (evento 49).

Os produtos mapeados em tais eventos foram: (43) o escalonamento do processo de produção (ainda) em escala de laboratório; (44) a reprodução das características da tecnologia em maior escala; (45) desenvolvimento de uma metodologia para a realização da POC; (46) validação do conceito da tecnologia, mediante a execução da POC; (47) alinhamento interno da equipe do CTNano/UFMG; (48) a documentação dos resultados obtidos a partir da elaboração do relatório final do projeto; e (49) a finalização com sucesso da Fase I do projeto, por meio da entrega do relatório técnico final.

Conforme descrito no PDP utilizado pelo CTNano/UFMG para o GP de seus projetos, a fase do escalonamento em laboratório prevê a realização e validação dos parâmetros de processo definidos durante o desenvolvimento tecnológico, que deve ser realizada a partir de testes funcionais/ operacionais junto a parceiros, de modo a comparar os aspectos do produto em desenvolvimento com os de produtos já disponíveis comercialmente (propriedades, eficiência, custos, dentre outros). Nela ainda é descrita a necessidade de realizar a modelagem para o aumento de escala. Como pôde ser visto, nas ações dos eventos mapeados foram identificadas atividades relacionadas ao escalonamento da tecnologia (ainda em laboratório) e aos testes em ambiente hostil (POC), necessários para simular a realidade de campo. Os resultados obtidos foram comparados aos resultados levantados no diagnóstico da tecnologia atualmente empregada e a tecnologia em desenvolvimento cumpriu com os requisitos de qualidade requeridos. Embora não descrito no PDP, nesta fase também foi definida e executada

pelos principais envolvidos (contratante e contratada) uma estratégia para a proteção intelectual da tecnologia em desenvolvimento.

APÊNDICE D – Dimensões das complexidades

Quadro 2. Dimensões de complexidades identificadas nos eventos mapeados no caso em estudo.

nº	Evento	Desafios mapeados	Desafio abstrato	Dimensão da complexidade	Indicador
1	Demanda tecnológica apresentada pela multinacional.	Codificação do conhecimento: como traduzir a demanda da indústria em uma linguagem acadêmica e científica, passível de ser atendida?	Realidade de campo	Sociopolítica	Importância: solução da demanda tecnológica.
2	Discussão de uma solução para a demanda tecnológica proposta, a partir do uso da nanotecnologia.	Codificação do conhecimento: como traduzir a demanda da indústria em uma linguagem acadêmica e científica, passível de ser atendida?	Realidade de campo	Sociopolítica	Importância: da solução da demanda tecnológica.
3	Escrita da proposta de projeto para a solução da demanda tecnológica.	Codificação do conhecimento: como traduzir a demanda da indústria em uma linguagem acadêmica e científica, passível de ser atendida?	Realidade de campo	Incerteza	Caos ou turbulência: incerteza sobre a estrutura do plano do projeto.
4	Submissão e aprovação da proposta de projeto para a solução demandada.	Estratégia para a contratação do projeto: plataforma de inovação aberta com ampla concorrência a nível nacional.	Ampla concorrência	Sociopolítica	Importância: solução da demanda tecnológica.
5	Alinhamento para ajuste da ampliação do escopo técnico da proposta do projeto aprovada.	Compreensão por parte da empresa contratante de que, embora o CTNano tivesse mais de 20 anos de experiência em pesquisas no campo da nanotecnologia, por se tratar de um novo produto com caráter inovador, a tecnologia seria desenvolvida desde o estágio inicial.	Alinhamento de expectativas	Sociopolítica	Transparência: alinhamento das expectativas.
6	Ampliação do escopo técnico do projeto aprovado.	Codificação do conhecimento - Dificuldade de traduzir a demanda da indústria para a linguagem acadêmica/científica.	Realidade de campo	Incerteza	Caos ou turbulência: incerteza sobre a estrutura do plano do projeto.
7	Detalhamento do escopo técnico do projeto ampliado e aprovado.	Codificação do conhecimento - Dificuldade de traduzir a demanda da indústria para a linguagem acadêmica/científica.	Realidade de campo	Incerteza	Imprevista: falta do completo conhecimento.
8	Validação do escopo técnico do projeto detalhado.	Compreensão por parte da empresa contratante de que, embora o CTNano/UFGM tivesse mais de 20 anos de experiência em pesquisas no campo da nanotecnologia, por se tratar de um novo produto com caráter inovador, a tecnologia seria desenvolvida desde o estágio inicial.	Alinhamento de expectativas	Sociopolítica	Convergência: alinhamento das expectativas.
9	<i>Follow up</i> para a contratação do projeto aprovado e ampliado.	Priorização e baixa agilidade para a contratação do projeto por parte da contratante.	Contratação do projeto	Sociopolítica	Transparência: alinhamento das expectativas.
10	Trâmites necessários entre as partes para a contratação do projeto.	Burocracias inerentes ao processo da assinatura do contrato do projeto e pagamento dos recursos referente à primeira parcela.	Burocracia das organizações envolvidas	Sociopolítica Estrutural	Convergência: alinhamento das expectativas. Estrutural: diferentes tipos de governança das organizações
11	Acordo de confidencialidade entre as partes.	Burocracia das organizações envolvidas, tendo em vista os arranjos estruturais das mesmas.	Burocracia das organizações envolvidas	Sociopolítica Estrutural	Convergência: alinhamento das expectativas.

