



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

**DINÂMICA DE SISTEMAS COMO MÉTODO DE
GESTÃO DE RISCOS:**

Aplicação na Gestão de Riscos em Recursos Hídricos

Oseias Gomes Oliveira

Dissertação apresentada como requisito parcial para conclusão do
Mestrado Profissional em Computação Aplicada

Orientador
Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim

Brasília
2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Gd Gomes, Oseias Oliveira
 DINÂMICA DE SISTEMAS COMO MÉTODO DE GESTÃO DE RISCOS:
Aplicação na Gestão de Riscos em Recursos Hídricos / Oseias
Oliveira Gomes; orientador Ricardo Matos Chaim. -- Brasília,
2018.
 155 p.

 Dissertação (Mestrado - Doutorado em Ciências do
Comportamento) -- Universidade de Brasília, 2018.

 1. Dinâmica de Sistemas. 2. Gestão de Riscos. 3. Índice
de Sustentabilidade. 4. Recursos Hídricos. 5. Bacia Alto
Descoberto. I. Matos Chaim, Ricardo, orient. II. Título.

Dedicatória

...um dia ele disse:

- Filho, busque o conhecimento, adquira a sabedoria.

E eu, com os olhos reverentes, respeitosamente disse:

- Sim, papai, eu buscarei.

Ele, no dia 17/07/2017 Deus o chamou, exato dia que completaria 72 anos de vida. O pai que me ensinou o caminho. Obrigou-me a buscar o conhecimento. Incentivou-me a chegar onde aqui cheguei.

A esse guerreiro que não o vejo mais, que, porém, o seu coração bate dentro do meu, seu sangue corre em minhas veias, suas ideias ecoam em minha mente, suas palavras são vivas e jamais serão esquecidas.

O nome dele merece ser conhecido, o nome dele merece ser pronunciado em qualquer academia do mundo, porque ele como ninguém, ensinou-me o que jamais alguém poderá ensinar-me. Caráter! Honra! Determinação! Coragem! Respeito! Fé! Amar a Deus! Perdão e muitos ensinamentos impronunciáveis.

Em sua memória, eu dedico esta pesquisa.

Seu nome é JOSÉ GOMES.

Agradecimentos

De todas as promessas que Deus fez à minha vida, nem uma única falhou: tudo se cumpriu fielmente. Eu o agradeço de todo o meu coração. A Deus toda glória, honra e louvor para todo sempre.

Patrícia Gomes: suas palavras, seu amor e seu êxito em manter nossos filhos, nosso lar, e nossa vida organizada, significou muito para que este projeto pudesse ser concluído. Meu amor, o crédito é todo Seu!

Victor Joshua: suas orações, suas risadas, seu jeito único de falar “pai” o torna um filho muito especial. Te amo filho.

Élika Ester, minha linda princesa, amo seu jeito sincero, sua forma única e decisiva de ser. As suas orações, suas palavras de ânimo, fazem de mim um pai muito especial.

Maria Zélia, minha mamãe, você é uma das minhas fontes de inspiração, eu não conheci ainda alguém de tamanha fé e determinação. Creio que quando Deus planejou a minha existência, disse: ele vai precisar de uma progenitora que o ajude a ser quem Eu quero que ele seja. Então, Deus colocou a senhora em minha vida . Muito Obrigado por tudo. Viu, seu esforço deu certo, eu cheguei até aqui.

Obrigado, Josélia, Wilson, Vinícios, Josâne, Batista, Saymon, Samuel, Simone, Josué, Sâmara, Abner Calebe, Odair, Orilene, Luciana, Carlos, Alexandre, Larissa, Cláudia, Édson, Harefe, Abner Haniel, Karina, Alúcio, Odair Junior, Gabriele, Odair Neto e Luiza. Vocês são a melhor família que eu poderia ter. Muito obrigado por me apoiar, incentivar, orar e compreender minhas ausências.

Neste projeto, tornei-me dependente de outras pessoas muito mais do que em qualquer outro projeto que tenha me envolvido anteriormente. Amigos, amigos dos meus amigos, e até pessoas dos mais diversos lugares forneceram subsídio para que este trabalho chegasse onde chegou. Todos, ouvindo e observando pacientemente minhas calorosas apresentações, foram fundamentais com suas críticas, sugestões na realização deste trabalho. Sou grato a todos vocês de forma grandiosa.

Muito Obrigado a todos!

Resumo

A pesquisa trata da aplicação da Dinâmica de Sistemas no processo de Gestão de Riscos em recursos hídricos de modo a oferecer ao gestor uma ferramenta que o auxilie na criação de políticas hídricas, tomada de decisão e planejamento de médio e longo prazo. Para tanto, o trabalho buscou identificar os fatores de riscos e as relações causais existentes no sistema hídrico, analisou as relações de estoque e fluxo e, a partir do modelo de simulação, construiu-se um instrumento computacional que permite ao gestor fazer proposição de políticas de gestão de risco em recursos hídricos. O processo de criação do modelo obteve validação por especialistas na gestão da água do Distrito Federal, e aplicou-se o método para a modelagem em Dinâmica de Sistemas, objetivando melhorar a capacidade de compreensão e aprendizado em sistemas complexos. A aplicação do modelo teve como alvo de aplicação a bacia Hidrográfica do Alto do Descoberto, localizada em Brasília-DF. Conclui-se que a Dinâmica de Sistema instrumentaliza o processo de Gestão de Riscos, uma vez que este oferece ferramentas e métodos que auxiliam no processo de estabelecimento do contexto; processo de avaliação de riscos (abrangendo a identificação de riscos, a análise de riscos e a avaliação de riscos), e instrumentaliza o tratamento do risco, permitindo criar cenários simulados que possibilitam a definição de políticas para tratar e monitorar o risco.

Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas. Gestão de Riscos. Índice de Sustentabilidade. Recursos Hídricos. Bacia Descoberto.

Abstract

The research deals with the application of System Dynamics in the process of Risk Management in water resources in order to offer the manager a tool to assist in the creation of water policies, decision making and medium and long term planning. In order to do so, the work sought to identify the risk factors and causal relationships in the water system, analyzed the relations of stock and flow and, based on the simulation model, a computational tool was constructed that allows the manager to propose policies management of water resources. The model creation process was validated by specialists in water management in the Federal District, and the method for modeling in System Dynamics was applied, aiming to improve the comprehension and learning capacity in complex systems. The application of the model was applied to the Alto do Descoberto Hydrographic Basin, located in Brasília-DF. It is concluded that the System Dynamics instrumentalizes the Risk Management process, since it offers tools and methods that help in the process of establishing the context; risk assessment process (covering risk identification, risk analysis and risk assessment), and instrumentalises the treatment of risk, allowing the creation of simulated scenarios that allow the definition of policies to treat and monitor risk.

Keywords: Systems Dynamics. Risk management. Sustainability Index. Water resources. Bacia Descoberto.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Problema de Pesquisa	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Pressuposto	4
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Da Complexidade ao Pensamento Sistêmico	5
2.2	Dinâmica de Sistemas	16
2.2.1	Exemplo 1 da Aplicação da Dinâmica de Sistemas	19
2.2.2	Exemplo 2 da Aplicação da Dinâmica de Sistemas	24
2.3	Modelagem e Simulação	26
2.3.1	Diagramas de Loop Causal	27
2.3.2	Estoques, Fluxos e Acumuladores	30
2.3.3	Principais Aspectos e Conceitos	32
2.4	Uma Breve História do Risco	32
2.5	Estado da Arte em Gestão de Riscos	45
2.5.1	Frameworks de Deferência na Gestão de Riscos	48
2.5.2	ISO 31000 e Guias Correlatos	49
2.5.3	COSO ERM	53
2.5.4	Aplicação de Dinâmica de Sistemas na Gestão de Riscos	56
2.6	Gestão de Risco em Recursos Hídricos	63
3	Procedimentos e Métodos	74
3.1	Finalidade da Pesquisa	77
3.2	Tipo de Pesquisa	77
3.3	Universo da Pesquisa	77
3.4	Fontes de Informações e Dados	80
3.5	Coleta de Dados	81
3.6	Variáveis	82

3.7	Descoberta de Conhecimento dos Dados	85
3.7.1	Seleção dos Dados	85
3.7.2	Pré-processamento e limpeza	86
3.8	Transformação	87
3.9	Ferramentas Computacionais Aplicadas	89
3.10	Limitações do Estudo	90
4	Aplicação do Método	92
4.1	Identificação dos Fatores de Riscos e suas Respectivas Relações causais .	92
4.2	Análise das Relações de Estoque e Fluxo em Recursos Hídricos	94
4.3	Tratando Incertezas	101
4.4	Instrumentalizando a Proposição de Políticas de Gestão de Risco em Recursos Hídricos	104
4.5	Simulando e Calculando o Risco	104
4.6	Validação do Modelo com Especialistas	113
5	Conclusões e Recomendações	119
5.1	Dificuldades	124
5.2	Recomendações	124
	Referências	126
	Anexo	135
I	Entrevista - Identificação dos Fatores Chaves de riscos	136
I.1	Entrevista - Identificação dos Fatores Chaves de riscos	136
II	Pesquisa levantamento de Dados IBGE	137
II.1	Entrevista semi-estruturada - Identificação da População do Distrito Federal	137
III	Pesquisa levantamento de Dados	140
III.1	Entrevista semi-estruturada - Levantamento de Dados de Consumo Hídrico	140
IV	Pesquisa Avaliação do Modelo Proposto	142
IV.1	Anexo 1 - Pesquisa semi-estruturado - Avaliação do Modelo	142
V	Algoritmo para Cálculo do Risco	149
V.1	Anexo 5 - Algoritmo para Calcular do Risco	149

VI	Projeção do Crescimento Populacional	151
VI.1	Anexo 6 - Projeção do Crescimento Populacional até 20130	151
VII	Ferramentas e Técnicas - ISO/IEC 31010:2012	153

