**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**

**UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

**NÍVEL MESTRADO**

**PEDRO NASCIMENTO DE LIMA**

**ROBUST DECISION MAKING (RDM) e MODELAGEM EXPLORATÓRIA (EMA): Novas Abordagens para Avaliação de Decisões Estratégicas sob Incerteza**

**SÃO LEOPOLDO**

**2017**

Pedro Nascimento de Lima

ROBUST DECISION MAKING (RDM) e MODELAGEM EXPLORATÓRIA (EMA): Novas Abordagens para Avaliação de Decisões Estratégicas sob Incerteza

Projeto de Qualificação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

São Leopoldo

2017

**LISTA DE QUADROS**

[Quadro 1 – Buscas Realizadas durante a Revisão da Literatura e Relação com Questões de Interesse 21](#_Toc479346809)

[Quadro 2 – RDM e Abordagens Relacionadas 27](#_Toc479346810)

[Quadro 3 – Características de Decisões Estratégicas 34](#_Toc479346811)

[Quadro 4 – Framework XLRM 48](#_Toc479346812)

[Quadro 5 – Scenario Ensemble 49](#_Toc479346813)

[Quadro 6 – Decisões Metodológicas em uma aplicação do RDM 66](#_Toc479346814)

[Quadro 7 – Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura 76](#_Toc479346815)

[Quadro 8 – Literatura Analisada sobre a Avaliação de Decisões Estratégicas sob Incerteza 80](#_Toc479346816)

[Quadro 9 – Shortlist de Trabalhos em RDM e EMA 83](#_Toc479346817)

[Quadro 10 – Lista de Aplicações do RDM 86](#_Toc479346818)

[Quadro 11 – Protocolo da Pesquisa 89](#_Toc479346819)

[Quadro 12 – Equações para Aplicação do RDM e Fontes 91](#_Toc479346820)

[Quadro 13 – Quadro completo de Métodos Relacionados ao RDM 93](#_Toc479346821)

**LISTA DE FIGURAS**

[Figura 1 – Previsões e Comportamento real da demanda de petróleo 8](#_Toc479347014)

[Figura 2 – Objeto de Pesquisa 13](#_Toc479347015)

[Figura 3 – Posicionamento da Contribuição desta Pesquisa 20](#_Toc479347016)

[Figura 4 – Evolução de Publicações sobre o Tema 22](#_Toc479347017)

[Figura 5 – Um Mapa de Co-Citação de Trabalhos relacionados ao RDM 23](#_Toc479347018)

[Figura 6 – 10 Autores mais Citados em RDM e Instituições 24](#_Toc479347019)

[Figura 7 – Em que Contextos o RDM foi aplicado 25](#_Toc479347020)

[Figura 8 – Uso de Ferramentas para Suporte ao Desenvolvimento da Estratégia 30](#_Toc479347021)

[Figura 9 – Estrutura do Trabalho. 32](#_Toc479347022)

[Figura 10 – Processo de Desenvolvimento da Estratégia 36](#_Toc479347023)

[Figura 11 – Níveis de Incerteza e Deep Uncertainty 38](#_Toc479347024)

[Figura 12 – Robust Decision Making 45](#_Toc479347025)

[Figura 13 – Princípios, Etapas, Técnicas e Ferramentas associadas ao RDM 47](#_Toc479347026)

[Figura 14 – Comparação de Estratégias Utilizando o Arrependimento Relativo 52](#_Toc479347027)

[Figura 15 – Visualização de Vulnerabilidades de uma Estratégia 53](#_Toc479347028)

[Figura 16 – Passos da Descoberta de Cenários 54](#_Toc479347029)

[Figura 17 – Exemplo de Cenários “Descobertos” 56](#_Toc479347030)

[Figura 18 – Curvas de Tradeoff entre Densidade e Cobertura 58](#_Toc479347031)

[Figura 19 – Cenários Obtidos com o Algoritmo PRIM 59](#_Toc479347032)

[Figura 20 – Um Cenário definido por 5 Incertezas 59](#_Toc479347033)

[Figura 21 – Curva de Tradeoffs Entre Estratégias 61](#_Toc479347034)

[Figura 22 – Arrependimento Esperado das Estratégias sobre a Curva de Tradeoff 62](#_Toc479347035)

[Figura 23 – Quando usar o RDM – Uma versão simplificada 64](#_Toc479347036)

[Figura 24 – Quando usar o RDM – Outra Alternativa 65](#_Toc479347037)

**LISTA DE SIGLAS**

|  |  |
| --- | --- |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NBR | Normas Brasileiras de Regulação |
| RDM | Robust Decision Making |
| EMA | Exploratory Modeling and Analysis |
| ESDMA | Exploratory System Dynamics Modeling and Analysis |
| SD | System Dynamics |
| PRIM | Patient Rule Indutcion Method |

**SUMÁRIO**

[1. INTRODUÇÃO 7](#_Toc479347050)

[1.1 Objeto e Questão de Pesquisa 12](#_Toc479347051)

[1.2 Objetivos 18](#_Toc479347052)

[1.2.1 Objetivo Geral 18](#_Toc479347053)

[1.2.2 Objetivos Específicos 18](#_Toc479347054)

[1.3 Justificativa 18](#_Toc479347055)

[1.4 Estrutura do Trabalho 31](#_Toc479347056)

[2. FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA 33](#_Toc479347057)

[2.1 Avaliação de Decisões Estratégicas Sob Incerteza Profunda 33](#_Toc479347058)

[2.1.1 Avaliação de Decisões Estratégias 33](#_Toc479347059)

[2.1.2 Níveis de Incerteza e Incerteza Profunda 37](#_Toc479347060)

[2.2 RDM – Robust Decision Making 39](#_Toc479347061)

[2.2.1 Elementos Analíticos 40](#_Toc479347062)

[2.2.2 Modelagem e Análise Exploratória 41](#_Toc479347063)

[2.2.3 Visão Geral das Etapas do RDM 45](#_Toc479347064)

[2.2.4 Estruturação da Decisão 48](#_Toc479347065)

[2.2.5 Geração de Casos 49](#_Toc479347066)

[2.2.6 Descoberta de Cenários para Análise de Vulnerabilidade 52](#_Toc479347067)

[2.2.7 Análise de Tradeoffs 60](#_Toc479347068)

[2.2.8 Quando usar o RDM 64](#_Toc479347069)

[3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 66](#_Toc479347070)

[3.1 Delineamento da Pesquisa 66](#_Toc479347071)

[3.2 Método de Trabalho 66](#_Toc479347072)

[3.3 Coleta de Dados 66](#_Toc479347073)

[3.4 Análise dos Dados 66](#_Toc479347074)

[4. APLICAÇÃO E AVALIAÇÂO DO RDM 67](#_Toc479347075)

[4.1 O Contexto de Aplicação 67](#_Toc479347076)

[4.2 Aplicação do RDM 67](#_Toc479347077)

[4.2.1 Estruturação da Situação: XLRM 67](#_Toc479347078)

[4.2.2 Projetando o Modelo 67](#_Toc479347079)

[4.2.3 Geração de Casos 67](#_Toc479347080)

[4.2.4 Análise de Robustez das Decisões 67](#_Toc479347081)

[4.2.5 Análise de Tradeoffs 67](#_Toc479347082)

[4.3 Avaliação da Aplicação 67](#_Toc479347083)

[4.3.1 Síntese da Avaliação 67](#_Toc479347084)

[5. CONCLUSÃO 67](#_Toc479347085)

[REFERÊNCIAS 68](#_Toc479347086)

[APÊNDICE A – Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura 76](#_Toc479347087)

[APÊNDICE B – Literatura Analisada sobre Decisões Estratégicas sob Incerteza 80](#_Toc479347088)

[APÊNDICE C – Literatura Analisada sobre RDM e EMA 83](#_Toc479347089)

[APÊNDICE D – Contextos de Aplicação do RDM 86](#_Toc479347090)

[APÊNDICE E – Protocolo da Pesquisa 89](#_Toc479347091)

[APÊNDICE F – Equações relacionadas ao RDM e Fontes 91](#_Toc479347092)

[APÊNDICE G – Quadro Completo de Métodos 93](#_Toc479347093)

# INTRODUÇÃO

#### [ Introdução – Contexto Inicial]

Como avaliar decisões estratégicas em situações de incerteza? Como tomar boas decisões quando não se conhece o futuro? O que fazer se o resultado de uma decisão no longo prazo é altamente dependente do comportamento de variáveis incontroláveis e incerta?

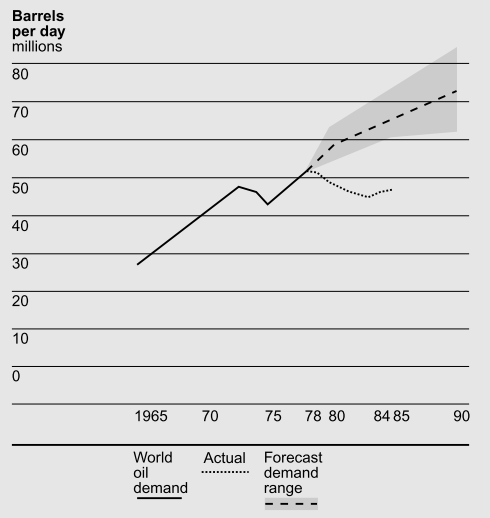
De fato, avaliar decisões estratégicas em situações de incerteza é um desafio. Incerteza pode ser definida como conhecimento limitado sobre eventos futuros, passados ou atuais. Ainda que a definição de Incerteza possa ter começado desde os gregos, uma definição na história moderna começou no trabalho seminal de Knight (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013). Nesta definição, o risco denota a parte calculável e controlável de tudo que é desconhecido. A parcela do que não é conhecido e que não é controlável é a incerteza (KNIGHT, 1921).

Decisões estratégicas são especialmente impregnadas em incerteza. A própria incerteza relacionada à uma decisão é um dos fatores que *define* o que é uma decisão estratégica. (DYSON et al., 2007). Considerando o caráter pervasivo da incerteza no ambiente estratégico, surge a questão: “Como avaliar decisões estratégicas em situações de incerteza?”. Esta seção do trabalho procura orientar esta discussão sustentando que: (i) Considerar a Incerteza adequadamente para a avaliação de decisões estratégicas é essencial; (ii) A literatura atual estratégia possui um amplo arsenal de ferramentas para suporte à decisão estratégica, porém; (iii) Devido à fragilidade das abordagens atuais em situações de incerteza profunda, um grupo emergente de abordagens formou-se nas últimas duas décadas no contexto da avaliação de políticas públicas. Em seguida, a próxima seção introduzirá o problema de pesquisa tratado por esta dissertação.

#### [Considerar a Incerteza no Processo de Planejamento Estratégico é Vital para a Tomada de Decisão]

É um consenso estabelecido que considerar a incerteza de modo inapropriado na avaliação de decisões estratégicas pode ter resultados catastróficos para as empresas. No entanto, frequentemente empresas e governos subestimam o impacto de incertezas em momentos de crise ou transição. Um exemplo foi a crise do petróleo. Previsões realizadas em 1973 até o início de 1974 não visualizaram incialmente a agressiva queda de demanda de petróleo, e em seguida interpretaram incorretamente a severa recessão que viria após tal evento. (WACK, 1985). Como mostra a Figura 1, esta situação demonstra que a demanda real de petróleo em uma situação de crise posicionou-se fora dos limites de previsão estimados. Considerando este contexto, utilizar previsões para a tomada de decisão que afetam o longo prazo em situações de incerteza, pode levar a decisões equivocadas. (WACK, 1985).

Figura 1 – Previsões e Comportamento real da demanda de petróleo



Fonte: (WACK, 1985, p. 75)

Outro exemplo conhecido e paradoxal é o caso da Kodak. Em um artigo publicado na *Harvard Business Review* em 1997, o investimento anual da Kodak de 500 milhões de dólares em tecnologia foi citado como uma grande aposta com o objetivo de mudar a maneira pela qual as pessoas criam, armazenam e compartilham fotos. (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997). Mais tarde, a falência da Kodak mostrou que uma tecnologia criada na própria empresa (a fotografia digital) foi capaz de destruir seu modelo de negócio no qual ela teve o monopólio. (MUI, 2012). Atualmente, a Kodak é citada como um caso de falha estratégica em reconhecer oportunidades em situações de disrupção e incerteza. Uma prova de que o desfecho trágico da Kodak poderia ter sido diferente é a trajetória da Fuji Film, a qual explorou novos negócios, levando-a a faturar mais de 20 bilhões de dólares anualmente. (ANTHONY, 2016).

#### [A literatura atual normativa em estratégia possui um amplo arsenal de ferramentas para suporte à decisão estratégica]

A importância da incerteza para a tomada de decisões estratégicas motivou diversos acadêmicos a propor abordagens procurando endereçar este problema. Abordagens quantitativas formais, como a Análise de Decisão Bayesiana (Bayesian Decision Analysis) (HILLIER; LIEBERMAN, 2010) e Opções Reais (LUEHRMAN, 1998; TRIGEORGIS; REUER, 2017) procuram endereçar este problema por meio do método padrão da pesquisa operacional, propondo a construção de modelos, e o cálculo do valor monetário esperado das opções em consideração, e a escolha da estratégia com o maior valor esperado.

Tais abordagens, no entanto, são criticadas por incentivarem decisões que são vulneráveis à caracterização de probabilidades adotadas em suas análises. (LEMPERT et al., 2006). Os métodos tradicionais de análise de decisão são projetados para identificar estratégias ótimas dependentes de uma caracterização de incerteza que obedece aos axiomas da teoria da probabilidade. Tais abordagens começam com a formulação de um modelo que representa o sistema em análise, calculando variáveis de interesse dada uma estratégia e um conjunto de distribuições de probabilidades relacionadas aos parâmetros de input do modelo. Quando existe incerteza sobre o modelo ou sobre os inputs do modelo, frequentemente são realizadas análises de sensibilidade para testar a dependência da estratégia escolhida em relação ao modelo e aos seus inputs. Tal abordagem funciona bem quando as decisões são insensíveis a incertezas relacionadas aos inputs do modelo. Quando este não é o caso, porém, a análise de decisão tradicional mostra-se inadequada para tal aplicação. Por exigir que se conheça uma distribuição de probabilidades a priori, tal abordagem tende a forçar analistas e tomadores de decisão a minimizar a incerteza de modo a facilitar previsões. (LEMPERT et al., 2006).

Questionando a utilidade e efetividade das abordagens até então existentes em situações de incerteza, uma nova vertente emergiu: As abordagens de Planejamento por Cenários. (SCHOEMAKER, 1995; WACK, 1985). Tal abordagem propunha uma nova maneira de conduzir a avaliação de inciativas estratégicas. Ao invés de procurar prever o futuro, tal abordagem propõe a avaliação de diferentes futuros plausíveis, e suas implicações para as estratégias atuais. (WACK, 1985). Tal abordagem rapidamente tornou-se popular no âmbito do planejamento estratégico, desenvolvendo diferentes vertentes de aplicação. (BRADFIELD et al., 2005). De fato, tal capilaridade é nítida ao notar-se que existem ao menos 23 diferentes variações de abordagens orientadas a cenários. (BISHOP; HINES; COLLINS, 2007).

Ainda que contribua abrindo o leque de futuros considerados em um planejamento, a metodologia de cenários apresenta fraquezas. Em primeiro lugar a escolha de qualquer pequeno número de cenários para representar um futuro complexo é inevitavelmente arbitrária. Em segundo lugar, a abordagem de cenários não provê uma forma sistemática de comparar estratégias alternativas (GROVES; LEMPERT, 2007; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

No entanto, tais fragilidades não permitem sugerir que tais abordagens são inúteis. De fato, argumentos empíricos favoráveis ao Planejamento de Cenários foram expostos, o indicando como uma forma de desestimular o viés otimista de gestores. (SCHOEMAKER, 1993). Além disto, recentemente foi experimentalmente testada a hipótese de que o Planejamento por Cenários interfere no processo decisório incentivando a escolha de decisões mais robustas, corroborando com a argumentação pela sua utilidade. (GONG et al., 2017).

#### [Devido à fragilidade das abordagens atuais em situações de incerteza profunda, um grupo emergente de abordagens formou-se nas últimas duas décadas no contexto da avaliação de políticas públicas]

Buscando superar as limitações das abordagens tradicionais quantitativas e do Planejamento por Cenários, uma série de abordagens emergiram para a tomada de decisão sob incerteza profunda. A abordagem da Modelagem Exploratória (BANKES, 1993) e especificamente a abordagem *Robust Decision Making* (RDM) (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003) foram propostos e subsequentemente desenvolvidos por diversos pesquisadores associados à RAND Corporation (GROVES; LEMPERT, 2007; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2002, 2003). Paralelamente, outras abordagens (também conhecidas como “robustness frameworks” (HERMAN et al., 2015)) emergiram nas últimas duas décadas, incluindo: (i) A Abordagem Info-Gap (BEN-HAIM, 2006); Decision Scaling (BROWN, 2011); “Many Objective Robust Decision Making” (MORDM) (KASPRZYK et al., 2013); e o “Dynamic Adaptive Policy Pathways” (DAPP) (HAASNOOT et al., 2013). Embora uma terminologia comum para estes métodos ainda não está disponível, Herman et al. (2015) evidenciam as principais semelhanças entre estas abordagens, as quais desviaram-se da abordagem baseada na Utilidade Esperada das decisões para uma abordagem “*bottom-up”*, as quais identificam situações de vulnerabilidade antes de definir probabilidades aos cenários ou variáveis.

Cabe ressaltar alguns aspectos que realçam a relevância desta “nova onda” de métodos. Assim como as “ondas” anteriormente descritas (como o planejamento de cenários) redefiniu a prática em seu contexto, pode-se argumentar que este novo conjunto de métodos também o está realizando em seu contexto. Isto pode ser notado em diversos aspectos.

Primeiramente, deve-se notar a relevância dos problemas que estas abordagens têm buscado endereçar. Algumas questões endereçadas, apenas pela abordagem RDM, incluem: “Como garantir que o Lago Mead[[1]](#footnote-1) não seque nos próximos 50 anos? ”; “Que estratégia energética Israel deve perseguir no longo prazo? ”(POPPER et al., 2009); “Em que tipos de armamento uma nação deveria investir para sua defesa? ” (LEMPERT et al., 2016); “O Congresso Americano deveria aprovar e manter o “Terrorism Risk Insurance Act (Lei de Seguridade relacionada a Ataques Terroristas)? ” (DIXON et al., 2007); “Como melhorar a Resiliência da Infraestrutura Africana (Energia e Água) às mudanças climáticas? ” (CERVIGNI et al., 2013); e “Como tornar uma cidade do Vietnam robusta contra enchentes? (LEMPERT et al., 2013)”. Estas são algumas das perguntas endereçadas por estes métodos.

Ainda, não se pode ignorar o aspecto estrutural do crescimento da adoção destes métodos. Deve ser notado que tal grupo de métodos tem o patrocínio do World Bank. Tais métodos são referenciados em *working papers* do World Bank os quais os indicam como uma nova abordagem para decisões sob incerteza profunda. (HALLEGATTE et al., 2012; KALRA et al., 2014). Além disto, deve-se mencionar a fundação de uma sociedade exclusivamente dedicada ao desenvolvimento e à disseminação destes métodos, a “Society for Decision Making Under Uncertainty”[[2]](#footnote-2).

Considerando este conjunto de fatos, considera-se evidente a relevância deste conjunto de métodos para a avaliação de decisões estratégicas sob incerteza. Consequentemente, novas perguntas surgem a partir destas constatações, como: “O que a criação deste novo conjunto de métodos implica para avaliação de decisões estratégicas sob incerteza para as organizações? Uma organização deveria buscar entender e aplicar estes métodos? A área de aplicação destes métodos estende-se para a área da estratégia empresarial? As empresas deveriam usar o RDM e os demais métodos similares? Engenheiros de Produção devem aprender o RDM ou métodos assemelhados? ”.

A seguinte seção procurará ressaltar o custo de não responder algumas destas questões, definindo o problema, questão e objeto de pesquisa deste trabalho. Em seguida serão definidos os objetivos de pesquisa e as justificativas acadêmicas e empresariais.

## Objeto e Questão de Pesquisa

Primeiramente, é necessário definir o objeto de pesquisa deste trabalho. Diferentes escolas estratégicas (MINTZBERG; AHLSTRAND; LAMPEL, 2005) propõe modelos normativos ou descritivos com o objetivo de suportar ou descrever como estratégias empresariais são formuladas e implementadas. Neste contexto, diversos conceitos divergentes foram formulados. Este trabalho focaliza sua atenção especificamente sobre o conceito de “Decisão Estratégica”.

Mintzberg e Quinn (2001) apresentam uma definição sintética:

“Decisões estratégicas são aquelas que determinam a direção geral de um empreendimento, e em última análise, sua viabilidade à luz do *previsível e do imprevisível*, assim como as *mudanças desconhecidas que possam ocorrer em seus ambientes mais importantes*. ” (MINTZBERG; QUINN, 2001, p. 21 grifo meu).

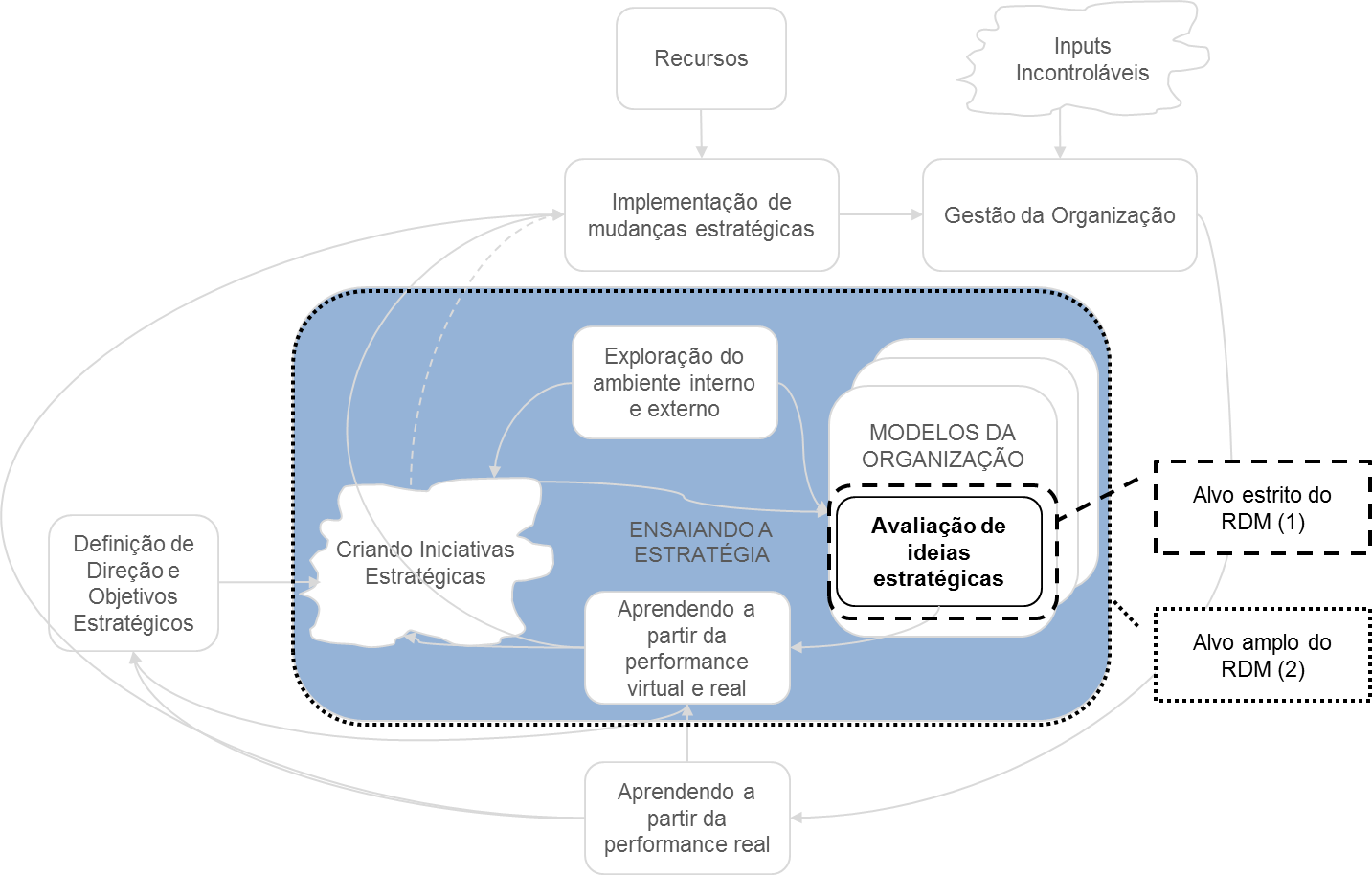
Um problema prático emerge desta definição. É possível notar que a incerteza é inerente à própria definição de decisão estratégica. Em outras palavras, por esta definição, não existe decisão estratégica que não esteja submetida ao imprevisível. Segue-se que um papel fundamental de qualquer processo que suporte decisões estratégicas será, da melhor forma disponível entender, e utilizar a incerteza para avaliar possíveis decisões estratégicas e orientar uma escolha racional.