					Estrutural: diferentes tipos de governança das organizações
12	Contratação da equipe técnica responsável pela execução do projeto.	Dificuldade de encontrar mão de obra especializada disponível no mercado.	Seleção de equipe técnica especializada	Estrutural	Variações: no conhecimento requerido.
13	<i>Workshop</i> : alinhamento dos desafios de campo e expectativas.	A identificação de diferentes particularidades em cada uma das 19 plantas de extração do minério dificultou encontrar uma solução factível à realidade da empresa, de modo a atender todas as plantas. Outro ponto abordado foi a necessidade de trabalho com a escala industrial –, tendo em vista o cenário acadêmico, a qual demanda do trabalho em toneladas.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: troca de conhecimento
14	Detalhamento técnico e cronograma do projeto.	Ter algo factível; executável. Como executar o que foi proposto no ambiente de laboratório? Como transcrever as ações para a realização das atividades em laboratório, tendo em vista o cenário industrial da contratada?	Realidade de campo	Incerteza	Imprevista: falta do completo conhecimento.
15	Alinhamento interno entre a equipe do CTNano.	Identificação de modo estratégico de quais atividades poderiam de fato ser executadas na infraestrutura da empresa contratada e quais demandaram ambientes externos, tendo em vista que a infraestrutura disponível no CTNano é limitada à escala de laboratório.	Infraestrutura	Estrutural	Variações: infraestrutura requerida.
16	Acesso à tecnologia atualmente empregada (TAE) pela contratante para nivelamento das informações sobre as propriedades e materiais da mesma.	Burocracias da empresa contratante para liberação do acesso à tecnologia atualmente empregada. Envolvimento de agentes da empresa contratante que não estiveram envolvidos de modo direto na concepção do projeto de PDI.	Acesso à tecnologia atualmente empregada	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
17	Redefinição da estratégia para caracterização da tecnologia atualmente empregada.	Variações dos tipos de materiais (seis) da TAE. Conhecimento limitado sobre as propriedades da TAE - compartilhamento dos laudos técnicos dos fornecedores.	Realidade de campo	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
18	Replanejamento do protocolo de caracterização da TAE.	Desconhecimento da amplitude das dimensões da TAE.	Realidade de campo	Incerteza	Variações: dimensão da tecnologia.
19	Caracterização/ identificação das características da TAE.	Identificação da necessidade de ajustes experimentais das técnicas de caracterização, tendo em vista o acesso aos materiais; Tempo subestimado para a caracterização.	Realidade de campo	Incerteza	Variações: tempo de atividades subestimado.
20	Identificação dos requisitos mínimos de qualidade (RMQ) da TAE.	Tempo de caracterização inferior ao previsto devido às dificuldades de preparo do material; Manuseio e manipulação dos materiais foram apontados como desafios.	Realidade de campo	Incerteza	Variações: tempo de atividades subestimado.