Lista de Figuras

2.1	Crescimento de Dados Gerados.	8
2.2	Características de um Sistema Complexo	12
2.3	Primeiro esboço de Jay do modelo mundial	18
2.4	Quantidade de Publicações	19
2.5	Quantidade de Publicações Relacionadas ao Tema Dinâmica de Sistemas	20
2.6	Publicações por Área de Conhecimento	20
2.7	Modelo Mundial	21
2.8	Funcionamento Padrão do Modelo Mundial	23
2.9	Diagrama Causal de Recursos Hídricos	24
2.10	Setor Oferta de Água do Modelo de Recursos Hídricos	25
2.11	Link de Polaridade: definições e exemplos	27
2.12	Notação de diagrama de loop causal	28
2.13	Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá	29
2.14	Metáfora Hidráulica	30
2.15	Notação de diagrama de fluxo e estoque	31
2.16	Custo da gestão de risco e magnitude do risco	40
2.17	Quantidade de Publicações com o tema: Risk Management, por ano.	45
2.18	Abordagens Risco	46
2.19	Processos ISO 31000:2018	50
2.20	Cubo Coso ERM	54
2.21	comparativo ISO 31000 e coso ERM	55
2.22	Processo de Modelagem	59
2.23	Etapas e estágios no processo de modelagem de dinâmica do sistema	60
2.24	Utilizações Diretas e Indiretas dos Recursos Hídricos	64
2.25	Descrição de um Sistema de Recursos Hídricos	65
3.1	Percentual da Água captada na Bacia do Rio Descoberto para atendimento da água demanda para Brasília	78
3.2	Localização das Bacia Hidrográfica Rio Descoberto no Distrito Federal	79

3.3	Cota Reservatório Descoberto - Análise 160 meses - 2014 a 2018	79
3.4	Disponibilidade Hídrica de Regiões/Estados (m^3 /hab.ano)	80
3.5	Cotas do reservatório no último dia do mês (1988-2016)	87
3.6	Curvas Cota x Área x Volume da Barragem do Rio Descoberto	87
3.7	Histórico de Precipitação	89
3.8	Histórico de Vazão	89
4.1	Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos.	93
4.2	Fatores de Risco relacionado ao Balanço Hídrico do Modelo de Recursos Hídricos da Bacia do Alto do Descoberto.	95
4.3	Modelo dos Fatores de Risco Relacionado ao Balanço Hídrico, Oferta e Demanda de Recursos Hídricos da Bacia do Alto do Descoberto.	96
4.4	Fatores de Risco Relacionado à Demanda Hídrica da População na Bacia do Alto do Descoberto.	98
4.5	Cota Simulada do Reservatório - Simulando 5.282 dias	100
4.6	Cotas do Reservatório no Último Dia do Mês (1988-2016)	101
4.7	Precipitação Média Mensal Simulada	102
4.8	Precipitação Média (mm) Mensal Real de Todos os Meses de janeiro	102
4.9	Precipitação Média mensal (mm) de todos os meses de janeiro	103
4.10	Vazão Média (m^3) Real.	103
4.11	Vazão Média Simulada - (m^3) 2004 a 2030.	103
4.12	Tela de Parametrização do Modelo	105
4.13	Aplicação da Técnica de Calibração de Parâmetro para estimar o Coeficiente de Infiltração com o Especialista.	106
4.14	Precipitação Simulada mm/mês - Período 2005-2030	107
4.15	Vazão total dos Tributários Simulada (Descoberto chácara 89, Chapadinha Aviário - DF180, Olaria - DF080, Rodeador - DF435, Capão Comprido, Ribeirão das Pedras e Outros Afluentes GO) - m^3 /mês - Período 2005-2030	107
4.16	Volume Infiltrado Simulado - m^3 /mês - Período 2005-2030	108
4.17	Demanda Simulada da População - 1.000.000 m^3 /mês - Período 2005-2030.	108
4.18	Balanço Hídrico Simulado - 1.000.000 m^3 /mês - Período 2005-2030.	108
4.19	Índice de Sustentabilidade - Período 2005-2030.	109
4.20	Análise do Risco	113
VI.1	152

Lista de Tabelas

2.1	Quantidade de Publicações por área sobre o tema: Risk Management	47
2.2	Interação entre o Processo de Gestão de Risco ISO 31000 e o Processo de Modelagem de Sistemas	62
2.3	Caracterização do Índice de Sustentabilidade	73
3.1	Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas localizadas no Distrito Federal e entorno	78
3.2	Relação das principais variáveis, sua descrição e seus principais indicadores relacionados à Gestão Hídrica	84
3.3	Tabela de Cálculo do Volume do Reservatório	88
4.1	Perda no Sistema de Distribuição de Água	95
4.2	Consumo Médio per cápita de Água por dia	99

Capítulo 1

Introdução

Os desafios do gestor da atualidade na tomada de decisão e gestão dos riscos inspiraram a realização deste trabalho. A globalização e a interdependência dos sistemas econômicos, sociais, ambientais e culturais, embalado na velocidade do desenvolvimento tecnológico, criam um ambiente de riscos e incertezas para o gestor tomar decisões inerentes ao seu ofício. Esses desafios são ampliados pela complexidade envolvendo um universo de variáveis que afetam no impacto do resultado de uma decisão. Reduzir a incerteza é algo caro, porque tomar decisões corretas exige informações, e pode ser que: “a informação de que você dispõe não é a informação que você deseja. A informação que você deseja não é a informação que você necessita. A informação que você necessita não é a informação que você consegue obter. A informação que você consegue obter custa mais do que você deseja pagar” Bernstein [1, p. 201]. Em um outro viés, é caro tomar decisão, e os impactos de uma decisão incorreta pode gerar resultados danosos e até irreversíveis no tempo.

Pode-se afirmar que o grande desafio do gestor passa pela administração do efeito da incerteza nos objetivos [2], maximizando as áreas sobre sua governabilidade e minimizando as áreas em que não há governabilidade. O vínculo entre o efeito e causa não é facilmente identificado. Faz parte, também, das ações do gestor, em momentos específicos, antecipar uma decisão por perceber um futuro de oportunidade ou crise, e, para isso, ele conduz suas decisões baseadas não em uma demanda do presente, mas sim do futuro. Como demonstraremos nesta pesquisa, a oscilação de um sistema, devido à variabilidade do conjunto de suas unidades, gera incertezas que exigem do gestor uma análise ampla, uma percepção do todo para que haja efetividade em sua decisão, principalmente de longo prazo. Portanto, não são triviais as questões em torno da problemática de fazer previsões, analisar escolhas e tomar decisões diante das incertezas, questões estas que serão objetos desta pesquisa.

A aplicação desta pesquisa será realizada na gestão de riscos em recursos hídricos, que envolve um sistema complexo de sustentabilidade ambiental, além dos problemas

causados pelo clima ou pela ação humana. É um sistema dinâmico cujos componentes são interdependentes, tornando impossível analisá-lo isoladamente [3]. Um exemplo é o estudo realizado por Sánchez-Román [3] que demonstra um ciclo de fatores interdependentes entre si ao analisar a gestão hídrica. Machado [4] destaca que a demanda de água da população tem dobrado a cada 25 anos, e, na disputa pela água, a população terá prioridade dentro de um sistema hídrico, os setores como a agropecuária e a agricultura enfrentarão cenários de incerteza que comprometem o desenvolvimento desses setores. Por outro lado, o aumento da renda da população possibilita a melhoria no padrão de vida, e, conseqüentemente, aumento do uso d'água e alimentos em um ciclo crescente, intensificando a contaminação dos recursos hídricos, gerando mais incertezas e risco para o sistema no tempo. Estes são alguns exemplos que demonstram a necessidade de analisar a gestão hídrica como um sistema dinâmico que sofre oscilação no tempo, e exige uma análise de uma conjunção de variáveis que são interdependentes e não devem ser analisadas isoladamente.

Conforme o diagnóstico da crise hídrica no Distrito Federal [5], realizado pelos agentes públicos responsáveis pela gestão hídrica, em 2017, nos últimos anos, o índice de precipitação no DF segue em processo de estiagem, mantendo nível abaixo da média, contribuindo para diminuição dos níveis dos principais reservatórios da cidade, que são os sistemas Alto do Descoberto e Torto/Santa Maria, que juntos são responsáveis por 88,79% do total de água tratada, representando 82,6% da população atendida pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal -CAESB. O sistema do Alto do Descoberto é o mais relevante com 61% da produção total de água.

O núcleo de enfrentamento da crise hídrica do DF reconhece existir fatores de risco, e com diferentes dimensões que afetam a problemática da água como: 1) Pouca integração entre os órgãos envolvidos; 2) Cadastro incompleto de usuários de água; 3) Dificuldade na preservação e manutenção de áreas de recargas hídricas; 4) Dificuldade na desconstituição de áreas irregulares; 5) Diagnóstico incompleto das áreas prioritárias; 6) Alto índice de perda na produção de água; 7) Pouca integração com o Governo Federal; 8) Fragilidade na infraestrutura; 9) Escassez de recursos financeiros; 10) Crescimento populacional no DF acima da média nacional; 11) Parcelamento irregular do solo; 12) Retração na produção de alimentos e geração de empregos; 13) Retração na oferta habitacional; 14) Crescimento do uso clandestino de água; 15) Uso de recurso hídrico maior do que o outorgado; e 16) Previsão de baixo nível pluviométrico [5].

Do exame das realidades, verifica-se que a gestão hídrica carece de recursos metodológicos que permitam modelar problemas complexos que integrem variáveis ambientais, sociais e econômicas ¹. Após participar de eventos relacionados à crise hídrica em Brasília,

¹Certamente, faz-se necessário observar que além das dimensões ambientais, sociais e econômicas, existem outras dimensões que precisam ser avaliadas, porque afetam um sistema dinâmico como: política, legal, institucional e demográfica.

participar do grupo de trabalho que tratou do tema na Bacia do Descoberto em 2017, e entrevistas realizadas com especialistas da área, verificamos que o Brasil, que detém cerca de 12% de toda a água doce disponível no planeta [4], carece de um ferramental metodológico que possibilite criar cenários que identifiquem fontes de risco, áreas de impactos, eventos (incluindo mudanças nas circunstâncias) e suas causas e consequências potenciais, para dar ao gestor capacidade de planejar e agir proativamente em torno da segurança hídrica.

1.1 Problema de Pesquisa

Sendo a finalidade de um gestor tomar decisões que impactem positivamente nos seus objetivos, faz-se necessário um instrumento que viabilize caracterizar a complexidade e compreender a rede de interação entre os fatores de riscos num sistema complexo, minimizando o impacto negativo e maximizando os objetivos, dadas as incertezas envolvidas nesse sistema.

Diante desse contexto, emerge o problema que este estudo se propõe a analisar: é possível aplicar a Dinâmica de Sistemas como método de gestão de riscos em sistemas complexos, como recursos hídricos da bacia hidrográfica Alto do Descoberto no Distrito Federal, de modo a oferecer ao gestor uma ferramenta que o auxilie na criação de políticas, tomada de decisão e planejamento de médio e longo prazo?