Uma distinção necessária neste trabalho é a diferença entre a “avaliação da estratégia” da “avaliação de decisões estratégicas”. c propõe que a estratégia empresarial deve ser avaliada, literalmente testada, não apenas de acordo com sua performance passada, mas sim de acordo com as perspectivas futuras. Neste sentido, a avaliação da estratégia deve ser prospectiva, buscando atender quatro princípios gerais, a saber: (i) Consistência; (ii) Consonância; (iii) Vantagem e (iv) Viabilidade. Deve-se notar, porém, que a “avaliação da estratégia” não é o objeto de pesquisa deste trabalho.

Este trabalho trata da “avaliação de decisões estratégicas”, referindo-se à um subprocesso do processo geral de desenvolvimento da estratégia, no qual diferentes opções estratégicas são avaliadas, anteriormente e possivelmente simultaneamente à sua implementação, de modo a suportar a escolha de um conjunto de decisões estratégicas. (DYSON et al., 2007). Neste sentido, o trabalho não sugere que as abordagens acima mencionadas sejam adequadas para uma avaliação “completa” da estratégia. Ao contrário, como é possível observar nos casos de aplicação citados na seção anterior, decisões específicas são avaliadas.

Por este motivo, este trabalho focaliza sua atenção sobre a “avaliação de decisões estratégicas” e não “a avaliação geral da estratégia”. O papel da avaliação das decisões estratégicas e sua relação com o processo de desenvolvimento da estratégia é discutido por Dyson et. al (2007). A Figura 2 apresenta o processo de desenvolvimento da estratégia de Dyson et. al (2007), realçando somente a etapa que é o objeto primário desta pesquisa.

Figura 2 – Objeto de Pesquisa



Fonte: Adaptada de Dyson et. al (2007).

Uma ressalva é necessária quanto à Figura 2. Nesta imagem, Dyson et. al (2007) nomeia este processo como a “avaliação de ideias estratégicas”, sugerindo que não necessariamente a avaliação de decisões específicas deve ser realizada, mas sim de “ideias”. No entanto, em seu texto, Dyson et. al (2007) explicitamente mencionam a “avaliação de opções estratégicas utilizando modelos da organização, levando em consideração incertezas futuras”. (DYSON et al., 2007, p. 14). Por este motivo, ainda que este modelo nomeie este processo como a avaliação de “ideias” estratégicas, considera-se o modelo de Dyson et. al (2007) como adequado para representar a avaliação de decisões.

A premissa básica discutida por Dyson et al. (2007) que baseia seu modelo é a de que, se as organizações desejam ter sucesso no longo prazo, então elas devem ter um processo de desenvolvimento da estratégia efetivo. Deste modo, deve-se seguir a ideia de “testar” estratégias fora do ambiente real, ou, utilizando a metáfora de Dyson et al. (2007), deve-se “ensaiar” a estratégia antes de sua implementação. Para que este processo seja efetivo, Dyson et al. (2007) propõe uma série de requisitos, dentre eles a necessidade de uma avaliação multi-dimensional das decisões estratégicas, incorporando os riscos e incertezas envolvidas.

Neste ponto será útil recapitular os argumentos indicados anteriormente. Até então, discutimos a relevância da incerteza para as decisões estratégicas empresariais, e as iniciativas acadêmicas para propor abordagens que permitam endereçar a incerteza. Em seguida, evidenciou-se o surgimento de um novo grupo de abordagens. Esta seção, até aqui, definiu o objeto de pesquisa como a avaliação de decisões estratégicas, ressaltando a necessidade de testar o impacto destas decisões antes de sua implementação. A questão óbvia que emerge é: Se é necessário “haver um ensaio” do impacto das decisões estratégicas organizacionais, como este ensaio deve ser conduzido?

Em outras palavras, Courtney (2013) nomeia esta questão como “Decidindo como Decidir” em seu artigo na Harvard Business Review (HBR), e em um *webinar* promovido pela HBR em sequência (COURTNEY, 2014). Tais recomendações constroem-se sobre seu artigo seminal sobre incerteza, o qual delineou quatro níveis de incerteza e relacionou ferramentas consideradas adequadas para cada um destes níveis (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997), e sobre seu livro sobre o mesmo tema (COURTNEY, 2001). Também deve-se notar que Hugh Courtney foi líder na “Strategy Practice” da McKinsey & Company, onde serviu como consultor durante 9 anos. Dados estes indícios, a influência destas recomendações sobre a prática empresarial não pode ser subestimada.

Nestes contexto, Courtney (2013) argumenta que a maioria das empresas confiam demasiadamente em ferramentas simples de análise de fluxo de caixa ou de análises quantitativas simples de cenários, mesmo quando estão em situações altamente complexas e incertas. O problema é que tais ferramentas convencionais que são ensinadas em escolas de negócio funcionam muito bem se a empresa está em um ambiente estável, em um modelo de negócio bem compreendido, e com acesso a informação confiável. No entanto, tais ferramentas são muito menos úteis se a empresa está em um ambiente pouco familiar, com mudanças rápidas, lançando novos produtos ou em transição para um novo modelo de negócios. (COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013, p. 1).

Neste sentido, as empresas devem tomar a iniciativa de “ampliar sua caixa de ferramentas de decisões estratégicas entendendo que ferramentas funcionam melhor para que decisões” (COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013, p. 1). Tal recomendação é consistente com a recomendação de Dyson et. al (2007) quanto à necessidade de construir um processo de desenvolvimento estratégico que inclua a avaliação antecipada de decisões estratégicas.

Até este ponto, não se atribui nenhum problema a tais recomendações. O problema emerge ao observar-se o “conteúdo” da caixa de ferramentas sugerida. Dentre os conjuntos de ferramentas mencionadas por Courtney (2013) estão: Ferramentas Convencionais de Orçamentação; Ferramentas Quantitativas de Avaliação de Múltiplos Cenários; Análise Qualitativa de Cenários; Análise de Decisão Baseada em Casos e Ferramentas de Agregação de Informação.

Courtney (2013) indica que o conjunto de Ferramentas Quantitativas de Avaliação de Múltiplos cenários analisam as decisões “especificando completamente os possíveis *outcomes* ***e*** suas probabilidades, [...] incluindo: Métodos de Monte Carlo, Decision Analysis, e Opções Reais”. (COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013, p. 5, grifo meu). Quanto ao conjunto de Ferramentas de Análise de Cenários Qualitativos, Courtney (2013) indica que estas ferramentas informam o processo de tomada de decisão desenvolvendo um conjunto representativo de cenários qualitativos, identificando as prováveis consequências da decisão sob consideração nestes diferentes cenários. Courtney (2013) ressalta que, como estes cenários não pressupõe um conjunto completo e especificado de possíveis *outcomes*, eles são úteis em suportar a decisão em situações em altos níveis de incerteza.

Em seu texto Courtney (2013) não menciona nenhuma das novas abordagens citadas na seção anterior. Se Courtney (2013) considera este conjunto de métodos como parte das ferramentas “quantitativas de avaliação de múltiplos cenários”, sua descrição será incorreta quando indica que estas ferramentas requerem a especificação completa de possíveis *outcomes* e probabilidades. Se Courtney (2013) considera estas abordagens como parte das “ferramentas de análise qualitativas” de cenários por não requerer o input de probabilidades, também estará incorreto, visto que sua característica fundamental é a abordagem quantitativa.

Deste modo, as recomendações de Courtney (2013) não apontam para a possibilidade do uso deste novo grupo de ferramentas. Do mesmo modo Dyson et al. (2007) não incluem este novo grupo de abordagens dentre as abordagens selecionadas para suporte ao processo de decisão estratégica.

A ausência deste conjunto de métodos na literatura sobre avaliação de decisões estratégicas seria possivelmente justificável caso não houvesse demanda por um novo grupo de métodos para a abordagem de situações incertas. No entanto, sob o ponto de vista deste trabalho, este não é o caso.

Se “não faltam métodos” para a abordagem de situações de incerteza, e por isto, a “caixa de métodos” está completa, então algumas consequências são inevitáveis. Para que isto seja verdade, o investimento de 25 milhões de dólares (NSF, 2004) nos projetos de pesquisa que criaram estas ferramentas foi em vão. A hipótese alternativa a esta, sobre a qual trabalha-se aqui, é que este grupo de métodos representa um potencial ainda inexplorado. ***[talvez aqui justificar ainda mais com outros autores que encontrei – ex. Wiltbank (estratégias adaptativas vs preditivas, Erik MIT – Data Driven Decision Making). O risco é desviar o assunto]***

Outro motivo, mais provável, para a omissão em relação ao RDM é o simples fato de que estas abordagens ainda não foram *testadas* no contexto empresarial. Esta asserção é suportada pelas evidências atuais, como será demonstrado na seção 1.3.1.

O RDM (Robust Decision Making) foi apresentado como uma abordagem inovadora para a tomada de decisão em situações de incerteza extrema (traduzido originalmente de *deep uncertainty*). (GROVES; LEMPERT, 2007; LEMPERT et al., 2006; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003; WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013). Esta abordagem é particularmente orientada para situações nas quais existe um problema de decisão profundamente incerto, com uma lista rica de possíveis decisões e informação suficiente para construir um ou mais modelos computacionais que representem esta situação. Desta maneira, usando restrições conhecidas sobre o futuro, é possível descobrir estratégias robustas em um amplo range de incertezas. (LEMPERT et al., 2006).

Apesar da relevância potencial do RDM para a tomada de decisões que impactam no longo prazo em situações de incerteza, e do potencial generalização do RDM para outros contextos (LEMPERT et al., 2006, p. 527), a sua aplicação em contextos fora da área de políticas públicas é virtualmente inexistente. Uma exceção à esta regra inclui um relato de seis páginas da aplicação do método na Volvo em um livro que trata sobre Governos de Alta Performance (LEMPERT; POPPER, 2005, p. 124). Outras exceções são encontradas em aplicações da modelagem exploratória, como uma demonstração relacionada ao planejamento de um aeroporto (KWAKKEL; PRUYT, 2013). Ainda assim, tais descrições sugerem a aplicabilidade da Modelagem Exploratória em geral, carecendo de uma análise em relação ao RDM. Em todo caso, não conhecer o potencial do RDM para o contexto de negócios tem em si um custo de oportunidade, o qual foi discutido anteriormente.

O problema de pesquisa, portanto, reside na seguinte situação: Por mais que haja demanda por parte das organizações por um processo de avaliação de decisões estratégicas efetivo que considere ricamente a incerteza, e que haja um novo grupo emergente de métodos que se propõe como solução para alguns destes problemas, o potencial deste novo grupo de abordagens para ambientes empresariais permanece desconhecido. Além disto, a literatura atual que recomenda métodos para a avaliação de decisões estratégicas continua ignorando este grupo de métodos, mesmo após mais de 10 anos de sua proposição.

Pressupondo que o papel da pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão não se limita a entender o mundo como o mesmo se apresenta, mas também propor e desenvolver artefatos de caráter prescritivo (DRESCH et al., 2015), a seguinte questão de pesquisa emerge naturalmente deste contexto:

**[Daniel, estou colocando aqui alternativas para discutirmos o que é mais adequado]**:

Versão 1: “Como suportar a tomada de decisões estratégicas de empresas de longo prazo em situações de incerteza? ”.

Versão 2: “Qual é o valor do RDM para decisões Estratégicas em Situações de Incerteza? ”

Versão 3: “O RDM é uma abordagem útil para a avaliação de decisões estratégicas no contexto dos negócios, ou deve ficar confinada ao contexto das políticas públicas? ”

Versão 4: “Um MBA em Negócios/Engenharia de Produção deveria ou não ensinar o RDM? ”

Versão 5: “O RDM deveria ou não ser “exaptado” para a Avaliação de Decisões Estratégicas Empresariais? ”

## Objetivos

Estão descritos nesta seção o objetivo geral (1.2.1) e específicos (1.2.2) deste trabalho.

### Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a robustez de decisões estratégicas em uma empresa do utilizando a abordagem RDM. (Ou, o objetivo deste trabalho é avaliar se o artefato RDM é adequado para Avaliação de Decisões Estratégicas organizacionais por meio de uma instanciação?).

### Objetivos Específicos

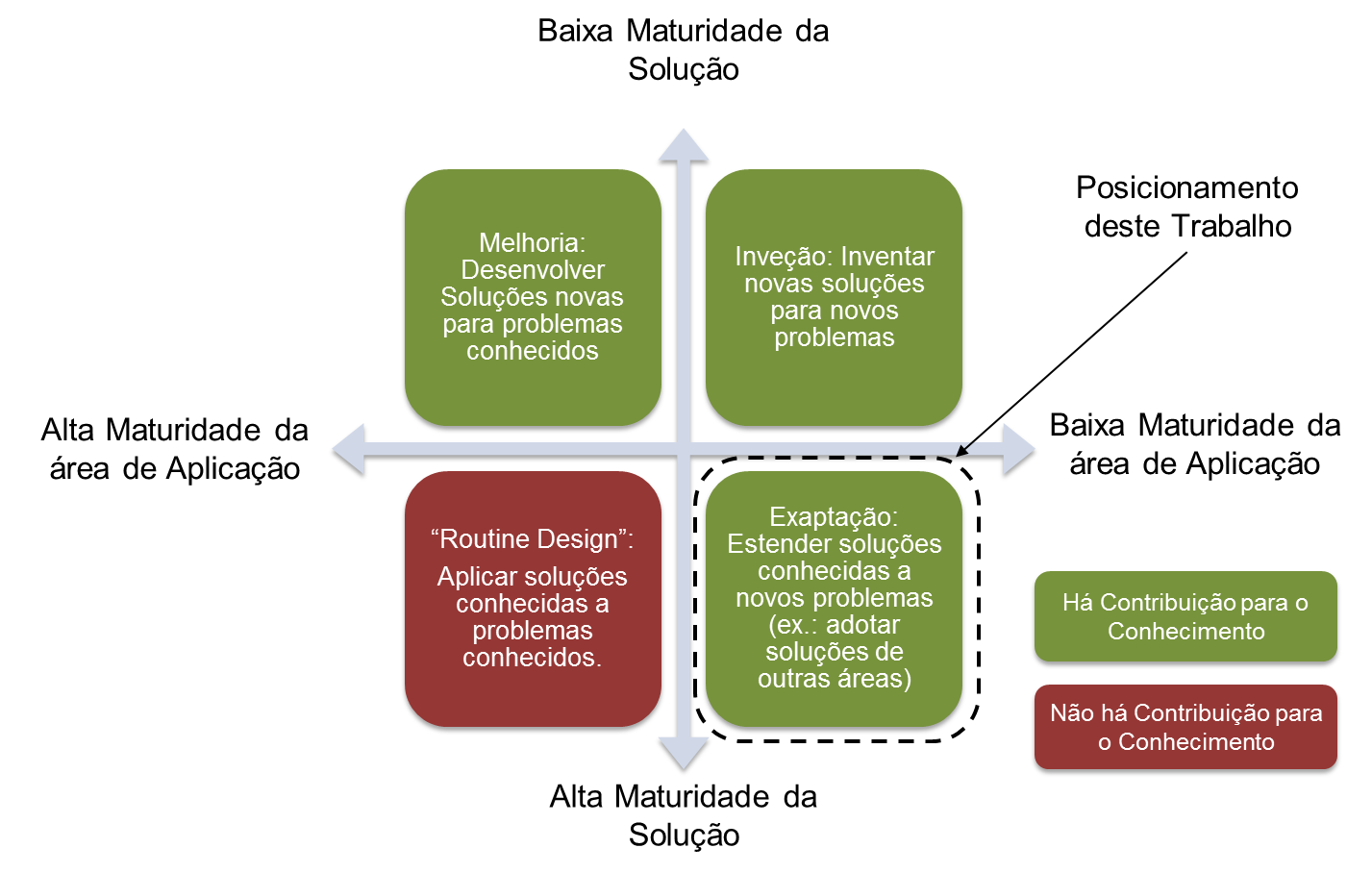
1. identificar incertezas, estratégias e objetivos da empresa X;
2. projetar um modelo para a geração e análise dos casos;
3. gerar casos para a avaliação das estratégias propostas pela empresa;
4. identificar cenários nos quais as estratégias da empresa tem performance ruim;
5. analisar tradeoffs existentes entre as estratégias identificadas para a empresa;
6. avaliar a aplicação do método RDM.

## Justificativa

A contribuição deste trabalho para o corpo de conhecimento atual pode ser compreendida por meio do framework de contribuição para o conhecimento em Design Science proposto por Gregor e Hevner (2013). Segundo este framework há três maneiras possíveis de contribuição ao conhecimento, considerando a maturidade do campo de aplicação e a maturidade da solução: Invenção (Novas Soluções para Novos Problemas), Melhoria (Novas Soluções para Problemas Conhecidos) e Exaptação (Soluções conhecidas estendidas a novos problemas). Conforme ilustra a Figura 3, este trabalho posiciona-se como uma “exaptação”, visto que busca estender soluções existentes a uma nova área de aplicação. O restante desta seção tratará de sintetizar as evidências coletadas em uma revisão sistemática da literatura, as quais sustentam esta afirmação.

O propósito desta revisão foi responder a cinco questões-chave: (i) o que é o RDM; (ii) qual é / como se configura o interesse acadêmico a respeito do RDM; (iii) em que contextos o RDM foi aplicado; (iv) que artefatos foram comparados ao RDM; e (v) que artefatos a literatura em estratégia empresarial sugere para a avaliação de decisões estratégicas. Com o objetivo de gerar subsídios para responder a estas questões, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura, conforme os procedimentos sugeridos por Morandi e Camargo (2015). Além disso, foram utilizadas técnicas bibliométricas para sintetizar informações a partir do padrão de citações destes trabalhos. O Apêndice I contém o protocolo de pesquisa utilizado para esta revisão, no qual constam detalhes sobre as decisões tomadas, critérios de busca, e outras informações relevantes para a replicação da revisão.

Figura 3 – Posicionamento da Contribuição desta Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Gregor e Hevner (2013, p. 345)

Com o objetivo de identificar os trabalhos mais relevantes para o trabalho atual, foi adotado como critério a seleção de trabalhos que tratam do método RDM – Robust Decision Making, visto a existência de outras abordagens similares à esta (DITTRICH; WREFORD; MORAN, 2016; WALKER; HAASNOOT; KWAKKEL, 2013). Dentre tais trabalhos que de fato tratam do RDM, foram selecionados os trabalhos seminais bem como aplicações completas do RDM. Foram selecionados para leitura completa os trabalhos que aparentavam responder ao menos uma das perguntas indicadas anteriormente.

.

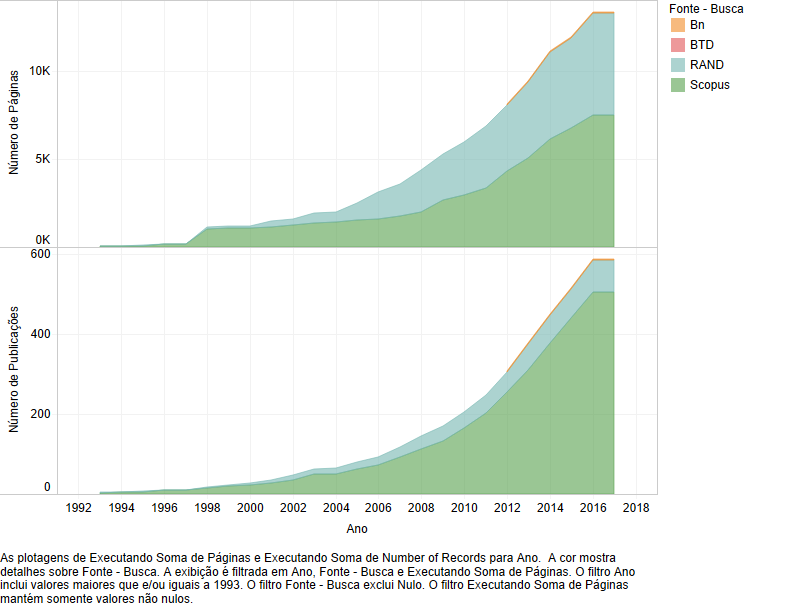
Quadro 1 – Buscas Realizadas durante a Revisão da Literatura e Relação com Questões de Interesse

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Questão** | **Fonte** | **String de Busca** | **Resultados** | **Duplicados** | **Títulos** | **Abstract** | **Selecionados** |
| iii | Banco de Teses e Dissertações CAPES | "Robust Decision Making" | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| iii | "Exploratory Modeling" | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| iii | "Scenario Discovery" | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| i-iv | Scopus | "Exploratory Modeling" OR "Robust Decision Making" OR "Scenario Discovery" | 512 | 7 | 505 | 25 | 3 |
| i-iv | RAND RDMLab | Todo o Conteúdo | 88 | 18 | 70 | 85 | 17 |
| v | Scopus | TITLE ( "strategy under uncertainty" ) | 46 | 1 | 45 | 3 | 2 |
| v | TITLE ( "strategic development" OR "strategy process" OR "strategic planning" OR "strategic decision" OR "strategic options evaluation" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "tools" OR "method\*" OR "approach" OR "methodology" OR "technique" ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re " ) ) | 128 | 1 | 127 | 17 | 0 |
| v | TITLE-ABS-KEY("strategic decision evaluation") AND TITLE-ABS-KEY ( "tools" OR "method\*" OR "approach" OR "methodology" OR "technique") | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| v | Trabalhos que Citam o artigo "Strategy Under Uncertainty". | 253 | 0 | 253 | 1 | 1 |
| v | Trabalhos que citam o "What to do next? The case for non-predictive strategy" | 149 | 0 | 149 | 0 | 0 |
| v | Trabalhos de O'Brien, Frances A. (autora da revisão mais recentes sobre técnicas utilizadas para suporte à estratégia) | 15 | 0 | 15 | 6 | 4 |
| v | Trabalhos de Courtney, Hugh G. (autora da revisão mais recentes sobre técnicas utilizadas para suporte à estratégia) | 6 | 0 | 6 | 4 | 3 |
| i-v | Bola de Neve | Artigos citados pelos demais artigos. | 10 | 1 | 9 | 8 | 8 |
| Total | | | 1213 | 28 | 1185 | 154 | 40 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira questão será detalhadamente tratada na seção 2.2. No entanto, ressalta-se que respondê-la foi o passo inicial da etapa de conscientização desta pesquisa. Quanto a segunda questão, o recente interesse pelo tema em questão (métodos para decisão em situações de incerteza profunda) (HALL et al., 2012) é evidenciado na Figura 4. Esta figura apresenta a evolução do número de páginas em trabalhos publicados relacionados à EMA ou ao RDM, retornados pela busca realizada na literatura. Tal gráfico começa em 1993 com o trabalho seminal de Bankes (1993), e até o ano 2006 cresce timidamente. A partir de 2006, o crescimento das publicações se intensifica visivelmente após as primeiras publicações que formalizaram o método RDM (GROVES; LEMPERT, 2007; LEMPERT et al., 2006). A partir de então, outras publicações começaram a utilizar tais termos e a adoção de métodos relacionados à Análise Exploratória e ao RDM começou a crescer exponencialmente.

Figura 4 – Evolução de Publicações sobre o Tema

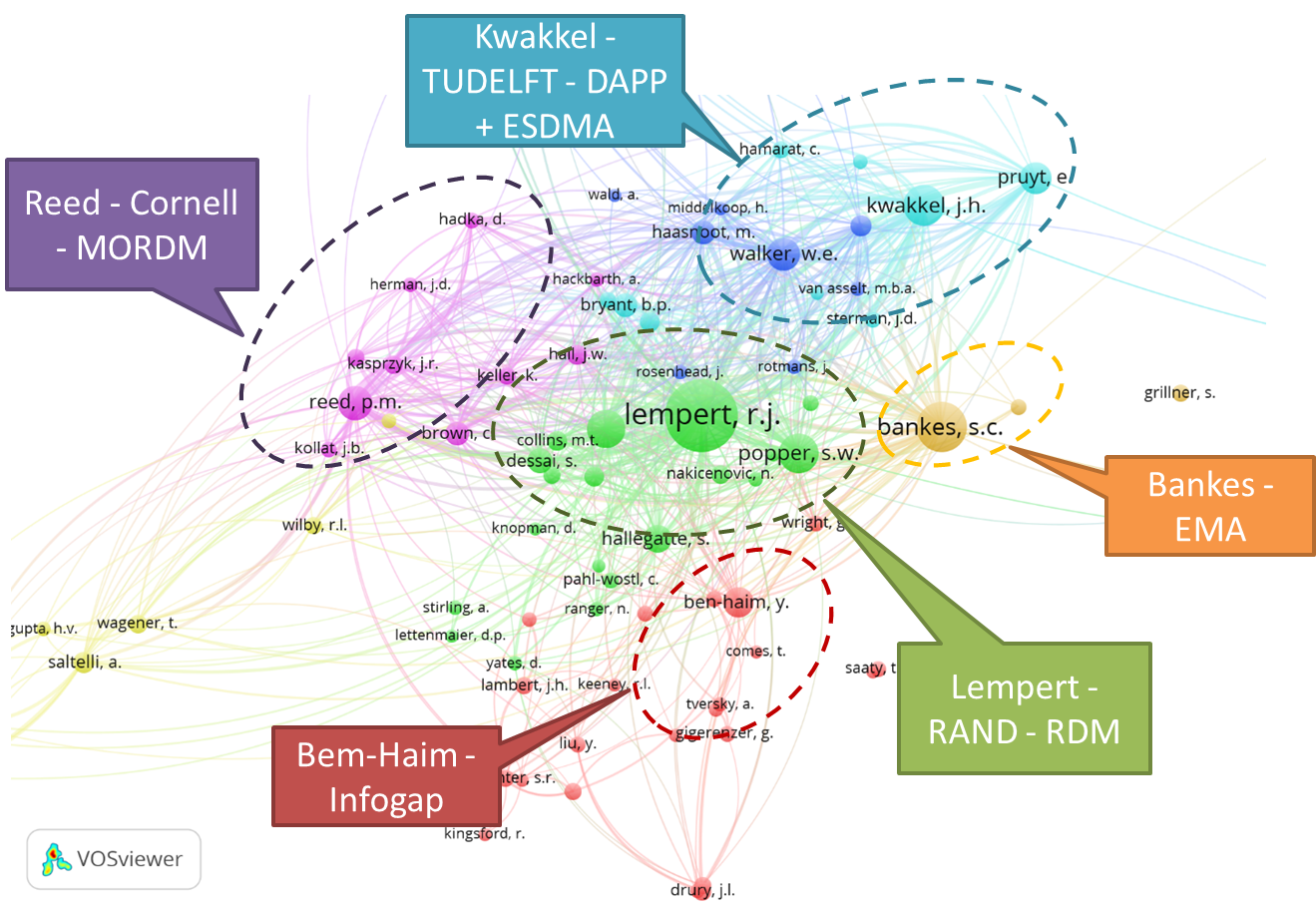


Fonte: Elaborado Pelo Autor.