21	Definição das matérias-primas da tecnologia em desenvolvimento (TED).	Dificuldades em encontrar matérias-primas comerciais que cumprissem com os requisitos necessários para a TED.	Produtos comerciais	Incerteza	Prevista: dificuldade de encontrar no mercado os requisitos necessários.
22	Definição do processo de produção da TED.	Dificuldade de processabilidade das matérias-primas durante o desenvolvimento do processo de produção.	Factibilidade do processo	Incerteza	Prevista: processabilidade.
23	Avaliação/caracterização da TED.	Disponibilidade de equipe para realizar as caracterizações no laboratório.	Escassez de equipe	Estrutural	Tamanho: da equipe.
24	Identificação dos principais desafios de campo, visto as informações descritas nos relatórios técnicos compartilhados.	Conexão das informações relevantes de cada um dos relatórios técnicos compartilhados, a fim de construir um documento único e conclusivo, para munir a empresa contratante de informações para definir um cenário crítico único para o desenvolvimento da tecnologia.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
25	Alinhamento/validação, entre a equipe do CTNano, dos resultados obtidos até o momento.	Identificação da melhor estratégia para apresentar os resultados obtidos para a empresa contratante, de modo que a mesma o enxergasse com relevância.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
26	Construção de relatório técnico - parcial.	Codificação dos resultados obtidos em ambiente de laboratório para elaborar um relatório técnico passível de compreensão pela empresa contratante.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
27	<i>Workshop</i> de alinhamento - Discussão entre as partes a respeito dos desafios de campo identificados nos relatórios compartilhados.	Codificação das informações fornecidas pela empresa contratante sobre a visão de aplicação em campo, para a realidade do cenário acadêmico-científico.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
28	<i>Workshop</i> de alinhamento - Apresentação dos resultados parciais alcançados.	Alinhamento entre as partes para finalização da caracterização da TAE, no prazo inicialmente previsto no cronograma do projeto, visto a necessidade de uso da estrutura da empresa contratante.	Alinhamento de expectativas	Sociopolítica	Convergência: estratégia para finalizar a caracterização da tecnologia
29	Reprodução do processo de produção e definição da composição da tecnologia em desenvolvimento.	Codificação dos testes experimentais em um Procedimento Operacional Padrão (POP), passível de reprodução por toda a equipe do CTNano.	Garantia da reprodutibilidade	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
30	Avaliação/caracterização da TED.	Necessidade de caracterizar de uma vez um elevado número de amostras: equipe insuficiente.	Escassez de equipe	Estrutural	Tamanho: escassez de equipe.
31	Identificação/ definição dos RMQ da TAE.	Proposição de uma composição única para o nanocompósito, de modo que o mesmo apresente melhor desempenho quando comparado à TAE e suas variações de materiais.	Codificação de conhecimento	Incerteza	Caos ou turbulência: incerteza sobre o desempenho do material na aplicação.