Os sistemas dinâmicos dizem respeito à descrição e previsão de sistemas que exibem comportamento de mudança no tempo, comportamento esse que se assemelha aos recursos hídricos. A gestão de riscos diz respeito à administração das incertezas sobre os objetivos. Logo, o desafio desta pesquisa é utilizar a dinâmica de sistemas para auxiliar na gestão de riscos de recursos hídricos. Para isso, buscará na Teoria de Sistemas, da Complexidade, da Dinâmica de Sistemas e Definição de Riscos uma solução que cumpra esse objetivo.

1.2 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é verificar como a Dinâmica de Sistemas poderá apoiar o processo de gerenciamento de riscos em recursos hídricos.

Para tanto são objetivos específicos desta pesquisa:

- Identificar os fatores de riscos e suas respectivas relações causais;
- Analisar as relações de estoque e fluxo em recursos hídricos;
- Propor uma mensuração para o risco em recursos hídricos usando dinâmica de sistemas;

- A partir do modelo de estoque e fluxo, propor um instrumento que possibilite a criação de políticas de gestão de risco em recursos hídricos;
- Validar a viabilidade da aplicação do modelo com especialistas;
- Aplicar a simulação na Bacia Hidrográfica do Alto do Descoberto em, Brasília-DF.

1.3 Pressuposto

O trabalho tem como ponto de partida o seguinte pressuposto: a Dinâmica de Sistema, combinado com Gestão de Riscos, é aplicável à sistemas complexos como a bacia hidrográfica do Alto do Descoberto no Distrito Federal, criando uma ferramenta de gestão que viabilize a tomada de decisões, minimizando as incertezas e maximizando as oportunidades.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Da Complexidade ao Pensamento Sistêmico

Sem que nos refiramos às controvérsias sobre a origem do homem, nem de suas fases históricas de desenvolvimento, tomamos como pacífico que desde a pré-história até os dias atuais, com a Revolução Tecnológica e o advento da sociedade da informação e conhecimento, houve um percurso que mantém como característica o contínuo aumento da complexidade de suas relações entre si e com o meio em que vive. Nesse sentido, procurando entender a evolução humana a partir do desenvolvimento da capacidade de trocar, registrar e difundir informações, de acordo com De Fleur [6] surgiu uma sucessão de eras: dos Símbolos e Sinais, da Fala e da Linguagem, da Escrita, da Imprensa, da Comunicação de Massa e dos Computadores, o que significa estarmos, cumulativamente, num processo contínuo de evolução, cujo conteúdo é cada vez mais complexo.

Não se trata, porém, de complexidade em seu sentido comum, sinônimo de intrincado ou embaraçado, mas de um paradigma que supera o da simplificação, que no sentido newtoniano-cartesiano¹ dominou as ciências modernas e que reduziu a complexidade, compreendendo o conhecimento de forma mecânica, disjuntiva e reducionista, rompendo a complexidade das relações e produzindo, dessa forma, fragmentos de problemas, cujas soluções exigem multidimensionalidade. A percepção de um mundo complexo se deu no início dos anos 50 [8] a partir da Teoria da Informação e da Cibernética [9], a conclusão desencadeou o desenvolvimento das ciências da complexidade desorganizada, surgido no século XIX, e que o próximo século ocorreria o desenvolvimento das ciências que organizaria a complexidade.

¹“O pensamento newtoniano-cartesiano possibilitou a fragmentação, as distinções, as separações, enfim, a ruptura do todo, dando ênfase às partes e, por consequência, levou a ver o mundo como partes desconectadas”. [7]

O surgimento da computação, telecomunicações e radiodifusão, criou um paradigma tecnológico capaz de integrar a comunicação digital, construindo um ambiente que facilitou o que viria a ocorrer em seguida ([10], [11]). O século XXI veio, a partir da inovação e disseminação da tecnologia em escala global, potencializar a complexidade em confronto com o pensamento dedutivo cartesiano. O surgimento de novas pesquisas estruturaram as bases históricas do paradigma da complexidade [12].

As inovações de tecnologia e informação utilizadas no trabalho humano configuram um novo quadro na história. Praticamente todas as funções, antes desenvolvidas manualmente, são de algum modo objetivadas e incorporadas por máquinas cuja melhor representação é o computador. Embora desde a primeira Revolução Industrial a utilização das tecnologias e das técnicas produtivas progressivas fossem observadas, no estágio atual, esse processo é radicalizado. Mesmo funções reflexivas, abstratas do trabalhador são executada pelos novos mecanismos tecnológicos, processo esse que recebeu o nome de “Revolução Informacional” [13].

Descartes [14] propõe em sua obra principal, “O Discurso do Método”, publicado em 1636, preceitos que fundamentaram o método de busca da verdade, ou, o método científico, que possibilitou o desenvolvimento tecnológico e científico até o século XX.

Ao preceito cartesiano (regra da evidência) de que a verdade advém da razão sem interferência de juízos de valor, surge a afirmação que “todo sistema racional tem fundamento emocional, e é por isso que nenhum argumento racional pode convencer ninguém que já não estivesse de início convencido, ao aceitar as premissas a priori que o constituem” [15]. Ao preceito (regra da análise) de que a racionalidade implica dividir cada uma das dificuldades que se examinasse em tantas parcelas quantas pudesse e fosse requerido e, assim, melhor resolvê-las, tendendo a resolver o todo, a concepção na frase “o todo é maior que a soma de suas partes” [16], sintetiza a ideia que analisar cada componente do estímulo separadamente, será incapaz de captar o efeito total que pode ser maior ou menor que a soma das partes [8].

Os preceitos de ordenação (regra da síntese) e de revisão (regra da enumeração), instituídos no Método de Descartes, a partir da progressão do pensamento mais simples ao mais complexo e de minuciosa revisão, ignoram a dúvida, a incerteza, a instabilidade e a complexidade dos fatos e implicam um hierarquismo superado em Morin [17] na elaboração do conceito de sistemas. Embora Descartes [14] tenha lançado em 1637 as bases do método científico moderno em contraposição ao empirismo vigente, foi Newton [18] quem apontou que “experimentos sem interpretação sistemática” e “dedução a partir de princípios básicos sem evidência experimental” não conduzem a uma teoria confiável, e ao apresentar *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural) [18], o pensador Newton unificou, assim, as duas tendências, ele

desenvolveu a metodologia em que a ciência natural passou a basear-se desde então [19].

Até meados do século passado, foi este - o dedutivismo-racionalismo newtoniano-cartesiano, a estrutura que prevaleceu na ciência. O *status* de Descartes como racional é tal que o termo Cartesiano entrou para o dicionário como adjetivo, dando significado ao que seja sistemático, rígido, metódico, racional. A complexidade do mundo nas últimas décadas, exponencialmente crescente via tecnologia e informação, passou a exigir, como será apresentado neste Capítulo, mais que o cartesianismo pode oferecer, revelando que a verdade no mundo complexo impõe um pensamento complexo, não repartido, não reducionista, não hierarquizado.

A ciência clássica, simplificadora e reducionista, embora não se encerre absolutamente, foi cedendo lugar ao paradigma da complexidade [20]. O pensamento complexo foi sistematizado objetivando à construção de um conhecimento não linear, privilegiando o pensamento multidimensional em detrimento do pensamento simplista, disjuntivo e reducionista [21].

O pensamento complexo, entendido como uma associação combinatória de elementos diferentes, supera a ideia de unidade elementar discreta, ou seja, não reduz o todo à soma constitutiva das partes, ainda, ele aponta não para a ideia de equilíbrio, mas de desequilíbrio [22]. Logo uma perspectiva de partes, que analisa cada componente do estímulo separadamente, será incapaz de captar o efeito total. Os períodos históricos se sucederam agregando sempre maior número de informações e características, tornando o mundo mais complexo e difícil de ser alcançado e decifrado pelo pensamento linear que dominou a ciência desde Copérnico. Fato esse, que torna a metodologia científica tradicional cartesiana desvantajosa, necessitando de novos paradigmas que permitam lidar com novos cenários de complexidade, escalonado pela era tecnologia com computação em nuvem, robótica, inteligência artificial, internet das coisas e outras mais.

Enquanto este trabalho está sendo escrito, 2.800.000.000.000.000.000 bytes, ou seja 2.8 zettabytes ou 2.8 bilhões de terabytes é aproximadamente a quantidade de dados existente no mundo, e exatamente neste dia, 2,5 exabytes (quintilhões de bytes) foram adicionados na rede mundial de computadores [23]. A estimativa, conforme pesquisa da *International Data Corporation (IDC)* (Corporação Internacional de Dados) [23], é que em 2025, o mundo criará e replicará mais de 160 zettabytes de dados, representando um aumento de dez vezes em relação à quantidade de dados criada em 2016. A Figura 2.1 mostra como será este crescimento, que não é linear, é um crescimento exponencial uma vez que noventa por cento de todos os dados já produzidos pela humanidade foram produzidos nos últimos dois anos.

Sterman [24]

O obra Guerra e Paz é de cerca de 1.296 páginas impressas, o que seria equivalente a

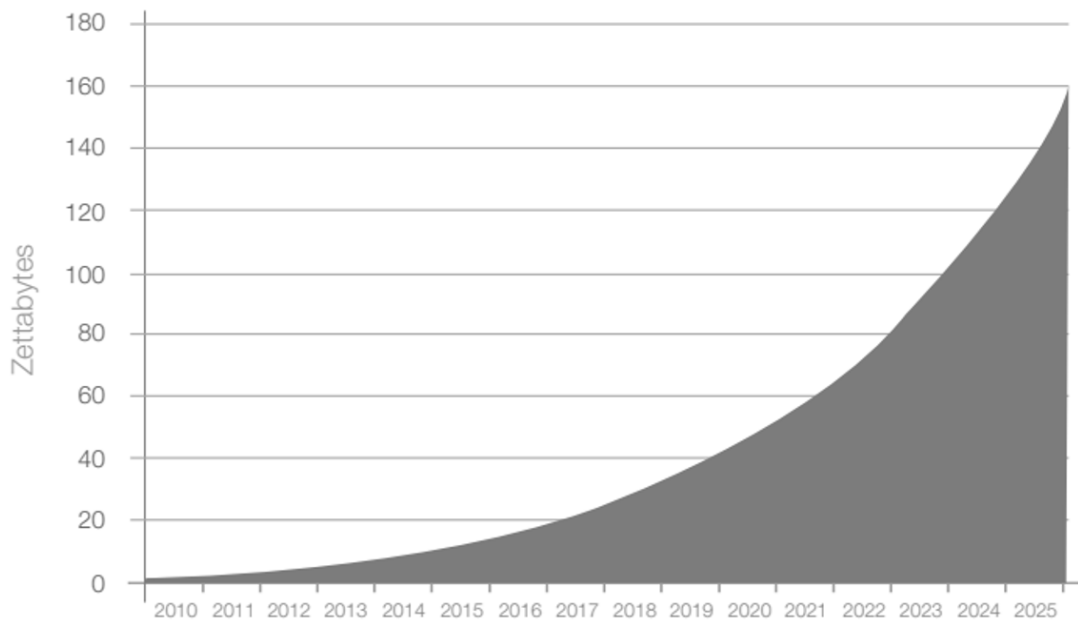


Figura 2.1: Crescimento de Dados Gerados - Fonte: IDC 2017.