Este crescimento no interesse pelo tema pode ser melhor compreendido ao observar a fundação de um programa do NSF (Fundação Nacional de Ciência Americana) que investiu 24 milhões de dólares em centros de pesquisa para a tomada de decisão sob incerteza. (NSF, 2004). De fato, a produção de conhecimento relacionado ao RDM foi financiada por este programa de pesquisa. (RAND, 2012).

Para responder à questão “como se configura o interesse acadêmico” sobre o tema, uma análise bibliométrica de Co-Citação foi realizada sobre os resultados da busca realizada na base Scopus. Tal técnica é adequada para a identificação de autores influentes em uma determinada, analisando as referências contidas em cada um dos trabalhos selecionados. (ZUPIC; CATER, 2014). Dentre os 26801 autores identificados pelo software VOSViewer (VAN ECK; WALTMAN, 2010), foram selecionados aqueles que foram referenciados mais de 20 vezes dentre os 512 trabalhos selecionados. Com estes parâmetros foi produzido o mapa exibido na Figura 5 e o gráfico exibido na Figura 6.

Figura 5 – Um Mapa de Co-Citação de Trabalhos relacionados ao RDM

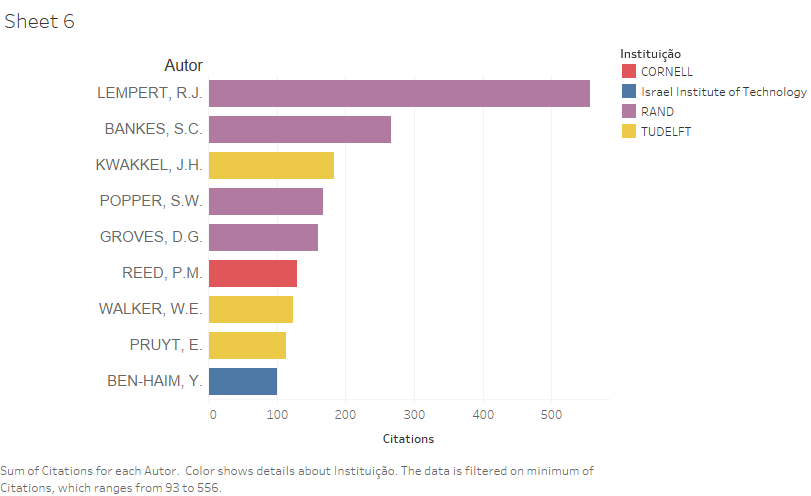


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A análise do mapa de Co-Citação e a contagem de citações dos autores forneceram algumas informações importantes para esta pesquisa. Primeiramente, o mapa evidenciou que o trabalho produzido por Robert J. Lempert e outros pesquisadores associados à RAND literalmente “mediam” a pesquisa nesta área, e devem ser primariamente considerados.

Não obstante, outros autores não notados inicialmente merecem destaque. Deve-se notar, por exemplo, o trabalho realizado por Kwakkel e Pruyt (2013) relacionado à integração entre a abordagem de modelagem exploratória e a dinâmica de sistemas, e a construção do EMA Workbench, uma biblioteca escrita em python que implementa algoritmos úteis para análises exploratórias (KWAKKEL, 2013). Um segundo cluster identificado relaciona-se aos trabalhos de Patrick M. Reed relacionados à integração de algoritmos MOEAS (Many Objective Evolutionary Algorithms) à abordagem RDM, formando o MORDM (Many Objective Robust Decision Making) (KASPRZYK et al., 2013), e a construção de bibliotecas para suporte à estas análises (HADKA et al., 2015).

Figura 6 – 10 Autores mais Citados em RDM e Instituições



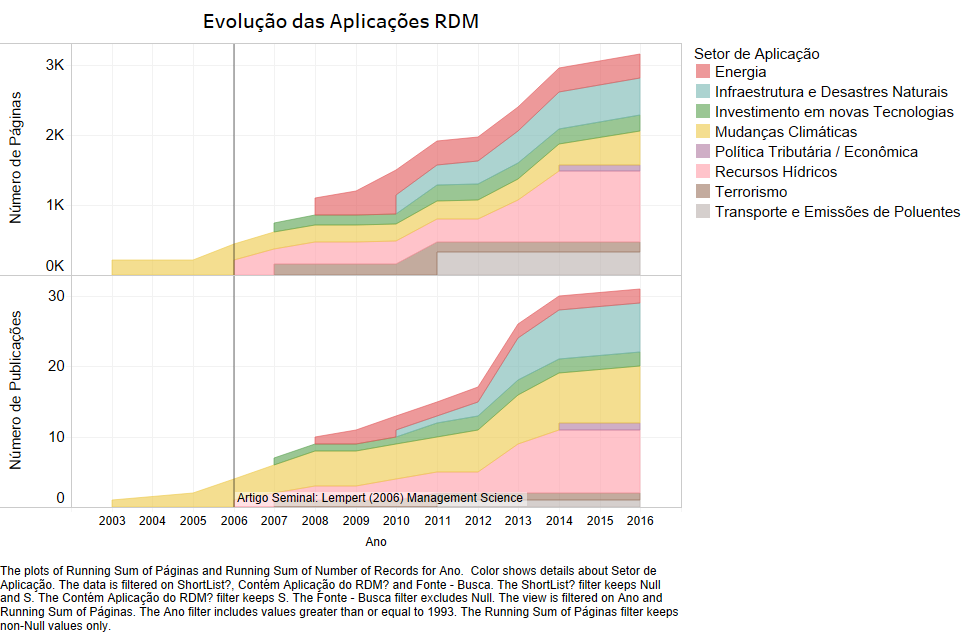
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além desses trabalhos, emerge na literatura um cluster representado por Bem-Haim devido à abordagem Info-Gap (BEN-HAIM, 2006), também voltado à avaliação de decisões sob incerteza. Ainda que não exaustivos, os indícios apresentados acima serviram como referência para a compreensão desta área de pesquisa, suportando a escolha do RDM como ponto de partida, bem como suportando a identificação de trabalhos que o relacionem com outras abordagens concorrentes.

A próxima questão de interesse trata-se da identificação dos contextos nos quais o RDM foi aplicado. Tal questão é crucial para compreender seu grau de generalização. Se o RDM é uma abordagem generalizável para diversos tipos de problemas como foi previsto inicialmente (LEMPERT et al., 2006), logo se espera que o número de contextos no qual o mesmo seja aplicado cresça ao longo do tempo.

Uma pesquisa focada nas aplicações da abordagem RDM[[3]](#footnote-3) identificou 32 documentos contendo aplicações desta abordagem, como pode ser verificado na Figura 7 (a lista identificada pode ser observada no Apêndice D). Como é possível notar, este gráfico exibe o movimento de generalização prospectado por Lempert et al. (2006). Apenas considerando o RDM, seria necessário ler mais de 3 mil páginas para estar a par de todos os casos de aplicação promovidos. Como observa-se no gráfico, as aplicações do RDM começaram pela área de Mudanças Climáticas, partindo para outros contextos como Recursos Hídricos, Investimento em Novas Tecnologias, Terrorismo, Energia, Infraestrutura e Desastres Naturais, Transporte e Emissões de Poluentes e Política Tributária / Econômica. À luz destas evidências, é insustentável afirmar que esta área de pesquisa é “incipiente”. A questão que se coloca, no entanto, é: “para quais outros contextos este artefato pode migrar? ”.

Figura 7 – Em que Contextos o RDM foi aplicado



Fonte: Elaborado Pelo Autor.

As próximas duas questões tratam de responder quais abordagens foram comparadas ao RDM e que abordagens são sugeridas pela literatura em estratégia organizacional para suporte à avaliação de decisões estratégicas. Quanto à pergunta (iv), diversas abordagens foram comparadas ao RDM. O mapeamento entre os resultados desta avaliação e os autores são exibidos nas cinco primeiras colunas do Quadro 2. Nota-se que os trabalhos seminais que propuseram o RDM o compararam às seguintes abordagens: Planejamento por Cenários, Delphi, Foresight, Decision Analysis, Simulação Computacional (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003) e à Risk Analysis (LEMPERT et al., 2006).

Lempert, Popper e Bankes (2003, p. 11–37) apresentam uma “história do pensamento sobre o futuro”, argumentando que há um rico arsenal de abordagens para o planejamento de longo prazo. No entanto, tais abordagens possuem limitações importantes para o planejamento de longo prazo. Em geral, tais limitações estão relacionadas à incapacidade de considerar adequadamente a “multiplicidade de futuros plausíveis”. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Para as abordagens baseadas em Narrativas (Planejamento por Cenários, Delphi e Foresight), tal incapacidade reside no fato de que um conjunto de narrativas sobre o futuro dificilmente representam adequadamente detalhes importantes sobre o futuro. Além disso, a escolha de qualquer pequeno número de cenários para representar um futuro altamente complexo será arbitrária. Outro ponto de fragilidade destas abordagens é a sua reticência quanto a definição de uma maneira sistemática de avaliação das decisões disponíveis. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Quanto à abordagem tradicional de simulação, sua limitação apontada está em como a análise trata os pressupostos utilizados na construção do modelo (ou seja, sua estrutura) e posteriormente em sua execução (ou seja, em seus parâmetros). O argumento central reside no fato de que o modelo é frequentemente usado para predizer o futuro, mesmo que não seja possível validá-lo. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). Tal crítica é fundamentada sobre o argumento pela “Modelagem Exploratória” (BANKES, 1993), a qual será tratada em maior profundidade no tópico 2.3.2.

Quanto às abordagens baseadas na Análise Formal de Decisão (Decision Analysis), sua principal limitação reside na necessidade de atribuição de probabilidades aos possíveis eventos relacionados à situação. Se diferentes stakeholders possuem diferentes expectativas sobre o futuro, segue-se que os stakeholders escolherão a probabilidade que melhor suporte sua posição. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Quadro 2 – RDM e Abordagens Relacionadas

| **Macro-Contexto** | **Avaliação de Decisões Estratégias / Decisões Públicas** | | | | **Suporte à Estratégia Empresarial** | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referência** | **(LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003)** | **(LEMPERT et al., 2006)** | **(HALLEGATTE et al., 2012)** | **(HERMAN et al., 2015)** | **(COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997)** | **(DYSON et al., 2007)** | **(COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013)** | **(O’BRIEN, 2011)** |
| **Contexto Delimitado pelo Trabalho** | Long Term Policy Analysis | Decision Making Under Deep Uncertainty | Investment Decision Making Under Climate Uncertainty | Water Systems Planning under Change | Business Strategy Under Uncertainty | Strategic Development Process | Business Strategy Under Uncertainty | Supporting the Strategy Process\*\* |
| Scenario Planning | x | x |  |  | x | X | x | x |
| Delphi | x |  |  |  |  |  | x | x |
| Foresight | x |  |  |  |  |  |  |  |
| Decision Analysis | x | x |  |  | x | X |  | x |
| Computer Simulation | x |  |  |  |  |  | \* | x |
| Robust Decision Making | x | x | x | x |  |  |  |  |
| Risk Analysis |  | x |  |  |  | X |  | x |
| Info-Gap |  |  |  | x |  |  |  |  |
| Cost Benefit Analysis (CBA) |  |  | x |  |  |  |  | x |
| CBA Under Uncertainty |  |  | x |  |  |  |  | x |
| Real Options |  |  | x |  | x | x | x | x |
| Climate Informed Decision Analysis |  |  | x |  |  |  |  |  |
| MORDM |  |  |  | x |  |  |  |  |
| Decision Scaling |  |  |  | x |  |  |  |  |
| Robust Optimization |  |  |  | x |  |  |  | \* |
| "Traditional Strategy Toolkit" |  |  |  |  |  |  |  | \* |
| Game Theory |  |  |  |  | x |  |  | x |
| Technology Forecasting |  |  |  |  | x |  |  |  |
| System Dynamics Modeling |  |  |  |  | x | x |  | x |
| Agent-Based Modeling |  |  |  |  | x | x |  | x |
| Latent-demand Research |  |  |  |  | x |  |  |  |
| Conventional Capital-Budgeting |  |  |  |  |  | \* | x | \* |
| Monte Carlo Methods |  |  |  |  |  |  | x | \* |
| Case-based Decision Analysis |  |  |  |  | x |  | x |  |
| Prediction Markets |  |  |  |  |  |  | x |  |
| Incentivized Estimate Approaches |  |  |  |  |  |  | x |  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Outros autores posteriormente compararam o RDM a outras abordagens, porém apresentam poucas contribuições específicas. Hallegatte et al. (2012) compara o RDM a outras abordagens utilizadas para avaliar decisões investimento sob incerteza climática. As críticas e limitações das abordagens Cost Benefit Analysis e Opções Reais de Hallegatte (2012) são similares às críticas anteriormente discutidas relacionadas à análise formal de decisão, visto que tais abordagens compartilham o pressuposto de conhecimento sobre probabilidades. Herman et al. (2015), porém, realiza uma síntese das abordagens similares ao RDM (“robustness frameworks”) ressaltando as diferenças metodológicas entre as abordagens. Nesta comparação, visto que as abordagens são similares, o objetivo é identificar as implicações destas diferenças. Outros trabalhos foram omitidos desta tabela (HALL et al., 2012; KALRA et al., 2014; KASPRZYK et al., 2013; LEMPERT, 2013) por não acrescentarem novas abordagens. O Apêndice G contém o quadro completo.

Considerando o interesse acadêmico demonstrado a respeito do RDM, os contextos nos quais o RDM foi aplicado, os artefatos aos quais ele foi comparado, resta a questão: A literatura em estratégia está “em dia” com estes novos desenvolvimentos?

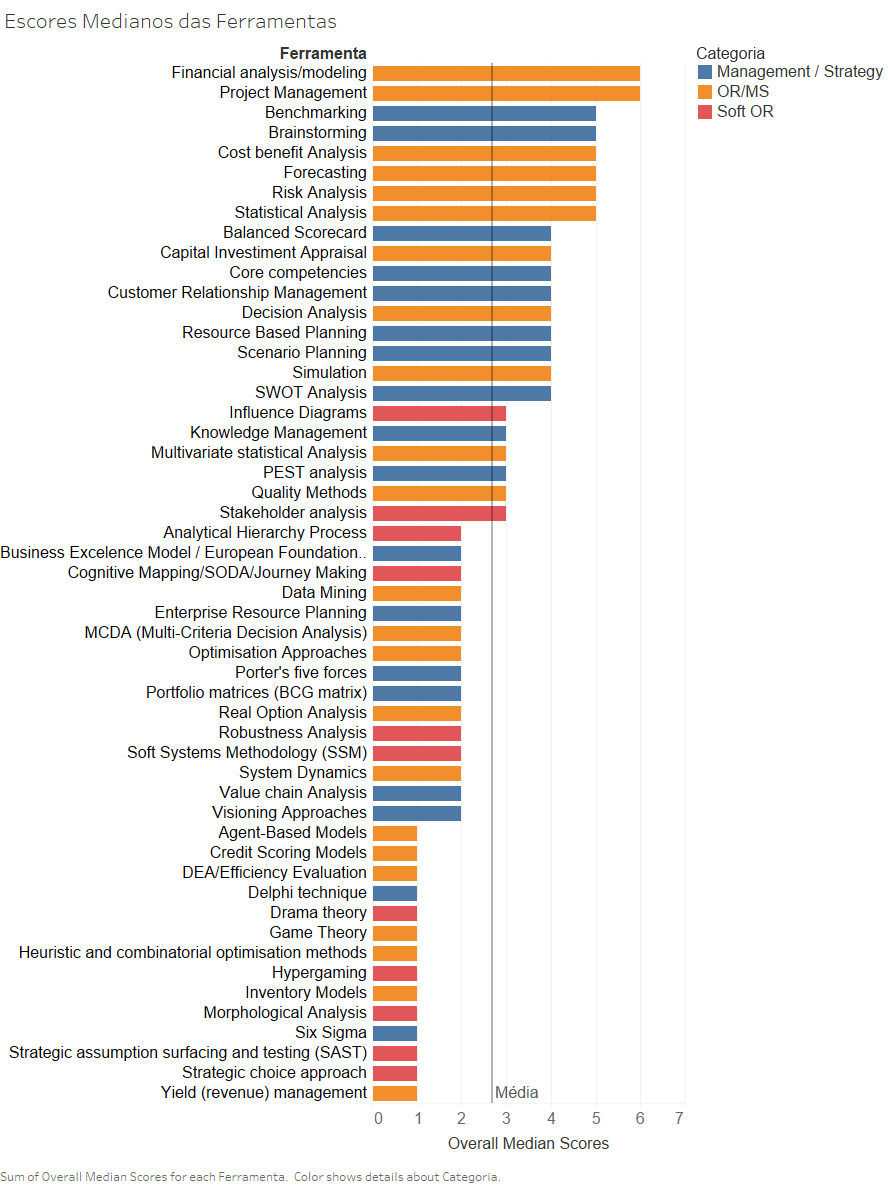
Como indicado no Quadro 2, os trabalhos localizados que recomendam explicitamente abordagens para suporte a estratégia (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997; COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013; DYSON et al., 2007; O’BRIEN, 2011) não mencionamo RDM, nem as abordagens relacionadas a ele. Considerando as datas de publicação dos primeiros trabalhos (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997; DYSON et al., 2007), ainda seria plausível sua omissão devido à recente proposição deste conjunto de métodos. No entanto, tais trabalhos citam as mesmas abordagens criticadas pelo RDM, aproximadamente 20 anos após o início da discussão relacionada à Modelagem Exploratória (BANKES, 1993). Ao desconsiderar o desenvolvimento destes novos artefatos, a literatura em estratégia empresarial ignora a oportunidade de explorar a contribuição destes artefatos para a avaliação de decisões estratégicas. Esta é precisamente a limitação existente no conhecimento em avaliação de decisões estratégicas em negócios que este trabalho procura endereçar aplicando e avaliando a aplicação do RDM em um ambiente de negócios.

**[Dúvida: Inserir aqui a parte da literatura que trata de suporte à estratégia com modelagem, mas não menciona o RDM Ex (Morecroft, Schoemaker, etc.) e os que falam em “Estratégias Adaptativas” sem dizer como avaliar? ]**

Em termos práticos, a superação destas restrições relacionadas à falta de conhecimento tem o potencial de elevar a qualidade das decisões das empresas que a usarem. Uma survey conduzida junto a associados da Sociedade de Pesquisa Operacional inglesa identificou as ferramentas mais utilizadas para o suporte à estratégia, corroborando esta proposição. (O’BRIEN, 2011). A Figura 8 sintetiza os resultados da pesquisa de O’Brien (2011), a qual categorizou ferramentas para suporte a estratégia em três grupos: Ferramentas “Gerenciais / Estratégicas” (Grupo Management/Strategy); ferramentas da Pesquisa Operacional (OR/MS), e ferramentas da Pesquisa Operacional “Soft”, ou “Problem Structuring Methods”. Como é possível observar, mesmo que a pesquisa tenha sido realizada junto a associados da Sociedade de Pesquisa Operacional, o grupo de ferramentas que liderou os índices de utilização foram as ferramentas de Gestão/Estratégia. Em segundo lugar, pode-se observar que as ferramentas mais utilizadas são as de avaliação financeira dos projetos, seguidas de ferramentas simples. Deve-se notar que estas ferramentas são baseadas no paradigma “Predizer e Agir”, susceptíveis às limitações indicadas anteriormente. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Quanto à empresa na qual o método será aplicado, este trabalho contribui por explicitar as Incertezas, Objetivos e Opções relacionadas às suas decisões estratégicas. Tais elementos serão relacionados por meio de um modelo computacional de modo a ligar possíveis decisões às suas consequências previstas. Tal nível de formulação e explicitação quantitativa das opções estratégicas da empresa é uma contribuição *per se*. Em segundo lugar, o trabalho irá explorar os impactos de incertezas críticas em relação às decisões estratégicas da empresa. Utilizando um framework de análise baseado em predições, a empresa atualmente não realiza tal tipo de análise, mantendo-se ignorante em relação ao impacto de tais incertezas em seus resultados no longo prazo. Finalmente, o trabalho busca contribuir para a tomada de decisões estratégicas nas empresas em geral, permitindo que decisões que afetam o longo prazo sejam tomadas com base quantitativa. Espera-se, portanto, que tal trabalho eleve a capacidade da empresa em questão a tomar decisões robustas, e ainda sirva como um primeiro modelo que pode ser replicado em outras circunstâncias.

Figura 8 – Uso de Ferramentas para Suporte ao Desenvolvimento da Estratégia



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados de O’Brien (2011, p. 919–920).

## Estrutura do Trabalho

A Figura 9 ilustra a Estrutura proposta para este trabalho. No capítulo 2, serão expostos os principais conceitos pertinentes para a execução deste trabalho, incluindo a Avaliação de Decisões Estratégicas, Incerteza Profunda, e o RDM.

Em seguida, serão detalhados no capítulo 3 o delineamento da pesquisa bem como o método de trabalho. Esta pesquisa utilizará como abordagem a Design Science Research (DRESCH et al., 2015), visto que o objetivo principal do trabalho é a aplicação, avaliação e possível adaptação de um método a um contexto novo.

No capítulo 4, propõe-se que os resultados do trabalho sejam particionados em três partes distintas. Na primeira parte, a aplicação do RDM será descrita, de modo a explicitar as decisões tomadas no processo de aplicação do RDM. Tal etapa contribuirá especificamente com a empresa em questão por propor uma análise da robustez de sua estratégia. Na segunda parte, a aplicação realizada será discutida, de modo a explicitar heurísticas contingenciais e construtivas (DRESCH et al., 2015) utilizadas durante o processo de formulação e aplicação do modelo em questão. Tal etapa busca explicitar conhecimentos obtidos na construção do modelo, contribuindo especificamente à academia, e à questão de “como aplicar o RDM” em um novo contexto.

Figura 9 – Estrutura do Trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalmente, a terceira parte tratará de avaliar a aplicação do RDM. Propõe-se a utilização de entrevistas semiestruturadas junto a profissionais envolvidos no processo de decisão, de modo que estes explicitem sua opinião sobre a abordagem RDM. Neste sentido, procura-se finalmente avaliar a aplicabilidade do RDM e suas limitações no novo contexto de aplicação.

Após a explicitação dos resultados da pesquisa o trabalho será concluído no capítulo 5 com a explicitação de suas contribuições, limitações e sugestões de trabalhos futuros.

# FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

Esta seção introduz o objeto de estudo desta dissertação, bem como os conceitos necessários para a aplicação do RDM. Incialmente, o conceito de “incerteza profunda” (deep uncertainty) é analisado, visto que esta é a característica das situações para as quais o método é direcionado. Em seguida, o método RDM é abordado.

## Avaliação de Decisões Estratégicas Sob Incerteza Profunda

A Avaliação de Decisões Estratégicas em organizações é o objeto de estudo deste trabalho, servindo o termo “sob incerteza profunda” (traduzido de deep uncertainty) como uma condição de delimitação. A seguinte subseção indica o que este trabalho considera como uma “decisão estratégica” e introduz um framework normativo que contextualiza este tipo de decisão dentro do “processo de desenvolvimento da estratégia”. Neste sentido, espera-se definir o contexto ao qual propõe-se que a ferramenta apresentada sirva. Em seguida, apresenta-se o conceito de “incerteza profunda” e suas origens. Tal conceito é valioso no sentido de indicar porque um novo tipo de ferramenta é necessário.