32	Definição dos RMQ da TED, a partir da identificação do perfil abrasivo dos minérios.	Identificação/definição das principais características a serem avaliadas nos minérios, a fim de prever como os mesmos se comportariam em campo. O que medir? O que se deve avaliar? Ter na equipe profissional da área de mineração para permitir maior assertividade ao processo.	Realidade de campo	Incerteza	Variações: tipos de conhecimentos requeridos.
33	Alinhamento/validação, entre a equipe do CTNano, dos resultados obtidos até o momento.	Identificação da melhor forma de apresentar os resultados obtidos à empresa contratante, de modo que a mesma o enxergasse com relevância.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
34	Busca por fornecedor interessado em produzir a TED.	Acesso e identificação de oportunidade para fazer o contato com um fornecedor com potencial para produzir a TED.	Acesso ao mercado	Sociopolítica	Convergência - de interesses.
35	Formalização do interesse do fornecedor em produzir TED.	Burocracias da empresa contratante em aprovar o envolvimento de outra organização no projeto.	Burocracia das organizações envolvidas	Sociopolítica Estrutural	Convergência: interesse mútuo; Variações: diferentes tipos de governança das organizações
36	Avaliação da viabilidade de produção da TED na infraestrutura do fornecedor interessado em produzir e comercializar.	Interações praticadas entre a equipe CTNano/UFGM junto ao setor responsável por disponibilizar os recursos para realização da visita.	Viabilização da visita pela contratada	Sociopolítica	Convergência: do interesse entre as partes.
37	Construção de relatório técnico parcial.	Codificação dos resultados obtidos em ambiente de laboratório de modo a elaborar um relatório técnico que possa ser compreendido pela empresa contratante.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
38	Workshop para a apresentação dos resultados parciais.	Codificação da linguagem acadêmica para a linguagem industrial de campo.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
39	Interação com fornecedor para ajuste de parceria para a produção piloto da TED.	Morosidade no processo interno de uma das organizações envolvidas para aprovação da proposta do projeto fase II – Desenvolvimento em escala piloto.	Burocracia das organizações envolvidas	Sociopolítica	Convergência: de interesses.
40	Busca de anterioridade	Busca assertiva em diferentes plataformas para identificar tecnologias similares a fim de definir a estratégia a ser empregada na proteção da tecnologia.	Visão sistêmica	Incerteza	Variações: de tecnologias disponíveis no estado da técnica.
41	Escrita do documento de patente para proteção do processo e produto inerentes à TED.	Alinhamento e codificação das linguagens acadêmica e industrial de campo, a fim de construir um documento de patente que englobasse todas as informações relevantes e que protegesse a tecnologia frente à exploração comercial de terceiros.	Visão sistêmica	Incerteza Sociopolítica	Previstas: necessidade de ajustes tendo em vista o estado da técnica. Convergência: interesses das partes envolvidas.

42	Depósito da patente junto ao INPI.	Comprovação da novidade da tecnologia em desenvolvimento, tendo em vista as tecnologias identificadas na busca de anterioridade.	Alinhamento entre as partes	Incerteza	Previstas - tecnologias disponíveis no estado da técnica.
43	Escalonamento (ESCLAB) do processo de produção da TED.	Reprodutibilidade dos resultados obtidos em menores escalas; Redefinição dos parâmetros do processo de conformação das peças para obter as propriedades requeridas. Tempo x Temperatura x Pressão	Variáveis de processo	Incerteza	Caos ou turbulência - necessidade de alterações fundamentais nas metas e objetivos.
44	Avaliação do sucesso do ESCLAB da TED em escala de bancada.	Uso controlado do laboratório devido à pandemia - muitas análises a serem executadas em um espaço curto de tempo em função de restrição de acesso.	Fatores externos - Pandemia	Incerteza Ritmo	Imprevistas: Fatores externos (Pandemia Covid-16) Impactos no cronograma.
45	Definição da estratégia para Prova de conceito (POC) em ambiente de laboratório.	Identificação na literatura de metodologia com as especificidades necessárias para executar o ensaio de desempenho - POC;	Realidade de campo	Incerteza	Prevista: Estado da arte/acesso ao conhecimento.
46	POC em ambiente de laboratório.	Uso controlado do laboratório devido à pandemia - muitas análises a serem executadas em um espaço curto de tempo em função de restrição de acesso.	Fatores externos - Pandemia	Incerteza Ritmo	Imprevistas: Fatores externos (Pandemia Covid-16) Impactos no cronograma.
47	Alinhamento/validação, entre a equipe do CTNano, dos resultados obtidos até o momento.	Identificação da melhor estratégia para apresentar os resultados obtidos à empresa contratante, de modo que a mesma o enxergasse com relevância.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.
48	Elaboração do relatório técnico final.	Tempo reduzido para a construção do documento devido à modificação requerida no cronograma frente à Pandemia.	Fatores externos - Pandemia	Sociopolítica Ritmo	Apoio: Compartilhamento do conhecimento. Impactos no cronograma.
49	Entrega de relatório: Finalização da fase I do projeto.	Codificação da linguagem acadêmica para a linguagem industrial de campo.	Codificação de conhecimento	Sociopolítica	Apoio: Compartilhamento do conhecimento.