2 megabytes em formato digital. Isso significa que um Zettabyte é igual a $5 * 10^{14}$ cópias de Guerra e Paz. Se cada obra física é de 15 centímetros, levaria 2.9 dias de um fóton de luz viajando a 299.338 km por segundo para ir de cima para baixo de uma pilha de obras equivalente a um Zettabyte. Esta é, de fato, uma quantidade inimaginável de dados, mas já há discussão sobre a necessidade de medidas de dados ainda maiores, como Yottabytes (1000 Zettabytes) e até mesmo Brontobytes (1000 Yottabytes). Pence [25]

Até 2025, mais de um quarto dos dados criados na esfera global será em tempo real, e mais de 95% desses serão dados de natureza de IoT, sigla utilizada para designar a Internet das coisas, ou seja, será o resultado da interconectividade entre os humanos, seus computadores, casas, carros e todas as coisas que estarão interconectadas [23].

A velocidade das mudanças tecnológicas, acompanhadas das mudanças econômicas, sociais e ambientais, ampliada pelo fenômeno Big Data, cria um ambiente apropriado às definições de sistemas complexos, uma vez que o conceito central de sistemas complexos está relacionado a sistemas dinâmicos, não lineares, que contêm múltiplas interdependências. Esses modelos de sistemas se modificam, de modo a aprenderem, evoluírem e adaptarem-se. Geram comportamentos emergentes e não determinísticos [26]. A maior constante dos tempos modernos é a mudança, a velocidade com que estas mudanças ocorrem, gera transformação no mundo, algumas maravilhosas e outras péssimas pois vão de encontro ao desenvolvimento sustentável ameaçando nossa sobrevivência, sendo que o homem, intencionalmente ou não, é o agente responsável por essas consequências [24].

Os efeitos vertiginosos da aceleração das mudanças não são novos, pois desde 1800,

dezenas de novas forças já estavam vigente. A complexidade já se apresentara como um grande problema, pois as taxas aritméticas eram inúteis para qualquer tentativa de precisão. “Se a ciência continuasse duplicando ou quadruplicando suas complexidades a cada 10 anos, até mesmo a matemática deveria sucumbir em breve. Uma mente comum já havia sucumbido em 1850; já não conseguia entender o problema em 1900” ([24], [27]). Para Adams [27]), as mudanças radicais na sociedade exigiriam uma nova mente social, e por isso de forma otimista concluiu: “Até agora, desde 5 ou 10 mil anos, a mente reagiu com sucesso, e nada ainda provou que não reagiria, mas precisaria pular”.

Olhar para esse passado e buscar fazer um link com essa pesquisa torna-se relevante por demonstrar a necessidade de buscar formas fundamentais de pensar e agir, uma vez que a ciência segue esse caminho, buscando novas formas fundamentais de pensar e agir. E essa nova forma de pensar e agir, aponta para uma necessidade de um pensamento sistêmico - a capacidade de ver o mundo como um sistema complexo, em que o ser humano não pode simplesmente fazer uma coisa, tomar decisões achando que os resultados são imediatos e pontuais, é preciso entender que “tudo está ligado a todo o resto” Sterman [24]. O desafio, desde tomadas de decisões para pequenos negócios até a gestão do nosso planeta, é encontrar as ferramentas e os processos que nos ajudam a entender a complexidade, projetar as melhores decisões operacionais e orientar a mudança que tanto desejamos.

Sistemas Complexos

A generalização da definição de sistema complexo incorpora a ideia forte de interação entre as partes, dando a devida relevância para as escalas, e o fator espaço temporal, reafirmando o que já foi dito: “o todo se torna não só mais do que, mas muito diferente da soma de suas partes” ([28], [26]), ‘o todo é maior que a soma de suas partes’ [16], e o pensamento complexo, supera a ideia de unidade elementar discreta, ou seja, não reduz o todo à soma constitutiva das partes [22]. .

As interações em um sistema complexo levam a um sistema que não é redutível a suas partes, e que os atributos de suas partes componentes não conseguem descrever o sistema. É um sistema no qual grandes redes de componentes sem controle central e regras de operação simples dão origem ao comportamento coletivo complexo, processamento sofisticado de informações e adaptação via aprendizado ou evolução. Dentre as propriedades identificadas, um sistema complexo tem um comportamento que segue regras relativamente simples, sem controle central ou líder, e são as ações coletivas de um grande número de componentes que dão origem aos padrões de comportamento complexos mutáveis e difíceis de prever [26].

Essas definições são características comuns qualitativas de sistemas complexos, porém as questões quantitativas ainda são um grande desafio da ciência da complexidade. Per-

guntas como: “como podemos medir a complexidade?”; “existe alguma maneira de dizer precisamente quanto um sistema é mais complexo que outro?”, ainda não foram respondidas satisfatoriamente e continuam sendo a fonte de muitos argumentos científicos nesse campo de pesquisa, ainda que muitos artigos e livros são escritos usando essa terminologia. Mitchell, afirma não existir ainda nem uma única ciência da complexidade, nem uma única teoria da complexidade aceita no meio científico.

Para compreender um sistema complexo, Mitchell [26] apresenta como atributo inicial relevante que qualificam sistemas complexos a “não linearidade”, que é a propriedade chave que amplia as incertezas. Um sistema linear “é aquele que você pode entender compreendendo suas partes individualmente e, em seguida, reunindo-as”. Um exemplo de um sistema linear, é colocar em uma vasilha três xícaras de farinha e uma de açúcar. Ao misturar esses três componentes, o todo é igual à soma das partes. Porém, em um sistema não linear, o todo é diferente da soma das partes. Outro exemplo é colocar em uma vasilha duas xícaras de bicarbonato de sódio e acrescentar uma xícara de vinagre. Haverá um conteúdo totalmente diferente da soma das partes. O resultado será mais de três xícaras de soda, vinagre, bicarbonato de sódio e dióxido de carbono [26]. Este é um exemplo de um sistema complexo, em que o vinagre e o bicarbonato de sódio interagem criando uma grande quantidade de dióxido de carbono.

Pensamento Complexo X Pensamento Sistêmico

Diante desse quadro, muitas perguntas se fazem necessárias. Uma delas: como utilizar tal gama de dados, informações e características complexas em benefício da sociedade tendo em vista as questões do mundo real?

No começo do Século XX, a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi originalmente desenvolvida como uma teoria interdisciplinar aplicada à biologia, porém expansível a outras ciências. Foi criada por Bertalanffy [29], que a direcionou para as relações estabelecidas entre organismos biológicos e aos problemas decorrentes de seus crescimentos, conceituando sistema como um conjunto de unidades entre as quais existem relações. Entretanto, sua interpretação ao tratar das relações entre o todo e suas partes, quando este conjunto tem um objetivo comum permitiu sua aplicação à administração. A teoria de sistemas identifica que a interação e interdependência destas partes formam um conjunto muito mais sólido e eficaz que cada organismo independentemente, o que guarda estreitíssima relação com o pensamento de Morin [22].

Churchman [30] passou a definir sistemas como “um conjunto de partes interdependentes que funcionam como uma totalidade para algum propósito”.

Chiavenato [31], fundamenta em três premissas básicas a ideia da TGS:

1. Os sistemas existem dentro de sistemas. Cada sistema é constituído de subsistemas e, ao mesmo tempo, faz parte de um sistema maior, o supra-sistema. (...) Também o supra-sistema faz parte de um supra-sistema maior. Esse encadeamento parece ser infinito.
2. Os sistemas são abertos. Cada sistema existe dentro de um meio ambiente constituído por outros sistemas. Os sistemas abertos são caracterizados por um processo infinito de intercâmbio com o seu ambiente para trocar energia e informação.
3. As funções de um sistema dependem de sua estrutura. Cada sistema tem um objetivo ou finalidade que constitui seu papel no intercâmbio com outros sistemas dentro do meio ambiente.

De acordo com Monteiro [32], sistemas são “um conjunto de objetos agrupados por alguma interação em que existem relações de causa e efeito entre os elementos do conjunto”. Desde que algumas dessas grandezas (que caracterizam seus elementos constituintes) variem no tempo, o sistema se torna dinâmico, obrigando a construção de modelos mais complexos de predição do resultado (futuro). O pensamento complexo vem nos dizer que, mediante o desenvolvimento científico e tecnológico da humanidade, há pouco espaço para sistemas simples, tudo está mudando a qualquer momento, causas e efeitos não são rígidos e constituem sistemas abertos permeáveis ao meio ambiente de onde tiram e para o qual expõem contribuições.

Os estudos da biologia são um exemplo da aplicação de sistemas. É necessário estudar todo o sistema, e não somente as partes isoladas, pois esse sistema resulta da interação dinâmica das partes. Estudando as partes separadamente, seriam obtidos outros resultados. Esse conceito também serve para outras áreas, como a física, psicologia, agroindústria e assim por diante. A diferença é alvo da Teoria Geral dos Sistemas, que atua em praticamente todas as áreas, visando maior consistência ao termo totalidade no sentido de compreensão do todo.

O objetivo da TGS possibilita criar modelos que podem ser usados em outros campos da ciência, economizando tempo e trabalho, aumentando o progresso. Se, utilizado um modelo sistêmico, é possível prever, em um mundo complexo, com certo grau de acerto determinados acontecimentos e resultados, logo, não faz sentido utilizar sistemas fechados simplificados, cujos resultados exigem um *ceteris paribus*² sempre amplo e irreal.

Rocha [34] faz uma abordagem do sistema complexo, seguindo Batty [35] afirmando que:

²É uma expressão do latim que pode ser traduzida por “todo o mais é constante” ou “mantidas inalteradas todas as outras coisas” [33].

...um sistema complexo é uma entidade, coerente de uma forma reconhecida, mas cujos elementos, interações e dinâmicas, geram estruturas e admitem o elemento surpresa e novidade, o qual não pode ser definido a priori. Os sistemas complexos são muito mais que a soma das suas partes e, conseqüentemente, qualquer tentativa de modelar a sua estrutura é necessariamente parcial e incompleta. Assim, os modelos representam simplificações, em que os processos essenciais são simulados.