### Avaliação de Decisões Estratégias

A Avaliação de decisões estratégicas será considerada neste trabalho como parte do processo de desenvolvimento da estratégia, assim como proposto por Dyson et al. (2007), explicitado a seguir. Dyson et. al (2007) adotam o termo “desenvolvimento da estratégia” por considerar que a formulação e implementação da estratégia como atividades indissociáveis. De fato, tal visão encontra respaldo na literatura crítica em relação à escola do “Design” estratégico (MINTZBERG; AHLSTRAND; LAMPEL, 2005), a qual critica a separação da formulação e implementação de iniciativas estratégicas. Dyson et. al (2007) também evitam os termos “planejamento estratégico” pela sua associação com a criação de planos rígidos de longo prazo, e não utilizam o termo “gerenciamento estratégico” visto que o mesmo não evidencia o processo proativo e reflexivo prescrito por Dyson et. al (2007).

Decisões estratégicas são o foco do processo de desenvolvimento de estratégia, porém não devem ser entendidas como uma categoria distinta em um extremo de um espectro de decisões operacionais, táticas e estratégicas. Ao invés disto, as decisões estratégicas podem ser definidas pela presença de um conjunto de características, como indica o Quadro 3. Este conjunto inclui as seguintes características: i) Amplitude de Implicações; ii) Durabilidade e Irreversibilidade; iii) Incerteza e Delay; iv) Ausência de consenso; v) Mudança/ Ambiente Politizado (DYSON et al., 2007).

Quadro 3 – Características de Decisões Estratégicas

|  |  |
| --- | --- |
| **Característica** | **Definição** |
| Amplitude das Implicações | A decisão em questão possui implicações de larga amplitude e escopo. |
| Complexidade | O contexto da tomada de decisão é caracterizado por complexidade e alta interconectividade, demandando um tratamento integrado. |
| Durabilidade e Irreversibilidade | Os efeitos da decisão têm impacto perene, possivelmente irreversível, com baixa possibilidade aprendizagem por tentativa e erro. |
| Incerteza e Delay | Há um delay entre a decisão e seu impacto, com incerteza crescente de acordo com o tempo. |
| Não-Consenso | Não há consenso sobre a motivação e a direção da decisão |
| Ambiente de Mudança | Desafiam o Status Quo, e criam um ambiente politizado onde a mudança é contestada. |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Dyson et al. (2007).

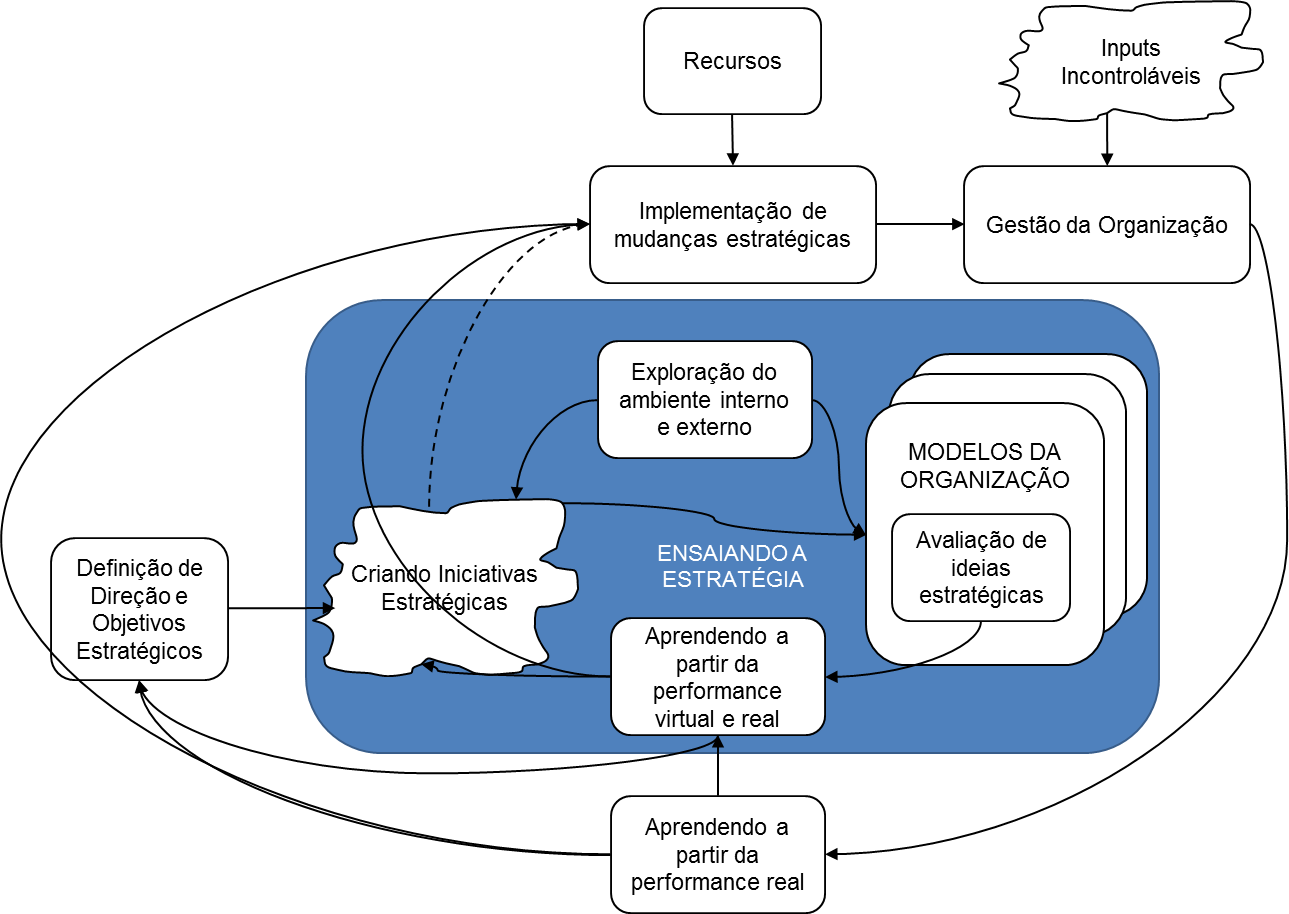
Considerando estas características das decisões estratégicas, Dyson et al (2007) concebem o processo de desenvolvimento da estratégia (Figura 10) como um conjunto de “ciclos”, ou “loops” de aprendizagem. O primeiro, e mais visível, trata-se de um loop de aprendizagem que envolve a Definição de Direção e Objetivos Estratégicos, Implementação de Mudanças Estratégicas, sujeitas aos recursos disponíveis, gestão da organização, sujeita a inputs incontroláveis, e a aprendizagem a partir da performance *real* do sistema. Neste loop, a empresa desenvolve sua estratégia aplicando seus planos ao mundo real e ajustando sua estratégia de acordo com os seus resultados. (DYSON et al., 2007).

Tal loop de aprendizagem é definitivamente necessário, porém igualmente insuficiente. Senge (1995) identifica este problema como um dilema:

“Aqui está o grande dilema que confronta as organizações: nós aprendemos melhor a partir da experiência, mas nunca diretamente experimentamos as consequências de muitas das nossas mais importantes decisões. As decisões mais críticas realizadas nas organizações têm consequências amplas que se propagam por anos ou décadas”. (SENGE et al., 1995, p. 23).

O dilema identificado por Senge (1995) implica que alterar uma estratégia apenas após a constatação de um efeito indesejável observado pode levar a organização a apenas mudar quando a mesma se encontra em um rumo irrecuperável. Por este motivo, um processo de desenvolvimento da estratégia efetivo necessita de um mecanismo de aprendizagem proativo, o qual envolverá antecipar possíveis futuros, desenvolver opções estratégicas e testar o seu possível impacto. Este processo é indicado como a caixa central da Figura 10, ou seja, o “Ensaio da Estratégia” (Strategy Rehearsal). (DYSON et al., 2007).

Figura 10 – Processo de Desenvolvimento da Estratégia



Fonte: Dyson et al. (2007, p. 12).

Considerando a necessidade de antecipação, Dyson et al. (2007) nomeiam o processo de “ensaio da estratégia” compreendendo o uso de modelos que exploram a performance futura da organização e são usados para testar e avaliar opções estratégicas alternativas. Esta performance futura “virtual” pode então ser comparada em relação à direção pretendida para a organização. Como a performance da organização também será influenciada por incertezas externas, esta avaliação necessita de uma maneira de capturar tal incerteza. A razão pela qual realizar esta avaliação reside no pressuposto de que é necessário adotar uma atitude crítica em relação às iniciativas estratégicas, de modo que, quanto melhor for o “teste” da estratégia, maior será que a sua chance de sucesso. (DYSON et al., 2007).

Dyson et al. (2007, p. 21) propõe atributos de efetividade de um processo de desenvolvimento da estratégia. Dentre estes atributos, propõe-se que a etapa de avaliação estratégica será efetiva caso não apenas realize uma avaliação financeira, mas sim comtemple uma “avaliação multidimensional incorporando risco e incerteza”. (DYSON et al., 2007, p. 21).

Esta seção apresentou conceitos e diretrizes gerais para o desenvolvimento da estratégia, indicando que este processo deve levar em consideração a incerteza inerente às decisões estratégicas. No entanto, ainda é necessária uma definição sobre o que é “incerteza”, para então poder endereçá-la de maneira adequada. Este é o papel da seção seguinte.

### Níveis de Incerteza e Incerteza Profunda

A tomada de decisão em situações de incerteza (conhecida como *Decision Making Under Deep Uncertainty*) é um tipo particular de problemas complexos (ou, *wicked problems*). (KWAKKEL; WALKER; HAASNOOT, 2016). Conforme ilustrado na

Figura 11, a incerteza pode ser caracterizada em relação ao conhecimento presumido sobre diversos aspectos de uma situação (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013): i) o contexto futuro. ii) O modelo do sistema que representa este futuro, iii) os outcomes presentes neste sistema (variáveis de resposta / resultados), e iv) os pesos que os diversos stakeholders envolvidos na situação atribuem a estes outcomes.

Uma situação de certeza completa aconteceria quando todos os aspectos de uma situação são conhecidos precisamente. Tal situação não ocorre na realidade, e apenas atua como o limite do espectro de incertezas. No outro extremo, está a ignorância completa. (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013).

O nível 1 de incerteza (um futuro claro), representa uma situação na qual admite-se que não há absoluta certeza, mas não se procura avaliar ou medir o grau de incerteza de maneira explícita. Neste nível, a incerteza normalmente é tratada por uma análise de sensibilidade simples dos parâmetros do modelo. No nível 2 de incerteza (futuros alternativos com probabilidades), estão as incertezas passíveis de descrever adequadamente em termos estatísticos. Nesta situação, a incerteza é usualmente capturada por meio de uma previsão com um intervalo de confiança, ou múltiplas previsões com probabilidades associadas. (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013). No nível 3 de incerteza (futuros alternativos ranqueados) estão as situações nas quais é possível listar futuros alternativos, e é possível ordenar tais futuros em termos de probabilidade percebida.

Figura 11 – Níveis de Incerteza e Deep Uncertainty

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Localização** | **Nível de Incerteza** | | | | | | |
| **Certeza Completa** | **Nível 1** | **Nível 2** | **Nível 3** | **Nível 4** | **Nível 5** | **Ignorância Completa** |
| **Contexto Futuro** | Um futuro claro | Futuros Alternativos com probabilidades | Futuros alternativos ranqueados | Diversos futuros plausíveis | Um futuro desconhecido |
| **Modelo** | Um único modelo determinístico | Um único modelo estocástico | Diversos modelos, um deles é o mais provável | Diversos modelos com diferentes estruturas | Modelo desconhecido; sabe-se que não se sabe |
| **Outcomes do Sistema** | Uma estimativa para cada outcome | Um intervalo de confiança para cada outcome | Diversos conjuntos de estimativas ranqueados pela sua probabilidade percebida | Um range conhecido de outcomes | Outcomes desconhecidos |
| **Pesos de Outcomes** | Um único conjunto de pesos | Diversos conjuntos de pesos, com uma probabilidade relacionada a cada um deles | Diversos conjuntos de pesos, ranqueados de acordo com a sua probabilidade percebida | Um range conhecido de pesos | Pesos desconhecidos |

Fonte: Adaptado de (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013).

No nível 4 de incerteza (diversos futuros plausíveis), é possível enumerar múltiplos futuros alternativos, porém sem ordenar tais alternativas em termos de probabilidade percebida. Isto pode ocorrer devido à falta de conhecimento e/ou concordância sobre dados sobre ou relações entre as entidades do sistema. No nível 5 de incerteza (futuro desconhecido), representa o nível mais profundo de incerteza reconhecida. Apenas se sabe que nada é conhecido. (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013).

O termo *Deep Uncertainty* refere-se aos níveis 4 e 5 destacados anteriormente (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013), e é definido como uma situação na qual analistas não sabem, ou *stakeholders* não conseguem concordar sobre: i) os modelos que descrevem as relações entre as principais relações que irão moldar o futuro, ii) as distribuições de probabilidade utilizadas para representar incertezas de variáveis chave e parâmetros destes modelos, e/ou iii) como avaliar a utilidade (traduzido de *desirability*) de diferentes *outcomes*. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. xii).

## RDM – Robust Decision Making

A RDM (Robust Decision Making) é uma abordagem quantitativa que busca endereçar o desafio de tomar decisões em condições de incerteza extrema (ou *deep* uncertainty). (LEMPERT et al., 2006; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). Embora possa ser de difícil implementação, o RDM opera sob um princípio simples. Ao invés de usar modelos computacionais e dados para descrever ou prever o futuro que mais provavelmente acontecerá, o RDM executa modelos computacionais para descobrir como estratégias se comportariam em centenas ou milhares de diferentes futuros plausíveis.(RAND, 2013). Em situações nas quais há uma quantidade extensa de possíveis estratégias, o RDM propõe-se como uma abordagem sistemática para explorar e encontrar aquelas que provavelmente serão robustas. (GROVES, 2006).

Para tanto, o RDM requer a construção de um gerador de cenários (em outras palavras, um ou mais modelos que possam calcular consequências de um conjunto de estratégias e pressupostos), e o utiliza para: i) sugerir que estratégias são mais robustas, ou seja, cuja performance é relativamente insensível às incertezas em comparação às demais estratégias; ii) identificar vulnerabilidades destas estratégias presentes, ou seja, cenários nos quais esta estratégia tem baixa performance relativa; iii) sugerir novas estratégias ou melhorias que sirvam como blindagem à estas incertezas; e iv) caracterizar os tradeoffs presentes na escolha das melhores estratégias identificadas. (LEMPERT et al., 2006).

Tal abordagem busca aliar as forças da abordagem de planejamento por cenários (como a consideração de uma ampla gama de futuros plausíveis) com as vantagens da análise quantitativa computacional (como a possibilidade de calcular os *outcomes* de um conjunto de estratégias em milhares de cenários assumindo diferentes pressupostos plausíveis). (GROVES; LEMPERT, 2007). Neste sentido, o RDM busca utilizar as capabilidades de humanos e algoritmos computacionais de maneira complementar (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003), propondo-se como uma síntese entre o uso de cenários narrativos e o uso de métodos quantitativos para tomada de decisão. (LEMPERT et al., 2006).

Uma característica do RDM que o alinha com a abordagem de cenários e o separa de outras abordagens tradicionais é o fato de que o RDM evita que stakeholders precisem atribuir probabilidades a incertezas críticas que podem moldar o futuro no início da análise. Apenas no fim da análise, o RDM propõe a apresentação da incerteza residual em relação às estratégias robustas identificadas para que os stakeholders decidam com base em seus valores e suas expectativas sobre o futuro. (GROVES, 2006).

### Elementos Analíticos

A abordagem do RDM é composta por quatro elementos principais. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). O primeiro deles é a *consideração de um grande conjunto de cenários*. Tal conjunto de cenários considera uma ampla gama de futuros plausíveis de modo a desafiar estratégias alternativas. Este aspecto é importante para absorver diferentes informações e expectativas que *stakeholders* possam ter sobre o que o futuro poderá ser. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Este elemento é executado em uma análise RDM por meio do uso da Análise Exploratória. Tal análise utiliza modelos computacionais para executar experimentos sobre como estratégias podem se comportar em uma ampla gama de futuros plausíveis. (GROVES, 2006). Uma seção específica deste trabalho discutirá o paradigma da modelagem exploratória.

O segundo elemento é a *procura de estratégias robustas ao invés de “ótimas”*. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). A robustez é um critério usualmente utilizado intuitivamente por tomadores de decisão em situações reais de incerteza. Tomadores de decisão tendem a avaliar sua decisão como ruim (ou seja, expressam arrependimento) se o seu resultado é substancialmente pior do que o resultado da sua melhor escolha possível. (GROVES, 2006).

O terceiro elemento é o *emprego de estratégias adaptativas*, as quais evoluem ao longo do tempo, para atingir robustez. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). O RDM parte da premissa de que um conjunto inicial de estratégias sob consideração não irá incluir todas as estratégias possíveis. Por este motivo, a identificação de cenários que evidenciam as vulnerabilidades das estratégias candidatas pode contribuir para a proposição de estratégias adaptativas (ou ainda, *hedging actions*), que expandam a análise considerando estratégias mais robustas. (GROVES, 2006).

Hallegatte et. al (2012, p. 16) sugerem quatro classes de estratégias que podem ser usadas para alcançar a robustez: i) Estratégias de baixo arrependimento (estratégias que funcionam bem em qualquer cenário); ii) Estratégias Reversíveis ou Flexíveis (estratégias mais flexíveis do que as demais opções); iii) Estratégias que adotam margens de segurança (estratégias que reduzem a vulnerabilidade da decisão a um baixo custo) e ; iv) Estratégias que reduzem o horizonte de tempo da decisão.

O quarto elemento é projetar a análise para a exploração interativa de diversos futuros plausíveis. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). Considerando os elementos anteriores, a abordagem RDM propõe-se como interativa (à medida que propõe a deliberação por parte dos stakeholders utilizando os outputs de suas análises) e iterativa (à medida que requer a repetição dos passos do método em ciclos de identificação e avaliação da vulnerabilidade das estratégias). (GROVES, 2006; LEMPERT et al., 2006; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

### Modelagem e Análise Exploratória

A criação do termo “modelagem exploratória”, é atribuída à discussão promovida por Bankes (1993, 1992) (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013; KWAKKEL; PRUYT, 2013), a qual distingue duas abordagens de modelagem: a “Modelagem Exploratória” a “Modelagem Consolidativa”. Bankes (1993) discute dificuldades no uso de modelos computacionais em situações onde uma validação experimental não é possível. A existência de tais situações e o desejo de utilizar modelos de simulação computacional para suportar o processo de decisão entram em conflito com a metodologia tradicional de simulação computacional. Este conflito pode ser observado no texto clássico em simulação computacional de Law e Kelton (1991):

“Um dos problemas mais difíceis quem um analista de simulação enfrenta é tentar determinar se um modelo de simulação é uma *representação precisa* do sistema real sendo estudado, ou seja, se o modelo é *válido*. Se o modelo não é válido, então qualquer conclusão derivada do modelo será de valor duvidoso”. (LAW; KELTON, 1991, p. 298, tradução livre, grifo meu).

Como argumentado anteriormente, situações de Incerteza Extrema são caracterizadas por não haver conhecimento suficiente sobre o sistema sob consideração. Portanto, não há conhecimento suficiente para construir *uma representação precisa* do sistema sob consideração. Além disso, ainda que houvesse conhecimento para tanto, Bankes (1993, 1992) ressalta que a validação *pode não ser possível*. Dado este conflito, Bankes (1993, 1992) sugere a distinção entre a abordagem de modelagem consolidativa e a abordagem exploratória.

Modelagem Consolidativa é compreendida como a consolidação de conhecimento existente sobre a realidade em um modelo e o uso deste modelo como *representação* fiel do sistema real. (BANKES, 1993). A Modelagem Consolidativa, quando aplicada em um contexto correto, pode levar a excelentes resultados. No entanto, o uso de uma abordagem consolidativa nem sempre é possível. De fato, quando a abordagem consolidativa é usada nestas situações, o resultado principal não é a melhoria no processo decisório, mas uma maior sensibilidade às fragilidades dos modelos. (BANKES, 1993).

Bankes (1993) sugere que projetos de modelagem tipicamente tornam-se atribulados quando envolvem modelos que não podem ser validados experimentalmente, porém a abordagem consolidativa é mesmo assim empregada. Nestes casos, a validação pode não ser possível porque os experimentos necessários não podem ser executados, dados históricos são inadequados, ou ainda, a teoria não é madura o suficiente para sugerir modelos capazes de realizar predições.

Bankes (1993) aponta que nestas situações os analistas responsáveis pela modelagem procuram erroneamente sustentar a validade do modelo adicionando complexidade e detalhamento ao mesmo. Tal atitude é baseada no pressuposto de que ao adicionar mais detalhes à um modelo, maior será a sua precisão. Bankes (1993) argumenta que este pressuposto é falso, visto que nenhuma quantidade de detalhes pode validar o modelo, mas apenas adiciona uma ilusão de realismo. Sem a possibilidade de uma validação experimental adequada, analistas acabam defendendo a qualidade do modelo por seu realismo e detalhamento.

Nestas situações, ao projetar um modelo sem uma estratégia analítica apropriada, os analistas permitem-se levar por um processo sem fim de adicionar mais detalhes ao modelo, porém sem um critério de parada oferecido por uma validação experimental rigorosa. (BANKES, 1993). Por estes motivos, Bankes (1993) considera o uso de um modelo consolidativo em uma situação que não permite validação experimental como “fingir fazer o que não pode ser feito”.

Bankes (1993) argumenta que avanços tecnológicos, sozinhos, não serão capazes de resolver os problemas da modelagem consolidativa. Nenhuma melhoria tecnológica pode eliminar o problema inerente à validação de modelos exploratórios. Ao mesmo tempo, abandonar o uso de modelos computacionais nestas situações pode impedir o uso de uma ferramenta potencialmente útil. (BANKES, 1993).

Em situações que são caracterizadas por conhecimento insuficiente ou por incertezas irredutíveis, os analistas que constroem o modelo precisam utilizar pressupostos sobre os detalhes e mecanismos do modelo. Mesmo que o modelo resultante não possa ser considerado uma representação fiel do sistema em análise, o modelo pode gerar experimentos computacionais que indicam como seria o comportamento do sistema em consideração se os diversos pressupostos estivessem corretos. Nestes contextos, a modelagem exploratória deve ser empregada para explorar as implicações de um conjunto diverso de pressupostos e variáveis. (BANKES, 1993).

Neste sentido, a modelagem e análise exploratória (EMA – Exploratory Modeling and Analysis) pode ser útil quando existe informação suficiente a qual pode ser explorada pela construção de modelos, porém tal informação é insuficiente para especificar *um* *único* *modelo* que precisamente descreve o comportamento do sistema sob consideração. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013). Ao invés de construir um único modelo e falsamente o tratar como uma imagem confiável do sistema sob consideração, a informação existente sobre a situação real é consistente com diversos modelos, cujas implicações para as decisões em consideração podem ser diversas. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013). Uma única simulação deste modelo não é uma previsão, mas sim é um experimento computacional que revela como o mundo seria se os diversos “chutes” (traduzido do original *guesses*) que um modelo faz sobre as incertezas estivesse correto. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013).

A EMA, portanto, envolve a representação explícita dos conjuntos de modelos plausíveis, o processo de explorar a informação contida neste conjunto por meio de um grande número de experimentos computacionais e a análise dos resultados destes experimentos. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013).

A EMA pode ser vista como uma forma de inferência realizada a partir das restrições de conhecimento que especifica um conjunto de modelos. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013). O resultado de apenas um experimento computacional é tipicamente não-informativo, apenas sugerindo a plausibilidade de um resultado. O invés disto, a EMA suporta o raciocínio e a inferência de conclusões gerais, a partir da avaliação de um conjunto de experimentos. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013).