APÊNDICE E – Atores e papéis

Material Suplementar - Quadro 3. Principais atores e seus respectivos papéis nas organizações.

Categoria de atores	Organização	Papel na organização	Papel no projeto
Coordenador (a)/mediador (a) /Pesquisador (a)	CTNano/UFMG (contratado)	Coordenadora do CTNano/UFMG e pesquisadora sênior na frente de polímeros e nanocompósitos poliméricos.	Principais tomadores de decisões e contribuintes científicos devido à experiência e ao <i>know how</i> adquiridos.
	Multinacional (contratante)	Gerente de Engenharia e Manutenção Industrial.	
Supervisor/ Pesquisador	CTNano/UFMG (contratado)	Supervisor de uma das frentes de materiais poliméricos.	Responsável por viabilizar e certificar a execução das atividades relacionadas ao projeto.
Especialista/ Pesquisador ou Especialista/ Engenheiro	CTNano/UFMG (contratado)	Pesquisador de Pós-doutorado.	Pesquisador especialista com dedicação exclusiva e responsável pela execução do projeto.
	Multinacional (contratante)	Engenheiros do setor de Manutenção industrial.	Responsáveis por fornecer todas as informações técnicas inerentes ao projeto requeridas.
Operacional	CTNano/UFMG (contratado)	Alunos de Mestrado e Graduação da UFMG.	Reesponsáveis por executar as atividades técnicas demandadas pelo projeto.
Gestão	CTNano/UFMG (contratado)	Gerente de projetos.	Gerente de projetos responsável por realizar os trâmites burocráticos e acompanhar o cronograma de execução do projeto;
Conveniente	CTNano/UFMG (contratado)	FCO - Organização parceira da UFMG.	Organização responsável por estabelecer um convênio entre as partes.
Jurídico	CTNano/UFMG (contratado)	Procuradoria Federal.	Responsáveis por analisar o documento jurídico construído pela Vale e por renegociar aspectos contratuais.
		CTIT - setor responsável pelo Jurídico e assuntos de propriedade Intelectual da UFMG.	Responsáveis por realizar o intermédio entre a procuradoria e o CTNano/UFMG no que tange aos assuntos jurídicos e administrativos.
	Multinacional (contratante)	Setor responsável pelos assuntos jurídicos da empresa.	Responsáveis pelos assuntos de propriedade intelectual e jurídico do projeto no que tange à Vale.
Empresário/ Mediador	Indústria interessada em explorar a tecnologia (fornecedor)	Empresário e proprietário da empresa.	Interessado em produzir e fornecer a tecnologia à Vale.

APÊNDICE F – Descritivo da Proposta do Modelo

Material Suplementar – Descritivo da proposta do modelo para inclusão no portfólio do Laboratório de Metodologias de Inovação (LabMin)

Modelo adaptativo: gestão de projetos complexos com uso da nanotecnologia

LabMin

Descrição

Trata-se de um **método prescritivo** com caráter flexível/ adaptativo, capaz de apoiar a gestão de projetos complexos com uso da nanotecnologia. A proposta é resultado da incorporação das abordagens das dimensões de complexidades e do *process tracing* a um modelo *stage-gate*, para **flexibilizar o gerenciamento e apoiar os gestores na tomada de decisão**, considerando a visão em tempo real da realidade do projeto.

Problema

O insucesso dos **projetos complexos de PD&I** tem sido associado principalmente aos **desafios de gestão**, visto as imprevisibilidades e a falta de compreensão sobre as complexidades. Isso ocorre, pois, as metodologias tradicionais de gerenciamento de projetos normalmente são pouco eficientes em cenários dinâmicos e com **altos níveis de incerteza** e não aceitam a mudança como uma parte integrante do projeto.