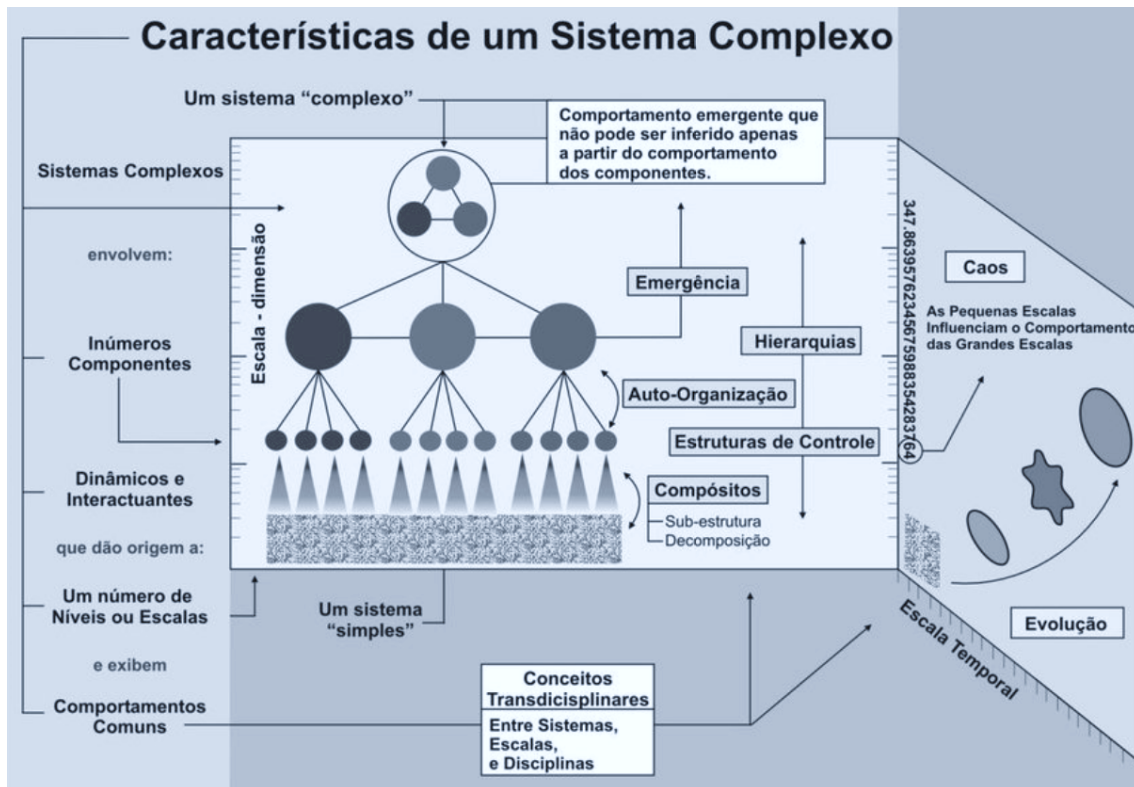


Figura 2.2: Características de um Sistema Complexo
 Fonte: Tenedório et al. [36].

A Figura 2.2 apresenta uma estrutura gráfica das características de um sistema complexo.

A partir do trabalho desenvolvido por Tenedório et al. [36], acerca do crescimento urbano, Rocha e Morgado cotejaram alguns traços característicos do sistema complexo, como abaixo.

1. Auto-organização: a auto-organização é definida como a emergência espontânea de estruturas macroscópicas organizadas em desequilíbrio, devido às interações coletivas entre um elevado número de objetos microscópicos à medida que reagem e se adaptam ao meio ambiente.

2. Não-linearidade: as mudanças nos sistemas complexos, quando ocorrem, dão-se de uma forma não-linear. Uma alteração linear só existe, quando ocorre uma sequência de acontecimentos que se afetam uns aos outros pela ordem em que aparecem. Opostamente, na mudança não-linear é possível observar um elemento alterar os elementos que se encontram sequencialmente antes dele. Desse modo, na análise não-linear, observa-se como todos os elementos da sequência podem afetar os restantes, quer se encontrem antes ou depois, o que, muitas vezes, conduz a resultados desproporcionais relativamente aos dados de entrada.
3. Dinâmica ordem/caos: é normal e relativamente fácil prever o que vai ocorrer na fase seguinte do desenvolvimento de um sistema, quando se conhece extensivamente a fase anterior. Este conhecimento constitui, regra geral o conjunto de possibilidades para onde o sistema pode evoluir. Mas, quando começa a avaliar as fases do desenvolvimento que se encontra sequencialmente mais distantes, torna-se cada vez mais difícil prever como o sistema vai evoluir, tendo como base o conhecimento da primeira fase, mesmo quando ele é extensivo.
4. Propriedades emergentes: a imprevisibilidade inerente à evolução dos sistemas complexos pode originar resultados totalmente inesperados face às condições iniciais. Esses resultados imprevisíveis são designados de propriedades emergentes e demonstram que os sistemas complexos são intrinsecamente criativos. Neste contexto é importante ter em conta que a emergência auto-organizada é um processo hierárquico. Desta forma, um sistema complexo constitui um conjunto de subsistemas inter-relacionados, que, por sua vez, são constituídos por outros subsistemas e, assim, sucessivamente, até alcançar o nível do componente elementar Krönert et al. [37].

Considerando características nas áreas de termodinâmica, da teoria da informação e da ciência da computação, segundo Horgan [38], o físico Lloyd [39] apresentou uma compilação de 31 definições do termo complexidade. Isto aponta para um alto grau de adequação e aceitação do termo ao tratar de ramos da ciência e aplicações de ordem prática.

Sterman [24] apresenta as principais características dos sistemas que dão origem à complexidade dinâmica. Para este autor, a complexidade dinâmica surge porque os sistemas são:

- **Ligado e acoplado:** Os atores do sistema interagem fortemente uns com os outros e com o mundo natural. Tudo está conectado a todo o resto.

- **Regido pelo feedback:** Devido aos fortes acoplamentos entre os atores, nossas ações se refletem em si mesmo. Nossas decisões alteram o estado do mundo, causando mudanças na natureza e desencadeando outros a agir, dando origem a uma nova situação que influencia nossas próximas decisões. A dinâmica surge desses feedbacks.
- **Não linear:** o efeito raramente é proporcional à causa, e o que acontece localmente em um sistema (próximo ao ponto operacional atual) geralmente não se aplica em regiões distantes (outros estados do sistema). A não-linearidade frequentemente surge da física básica dos sistemas: o estoque insuficiente pode fazer com que você aumente a produção, mas a produção nunca pode cair abaixo de zero, não importa quanto estoque em excesso você tenha. A não-linearidade também surge à medida que múltiplos fatores interagem na tomada de decisões: a pressão do chefe para uma realização maior aumenta sua motivação e esforço - até o ponto em que você percebe que a meta é impossível. A frustração então domina a motivação e você desiste ou consegue um novo chefe.
- **Dependente da história:** pegar uma estrada geralmente impede tomar outras, e determina onde você acaba (dependência do caminho). Muitas ações são irreversíveis: você devolver o estado original do ovo após processá-lo (a segunda lei da termodinâmica). Estoques e fluxos (acumulações) e longos atrasos muitas vezes significam que fazer e desfazer têm constantes de tempo fundamentalmente diferentes: durante os 50 anos da corrida armamentista da Guerra Fria, as nações nucleares geraram mais de 250 toneladas de plutônio para armas (^{239}Pu). A meia vida de ^{239}Pu é de cerca de 24.000 anos.
- **Auto-organizados:** A dinâmica dos sistemas surge espontaneamente de sua estrutura interna. Frequentemente, pequenas perturbações aleatórias são amplificadas e moldadas pela estrutura de feedback, gerando padrões no espaço e no tempo e criando dependência de trajetória. O padrão de listras em uma zebra, a contração rítmica de seu coração, os ciclos persistentes no mercado imobiliário e estruturas como conchas do mar e mercados surgem espontaneamente dos feedbacks entre os agentes e elementos do sistema.
- **Adaptável:** as capacidades e regras de decisão dos agentes em sistemas complexos mudam com o tempo. A evolução leva à seleção e proliferação de alguns agentes enquanto outros se extinguem. A adaptação também ocorre quando as pessoas aprendem com a experiência, especialmente à medida que aprendem novas maneiras de atingir seus objetivos diante dos obstáculos.

- **Contra-intuitivo:** Em sistemas complexos, causa e efeito são distantes no tempo e no espaço, enquanto tendemos a procurar causas próximas aos eventos que procuramos explicar. Nossa atenção é atraída para os sintomas de dificuldade e não para a causa subjacente. Políticas de alta alavancagem muitas vezes não são óbvias.
- **Resistente à política:** a complexidade dos sistemas em que estamos inseridos ultrapassa nossa capacidade de compreendê-los. O resultado: muitas soluções aparentemente óbvias para problemas falham ou pioram a situação
- **Caracterizado por conflito de escolha:** atrasos de tempo nos canais de feedback significam que a resposta de longo prazo de um sistema a uma intervenção é muitas vezes diferente de sua resposta de curto prazo. Políticas de alta alavancagem geralmente causam um comportamento pior antes de melhorar, enquanto políticas de baixa alavancagem geralmente geram uma melhora transitória antes que o problema se agrave.

Métodos para Abordagem de Sistemas Complexos

A tomada de decisão e aprendizado eficazes em um mundo de crescente complexidade dinâmica exige que nos tornemos pensadores de sistemas - para expandir as fronteiras de nossos modelos mentais e desenvolver ferramentas para entender como a estrutura de sistemas complexos cria seu comportamento [24].

O sucesso da aplicação da ciência da complexidade ter se tornando um ramo relevante no contexto científico baseia-se fundamentalmente no esforço dos cientistas que trabalham com complexidade. Ela não é considerada um ramo disciplinar da ciência por ser inter e transdisciplinar, abrangendo diferentes áreas da ciência [40]. É relevante apontar que o esforço científico que desbrava essa área permitiu o desenvolvimento de vários métodos utilizados na abordagem de sistemas complexos, considerado por Furtado [40] a melhor maneira científico-metodológica utilizada na ciência da complexidade.

No tópico 2.2 apresentaremos a aplicação da dinâmica de sistemas como método utilizado eficientemente na abordagem de Sistemas Complexos. Sterman [24] aponta que a “dinâmica de sistema é uma perspectiva e um conjunto de ferramentas conceituais que nos permitem entender a estrutura e a dinâmica de sistemas complexos”.