#### [Geradores de Cenários versus Modelos]

A Análise Exploratória utiliza geralmente geradores de cenários (ou ainda, geradores de casos, ou modelos computacionais de baixa resolução) para avaliar a performance de estratégias em diversos futuros plausíveis. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). Geradores de Cenários não são utilizados para prever o futuro. Ao invés disto, eles são utilizados para representar diversas visões diferentes, porém plausíveis, do futuro. (GROVES, 2006). Geradores de Cenários (ou geradores de casos) e modelos podem ser parecidos, porém são usados para propósitos diferentes. O termo “Modelo” é usado com o pressuposto implícito de que o seu uso tem o objetivo de buscar uma representação o mais precisa possível do sistema sob consideração (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

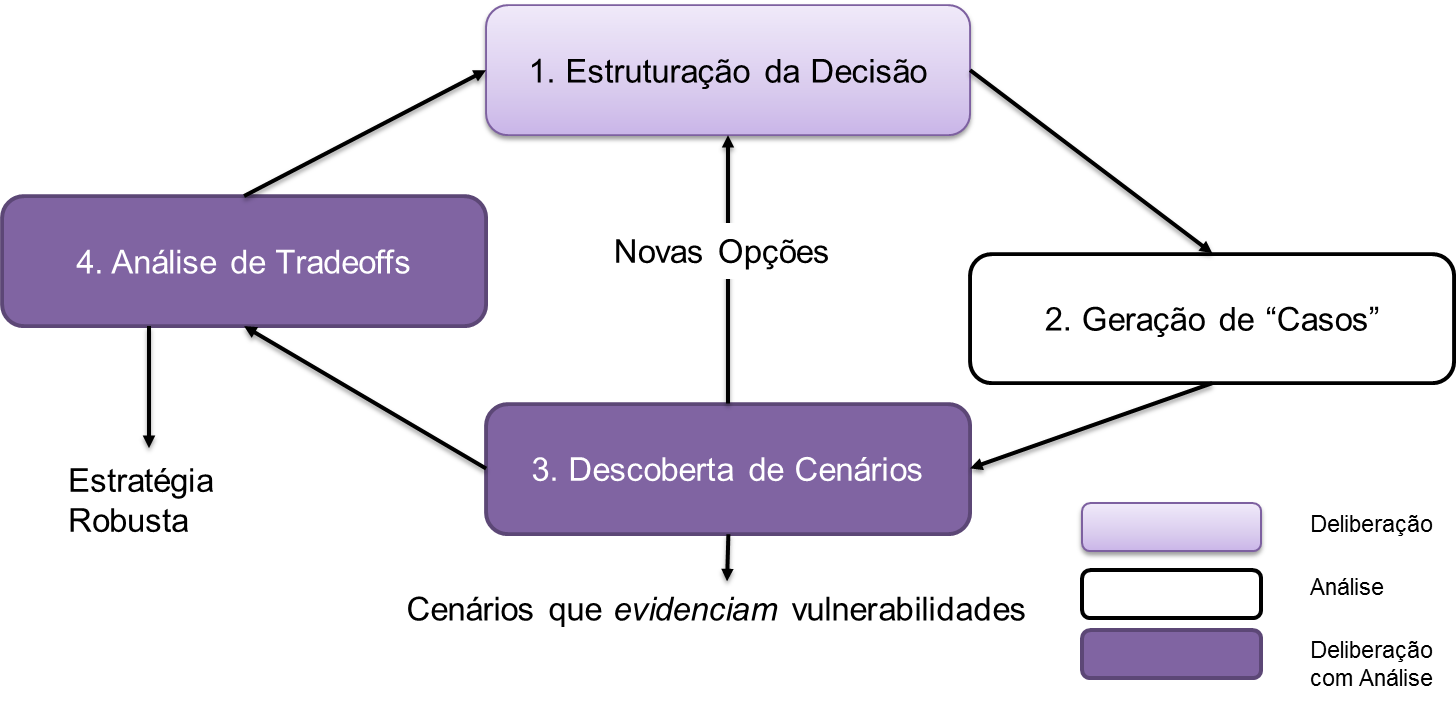
Uma diferença decisiva entre um gerador de cenários e um modelo de previsão probabilístico está em como eles endereçam a incerteza. Um modelo de previsão tipicamente atribui uma distribuição de probabilidade para todos os parâmetros desconhecidos do modelo, representando, portanto, seus resultados com uma distribuição de probabilidade. (GROVES, 2006). O grau de incerteza do modelo pode ser reduzido melhorando-se a representação do modelo em relação ao processo real, pela utilização de dados de input mais precisos, ou aumentando a resolução espacial ou temporal do modelo. No entanto, tais estratégias tendem a aumentar a complexidade destes modelos, exigindo mais tempo para gerar e interpretar seus resultados. Além disto, fatores altamente incertos, como o comportamento humano geralmente são ignorados por tais modelos, pois não há informação suficiente para que uma distribuição de probabilidade seja assumida (GROVES, 2006). Ao contrário, geradores de cenários quantificam “histórias” individuais, internamente consistentes sobre o futuro, por representar explicitamente relações entre inputs, incertezas e outputs. (GROVES, 2006).

Existem padrões estabelecidos e ferramentas estatísticas adequadas para validar modelos que tem objetivo preditivo (ex.: é possível validar um modelo que tem como objetivo simular a performance de um avião). (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). Apesar disto, não existem padrões rigorosos equivalentes amplamente aceitos para a avaliação de geradores de cenários (ex.: validação experimental). No entanto, sabe-se que tais padrões devem ser fundamentalmente diferentes daqueles empregados em modelos consolidativos. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 50). Um gerador de cenários ideal deveria apenas produzir cenários plausíveis, porém os analistas devem errar no sentido de incluir futuros potencialmente não-plausíveis, e não o inverso. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 50). Um teste da qualidade de um gerador de cenários trata-se de examinar o quão bem ele consegue replicar os resultados preditivos de um modelo mais detalhado, ou o quão bem ele pode representar um futuro arbitrário proposto por algum stakeholder. (GROVES, 2006).

### Visão Geral das Etapas do RDM

Tais elementos estão presentes nas principais etapas do método RDM (Figura 12). A Figura 13 apresenta as etapas do método, técnicas e ferramentas envolvidas no mesmo, de acordo com o framework de Mingers e Brocklesby (1997).

Figura 12 – Robust Decision Making



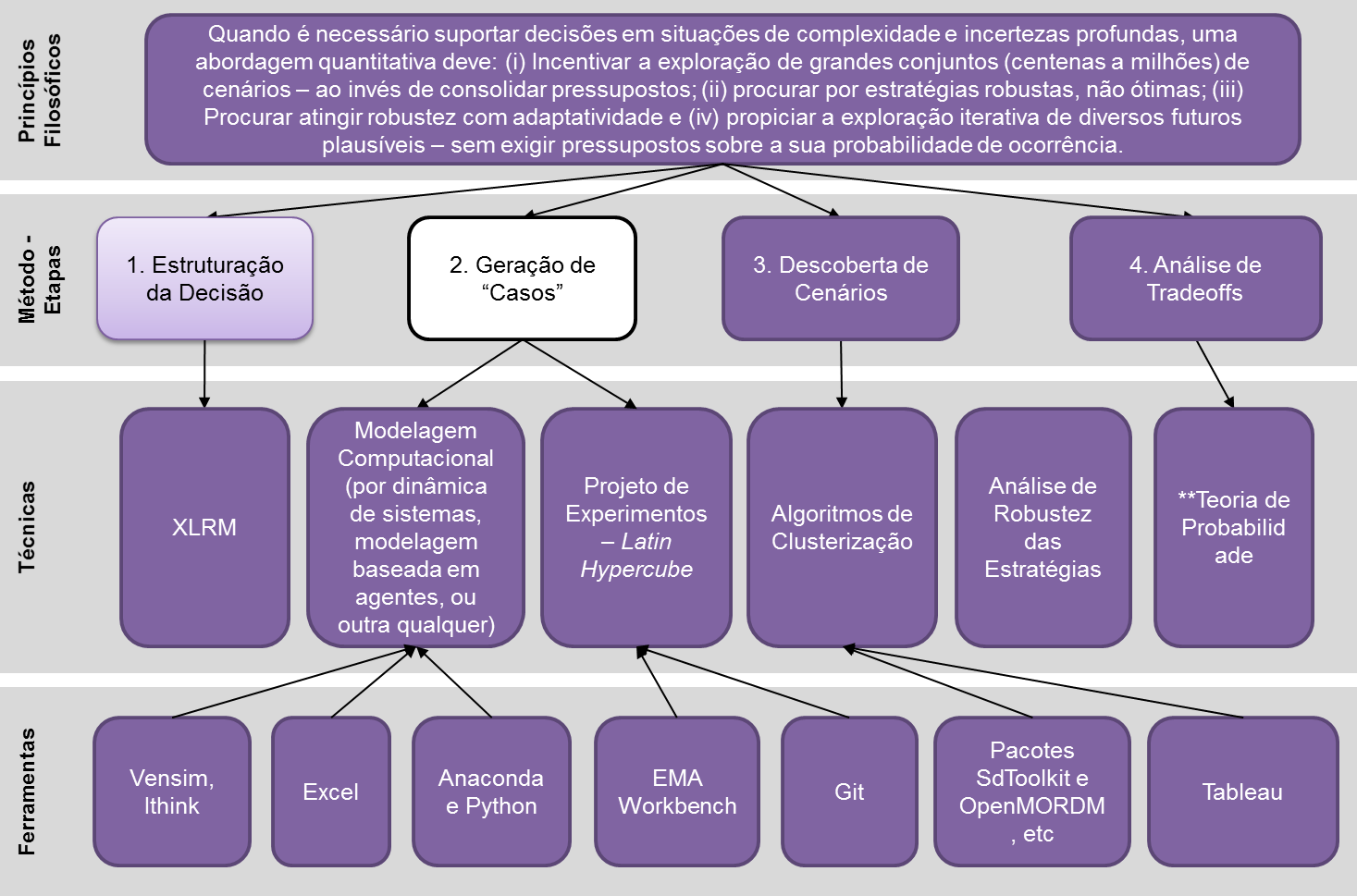
Fonte: Adaptado de (LEMPERT; GROVES; FISCHBACH, 2013, p. 4).

O processo tem início pela Estruturação da Decisão. Nesta etapa stakeholders envolvidos na situação definem em conjunto as estratégias, incertezas e objetivos a serem considerados pela análise. (RAND, 2013). A escolha dos dados a coletar é orientada pelo framework XLRM (X – Uncertainties/Incertezas, L – Levers/Estratégias, R – Relationships, M – Metrics/Objetivos). (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Em seguida ocorre a Geração de “Casos”. Incertezas, Estratégias e Medidas de performance são relacionadas por meio de um ou mais modelos computacionais, e então é formada uma base de dados de “Casos”. (LEMPERT; GROVES; FISCHBACH, 2013). Um Caso corresponde ao resultado de uma instanciação do modelo computacional que corresponde à combinação de uma estratégia em um futuro. (RAND, 2016).

Utilizando a base de dados formada no passo anterior, a descoberta de cenários utiliza algoritmos estatísticos para identificar clusters que representem cenários que evidenciem vulnerabilidades das estratégias identificadas. (GROVES; LEMPERT, 2007). Tais cenários podem ajudar os stakeholders a identificar novas maneiras de endereçar tais vulnerabilidades, voltando ao passo 1, ou então avaliar os *tradeoffs* envolvidos na escolha das estratégias (passo 4).

Figura 13 – Princípios, Etapas, Técnicas e Ferramentas associadas ao RDM

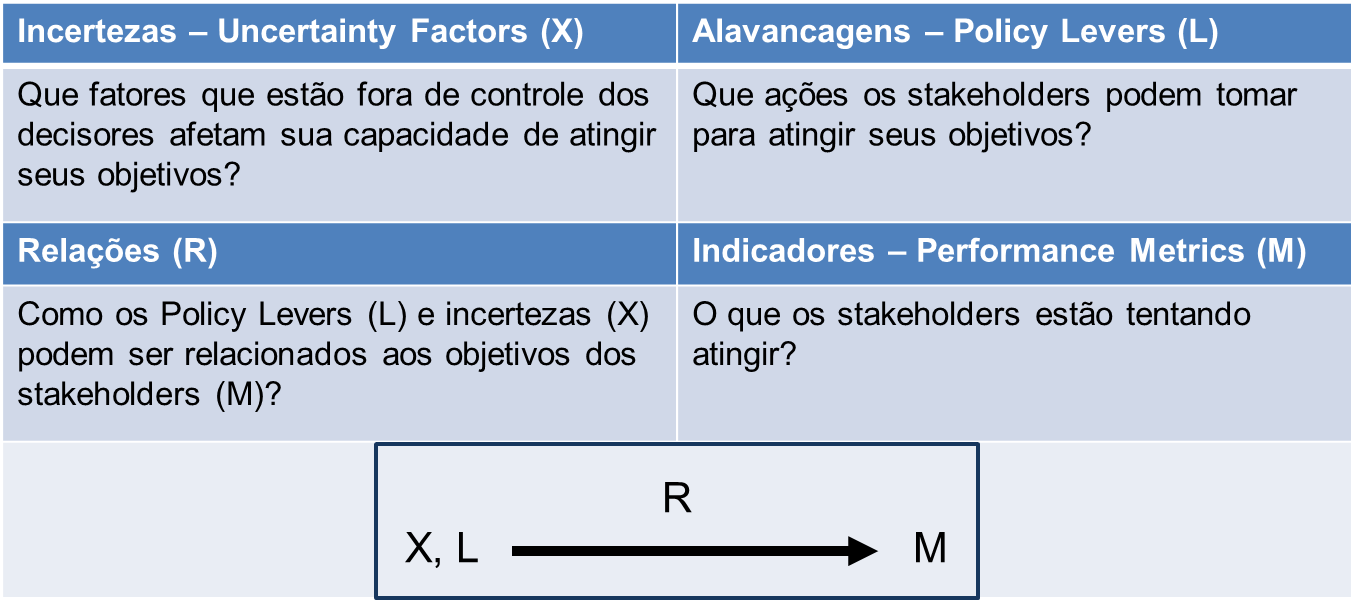


Fonte: Elaborado pelo autor.

### Estruturação da Decisão

Como em outras abordagens formais, é necessária uma maneira de organizar e consolidar as informações relevantes para a tomada de decisão. Na abordagem RDM, o framework XLRM (Quadro 4) é utilizado para este propósito. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Quadro 4 – Framework XLRM



Fonte: Adaptado de Lempert (LEMPERT, 2015 min. 35)

Alavancagens*(Policy Levers - L)* são ações relacionadas ao curto prazo que, em diversas combinações, formam as possíveis estratégias que os tomadores de decisão querem explorar. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003). Uma combinação alavancagens específica compõe uma estratégia . (LEMPERT et al., 2006, p. 517)

Incertezas Exógenas*(Exogenous Uncertainties - X)* são fatores fora do controle dos tomadores de decisão que podem tornar-se importantes para definir o sucesso das estratégias definidas. Uma combinação específica de incertezas configura um futuro . (LEMPERT et al., 2006, p. 517).

Indicadores *(Measures - M)* são as os indicadores de performance que os *stakeholders* da situação usariam para ordenar a utilidade de diversos cenários.

Relações *(Relationships - R)* descrevem as maneiras pelas quais os fatores anteriores relacionam-se um aos outros ao longo do tempo. Tais relações são representadas no gerador de cenários utilizado para simular o sistema sob consideração. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

### Geração de Casos

Selecionar uma amostra finita de casos para análise a partir de um conjunto potencialmente infinito de possibilidades é um dos problemas em uma Análise Exploratória. (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2016). Quando uma Análise RDM é utilizada, os futuros neste conjunto de casos tipicamente não têm probabilidades conhecidas. (GROVES, 2006).

Nestas situações, as análises RDM usualmente extraem uma amostra uniforme das incertezas exógenas dentro de uma faixa de valores plausíveis, usando um procedimento de amostragem *Latin Hypercube Sampling*. (BRYANT; LEMPERT, 2010). Tal prática não deve ser entendida como a atribuição de uma distribuição de probabilidade uniforme aos fatores exógenos, visto que os resultados geralmente não são avaliados utilizando-se métricas que consideram a frequência relativa das observações. (GROVES, 2006).

A partir desta amostra, a Análise RDM testa cada estratégia em cada futuro plausível que faz parte da amostra obtida. Desta maneira, é necessário formar um conjunto de casos (conhecido como *scenario ensemble*). (LEMPERT et al., 2006, p. 517). O Quadro 5 ilustra um *scenario ensemble* formado por futuros , nos quais estratégias são testadas, formando casos .

Quadro 5 – Scenario Ensemble

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

Fonte: Adaptado de (GROVES, 2006, p. 133).

Quanto à construção do gerador de cenários, a abordagem RDM não impõe o uso de nenhum formalismo matemático de modelagem específico. (LEMPERT et al., 2006). É possível encontrar, por exemplo, estudos utilizando modelos de dinâmica de sistemas (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003), modelos de Opções Reais (MAHNOVSKI, 2007), ou ainda modelos matemáticos “puros”, sem um formalismo definido (GROVES, 2006). Independentemente da abordagem utilizada para a construção do gerador de cenários, cada caso gerado deveria ser considerado plausível pelos stakeholders. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Para cada um dos casos indicados, o modelo computacional é utilizado para calcular a performance de cada estratégia, utilizando-se uma ou mais métricas . Para avaliar a robustez de diferentes estratégias, o RDM usualmente emprega o conceito de *Regret* (traduzido aqui como Arrependimento, e pode ser entendido como Perda de Oportunidade). (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

O Arrependimento da estratégia em comparação às demais estratégias é definido como a diferença de performance que a melhor estratégia para o futuro teria e a performance que a estratégia teve (Eq. 1). (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 55).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Uma maneira alternativa de medir o Arrependimento é obter o Arrependimento Relativo em termos percentuais (Eq. 2). (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 56).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Uma Estratégia Robusta pode ser definida como uma que tem um arrependimento relativo pequeno comparado com as suas alternativas, em um amplo range de futuros plausíveis. (LEMPERT et al., 2006).

Uma vez definido o critério de avaliação das estratégias, é necessária uma definição sobre como escolher a estratégia definida. Em situações de incerteza, um possível critério de escolha da estratégia é o mini-max. Tal estratégia em princípio minimizaria o máximo Arrependimento (ou perda de oportunidade). No entanto, esta estratégia pode ser ruim para uma análise exploratória. Uma estratégia razoavelmente boa pode ter um péssimo valor em um cenário específico, distorcendo a análise realizada. (GROVES, 2006). Considerando tais fraquezas destes critérios de escolha, tais estratégias de classificação tradicionais não são desejáveis para um estudo utilizando o RDM. (GROVES, 2006; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Maneiras alternativas de seleção procuram identificar estratégias que atinjam um certo grau de performance na maioria dos cenários avaliados. Em outras palavras, procura-se minimizar o número de “apostas ruins”. (GROVES, 2006). Uma maneira é escolher a estratégia utilizando a métrica de avaliação superior à um *threshold* de performance no maior número possível de futuros, ou seja, escolher uma estratégia para:

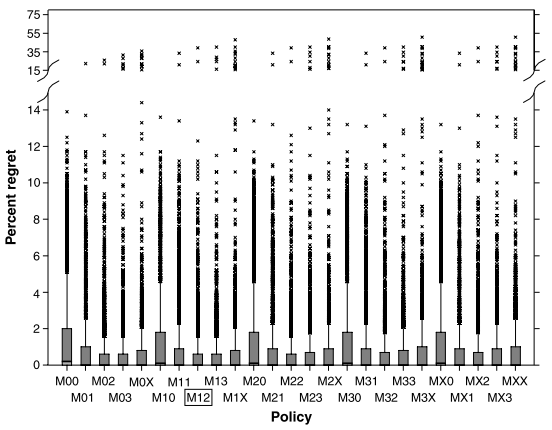
|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Uma outra alternativa é escolher a estratégia que possui a maior Mediana de uma métrica de avaliação métrica de avaliação , ou algum outro quartil (GROVES, 2006). A Figura 14 apresenta a comparação de 25 estratégias, exibindo o terceiro quartil como o limite superior do retângulo de cada estratégia. Nesta figura, a estratégia M12 possui o menor terceiro quartil em arrependimento relativo. Desta maneira, pode-se buscar uma estratégia que maximize este quartil:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Ao final desta etapa obtém-se uma lista de estratégias candidatas, e uma estratégia considerada como a mais robusta dentre o conjunto de estratégias identificadas. O próximo passo do método trata-se de identificar vulnerabilidades de tais estratégias.

Figura 14 – Comparação de Estratégias Utilizando o Arrependimento Relativo



Fonte: (LEMPERT et al., 2006, p. 521).

### Descoberta de Cenários para Análise de Vulnerabilidade

No contexto da RDM, cenários são um conjunto de estados futuros que representam vulnerabilidades de estratégias propostas. (BRYANT; LEMPERT, 2010). Situações de vulnerabilidade podem ser entendidas como situações nas quais uma estratégia falha em atender seus objetivos de performance (performance absoluta) ou uma situação na qual a performance da estratégia se desvia significativamente da performance da melhor estratégia para um determinado futuro (performance relativa). (BRYANT; LEMPERT, 2010).

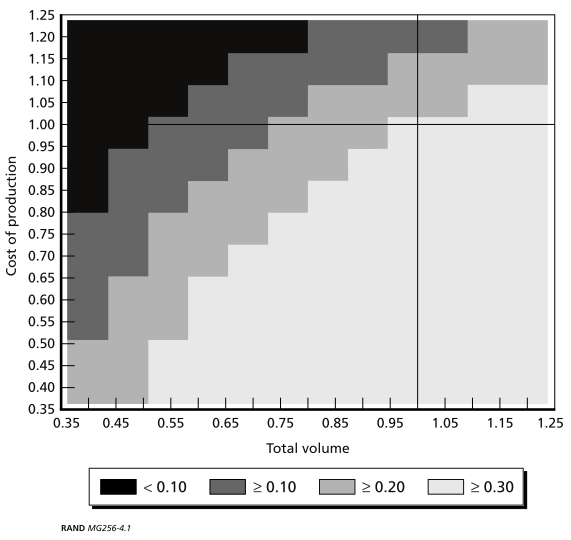
A descoberta de cenários faz uma pergunta focalizada: A que futuros as estratégias de uma organização são vulneráveis? (BRYANT; LEMPERT, 2010). Groves (2006) sugere que vulnerabilidades podem ser descobertas utilizando-se três conjuntos distintos de técnicas: i) análise exploratória; ii) métodos de Data Mining e iii) outros métodos estatísticos.

A descoberta de cenários distingue-se de uma análise de sensibilidade tradicional. Ao contrário de uma análise de sensibilidade tradicional, a descoberta de cenários não apenas indica os inputs mais importantes para a variação dos outputs, mas também identifica as combinações destes parâmetros e seus *thresholds* que mais predizem outcomes relevantes para uma decisão. (BRYANT; LEMPERT, 2010).

A Análise Exploratória é utilizada usualmente para identificar um pequeno número de fatores exógenos que revelam áreas nas quais uma determinada estratégia tem baixa performance. Na literatura em RDM, usualmente são utilizados gráficos conhecidos como “Landscapes of Plausible Futures” para visualizar a sensibilidade de diferentes estratégias em diferentes futuros. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Em um raro exemplo de aplicação do RDM em um contexto empresarial encontrado na literatura, a visualização de vulnerabilidades é exibida na Figura 15.

Figura 15 – Visualização de Vulnerabilidades de uma Estratégia



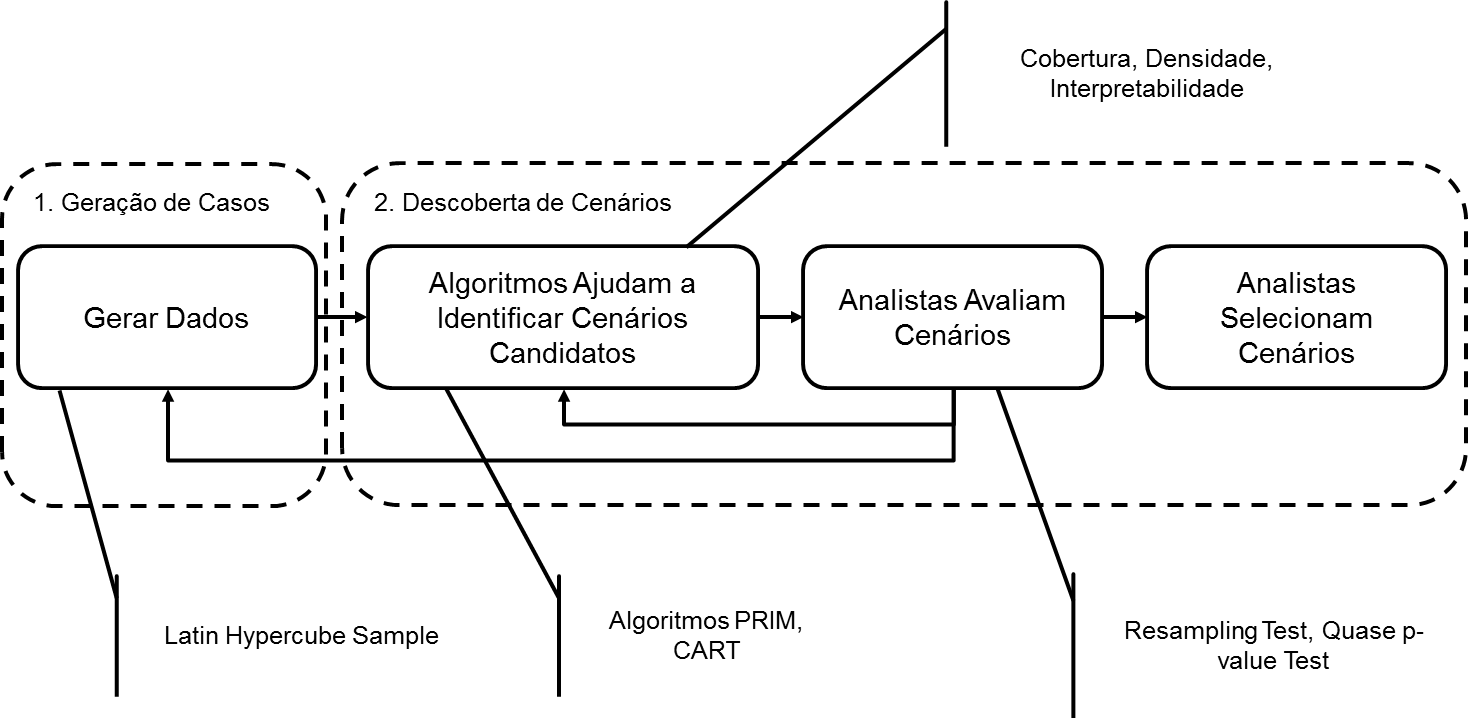
Fonte: (LEMPERT; POPPER, 2005, p. 127)

Neste gráfico, a tonalidade de cor representa a faixa de taxa interna de retorno (TIR) de um plano específico para a introdução de uma nova linha de produtos, a qual varia de acordo com duas incertezas críticas identificadas: o custo de produção e o volume total. Além disso, as linhas horizontais e verticais que cortam o gráfico representam os pressupostos existentes no início do projeto. Pode-se notar que a performance da estratégia sob consideração é sensível à pequenas variações tanto em custo quanto em volume de produção, o que motivaria a busca por estratégias mais robustas.