Solução

O modelo propõe **ajudar os gestores a lidar com as complexidades** e imprevisibilidades nos projetos colaborativos de PD&I no campo da nanotecnologia. Ele fornece a **visão da realidade do projeto** a partir do **mapa de eventos** com as dimensões das complexidades, construído em tempo real, mediante a **evolução temporal**. O mapa apoia a tomada de decisão e permite identificar e realizar adequações no plano do projeto.

Benefícios principais

- Permite identificar, compreender e gerenciar em tempo real, as **complexidades em dimensões**, a nível do projeto;
- Confere uma **visão em tempo real, da realidade do projeto** e permite mudanças no plano do projeto.

Limitações e recomendações principais

- Necessidade de testes e ajustes para gestão de projetos complexos com uso de tecnologia disruptivas fora do campo da nanotecnologia;
- Faz-se necessário interações constantes junto aos agentes envolvidos no projeto para manter o mapa de eventos atualizado.

Métodos e ferramentas associados

O modelo prescritivo com caráter flexível permite construir um mapa de eventos em evolução temporal com as dimensões das complexidades, a nível do projeto, ao incorporar o *process tracing* e a abordagem das dimensões ao *stage-gate*.

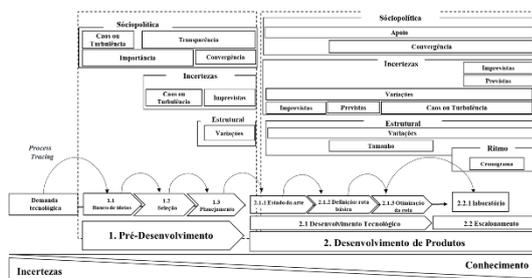
Complexidade

Compreensão	☆☆☆
Aplicação	☆☆☆
Suporte	☆☆☆

Alta

Especialistas de referência

Marcella Rocha Franco, Coordenadora de Novos Negócios – Enacom
<https://www.linkedin.com/in/marcella-rocha-franco/>

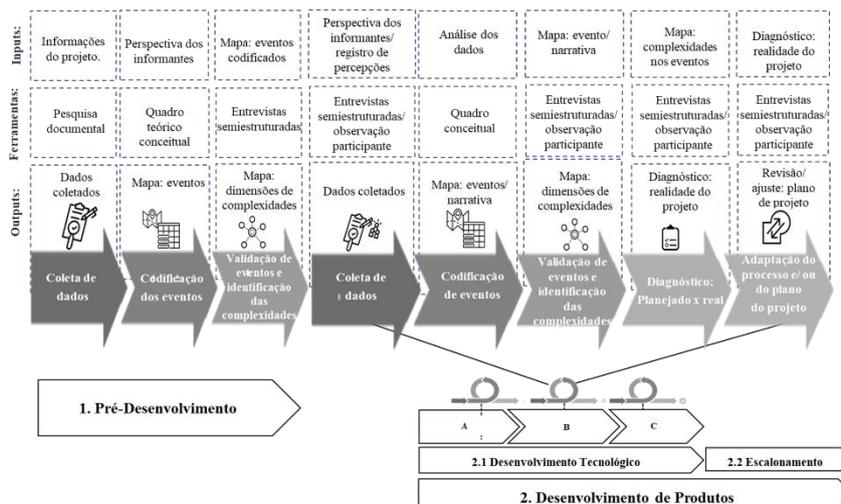


Afinidade com organizações:

- 1 (menor)
- 2 (média, adaptável)
- 3 (maior)



Representação gráfica



Proposta preliminar do modelo prescritivo e flexível/ adaptável, para auxiliar os gestores a lidarem com as complexidades em projetos de nanotecnologia.

Referências:

- Gerald, 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 & production management, (31), 966-990;
- Lerman, M. P., Mmbaga, N., & Smith, A. (2022). Tracing Ideas from Langley (1999): Exemplars, adaptations, considerations, and overlooked. Organizational Research Methods, 25(2), 285-307.