2.2 Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de sistema surge com a necessidade de resolver um problema real no projeto de “Sistemas de controle de feedback” no MIT³ e estendeu-se como uma solução, durante a Segunda Guerra Mundial, no desenvolvimento de servomecanismos⁴ para o controle de antenas de radar e montagens de armas. Com o sucesso e ampliação da utilização da dinâmica de sistemas, afirma Forrester [42], “foi possível desenvolver um simulador de voo de aeronaves”. O projeto em questão deveria fazer a simulação de pilotagem de aeronave, e ser tão preciso quanto um avião de verdade, capaz de prever o comportamento do avião antes de ser construído.

Após 15 anos de pesquisa, Forrester inicia a aplicação da dinâmica de sistemas, na *Sloan School of Management* no MIT, à administração para impulsionar o campo de Pesquisa Operacional⁵. A primeira vez que se utilizou a Dinâmica de Sistemas na gestão e tomada de decisões foi em um problema apresentado pela *General Electric*. A empresa estava intrigada com a oscilação no mercado em que seus produtos eram comercializados. Suas fábricas de eletrodomésticos trabalhavam três e até quatro turnos por um período, não havia entendimento do porquê alguns anos depois, metade das pessoas tinham que ser demitidas.

Depois de conversar com a *General Electric* sobre como eles decidiam sobre contratação e estoque, comecei a fazer algumas simulações. Isto foi simulação usando lápis e papel em uma página de caderno. Começou no topo com colunas para estoques, funcionários e pedidos. Dadas essas condições e as políticas que estavam seguindo, era possível decidir quantas pessoas seriam contratadas na semana seguinte. Isso deu uma nova condição de emprego, estoques e produção. Ficou evidente que aqui havia potencial para um sistema oscilatório ou instável que era inteiramente determinado internamente. Mesmo com a entrada constante de pedidos, pode-se obter instabilidade no emprego como consequência das políticas de tomada de decisão comumente usadas. Esse primeiro sistema de controle de estoque com simulação de lápis e papel foi o começo da dinâmica do sistema. Forrester [42]

³Instituto de Tecnologia de Massachusetts, pela sua sigla em inglês.

⁴Na engenharia de controle, um servomecanismo, é um dispositivo automático que usa feedback negativo com sensor de erro para corrigir a ação de um mecanismo [41].

⁵É o uso do método científico com o objetivo de prover elementos quantitativos para a tomada de decisões em sistemas reais, e propor uma abordagem científica na solução de problemas: observação, formulação do problema, e construção de modelo científico (matemático ou de simulação) [43].

Após o sucesso dessa primeira aplicação, Forrester e Richard Bennett, um especialista em programação de computadores, iniciaram o trabalho que deu origem ao artigo “Dinâmica industrial - um grande avanço para os tomadores de decisão” para a *Harvard Business Review*⁶, este artigo tornou-se, mais tarde, a introdução e o capítulo dois do livro *Dinâmica Industrial* [44]. Para escrever o artigo citado, necessitou-se realizar simulações computadorizadas, desse modelo surgiu o primeiro *software* para Dinâmica de Sistemas (SIMPLES) - um simulador de problemas de gerenciamento industrial com muitas equações. A partir desse projeto, aconteceu o que Forrester considera a aceleração e a expansão da dinâmica dos sistemas, iniciando uma onda de desenvolvimento de outras ferramentas que dá origem a outros compiladores como a série DYNAMO. Hoje existem uma lista grande de softwares para a realização de simulação computadorizada em Dinâmica de Sistemas, dentre os mais utilizados estão: Simulink, Stella, iThink, Powersim Studio, Analytica, Wolfram System Modeler, AnyLogic, MapleSim, DYNAMO, Simantics System Dynamics, ASCEND, AMESim, GoldSim, Berkeley Madonna, Vensim, NetLogo e VisSim dentre outros.

Com a publicação do livro *Industrial Dynamics* (Dinâmica Industrial), e com a parceria que Forrester fez com o ex-prefeito de Boston, John F. Collins, que trabalhava na época (1968) como professor visitante no MIT, iniciou-se um novo momento na demonstração do poder dessa metodologia de resolver problemas complexos. Forrester publicou dois outros livros de grande repercussão: “Urban Dynamics” (Dinâmica Urbana) [45] e *World Dynamics* (Dinâmica Mundial) [46]. Estes livros provaram no meio científico a real utilidade da Dinâmica de Sistemas nos famosos modelos de estudos estratégicos urbanos e mundiais.

O *Urban Dynamics* foi o meu primeiro trabalho de modelagem que produziu fortes reações emocionais. O resultado sugeriu, do ponto de vista da cidade como uma instituição, ou do ponto de vista dos moradores de baixa renda e desempregados, que todas as principais políticas urbanas que os Estados Unidos seguiam estavam entre neutras e altamente prejudiciais. E que a política mais prejudicial foi a construção de moradias de baixo custo. Na época, acreditava-se que a construção de habitações de baixo custo era essencial para reviver as cidades do interior. As conclusões do nosso trabalho não foram facilmente aceitas. Forrester [42]

A construção do modelo Dinâmica Urbana abriu caminho para o desenvolvimento do Modelo Nacional de Dinâmica do Sistema [47] e os projetos de Dinâmica Mundial [46] e

⁶Harvard Business Review é uma publicação da Harvard Business Publishing que tem como principal objetivo a reflexão inteligente sobre as melhores práticas na gestão de negócios.

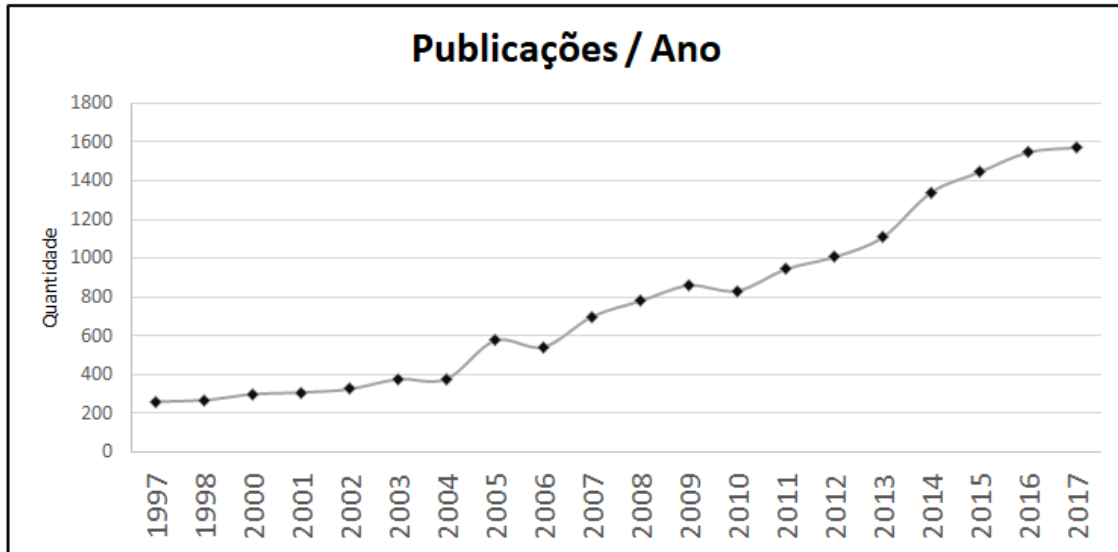


Figura 2.4: Quantidade de Publicações.
 Fonte: Consolidado de Web of Science, julho/2018.

o quadro evolutivo das publicações relacionadas ao tema *Dynamic Systems* com base na pesquisa realizada no site *Science Direct* [50]. Uma outra informação relevante sobre a utilização da Dinâmica de Sistemas, é a abrangência de áreas a que se aplica.

A Figura 2.6 mostra as principais 25 áreas em que a Dinâmica de Sistemas vem sendo aplicada nos últimos 25 anos, e traz uma informação relativo às 3 áreas de pesquisa que mais se destacam no ambiente científico. Engenharia Elétrica em primeiro lugar, seguido por Automação de Sistemas e Controle, e em terceiro lugar, Gestão. É visível como a área de gestão e tomada de decisões vem aumentando o interesse na utilização da Dinâmica de Sistemas nos últimos anos.

2.2.1 Exemplo 1 da Aplicação da Dinâmica de Sistemas

O trabalho, já mencionado, *Limites ao Crescimento* é um exemplo de projeto que aplica a Dinâmica de Sistemas na construção de modelos em um mundo complexo e apresenta cenários possíveis permitindo uma análise de futuro diante do objeto que se está estudando.

Esse projeto iniciou em Boston com os membros do Clube de Roma, com apoio da Volkswagen e uma equipe de 16 pesquisadores para trabalhar no projeto. Desde a sua primeira publicação (1972), os resultados foram relevantes como afirma Ian Johnson ⁸: “O relatório para o Clube de Roma intitulado *Os Limites do Crescimento (LTG)* foi publicado em 1972 e é considerado um dos livros mais influentes do século XX. Suas

⁸Secretário Geral do Clube de Roma e ex Vice-Presidente para o Desenvolvimento Sustentável, Banco Mundial

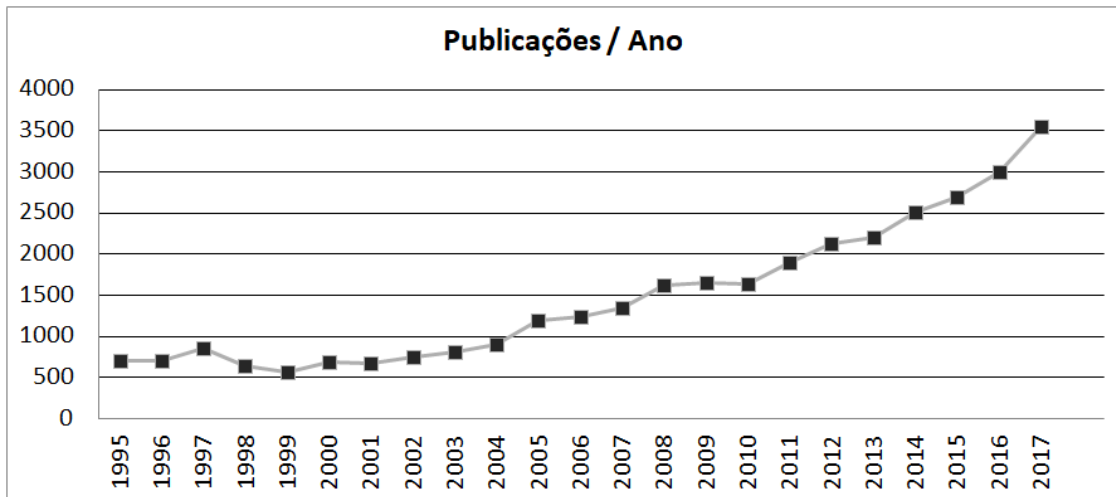


Figura 2.5: Quantidade de Publicações Relacionadas ao Tema Dinâmica de Sistemas
 Fonte: Consolidado de Direct Science, julho/2018.