Ainda que a abordagem de Análise Exploratória seja útil para uma exploração intuitiva, não há garantia de que a mesma poderá oferecer uma boa caracterização das vulnerabilidades da estratégia em consideração. Em situações onde o modelo é mais complexo, torna-se difícil identificar regiões de vulnerabilidade usando apenas a análise exploratória. Nestes casos, algoritmos estatísticos podem ser usados para este propósito. (GROVES, 2006).

Bryant e Lempert (2010) sugerem uma abordagem para a descoberta de cenários utilizando algoritmos estatísticos, cujos passos são demonstrados na Figura 16. A abordagem começa com a Geração de Dados, à qual corresponde à geração de Casos do método RDM, o que foi abordado anteriormente neste trabalho.

Figura 16 – Passos da Descoberta de Cenários



Fonte: Elaborada pelo autor com base em (BRYANT; LEMPERT, 2010).

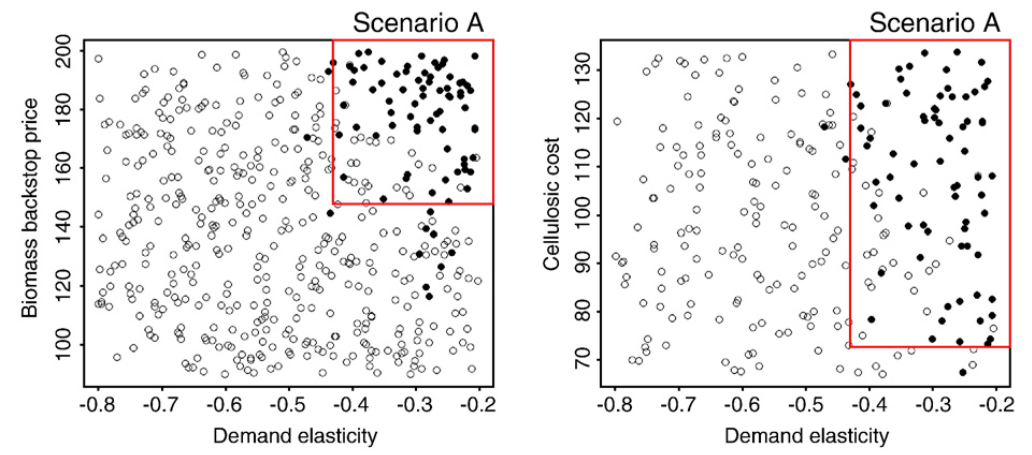
Uma vez que se tenha uma base de dados incluindo informações sobre incertezas, estratégias e medidas de performance, são utilizados algoritmos para a identificação de cenários que explicitam as vulnerabilidades de uma estratégia candidata . É escolhido um *threshold* de performance , o qual separará os casos nos quais a estratégia teve sucesso dos casos onde a estratégia não teve sucesso. Desta maneira, o conjunto de casos de interesse é formado pelos futuros nos quais a estratégia tem performance superior ou inferior a este limiar (BRYANT; LEMPERT, 2010):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

O objetivo da descoberta de cenários é encontrar conjuntos de restrições multidimensionais utilizando os parâmetros de incerteza que contenham uma boa parte dos casos de interesse com um subconjunto dos parâmetros de inputs . Tais conjuntos de restrições constituem uma “caixa” as quais formam um conjunto de caixas . Desta maneira, obtém-se um conjunto de “caixas” de descreve as vulnerabilidades de uma dada estratégia. (BRYANT; LEMPERT, 2010).

A Figura 17 apresenta um exemplo de um cenário descoberto (BRYANT; LEMPERT, 2010). Neste exemplo, os casos de interesse são marcados por círculos preenchidos, e os demais, não preenchidos. A figura apresenta um conjunto de restrições, os quais formam um cenário. Note-se que o cenário é formado, neste caso, por três variáveis, e não necessariamente abrange todo o espaço de incerteza, visto que busca caracterizar os casos no qual a estratégia não atende um nível de performance .

Figura 17 – Exemplo de Cenários “Descobertos”



Fonte: (BRYANT; LEMPERT, 2010, p. 43).

Independentemente das técnicas de análise utilizadas, Groves (2006) propõe critérios para a identificação de cenários em uma análise de vulnerabilidade das estratégias. Os cenários identificados devem ser definidos utilizando-se faixas de valores adjacentes do menor número de incertezas possíveis. Além disso, o número de cenários considerados deve ser o menor possível. Se muitos cenários forem identificados, sua utilidade para a definição de estratégias alternativas é comprometida. Outro critério é que cada cenário deve ter uma alta concentração de futuros nos quais há baixa performance. Finalmente, os cenários identificados devem abranger coletivamente todas as vulnerabilidades evidenciadas no conjunto de simulações identificados. (GROVES, 2006).

Bryant e Lempert (2010) sintetizam tais critérios em três características que os cenários devem ter para suportarem a identificação de vulnerabilidades de uma estratégia: Cobertura, Densidade e “Interpretabilidade”.

Cobertura se refere à proporção de casos de interesse capturados pelo cenário (em outras palavras, “dentro da caixa”) em relação ao número total de casos de interesse. Para realizar este cálculo, usamos a variável para indicar se o futuro em questão pertence ou não ao conjunto de casos de interesse:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

A partir desta variável, podemos calcular a Cobertura (BRYANT; LEMPERT, 2010) do Cenário :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

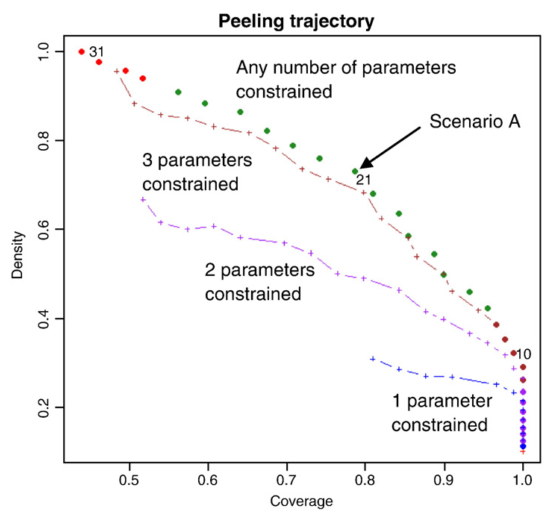
Densidade se refere à proporção de casos de interesse capturados pelo cenário em comparação ao número total de casos capturado pelo cenário. A Densidade pode ser calculada por:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Por fim, a interpretabilidade refere-se à facilidade de interpretação dos cenários pelos decisores e stakeholders vinculados ao problema e é essencialmente subjetiva. No entanto, pode-se comparar a interpretabilidade quantitativamente considerando o número de “caixas” contidos no Cenário, e o número de incertezas que formam cada “caixa”. (BRYANT; LEMPERT, 2010). Bryant e Lempert (2010) sugerem que um cenário interpretável deveria ter na ordem de três ou quatro caixas, cada uma limitada pela ordem de dois ou três parâmetros.

Um cenário ideal combinaria alta densidade, cobertura e interpretabilidade. No entanto, estes três critérios usualmente competem entre si. Por exemplo, a cobertura e a densidade normalmente são usualmente inversamente proporcionais. Além disso, ao aumentar a interpretabilidade pode aumentar a cobertura, porém usualmente diminui a densidade do cenário. Para um determinado conjunto de dados, estas três medidas formam uma fronteira de eficiência. Por este motivo, o processo iterativo proposto na Figura 16 sugere que o analista descubra diversos cenários ao longo desta fronteira, para então escolher o cenário mais útil para a decisão em questão. A Figura 18 apresenta um gráfico exibindo a fronteira de eficiência da descoberta de cenários.

Figura 18 – Curvas de Tradeoff entre Densidade e Cobertura



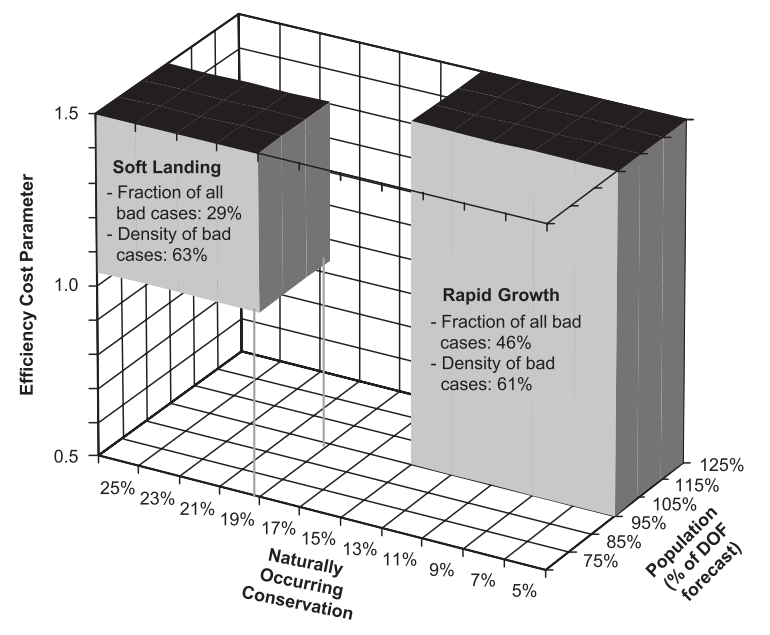
Fonte: (BRYANT; LEMPERT, 2010, p. 42).

Nesta figura, os três critérios para a escolha dos cenários são exibidos. Cada ponto no gráfico representa um cenário (um conjunto de “caixas”) que delimita faixas de incerteza na qual a uma estratégia sob consideração falha frequentemente. Deve-se escolher um cenário que tenha alta Cobertura, e Alta Densidade, com o mínimo de parâmetros considerados. (BRYANT; LEMPERT, 2010).

O Algoritmo PRIM é usualmente aplicado em estudos do RDM para gerar estes cenários (os pontos no gráfico), pois este algoritmo busca, ao mesmo tempo, maximizar a cobertura e densidade dos clusters identificados. Outro algoritmo que também pode ser utilizado é o CART. Uma comparação entre estes dois algoritmos demonstrou que ambos podem ser usados para os propósitos da descoberta de cenários. (LEMPERT; BRYANT; BANKES, 2008).

Utilizando o algoritmo PRIM, Groves e Lempert (2007) demonstram a localização de dois cenários ameaçadores para uma estratégia em questão (Figura 19). Cada um dos cenários recebem um nome (Ex.: Soft Landing e Rapid Growth), assim como nas abordagens de cenários da escola intuitive logics. (GROVES; LEMPERT, 2007).

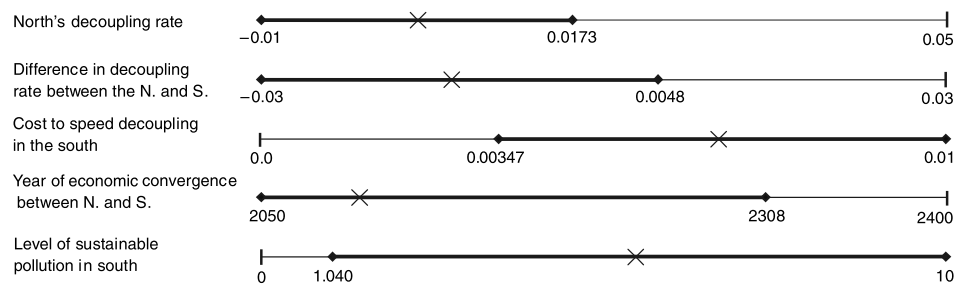
Figura 19 – Cenários Obtidos com o Algoritmo PRIM



Fonte: (GROVES; LEMPERT, 2007, p. 80)

Quando o número de variáveis de incerteza que caracterizam os cenários é maior, usualmente as aplicações em RDM representam os cenários indicando “faixas” de valores nos quais a estratégia sob consideração falha. A Figura 20 apresenta um cenário definido por cinco incertezas. As linhas e os seus limites representam as faixas de valores plausíveis definidas para cada incerteza. As faixas de valores que caracterizam os cenários são marcadas pela linha mais grossa, e os valores de referência são marcados com um “X”. (LEMPERT et al., 2006).

Figura 20 – Um Cenário definido por 5 Incertezas



Fonte: (LEMPERT et al., 2006, p. 523)

Uma vez que o cenário foi definido, Bryant e Lempert (2010) sugerem a aplicação de dois testes. O primeiro, o Resampling Test, avalia a definição do cenário verificando se a mesma definição de cenário acontece se for coletada uma amostra diferente da base de dados. O segundo teste trata-se do Quasi-p-value Test. Este é um teste que estima a probabilidade que o algoritmo limite algum parâmetro somente ao acaso. Finalmente, parte-se para a escolha do cenário, a qual deve ser orientada pelos critérios e testes indicados anteriormente. (BRYANT; LEMPERT, 2010).

A descoberta de cenários tem suas limitações e custos. Em primeiro lugar, ela requer um modelo de simulação computacional para gerar a base de dados inicial de resultados. Tais modelos podem ser caros para construir, bem como podem restringir os fenômenos que podem ser analisados. Além disso, a descoberta de cenários gera resultados contingentes a uma estratégia definida. Em algumas situações, não há uma estratégia definida, e o melhor que se pode fazer é avaliar a vulnerabilidade do caso “business as usual”. (BRYANT; LEMPERT, 2010).

Independentemente desta questão, a descoberta de cenários termina com a caracterização das situações nas quais uma estratégia sob consideração tem performance ruim. Esta caracterização tem o objetivo de incentivar a proposição de outras estratégias ou melhorias que diminuam a sensibilidade da estratégia sob consideração a estas incertezas. Por este motivo, o RDM sugere o retorno ao primeiro passo, proponham-se novas estratégias e realize-se a análise novamente.

Após a um novo ciclo (ou diversos outros ciclos) os decisores podem chegar à conclusão de que a estratégia definida é boa o suficiente, e apenas então será realizada a análise de tradeoffs.

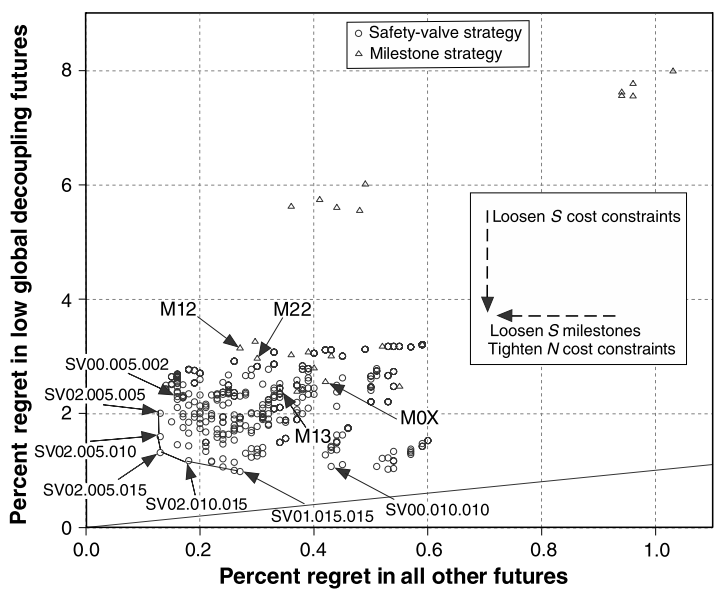
### Análise de Tradeoffs

Na abordagem Bayesiana, a análise começa com uma caracterização das probabilidades de diversos parâmetros incertos realizada por stakeholders e experts. A análise então determina a estratégia com a melhor performance, contingente a estas expectativas, de modo que a estratégia escolhida pode ser ruim em futuros considerados improváveis. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Ao invés de começar com esta definição de probabilidades, a abordagem RDM não realiza estimativas de probabilidades em seu início, porém procura identificar e aprimorar estratégias que tenham boa performance em diversos futuros. Em seguida, sugere-se a identificação e caracterização de cenários aos quais estas estratégias são vulneráveis. Em seu último passo, a análise de tradeoff realiza esta pergunta: O quão prováveis estes “cenários de vulnerabilidade” devem ser para que a escolha de outra estratégia seja justificável? (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

Para responder à esta questão, inicia-se identificando estratégias que estão em uma “fronteira de eficiência”. Lempert et al. (2006) exemplificam esta análise definindo uma curva de tradeoff que compara a performance de 425 estratégias (Figura 21).

Figura 21 – Curva de Tradeoffs Entre Estratégias

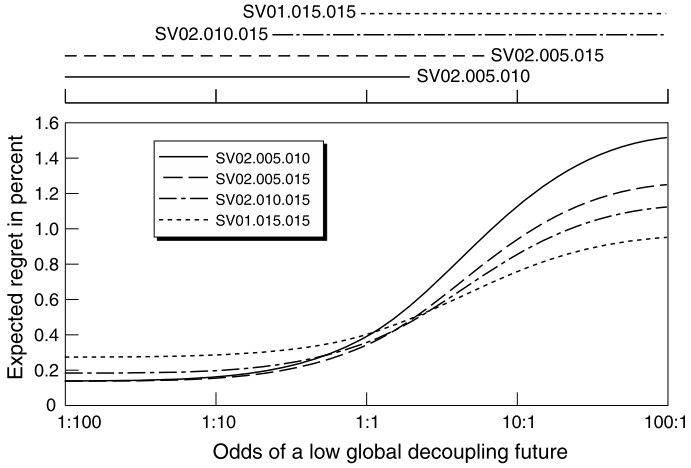


Fonte: (LEMPERT et al., 2006, p. 526).

O objetivo desta etapa é identificar estratégias que tem performance próxima à da estratégia selecionada utilizando o critério definido anteriormente. No exemplo utilizado por Lempert et al. (2006) a estratégia SV00.005.002 é a estratégia que tem o menor terceiro quartil em arrependimento relativo. Utilizando o algoritmo PRIM, o estudo identificou um cenário ao qual esta estratégia é vulnerável, identificado como “Low Global Decoupling”. Desta maneira, a Figura 21 apresenta o terceiro quartil em arrependimento relativo de cada uma das 425 estratégias consideradas dentro do cenário identificado (eixo y) e fora do cenário identificado (eixo x). As estratégias que estão na curva formada pelas estratégias que tem o menor arrependimento no eixo X e Y são, portanto, as estratégias cuja escolha é justificável pela análise RDM. (LEMPERT et al., 2006).

Selecionadas as estratégias que compõe a curva de tradeoff, a RDM finalmente reduz o problema original a uma escolha entre um pequeno conjunto de estratégias. A Figura 22 apresenta o Arrependimento Esperado de cada estratégia, contingente à expectativa dos stakeholders em relação às chances de concretização do cenário “Low Global Decoupling Rate” (LGD). (LEMPERT et al., 2006).

Figura 22 – Arrependimento Esperado das Estratégias sobre a Curva de Tradeoff



Fonte: (LEMPERT et al., 2006, p. 526).

A análise é então executada ponderando-se a escolha das estratégias pela expectativa dos stakeholders relacionada à ocorrência do cenário em questão. Exemplificando, se todos os futuros plausíveis fossem igualmente prováveis (1:1), a escolha da estratégia SV02.005.015 seria justificável. Se, porém, os stakeholders acreditam que as chances de o cenário LGD se concretizar são próximas a 100:1, logo a estratégia SV01.015.015 é a estratégia mais adequada, visto que possui menor arrependimento esperado. (LEMPERT et al., 2006).

Para calcular o Arrependimento Esperado, são utilizadas as fórmulas apresentadas a seguir. O Arrependimento Esperado da estratégia é calculado de acordo com o número de casos no qual a estratégia tem sucesso , e falha , o Arrependimento Esperado nos casos de Sucesso e falha , e das chances atribuídas ao cenário no qual a estratégia falha . (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 119).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

A literatura em RDM sugere que se utilize o conceito de “chances” ao invés de probabilidade para a avaliação de tradeoffs, visto que há evidências de que esta maneira de raciocínio é melhor entendida pela maioria das pessoas. (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 119). A relação entre a probabilidade de um evento e as “chances” (traduzido de odds) de sua ocorrência é dada pela Equação 9. (LEMPERT; COLLINS, 2007).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Uma alternativa para o cálculo do arrependimento esperado é apresentada por Lempert e Collins (2007, p. 1018). A literatura em RDM sugere que se utilize o conceito de “chances” ao invés de probabilidade para a avaliação de tradeoffs, visto que há evidências de que esta maneira de raciocínio é melhor entendida pela maioria das pessoas.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Além desta informação, a análise ainda identifica as regiões nas quais a escolha de cada estratégia é robusta. Neste exemplo, as linhas apresentadas na parte superior do gráfico mostram as regiões nas quais a estratégia tem um arrependimento esperado até 20% distante da melhor estratégia. (LEMPERT et al., 2006).

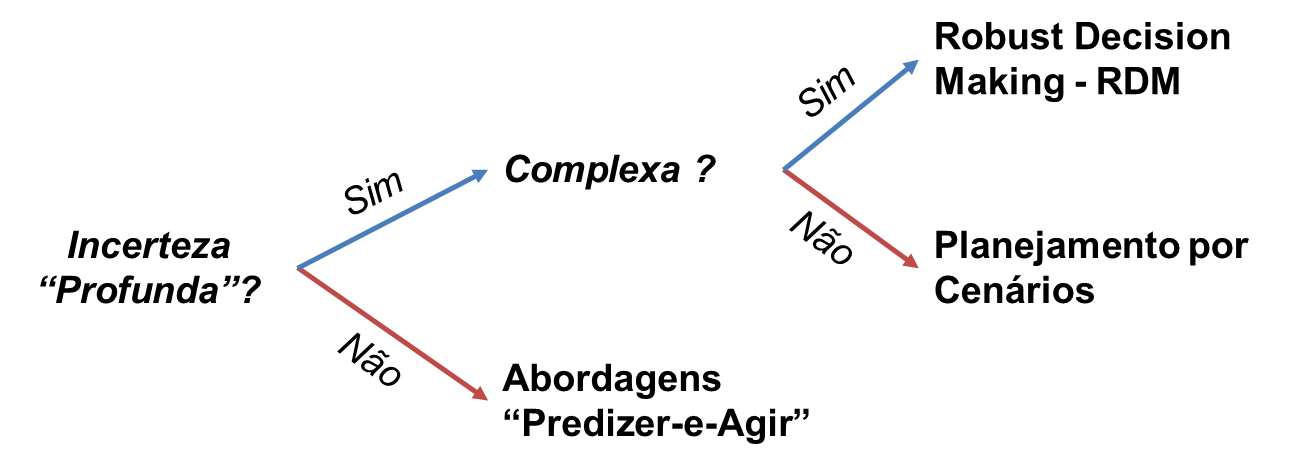
Como é possível notar, a abordagem RDM não determina a melhor estratégia em uma determinada situação. Ao invés disso, a abordagem utiliza informações geradas por modelos computacionais para reduzir problemas multidimensionais e incertos a um pequeno número de tradeoffs a serem ponderados por decisores. (LEMPERT et al., 2006).

### Quando usar o RDM

Lempert et. al (2006) procuram delimitar o campo de aplicação do RDM sugerindo características genéricas de situações nas quais o RDM pode ser útil: i) a situação pode ser caracterizada como extremamente incerta (*deeply uncertain*); ii) há informação suficiente para representar a situação por meio de um modelo computacional; iii) há um conjunto rico de opções a escolher. Dadas estas condições, é possível utilizar o conhecimento existente sobre o sistema (representado na forma de um ou mais modelos computacionais) para descobrir estratégias que são robustas em um maior número de futuros plausíveis. (LEMPERT et al., 2006).

Para facilitar a visualização das situações nas quais o RDM pode ser uma abordagem útil, Lempert et al. (2013) sugere uma árvore de decisão, como mostra a Figura 23. Segundo esta definição, O RDM seria útil em situações onde há Incerteza “Profunda” (traduzido de *Deep Uncertainty*), caso contrário, as abordagens “Predizer-e-Agir” devem ser empregadas.

Figura 23 – Quando usar o RDM – Uma versão simplificada

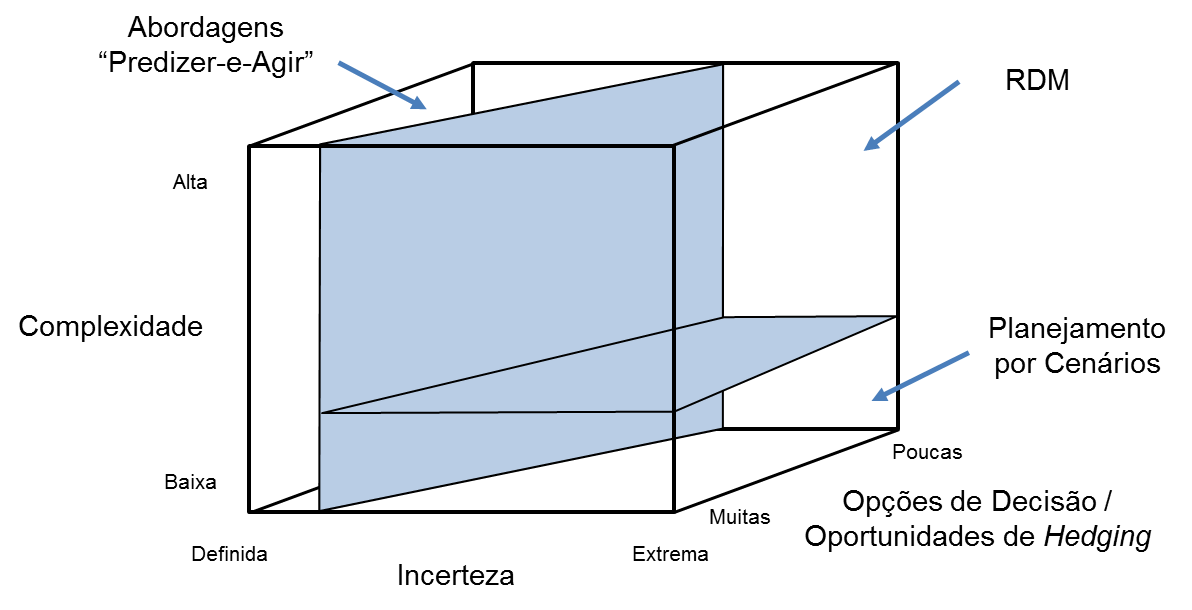


Fonte: (LEMPERT et al., 2013, p. 9).

Além disso, se os experts podem ter uma noção intuitiva dos futuros mais importantes para a tomada de decisão e das consequências destas decisões (situações menos complexas), o Planejamento por Cenários pode ser empregado. (LEMPERT et al., 2013).

Uma segunda maneira encontrada na literatura de delimitar o campo de aplicação do RDM e destas mesmas abordagens é exibida na Figura 24. Esta figura adiciona a variável “Opções de Decisão / Oportunidades de Hedging”, indicando que pode haver problemas que não ofereçam decisões robustas (LEMPERT et al., 2006; LEMPERT; COLLINS, 2007). Ou seja, se é sabido de antemão que não há decisão robusta em uma situação, não há porque procurar por estas soluções robustas. (RAND, 2010).

Figura 24 – Quando usar o RDM – Outra Alternativa



Fonte: (RAND, 2010).

Uma segunda maneira encontrada na literatura de delimitar o campo de aplicação do RDM e destas mesmas abordagens é exibida na Figura 24. Esta figura adiciona a variável “Opções de Decisão / Oportunidades de *Hedging*”. Tal variável é importante pois nem todos os problemas possuem um conjunto suficientemente rico de opções, o qual permita encontrar estratégias que tenham performance boa o suficiente em um conjunto amplo de possíveis futuros. Desta maneira, em algumas situações, nenhuma quantidade de esforço será suficiente para sugerir estratégias robustas. (LEMPERT et al., 2006, p. 527).

# PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

## Delineamento da Pesquisa

## Método de Trabalho

## Coleta de Dados

Quadro 6 – Decisões Metodológicas em uma aplicação do RDM

| **Etapa** | **Decisões e Questões a Considerar** |
| --- | --- |
| 1. Estruturação da Decisão | X - Quais Incertezas Considerar? |
| L - Quais Estratégias Considerar? Quantos “graus de liberadade”? |
| R - Quais Relações (Modelo) Considerar? |
| M - Que Medidas de Performance Considerar? |
| 2. Geração de Casos | Que Estratégia de Amostragem Considerar? |
| Que Ranges de Incerteza Considerar? |
| Quantos Casos Analisar? |
| Como Avaliar a Plausibilidade dos Resultados? |
| 3. Descoberta de Cenários | Que estratégia de ordenação de estratégias candidatas considerar? |
| Que estratégias candidatas avaliar? |
| Que ferramentas analíticas usar para descobrir o s cenários? |
| Que critérios de escolha dos cenários serão usados? (densidade, cobertura, etc.) |
| Que critérios de avaliação dos cenários serão usados? (densidade, cobertura, etc.) |
| Quantos cenários serão considerados? |
| 4. Avaliação de Tradeoffs | Como encontrar estratégias na “fronteira de eficiência”? Que critério considerar para elencar estratégias que competem entre si? |
| Que cenários considerar para a Avaliação dos Tradeoffs? |

Fonte: Elaborado a partir de (GROVES, 2006; LEMPERT et al., 2006; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

## Análise dos Dados

# APLICAÇÃO E AVALIAÇÂO DO RDM

## O Contexto de Aplicação

## Aplicação do RDM

### Estruturação da Situação: XLRM

### Projetando o Modelo

### Geração de Casos

### Análise de Robustez das Decisões

### Análise de Tradeoffs

## Avaliação da Aplicação

### Síntese da Avaliação

# CONCLUSÃO

# REFERÊNCIAS

ABRAMZON, S. Strategies for Managing Sovereign Debt, A Robust Decision Making Approach. p. 1–83, 2014.

ANTHONY, S. **Kodak’s Downfall Wasn’t About Technology**. Disponível em: <https://hbr.org/2016/07/kodaks-downfall-wasnt-about-technology>. Acesso em: 16 mar. 2017.

BANKES, S. Exploratory Modeling for Policy Analysis. **Operations Research**, v. 41, n. 3, p. 435–449, 1993.

BANKES, S. C. **Exploratory Modeling and the Use of Simulation for Policy Analysis**. [s.l: s.n.].

BANKES, S.; WALKER, W. E.; KWAKKEL, J. H. Exploratory Modeling and Analysis. In: GASS, S. I.; FU, M. C. (Eds.). . **Encyclopedia of Operations Research and Management Science**. Boston, MA: Springer US, 2013. p. 532–537.

BANKES, S.; WALKER, W. E.; KWAKKEL, J. H. Exploratory Modeling and Analysis. In: GASS, S. I.; FU, M. C. (Eds.). . **Encyclopedia of Operations Research and Management Science**. Boston, MA: Springer US, 2016. v. 2p. 1–8.

BEN-HAIM, Y. **Info-Gap Decision Theory: Decisions Under Severe Uncertainty**. 2. ed. [s.l.] Academic Press, 2006.

BISHOP, P.; HINES, A.; COLLINS, T. The current state of scenario development: an overview of techniques. **Foresight : the Journal of Futures Studies, Strategic Thinking and Policy**, v. 9, n. 1, p. 5–25, 2007.

BLOOM, E. W. Changing Midstream -Providing Decision Support for Adaptive Strategies using Robust Decision Making: Applications in the Colorado River Basin. p. 1–273, 2014.

BRADFIELD, R. et al. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. **Futures**, v. 37, n. 8, p. 795–812, 2005.

BROWN, C. Decision-Scaling for Robust Planning and Policy under Climate Uncertainty. **World Resources Report Uncertainty Series**, 2011.

BRYANT, B. P.; LEMPERT, R. J. Thinking inside the box: A participatory, computer-assisted approach to scenario discovery. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 77, n. 1, p. 34–49, 2010.

CERVIGNI, R. et al. **Enhancing the Climate Resilience of Africa’s Infrastructure (report)**. [s.l.] THe World Bank, 2013. v. 53

COSENZ, F.; NOTO, G. Applying System Dynamics Modelling to Strategic Management: A Literature Review. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 33, n. 6, p. 703–741, 2016.

COURTNEY, H. **20/20 Foresight Crafting Strategy in an Uncertain World**, 2001.

COURTNEY, H. Decision-driven scenarios for assessing four levels of uncertainty. **Strategy & Leadership**, v. 31, n. 1, p. 14–22, 2003.

COURTNEY, H. A fresh look at strategy under uncertainty : An interview. **McKinsey Quarterly**, v. December 2, n. December, p. 1–8, 2008.

COURTNEY, H. **Deciding How to Decide Webinar**. Disponível em: <https://hbr.org/2014/01/deciding-how-to-decide>. Acesso em: 15 mar. 2017.

COURTNEY, H.; KIRKLAND, J.; VIGUERIE, P. Strategy Under Uncertainty. **Harvard Business Review**, n. November-December, p. 1–51, 1997.

COURTNEY, H.; LOVALLO, D.; CLARKE, C. Deciding How To Decide. **Harvard Business Review**, n. November, p. 1–10, 2013.

DITTRICH, R.; WREFORD, A.; MORAN, D. A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: Are robust methods the way forward? **Ecological Economics**, v. 122, p. 79–89, 2016.

DIXON, L. et al. **The Federal Role in Terrorism Insurance: Evaluating Alternatives in an Uncertain World**. [s.l: s.n.].

DRESCH, A. et al. **Design Science Research: Método de Pesquisa para o Avanço da Ciência e Tecnologia**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DYSON, R. G. et al. The strategic development process. In: **Supporting strategy: Frameworks, methods and models**. [s.l: s.n.]. p. 3–24.

FISCHBACH, J. R. **Managing New Orleans Flood Risk in an Uncertain Future Using Non-Structural Risk Mitigation**. [s.l: s.n.].

FISCHBACH, J. R. et al. **Managing Water Quality in the Face of Uncertainty: A Robust Decision Making Demonstration for EPA’s National Water Program**. [s.l: s.n.].

GARY, M. S. et al. System dynamics and strategy. **System Dynamics Review**, v. 24, n. 4, p. 407–429, 2008.

GONG, M. et al. Testing the scenario hypothesis: An experimental comparison of scenarios and forecasts for decision support in a complex decision environment. **Environmental Modelling & Software**, v. 91, p. 135–155, 2017.

GREGOR, S.; HEVNER, A. R. Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. **MIS Quarterly**, v. 37, n. 2, p. 337–355, 2013.

GRIFFIN, J. **Improving Cost-Effectiveness and Mitigating Risks of Renewable Energy Requirements**. [s.l: s.n.].

GROVES, D. **New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California**. [s.l: s.n.].

GROVES, D.; DAVIS, M. Planning for Climate Change in the Inland Empire: Southern California. **Water Resources Impact**, v. 10, n. 4, p. 14–17, 2008.

GROVES, D.; FISCHBACH, J.; KNOPMAN, D. **Strengthening Coastal Planning How Coastal Regions Could Benefit from Louisiana’s Planning and Analysis Framework**. [s.l: s.n.].

GROVES, D. G. et al. **Preparing for an Uncertain Future Climate in the Inland Empire: Identifying Robust Water Management Strategies**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.rand.org/pubs/documented\_briefings/DB550.html>.

GROVES, D. G. et al. **Adapting to a Changing Colorado River Making Future Water Deliveries More Reliable Throught Robust Management Strategies**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2011/RAND\_MG996.pdf>.

GROVES, D. G. et al. Addressing Climate Change in Local Water Agency Plans: Demonstrating a Simplified Robust Decision Making Approach in the California Sierra Foothills. Santa Monica, CA. p. 1–78, 2013b.

GROVES, D. G. et al. **Developing Robust Strategies for Climate Change and Other Risks: A Water Utility Framework About the Water Research Foundation**. [s.l: s.n.].

GROVES, D. G. et al. **Using High-Performance Computing to Support Water Resource Planning: A Workshop Demonstration of Real-Time Analytic Facilitation for the Colorado River Basin**. [s.l: s.n.].

GROVES, D. G.; BLOOM, E. Robust Water-Management Strategies for the California Water Plan Update 2013 Proof-of-Concept Analysis. p. 1–72, 2013.

GROVES, D. G.; LEMPERT, R. J. A new analytic method for finding policy-relevant scenarios. **Global Environmental Change**, v. 17, n. 1, p. 73–85, 2007.

GROVES, D. G.; SHARON, C. Planning Tool to Support Planning the Future of Coastal Louisiana. **Journal of Coastal Research**, v. Sp.Issue 6, n. 10062, p. 29–50, 2013.

HAASNOOT, M. et al. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 2, p. 485–498, 2013.

HADKA, D. et al. An open source framework for many-objective robust decision making. **Environmental Modelling and Software**, v. 74, p. 114–129, 2015.

HALL, J. W. et al. Robust Climate Policies Under Uncertainty: A Comparison of Robust Decision Making and Info-Gap Methods. **Risk Analysis**, v. 32, n. 10, p. 1657–1672, 2012.

HALLEGATTE, S. et al. Investment Decision Making Under Deep Uncertainty: Application to Climate Change. **Policy Research Working Paper**, n. 6193, p. 1–41, 2012.

HERMAN, J. et al. How Should Robustness Be Defined for Water Systems Planning under Change? **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 141, n. 10, p. 4015012, 2015.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Decision Analysis. In: **Introduction to Operations Research**. 9. ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2010. p. 1047.

JOHNSON, D. R.; FISCHBACH, J. R.; ORTIZ, D. S. Estimating Surge-Based Flood Risk with the Coastal Louisiana Risk Assessment Model. **Journal of Coastal Research**, v. Sp.Issue 6, n. 10062, p. 29–50, 2013.

KALRA, N. et al. Agreeing on Robust Decisions New Processes for Decision Making Under Deep Uncertainty. **World Bank Policy Research Working Paper**, v. No. 6906, n. June, 2014.

KALRA, N. et al. Robust Decision-Making in the Water Sector A Strategy for Implementing Lima ’ s Long-Term Water Resources Master Plan. n. October, p. 1–47, 2015.

KASPRZYK, J. R. et al. Many objective robust decision making for complex environmental systems undergoing change. **Environmental Modelling and Software**, v. 42, p. 55–71, 2013.

KEEFE, R. **Reconsidering California Transport Policies: Reducing Greenhouse Gas Emissions in an Uncertain Future**. [s.l: s.n.].

KNIGHT, F. H. **Risk, Uncertainty and Profit**. [s.l: s.n.]. v. XXXI

KWAKKEL, J. Exploratory Modelling and Analysis (EMA) Workbench. p. 1–4, 2013.

KWAKKEL, J. H.; PRUYT, E. Exploratory Modeling and Analysis, an approach for model-based foresight under deep uncertainty. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 3, p. 419–431, 2013.

KWAKKEL, J.; WALKER, W.; HAASNOOT, M. Coping with the Wickedness of Public Policy Problems: Approaches for Decision Making under Deep Uncertainty. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 3, p. 1816001, 2016.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LEMPERT, R. J. A new decision sciences for complex systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99 Suppl 3, p. 7309–7313, 2002.

LEMPERT, R. J. et al. A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios. **Management Science**, v. 52, n. 4, p. 514–528, abr. 2006.

LEMPERT, R. J. et al. Ensuring Robust Flood Risk Management in Ho Chi Minh City. **World Bank**, n. May, p. 1–63, 2013.

LEMPERT, R. J. Scenarios that illuminate vulnerabilities and robust responses. **Climatic Change**, v. 117, n. 4, p. 627–646, 2013.

LEMPERT, R. J. **Robert Lempert: Democratizing Analytics: Scientifically and Ethically Informed Decision Support**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=D01UM0G2m\_k>. Acesso em: 11 jan. 2017.

LEMPERT, R. J. et al. **Defense Resource Planning Under Uncertainty: An Application of Robust Decision Making to Munitions Mix Planning**. [s.l: s.n.].

LEMPERT, R. J.; BRYANT, B. P.; BANKES, S. C. Comparing Algorithms for Scenario Discovery. **Working Paper**, p. 1–35, 2008.

LEMPERT, R. J.; COLLINS, M. T. Managing the risk of uncertain threshold responses: Comparison of robust, optimum, and precautionary approaches. **Risk Analysis**, v. 27, n. 4, p. 1009–1026, 2007.

LEMPERT, R. J.; GROVES, D. G. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 77, n. 6, p. 960–974, 2010.

LEMPERT, R. J.; GROVES, D. G.; FISCHBACH, J. R. Is it ethical to use a single probability density function ? p. 1–26, 2013.

LEMPERT, R. J.; POPPER, S. W. High-Performance Government in an Uncertain World. In: KLITGAARD, R.; LIGHT, P. C. (Eds.). . **High-Performance Government: Structure, Leadership, Incentives**. [s.l: s.n.]. v. 65p. 253.

LEMPERT, R. J.; POPPER, S. W.; BANKES, S. C. Confronting Surprise. **Social Science Computer Review**, v. 20, n. 4, p. 420–440, 2002.

LEMPERT, R. J.; POPPER, S. W.; BANKES, S. C. **Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis**. [s.l: s.n.].

LEMPERT, R. J.; PROSNITZ, D. **Governing Geoengineering Research: A Political and Technical Vulnerability Analysis of Potential Near-Term Options**. [s.l: s.n.].

LEMPERT, R. J.; SRIVER, R.; KELLER, K. Characterizing Uncertain Sea Level Rise Projections To Support Investment Decisions. **California Climate Change Center**, p. 1–44, 2012.

LUEHRMAN, T. A. Strategy as a Portfolio of Real Options. n. June 1997, p. 89–99, 1998.

MAHNOVSKI, S. **Robust Decisions and Deep Uncetainty - An Application of Real Options to Public and Private Investment in Hydrogen and Fuel Cell Technologies**. [s.l: s.n.].

MINGERS, J.; BROCKLESBY, J. Multimethodology: Towards a Framework for Mixing Methodologies. **International Journal of Management Science**, v. 25, n. 5, p. 489–509, 1997.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Mangament**. [s.l.] Simon and Schuster, 2005.

MINTZBERG, H.; QUINN, J. B. **O Processo da Estratégia**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MOLINA-PEREZ, E. Directed International Technological Change and Climate Policy New Methods for Identifying Robust Policies Under Conditions of Deep Uncertainty. n. February, p. 1–193, 2016.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Systematic Literature Review. In: DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. (Eds.). . **Design Science Research A Method for Science and Tecnhology Advancement**. London: Springer, 2015. p. 161.

MORECROFT, J. D. W. Strategy support models. **Strategic Management Journal**, v. 5, n. 3, p. 215–229, jul. 1984.

MUI, C. **How Kodak Failed**. Disponível em: <http://www.forbes.com/sites/chunkamui/2012/01/18/how-kodak-failed/>. Acesso em: 17 mar. 2017.

NSF. **Climate Change a Focus of New NSF-Supported Research on How Decisions are Made in a World of Uncertainty**. Disponível em: <https://www.nsf.gov/news/news\_summ.jsp?cntn\_id=100447&org=SBE>. Acesso em: 17 fev. 2017.

O’BRIEN, F. Supporting the strategy process: a survey of UK OR/MS practitioners. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 5, p. 900–920, 2011.

O’BRIEN, F. A.; MEADOWS, M. Scenario orientation and use to support strategy development. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 4, p. 643–656, 2013.

PEYRONNIN, N. et al. Louisiana’s 2012 Coastal Master Plan: Overview of a Science-Based and Publicly Informed Decision-Making Process. **Journal of Coastal Research**, v. Sp.Issue 6, n. 10062, p. 29–50, 2013.

POPPER, S. W. et al. **Natural Gas and Israel’s Energy Future: Near Term Decisions from a Strategic Perspective**. [s.l: s.n.].

POPPER, S. W.; LEMPERT, R. J.; BANKES, S. C. Shaping the future. **Scientific American**, v. 292, n. 4, p. 1–8, 2005.

RAND. **Discussions on Robust Decision Making**. Disponível em: <http://www.rand.org/pardee/methods/robust-decisions-2010.html>. Acesso em: 23 fev. 2017.

RAND. **About Improving Decisions in a Complex and Changing World**. Disponível em: <http://www.rand.org/jie/projects/improvingdecisions/about.html>. Acesso em: 17 fev. 2017.

RAND. Making Good Decisions Without Predictions. **RAND Corporation Research Highlights**, p. 1–7, 2013.

RAND. **RDM Glossary**. Disponível em: <http://www.rand.org/methods/rdmlab/glossary.html>. Acesso em: 16 dez. 2016.

RODRIGUES, D. B. B. Assessment of water security using conceptual, deterministic and stochastic frameworks. p. 108, 2014.

SCHOEMAKER, P. J. Scenario planning: a tool for strategic thinking. **Sloan management review**, v. 36, n. 2, p. 25, 1995.

SCHOEMAKER, P. J. H. Multiple scenario development: Its conceptual and behavioral foundation. **Strategic Management Journal**, v. 14, n. 3, p. 193–213, mar. 1993.

SENGE, P. M. et al. **A quinta disciplina: caderno de campo: estratégias e ferramentas para construir uma organização que aprende**. [s.l.] Qualitymark, 1995.

SHORTRIDGE, J.; AVEN, T.; GUIKEMA, S. Risk assessment under deep uncertainty: A methodological comparison. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 159, n. October 2016, p. 12–23, 2017.

TORRES, J. P.; KUNC, M.; O’BRIEN, F. Supporting strategy using system dynamics. **European Journal of Operational Research**, v. 260, n. 3, p. 1081–1094, ago. 2017.

TRIGEORGIS, L.; REUER, J. J. Real options theory in strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 38, n. 1, p. 42–63, jan. 2017.

TRUTNEVYTE, E. et al. Reinvigorating the scenario technique to expand uncertainty consideration. **Climatic Change**, v. 135, n. 3–4, p. 373–379, 2016.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey : VOSviewer , a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, p. 523–538, 2010.

WACK, P. Scenarios: Uncharted Waters Ahead. **Harvard Business Review**, n. 85516, 1985.

WALKER, W. E.; HAASNOOT, M.; KWAKKEL, J. H. Adapt or perish: A review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty. **Sustainability (Switzerland)**, v. 5, n. 3, p. 955–979, 2013.

WALKER, W. E.; LEMPERT, R. J.; KWAKKEL, J. H. Deep Uncertainty. In: GASS, S. I.; FU, M. C. (Eds.). . **Encyclopedia of Operations Research and Management Science**. Boston, MA: Springer US, 2013. p. 395–402.

WILTBANK, R. et al. What to do next? The case for non-predictive strategy. **Strategic Management Journal**, v. 27, n. 10, p. 981–998, out. 2006.

ZINKEVIČIŪTĖ, V. Evaluation of business strategic decisions under changing environment conditions. **Journal of Business Economics and Management**, v. 12, n. 2, p. 332–352, 2011.

ZUPIC, I.; CATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2014.