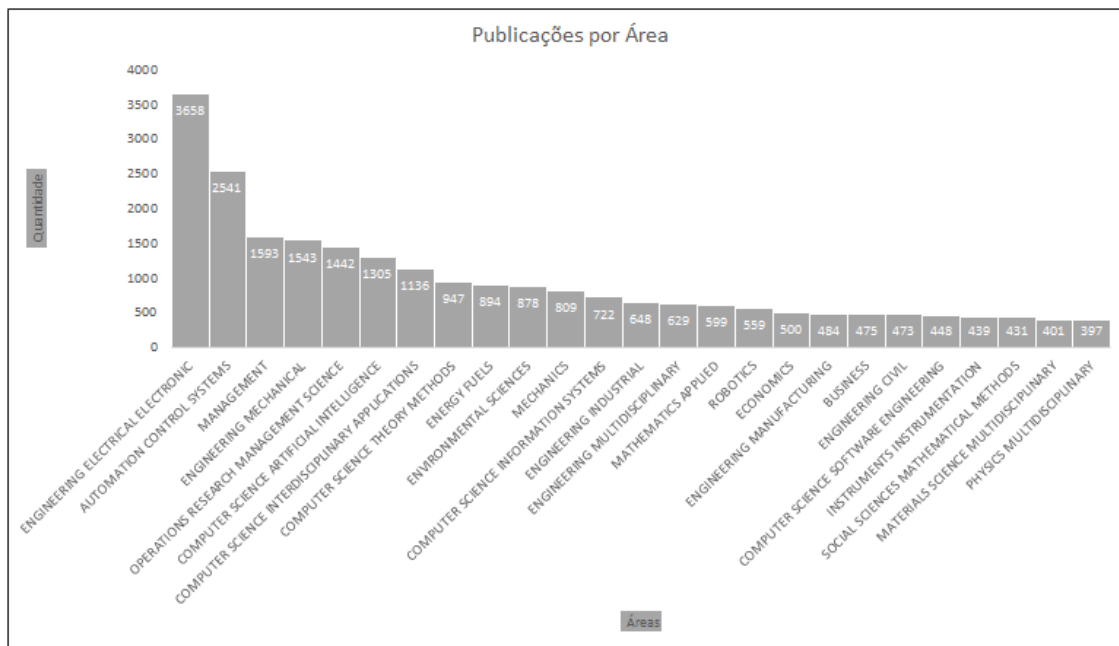


Figura 2.6: Publicações por Área de Conhecimento
 Fonte: Consolidado de Web of Science, julho/2018.

mensagens deixaram profundas impressões em muitos indivíduos em todo o mundo que hoje podem ser encontrados em posições influentes na política, administração, sociedade civil ou academia. LTG foi o catalisador que abriu nossas mentes para a verdade sobre o estado precário do planeta. Seus autores fundaram um corpo de pensamento que continua até hoje.” [51].

O projeto fora encomendado por um grupo internacional de empresários, representantes do estado e cientistas. A equipe que executou o projeto, utilizou-se da Dinâmica do Sistema como método, e desenvolveu o modelo computacional *World3*. Com o auxílio da computação foram criados 12 cenários que mostraram possíveis e diferentes padrões de futuro num período de 100 anos (1900 a 2000). O fluxograma completo do modelo mundial é mostrado na Figura 2.7 que dá uma ideia de *links* e correlações.

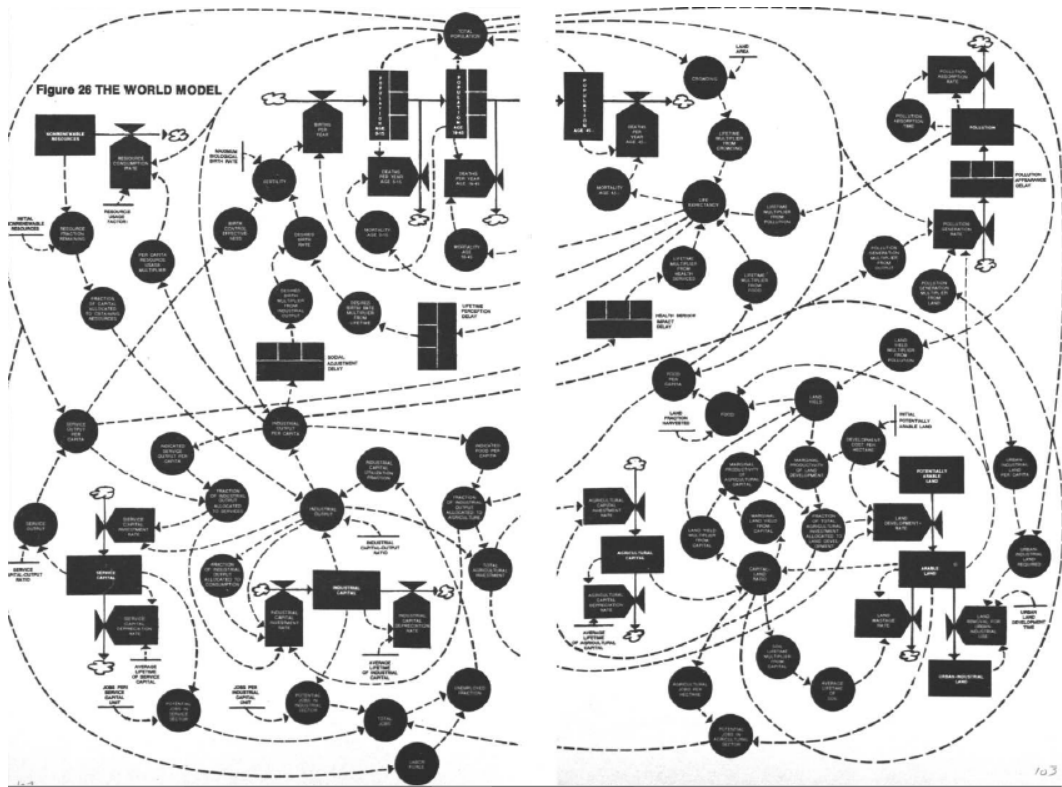


Figura 2.7: Modelo Mundial
 Fonte: Forrester [46].

O modelo mundial inteiro é representado aqui por um fluxograma na notação formal da Dinâmica de Sistemas. Os níveis, ou grandezas físicas que podem ser medidas diretamente, são indicados por retângulos. Taxas que influenciam esses níveis por válvulas e variáveis auxiliares que influenciam as equações de taxa por círculos. Atrasos de tempo são indicados por seções dentro de retângulos. Fluxos reais de pessoas, bens, dinheiro, etc. são mostrados por setas sólidas e relações causais por flechas quebradas. Nuvens representam fontes ou sumidouros que não são importantes para o comportamento do modelo. Meadows [48]

Quando o livro foi lançado, em sua primeira edição (1972), gerou-se em torno dessa temática grandes discussões. Porém, hoje, é reconhecido mundialmente como uma ferramenta útil para construção de cenários

Mas o modelo *World3* não era arbitrário. Como um dos primeiros modelos desse tipo na história, não é de surpreender que sua representação gráfica tenha deixado algo a desejar. Isso não afetou o desempenho do modelo, que resistiu muito bem ao teste do tempo. Os parâmetros do mundo real, até agora, se comportaram perto dos resultados do cenário de “cenário base” do estudo LTG de 1972, como mostra Turner. Os críticos tiveram que trabalhar duro para encontrar pontos fracos no estudo que foram além de simples declarações de descrença, como discuti em um post meu. No final, eles tiveram que se contentar com pontos muito pequenos que não tinham relevância para o significado do estudo [51].

A Figura 2.8 mostra os resultados das simulações utilizando *caso base* do modelo “world3”, que é aquele que assume como parâmetros de entrada os valores mais próximos dos dados disponíveis. [51].

Em 1992, exatos 20 anos passados da primeira edição, William Nordhaus escreveu um artigo (1) em que criticava fortemente o estudo *The Limits to Growth* (LTG). Agora, em um novo estudo, *Limites ao Crescimento*, a atualização de 30 anos, os autores produziram uma atualização abrangente para os limites originais, em que concluem que a humanidade está perigosamente em um estado de superação.

Embora os últimos 30 anos tenham mostrado algum progresso, incluindo novas tecnologias, novas instituições e uma nova consciência dos problemas ambientais, os autores são muito mais pessimistas do que eram em 1972. A humanidade desperdiçou a oportunidade de corrigir nosso curso atual ao longo dos últimos 30 anos, e muito deve mudar se o mundo quiser evitar as sérias consequências do *overshoot* (uma saída que excede seu valor final de estado estacionário) no século XXI.

Quando Meadows [48] foi publicado pela primeira vez em 1972, a maioria dos economistas, juntamente com muitos industrialistas, políticos e defensores do Terceiro Mundo levantaram suas vozes em indignação com a sugestão de que o crescimento populacional e o consumo material precisam ser reduzidos por meios deliberados. Ao longo dos anos, o livro foi atacado por muitos que não entenderam ou deturpam suas afirmações, descartando-a como hipérbole malthusiana. Mas nada que tenha acontecido nos últimos 30 anos invalidou os avisos do livro.