# APÊNDICE A – Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura

Quadro 7 – Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura

| **Característica da Revisão** | **Decisão / Definição** | **Justificativa** |
| --- | --- | --- |
| **Framework Conceitual Inicial** | Exploratory Modeling Analysis and Robust Decision Making | Para a localização de revisões de literatura de modo coerente, foi feita a opção de buscar por revisões de literatura que reconheçam as abordagens reconhecidas pela comunidade de pesquisadores local. |
| **Contexto** | Não será definido um contexto de aplicação a priori. | O objetivo desta etapa do trabalho não é limitar as revisões de literatura somente de um contexto específico. |
| **Horizonte** | Sem Limitações  1993 – Presente | O trabalho seminal desta vertente de pesquisa é atribuído a (BANKES, 1993). Por este motivo, serão consideradas publicações a partir desta data. |
| **Correntes teóricas** | A Pesquisa irá delimitar seu foco sobre a abordagem RDM. | Existem diversas abordagens para o tratamento de situações complexas e de incertezas. Uma revisão de tais abordagens é oferecida por alguns trabalhos esta (DITTRICH; WREFORD; MORAN, 2016; WALKER; HAASNOOT; KWAKKEL, 2013). Este trabalho opta por focalizar sua atenção na abordagem RDM. |
| **Idiomas** | Inglês | Não foram localizadas a priori teses ou dissertações brasileiras que tratem de aplicações do RDM. Por este motivo, apenas trabalhos de língua inglesa são revisados. |
| **Questões de revisão** | Questão central da Revisão:  “Como avaliar decisões estratégicas em situações de incerteza?”  Sub-Questões:  (i) o que é o RDM; (ii) qual é / como se configura o interesse acadêmico a respeito do RDM; (iii) em que contextos o RDM foi aplicado; (iv) que artefatos foram comparados ao RDM; e (v) que artefatos a literatura em estratégia empresarial sugere para a avaliação de decisões estratégicas. | O objetivo desta revisão inicial é conhecer trabalhos seminais em RDM e suas principais aplicações, visando obter conhecimento sobre a possibilidade de sua aplicação em outros contextos. Além disto é um objetivo da revisão identificar trabalhos que sugiram ferramentas para a avaliação de decisões estratégicas. |
| **Estratégia de revisão** | Exploratória | Considerando que o tratamento do tema é recente, e de fato não foi ainda abordado por dissertações brasileiras, considera-se esta revisão de caráter exploratório. |
| **Extensão de Busca** | Saturação | Não pretende-se analisar todas as aplicações existentes do RDM, bem como não se busca realizar uma síntese de toda a população de artigos e trabalhos a respeito do tema. Por este motivo, a extensão da busca não será exaustiva, e sim por saturação. |
| **Fontes de Busca** | Scopus  RAND RDM Lab  Bases de Teses e Dissertações | Foram definidas estas bases pela sua abrangência. Em especial, o site do RAND RDM Lab possui mais de 80 publicações relevantes relacionadas ao RDM, constituindo-se a principal fonte de busca do trabalho. A Base de Teses e Dissertações foi utilizada para avaliar a existência de trabalhos brasileiros. |
| **Critérios de Inclusão** | Questões i-iv:  Foram incluídas na base de trabalhos todos aqueles que apresentaram relação direta com o RDM ou com a abordagem EMA. Todos os trabalhos localizados na fonte RAND RDM Lab foram incluídos.  Questão 5:  Foram incluídos os trabalhos que sugeriram abordagens para suporte à avaliação de decisões estratégicas empresariais. | O objetivo de tais critérios é permitir a identificação de apenas trabalhos relacionados ao RDM ou à EMA, ou trabalhos que sugiram métodos para avaliação de decisões estratégicas. |
| **Critérios de Exclusão** | Foram excluídos da base de trabalhos aqueles que mencionam o RDM porém em contextos alheios à situações de incerteza e problemas de longo prazo. | Busca-se considerar apenas trabalhos diretamente relacionados à abordagem EMA. |
| **Termos de Busca** | Termos definidos no Quadro 1. | Estes termos são encontrados com frequência nos textos seminais e últimos trabalhos relacionados a este tema de estudo. |

Fonte: Elaborado pelo autor**.**

# APÊNDICE B – Literatura Analisada sobre Decisões Estratégicas sob Incerteza

Quadro 8 – Literatura Analisada sobre a Avaliação de Decisões Estratégicas sob Incerteza

| **Título** | **Objetivo** | **Referência** |
| --- | --- | --- |
| Strategy support models | Discute o uso de modelos para suporte à estratégia, representando um dos primeiros textos sobre o tema. Sugere que o modelo não deve ser visto como uma "caixa preta infalível", mas sim ocupar um papel mais modesto. Ao invés de um gerador de respostas, o modelo deve ser visto como um gerador de opiniões. Utiliza um modelo de dinâmica de sistemas para ilustrar o uso no suporte à estratégia. | (MORECROFT, 1984) |
| Multiple scenario development: Its conceptual and behavioral foundation | Introduz o planejamento por cenários, discutindo suas bases conceituais e comportamentais. Contém uma das primeiras discussões estruturadas sobre o uso de cenários para o planejamento estratégico em condições de incerteza. | (SCHOEMAKER, 1993) |
| Strategy Under Uncertainty | Concebem a Incerteza utilizando um framework de quatro níveis distintos. Sugerem que diferentes ferramentas são úteis para diferentes níveis de incerteza. Prescrevem a necessidade de uma Postura estratégica em relação à incerteza, e descrevem "movimentos estratégicos" relacionados à incerteza. | (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997) |
| 20/20 Foresight Crafting Strategy in an Uncertain World | Apresenta um detalhamento do framework de quatro níveis de incerteza introduzido anteriormente, bem como detalha as ferramentas utilizadas em cada um destes níveis de incerteza. | (COURTNEY, 2001) |
| Decision-driven scenarios for assessing four levels of uncertainty | Faz uma distinção entre o uso da abordagem de cenários para definição da visão, e o uso da abordagem de cenários focado à decisão. Recomenda diretrizes para o uso de ambas as abordagens. | (COURTNEY, 2003) |
| The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning | Propõe a organização da literatura em cenários em três escolas distintas (Intuitive Logics, Probabilistic Modified Trends e La Prospective). Não inclui as abordagens do RDM como parte destas escolas. | (BRADFIELD et al., 2005) |
| What to do next? The case for non-predictive strategy | Discute a dicotomia entre as abordagens estratégicas focalizadas em predição e as abordagens estratégicas focalizadas em controle. Argumentam que estratégias baseadas em controle são independentes de predições. | (WILTBANK et al., 2006) |
| The strategic development process | Introduz o conceito de "processo de desenvolvimento da estratégia", delineando etapas e indicando o papel de ferramentas nestas etapas. Possui uma etapa específica para a avaliação de decisões estratégicas. Sugere que o desenvolvimento da estratégia será eficaz caso seja realizada uma avaliação multi-dimensional das incertezas e riscos envolvidos. | (DYSON et al., 2007) |
| The current state of scenario development : an overview of techniques | Apresenta uma revisão das abordagens baseadas em planejamento por cenários. Dentre estas abordagens não há menção ao RDM. | (BISHOP; HINES; COLLINS, 2007) |
| System dynamics and strategy | Discute o uso da dinâmica de sistemas como ferramenta para criar e testar teorias que expliquem diferentes padrões longitudinais de performance de empresas no campo da estratégia. Identificam quatro linhas de pesuisa para a dinâmica de sistemas no campo da estratégia. Não trata a dinâmica de sistemas como ferramenta para tomada de decisão estratégica. | (GARY et al., 2008) |
| A fresh look at strategy under uncertainty : An interview | Após a crise financeira de 2008, Hugh Courtney em uma entrevista concede uma entrevista a respeito do planejamento estratégico sob incerteza. Courtney argumenta a favor da análise baseada em casos para decisões dos níveis 3 e 4 de incerteza. | (COURTNEY, 2008) |
| Decision Analysis | Apresenta uma introdução à Análise de Decisão (com experimentação e sem experimentação). Trata-se da abordagem padrão para a tomada de decisão sob incerteza. | (HILLIER; LIEBERMAN, 2010) |
| Supporting the strategy process: a survey of UK OR/MS practitioners | Apresenta resultados de uma survey indicando o uso de ferramentas para o suporte à estratégia na Inglaterra. Indica que ferramentas são mais e menos utilizadas. | (O’BRIEN, 2011) |
| Evaluation of business strategic decisions under changing environment conditions | Apresenta uma modificação da abordagem de cenários, intitulada "Scenario Road's Analysis". Não apresenta contribuições para a avaliação quantitativa de decisões estratégicas. | (ZINKEVIČIŪTĖ, 2011) |
| Scenario orientation and use to support strategy development | Aponta a necessidade de uma etapa de "Orientação a Cenários" que sirva de ligação entre o desenvolvimento dos cenários e o uso dos cenários. | (O’BRIEN; MEADOWS, 2013) |
| Deciding How To Decide | Introduz a ideia de que, para selecionar uma abordagem para a tomada de decisão sob incerteza a empresa deve responder a três questões. Argumenta a favor do uso da abordagem "case-based decision analysis". Não cita o RDM. | (COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013) |
| Applying System Dynamics Modelling to Strategic Management: A Literature Review | Revisa aplicações da modelagem de dinâmica de sistemas (DS) em questões relacionadas à estratégia. | (COSENZ; NOTO, 2016) |
| Supporting strategy using system dynamics | Apresenta um roteiro para o uso da modelagem de dinâmica de sistemas para suporte à estratégia. Com base em poucas aplicações da Dinâmica de Sistemas, sugere que a mesma foi útil quando os CEOs foram capazes de criar estratégias alternativas para os cenários que desafiaram as estratégias atuais. | (TORRES; KUNC; O’BRIEN, 2017) |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

# APÊNDICE C – Literatura Analisada sobre RDM e EMA

Quadro 9 – Shortlist de Trabalhos em RDM e EMA

| **Título** | **Síntese do Objetivo** | **Referência** |
| --- | --- | --- |
| Exploratory Modeling for Policy Analysis | Apresenta o conceito de modelagem exploratória e contesta o uso de modelos consolidativos para situações nas quais sua aplicação é inadequada. | (BANKES, 1993) |
| A new decision sciences for complex systems. | Discute o papel de métodos tradicionais e dos métodos de cenários para problemas complexos e incertos. Apresenta o CAR (Computer-Assisted Reasoning) e o RAP como alternativa para estes problemas. | (LEMPERT, 2002) |
| Confronting Surprise | Questiona o uso de ferramentas tradicionais para situações de incerteza, e apresenta uma das primeiras versões do RDM, até então chamado de RAP (Robust Adaptive Planning). | (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2002) |
| Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis | Neste livro as motivações e detalhes do RDM são amplamente discutidos. Trata-se do principal livro que apresenta o RDM enquanto alternativa para problemas complexos e incertos no ramo de LTPA (Long Term Policy Analysis). | (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003) |
| A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios | Apresenta formalmente o RDM enquanto método para a abordagem de problemas incertos e complexos. | (LEMPERT et al., 2006) |
| New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California | Trata-se da primeira análise completa utilizando o RDM em um problema real. Nesta tese, o RDM é utilizado para o planejamento de longo prazo de recursos hídricos da California. | (GROVES, 2006) |
| A new analytic method for finding policy-relevant scenarios | Apresenta o RDM e sua aplicação no planejamento de água da Califórnia. | (GROVES; LEMPERT, 2007) |
| Comparing Algorithms for Scenario Discovery | Compara os Algoritmos PRIM e CART para a descoberta de cenários. | (LEMPERT; BRYANT; BANKES, 2008) |
| Thinking inside the box: A participatory, computer-assisted approach to scenario discovery | Apresenta em mais detalhes a descoberta de cenários, explicitando os critérios e o funcionamento do algoritmo PRIM para a identificação de cenários. | (BRYANT; LEMPERT, 2010) |
| Investment Decision Making Under Deep Uncertainty: Application to Climate Change | Compara abordagens aplicáveis para decisões de investimento em situações de incerteza, incluindo o RDM, CBA (Análise de Custos e Benefícios), e Opções Reais. | (HALLEGATTE et al., 2012) |
| Exploratory Modeling and Analysis, an approach for model-based foresight under deep uncertainty | Discute o papel da EMA utilizando três casos distintos. Os casos mostram como é possível melhorar um plano estratégico iterativamente identificando as condições externas que fazem o plano ter performance ruim. | (KWAKKEL; PRUYT, 2013) |
| Assessment of water security using conceptual, deterministic and stochastic frameworks | Tese composta de três artigos. O primeiro compara o sistema brasileiro e o americano de gerenciamento de água. O segundo demonstra como uma análise quantitativa pode ser conduzida, usando o sistema cantareira, e o terceiro propõe um método que pode ser usado para o gerenciamento de água. A tese menciona a Robust Decision Making, mas não a aplica. | (RODRIGUES, 2014) |
| Managing Water Quality in the Face of Uncertainty: A Robust Decision Making Demonstration for EPA's National Water Program | O estudo explorou a possibilidade de aplicação do RDM aos processos de gerenciamento de qualidade da água da Agência de Proteção Ambiental Americana. | (FISCHBACH et al., 2015) |
| Robust Decision-Making in the Water Sector A Strategy for Implementing Lima ’ s Long-Term Water Resources Master Plan | Aplicação do RDM para a avaliação de investimentos em infraestrutura para provisão de água em Lima, Peru. | (KALRA et al., 2015) |
| Defense Resource Planning Under Uncertainty: An Application of Robust Decision Making to Munitions Mix Planning | Representa uma prova de conceito para a aplicação do RDM ao planejamento de mix de armamento em situações de defesa. | (LEMPERT et al., 2016) |
| Directed International Technological Change and Climate Policy New Methods for Identifying Robust Policies Under Conditions of Deep Uncertainty | O estudo explora a aplicação do RDM e EMA ao tema da troca tecnológica entre países para a tratativa de problemas climáticos. | (MOLINA-PEREZ, 2016) |
| Exploratory Modeling and Analysis | Define o conceito de Modelagem Exploratória (EMA), e suas motivações. Trata-se da Definição publicada na Enciclopédia de Pesquisa Operaciona. | (BANKES; WALKER; KWAKKEL, 2013) |
| Reinvigorating the scenario technique to expand uncertainty consideration | Propõe melhorias para a metodologia de cenários inserindo elementos do método RDM, como consideração de diversas incertezas. | (TRUTNEVYTE et al., 2016) |
| Using High-Performance Computing to Support Water Resource Planning: A Workshop Demonstration of Real-Time Analytic Facilitation for the Colorado River Basin | Testar o uso de computação de alta performance na facilitação de decisões em workshops em tempo real utilizando o Robust Decision Making | (GROVES et al., 2016) |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

# APÊNDICE D – Contextos de Aplicação do RDM

Quadro 10 – Lista de Aplicações do RDM

| **Referência** | **Área de Aplicação** | **Título** | **Pgs** |
| --- | --- | --- | --- |
| (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003) | Mudanças Climáticas | Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis | 208 |
| (POPPER; LEMPERT; BANKES, 2005) | Mudanças Climáticas | Shaping the future | 8 |
| (LEMPERT et al., 2006) | Mudanças Climáticas | A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios | 15 |
| (GROVES, 2006) | Recursos Hídricos | New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California | 217 |
| (LEMPERT; COLLINS, 2007) | Mudanças Climáticas | Managing the risk of uncertain threshold responses: Comparison of robust, optimum, and precautionary approaches | 18 |
| (MAHNOVSKI, 2007) | Investimento em novas Tecnologias | Robust Decisions and Deep Uncetainty - An Application of Real Options to Public and Private Investment in Hydrogen and Fuel Cell Technologies | 130 |
| (DIXON et al., 2007) | Terrorismo | The Federal Role in Terrorism Insurance: Evaluating Alternatives in an Uncertain World | 150 |
| (GRIFFIN, 2008) | Energia | Improving Cost-Effectiveness and Mitigating Risks of Renewable Energy Requirements | 250 |
| (GROVES; DAVIS, 2008) | Mudanças Climáticas | Planning for Climate Change in the Inland Empire: Southern California | 4 |
| (GROVES et al., 2008) | Recursos Hídricos | Preparing for an Uncertain Future Climate in the Inland Empire: Identifying Robust Water Management Strategies | 100 |
| (POPPER et al., 2009) | Energia | Natural Gas and Israel's Energy Future: Near Term Decisions from a Strategic Perspective | 96 |
| (LEMPERT; GROVES, 2010) | Recursos Hídricos | Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west | 15 |
| (FISCHBACH, 2010) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Managing New Orleans Flood Risk in an Uncertain Future Using Non-Structural Risk Mitigation | 283 |
| (LEMPERT; PROSNITZ, 2011) | Investimento em novas Tecnologias | Governing Geoengineering Research: A Political and Technical Vulnerability Analysis of Potential Near-Term Options | 95 |
| (KEEFE, 2011) | Transporte e Emissões de Poluentes | Reconsidering California Transport Policies: Reducing Greenhouse Gas Emissions in an Uncertain Future | 322 |
| (LEMPERT; SRIVER; KELLER, 2012) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Characterizing Uncertain Sea Level Rise Projections To Support Investment Decisions | 44 |
| (HALL et al., 2012) | Mudanças Climáticas | Robust Climate Policies Under Uncertainty: A Comparison of Robust Decision Making and Info-Gap Methods | 16 |
| (GROVES et al., 2013a) | Recursos Hídricos | Adapting to a Changing Colorado River Making Future Water Deliveries More Reliable Throught Robust Management Strategies | 102 |
| (GROVES et al., 2013b) | Recursos Hídricos | Addressing Climate Change in Local Water Agency Plans: Demonstrating a Simplified Robust Decision Making Approach in the California Sierra Foothills. Santa Monica, CA | 78 |
| (LEMPERT et al., 2013) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Ensuring Robust Flood Risk Management in Ho Chi Minh City | 63 |
| (JOHNSON; FISCHBACH; ORTIZ, 2013) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Estimating Surge-Based Flood Risk with the Coastal Louisiana Risk Assessment Model | 22 |
| (LEMPERT; GROVES; FISCHBACH, 2013) | Mudanças Climáticas | Is it ethical to use a single probability density function ? | 26 |
| (PEYRONNIN et al., 2013) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Louisiana's 2012 Coastal Master Plan: Overview of a Science-Based and Publicly Informed Decision-Making Process | 22 |
| (KASPRZYK et al., 2013) | Recursos Hídricos | Many objective robust decision making for complex environmental systems undergoing change\* | 17 |
| (GROVES; SHARON, 2013) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Planning Tool to Support Planning the Future of Coastal Louisiana | 22 |
| (GROVES; BLOOM, 2013) | Recursos Hídricos | Robust Water-Management Strategies for the California Water Plan Update 2013 Proof-of-Concept Analysis | 72 |
| (BLOOM, 2014) | Recursos Hídricos | Changing Midstream -Providing Decision Support for Adaptive Strategies using Robust Decision Making: Applications in the Colorado River Basin | 273 |
| (GROVES et al., 2014) | Recursos Hídricos | Developing Robust Strategies for Climate Change and Other Risks: A Water Utility Framework About the Water Research Foundation | 142 |
| (ABRAMZON, 2014) | Política Tributária / Econômica | Strategies for Managing Sovereign Debt, A Robust Decision Making Approach | 83 |
| (GROVES; FISCHBACH; KNOPMAN, 2014) | Infraestrutura e Desastres Naturais | Strengthening Coastal Planning How Coastal Regions Could Benefit from Louisiana's Planning and Analysis Framework | 68 |
| (FISCHBACH et al., 2015) | Recursos Hídricos | Managing Water Quality in the Face of Uncertainty: A Robust Decision Making Demonstration for EPA's National Water Program | 162 |
| (MOLINA-PEREZ, 2016) | Mudanças Climáticas | Directed International Technological Change and Climate Policy New Methods for Identifying Robust Policies Under Conditions of Deep Uncertainty | 193 |

\*Aplicação do MORDM, entendida como uma derivação do RDM.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

# APÊNDICE E – Protocolo da Pesquisa

Quadro 11 – Protocolo da Pesquisa

| **Etapa do Método** | **Decisão a Tomar** | **Resposta e Justificativa** |
| --- | --- | --- |
| 1. Estruturação da Decisão | X - Quais Incertezas Considerar? |  |
| 1. Estruturação da Decisão | L - Quais Estratégias Considerar? Quantos “graus de liberadade”? |  |
| 1. Estruturação da Decisão | R - Quais Relações (Modelo) Considerar? |  |
| 1. Estruturação da Decisão | M - Que Medidas de Performance Considerar? |  |
| 2. Geração de Casos | Que Estratégia de Amostragem Considerar? |  |
| 2. Geração de Casos | Que Ranges de Incerteza Considerar? |  |
| 2. Geração de Casos | Quantos Casos Analisar? |  |
| 2. Geração de Casos | Como Avaliar a Qualidade do Gerador de Casos? |  |
| 2. Geração de Casos | Como Avaliar a Plausibilidade dos Resultados? |  |
| 3. Descoberta de Cenários | Que estratégia de ordenação de estratégias candidatas considerar? |  |
| 3. Descoberta de Cenários | Que estratégias candidatas avaliar? |  |
| 3. Descoberta de Cenários | Que ferramentas analíticas usar para descobrir os cenários? (Algoritmo PRIM, CART) |  |
| 3. Descoberta de Cenários | Que critérios de escolha dos cenários serão usados? (densidade, cobertura, etc.) |  |
| 3. Descoberta de Cenários | Que critérios de avaliação dos cenários serão usados? (densidade, cobertura, etc.) |  |
| 3. Descoberta de Cenários | Quantos cenários serão considerados? |  |
| 4. Avaliação de Tradeoffs | Como encontrar estratégias na “fronteira de eficiência”? Que critério considerar para elencar estratégias que competem entre si? |  |
| 4. Avaliação de Tradeoffs | Que cenários considerar para a Avaliação dos Tradeoffs? |  |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (GROVES, 2006; LEMPERT et al., 2006; LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

# APÊNDICE F – Equações relacionadas ao RDM e Fontes

Quadro 12 – Equações para Aplicação do RDM e Fontes

| **Incógnitas e Equações** | **Significado** | **Fonte** |
| --- | --- | --- |
|  | Estratégia pertence ao conjunto de estratégias . | (LEMPERT et al., 2006, p. 517) |
|  | Espaço de incertezas onde é o espaço de parâmetros de incerteza e indexa valores plausíveis destes parâmetros. | (HALL et al., 2012, p. 9) |
|  | Espaço de probabilidade onde indexa pesos de probabilidade alternativos em | (HALL et al., 2012, p. 9) |
|  | Futuro pertence ao conjunto de futuros plausíveis . | (LEMPERT et al., 2006, p. 517) |
|  | Conjunto de “Casos” (*Ensemble*) dado pela combinação de estratégias e futuros. | (LEMPERT et al., 2006, p. 517) |
|  | Performance da estratégia no futuro calculada pelo gerador de cenários. | (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 55) |
|  | Conjunto de distribuições de probabilidade . | (LEMPERT; COLLINS, 2007, p. 1018) |
|  | Arrependimento da estratégia em comparação às demais estratégias analisadas. | (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 55) |
|  | Arrependimento relativo da estratégia , em comparação às demais estratégias analisadas. | (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 56) |
|  | Arrependimento esperado da estratégia contingente a uma distribuição de probabilidade e ao futuro . | (LEMPERT; COLLINS, 2007, p. 1018) |
|  | Arrependimento Esperado da estratégia contingente ao número de casos no qual a estratégia tem sucesso , o arrependimento esperado destas estratégias nestes casos , | (LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003, p. 119) |
|  | Chances (ex: 1:10) da ocorrência de um cenário assumindo probabilidade . |  |
|  | O Conjunto de Casos relevantes para a decisão corresponde a todos os casos cuja performance supere um *threshold* de aceitação . | (LEMPERT; BRYANT; BANKES, 2008, p. 6) |
|  | Cobertura representa a razão de casos relevantes para a decisão **,** formada por clusters em relação ao número casos contidos no conjunto de casos relevantes . | (LEMPERT; BRYANT; BANKES, 2008, p. 7) |
|  | Densidade representa a razão de casos relevantes para a decisão **,** formada por clusters em relação ao número casos contidos no conjunto de clusters . | (LEMPERT; BRYANT; BANKES, 2008, p. 7) |
|  | Uma maneira é escolher a estratégia que tem performance superior à um *threshold* de performance no maior número possível de futuros | (GROVES, 2006, p. 135) |
|  | Uma maneira é escolher estratégia que tem performance Mediana, ou utilizar algum outro quartil | (GROVES, 2006, p. 136) |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

# APÊNDICE G – Quadro Completo de Métodos

Quadro 13 – Quadro completo de Métodos Relacionados ao RDM

| **Referência** | **(LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003)** | **(LEMPERT et al., 2006)** | **(HALL et al., 2012)** | **(HALLEGATTE et al., 2012)** | **(LEMPERT, 2013)** | **(KALRA et al., 2014)** | **(HERMAN et al., 2015)** | **(KASPRZYK et al., 2013)** | **(COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997)** | **(COURTNEY; LOVALLO; CLARKE, 2013)** | **(O’BRIEN, 2011)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Contexto** | Long Term Policy Analysis | Decision Making Under Deep Uncertainty | Climate Policies Under Uncertainty | Investment Decision Making Under Climate Uncertainty | Climate-Related Decisions | Decision Making Under Deep Uncertainty | Water Systems Planning under Change | Complex Envinromental Systems Undergoing Change | Business Strategy Under Uncertainty | Business Strategy Under Uncertainty | Supporting the Strategy Process\*\* |
| Planejamento por Cenários | x | x |  |  | x |  |  |  | x | x | x |
| Delphi | x |  |  |  |  |  |  |  |  | x | x |
| Foresight | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Decision Analysis | x | x |  |  |  |  |  |  | x |  | x |
| Simulação Computacional | x |  |  |  |  |  |  |  |  | \* | x |
| Robust Decision Making | x | x | x | x | x | x | x | x |  |  |  |
| Risk Analysis |  | x |  |  |  |  |  |  |  |  | x |
| Info-Gap |  |  | x |  |  |  | x |  |  |  |  |
| Cost Benefit Analysis |  |  |  | x |  | x |  | x |  |  | x |
| Cost Benefit Analysis Under Uncertainty |  |  |  | x |  | x |  | x |  |  | x |
| Real Options |  |  |  | x |  | x |  |  | x | x | x |
| Climate Informed Decision Analysis |  |  |  | x |  |  |  |  |  |  |  |
| Many Objective Robust Decision Making |  |  |  |  |  |  | x | x |  |  |  |
| Decision Scaling |  |  |  |  |  |  | x |  |  |  |  |
| Robust Optimization |  |  |  |  |  |  | x |  |  |  | \* |
| "Traditional Strategy Toolkit" |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | \* |
| Game Theory |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  | x |
| Technology Forecasting |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  |  |
| System Dynamics Modeling |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  | x |
| Agent-Based Modeling |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  | x |
| Latent-demand Research |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  |  |
| Conventional Capital-Budgeting Tools |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x | \* |
| Monte Carlo Methods |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x | \* |
| Case-based Decision Analysis |  |  |  |  |  |  |  |  | x | x |  |
| Prediction Markets |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  |
| Incentivized Estimate Approaches |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x |  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

1. O Lago Mead foi formado em 1930 pela construção da Hoover Dam, e é o maior reservatório hídrico dos Estados Unidos. [↑](#footnote-ref-1)
2. Society for Decision Making Under Uncertainty: http://www.deepuncertainty.org/about-us/ [↑](#footnote-ref-2)
3. Uma lista continuamente atualizada de publicações relacionadas ao RDM pode ser encontrada em http://www.rand.org/methods/rdmlab.html [↑](#footnote-ref-3)