Pelo contrário, como notou recentemente o economista de energia Matthew Simmons, “o aspecto mais surpreendente do livro é o quão exatas muitas das extrapolações básicas

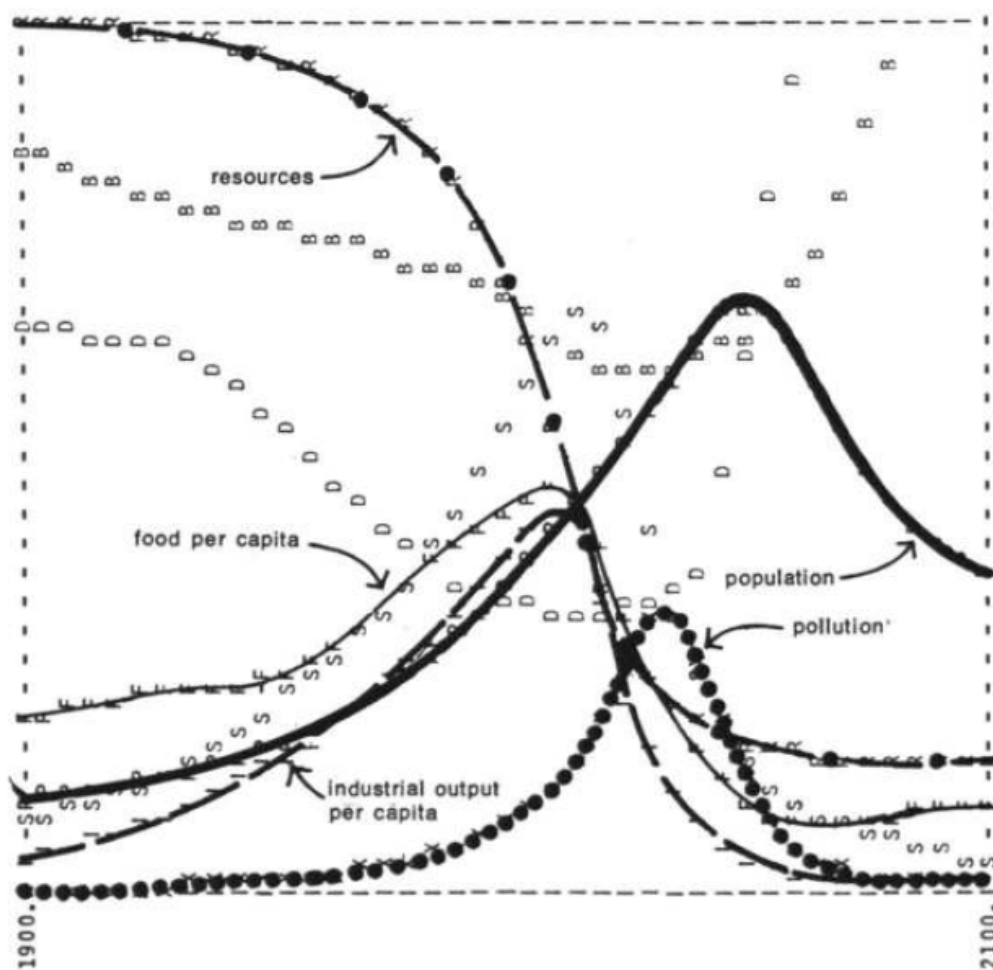


Figura 2.8: Funcionamento Padrão do Modelo Mundial
 Fonte: Meadows [48].

das tendências... ainda são 30 anos depois”. Por exemplo, a diferença entre ricos e pobres só cresceu nas últimas três décadas. Trinta anos atrás, parecia inimaginável que a humanidade pudesse expandir os seus números e economia o suficiente para alterar os sistemas naturais da Terra.

Todos os problemas ambientais e econômicos discutidos em Meadows [48] foram tratados depois. Existem centenas de livros sobre desmatamento, mudança climática global, redução do fornecimento de petróleo e extinção de espécies. Desde que os limites ao crescimento foram publicados pela primeira vez há 30 anos, esses problemas têm sido o foco de conferências, pesquisas científicas e escrutínio da mídia.

O homem está utilizando os recursos do mundo mais rapidamente do que eles podem ser restaurados, além de estarmos liberando resíduos e poluentes mais rápido do que a Terra pode absorvê-los ou torná-los inofensivos. O livro apresentou que os problemas estão levando a um colapso ambiental e econômico global, destacando porém, que ainda

pode haver tempo para resolver esses problemas e amenizar seu impacto.

Desde a sua primeira edição, duas outras edições foram acrescentadas. Em 1992, foi publicada a primeira edição revisada, em que foram apresentados os desenvolvimentos globais nos primeiros 20 anos nos cenários do LTG. Em 2006, foi publicado a mais recente edição (atualização de 30 anos), na qual foram apresentadas as partes essenciais da análise original e resume alguns dos dados relevantes e os insights adquiridos nas últimas três décadas.

2.2.2 Exemplo 2 da Aplicação da Dinâmica de Sistemas

Sánchez-Román [52] apresentou um modelo em Dinâmica de Sistemas para a Gestão dos Recursos Hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ele firmou existir uma relação direta entre os recursos hídricos e o enfoque sistêmico, uma vez que os recursos hídricos são sistêmicos, e não lineares. Considerou ainda a infraestrutura dos recursos hídricos de uma bacia como um sistema dinâmico e complexo. A Figura 2.9 apresenta a estrutura do sistema dos recursos hídricos modelado pelo autor com o objetivo de analisar a sustentabilidade do recurso da água na região de estudo.

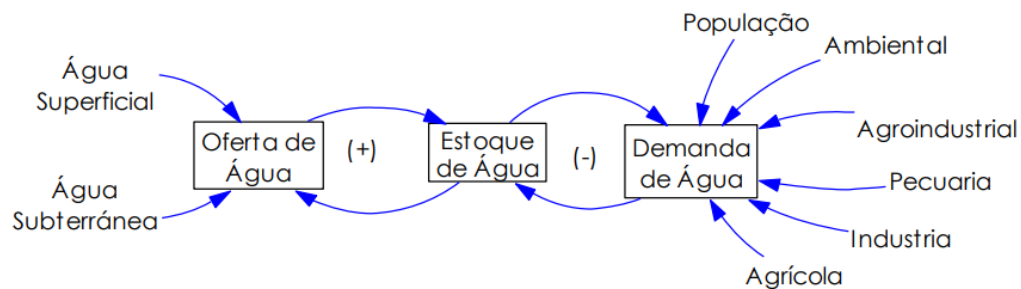


Figura 2.9: Diagrama Causal de Recursos Hídricos
Fonte: Sánchez-Román [3]

No processo de modelagem, foi identificado que a oferta de água é definida pelos fluxos de entradas de águas superficiais e as águas subterrâneas. E estas duas entradas garantem o estoque de água, seguindo o estoque e fluxo do modelo, é esse estoque de água que garante a oferta da demandada total da bacia. A demanda de água da bacia é constituído pela demanda dos setores da população, ambiental, agroindústria, pecuária, indústria, e agrícola. A Figura 2.10 mostra a estruturação sistêmica do modelo de recursos hídricos apresentado por Sanches incluindo as variáveis que compõem a oferta de água, chegando a fluxo de estocagem, e as variáveis que compõem a demanda de água na bacia.

O Modelo proposto por Sánchez-Román [3] é um modelo de simulação explícito em que a equação do balance hídrico 2.1 e a equação da demanda total na Bacia 2.2, são expressas com as equações diferenciais a seguir:

- VTRInd: Volume Total de Água requerido pela indústria (m^3 ano⁻¹);
- VTRpop: Volume Total de Água requerido pela população rural e urbana (m^3 ano⁻¹);
- VTRPEC: Volume Total de Água requerido pela pecuária (m^3 ano⁻¹);
- DemandaRMSP: Volume Total de Água requerido pela Região Metropolitana de São Paulo (m^3 ano⁻¹).

Sánchez-Román [3] realizou a aplicação do modelo em oito cenários de simulação para um período de 50 anos e chegou às seguintes conclusões:

- Os processos de validação e de calibração mostraram que a mecânica e a matemática do modelo correspondem com a realidade.
- As previsões demonstram que a demanda de água na bacia será sustentável por uns seis anos, depois seguirá com uma queda acentuada, e a partir de 2032 a oferta de água da bacia será insuficiente.
- o fornecimento de água a partir de 2032 a novos consumidores somente poderá ser garantido com as águas de reuso, e em 2050 a situação será muito próxima à insustentabilidade.
- esses cenários apontam que haverá um incremento no preço do tratamento de água.

Ao concluir sua análise, o autor afirma que a sustentabilidade de vários setores está comprometida, principalmente a da agricultura. Ele afirma: “não é somente a sustentabilidade da agricultura na BH-PCJ, é a sustentabilidade de todas as atividades humanas que está em risco”.

2.3 Modelagem e Simulação

A dinâmica do sistema tem sido aplicada a questões que vão da estratégia corporativa à dinâmica do diabetes, da corrida armamentista da Guerra Fria entre os EUA e a URSS até o combate entre o HIV e o sistema imunológico humano. A dinâmica do sistema pode ser aplicada a qualquer sistema dinâmico, com qualquer escala temporal e espacial. Sterman [24].

A modelagem de dinâmica de sistemas é um método que visa o estudo de sistemas dinâmico. Para sua estruturação básica, Sterman [24] sugere que:

- O sistema seja modelado como uma estrutura causal fechada que defina o seu o comportamento real do sistema.
- Seja identificado o equilíbrio ou o reforço de ciclos de retroalimentação (causalidade circular) do sistema. O Ciclo de retroalimentação são a base da dinâmica de sistemas.
- Sejam identificados os estoques (acumulações) e fluxos que afetam o sistema.

Sterman [24] destaca duas ferramentas que são utilizadas na dinâmica do sistema para identificar o comportamento dos sistemas, uma qualitativa - Diagramas de Loop Causal - CLD, e uma quantitativa, conhecida como diagramas de estoque e fluxo ou *stock and flow diagrams* – SFD.

2.3.1 Diagramas de Loop Causal

O CLD permite identificar as estruturas de feedback que afetam o comportamento do sistema, tanto negativas quanto positivas. É muito utilizado em trabalhos acadêmicos, e cada vez mais comum na modelagem de negócios. Um modelo criado utilizando um diagrama de Loop Causal permite capturar as principais hipóteses sobre as causas dinâmicas, além de comunicar os efeitos de feedbacks do sistema [24]. Para isto, conforme apresentado na Figura 2.11, utiliza-se uma notação específica para representar as relações de causa e efeito entre os elementos ou variáveis do sistema.

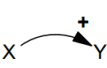

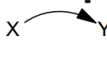
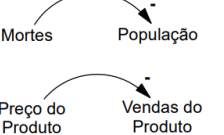
Símbolos	Interpretação	Representação Matemática	Exemplos
	<i>Ceteris Paribus</i> , se X incrementa (reduz), então Y incrementa (reduz)	$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$	
	<i>Ceteris Paribus</i> , se X incrementa (reduz), então Y reduz (incrementa)	$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$	

Figura 2.11: Link de Polaridade: definições e exemplos

Fonte: Adaptado de Sterman [24]

No exemplo da Figura 2.12, as setas indicam o relacionamento causal das variáveis, a população e a taxa de natalidade fracionária determinam a taxa de natalidade. Cada ligação causal recebe uma polaridade, positiva (+) ou negativa (-), que indica como uma variável dependente muda quando a variável independente se altera.

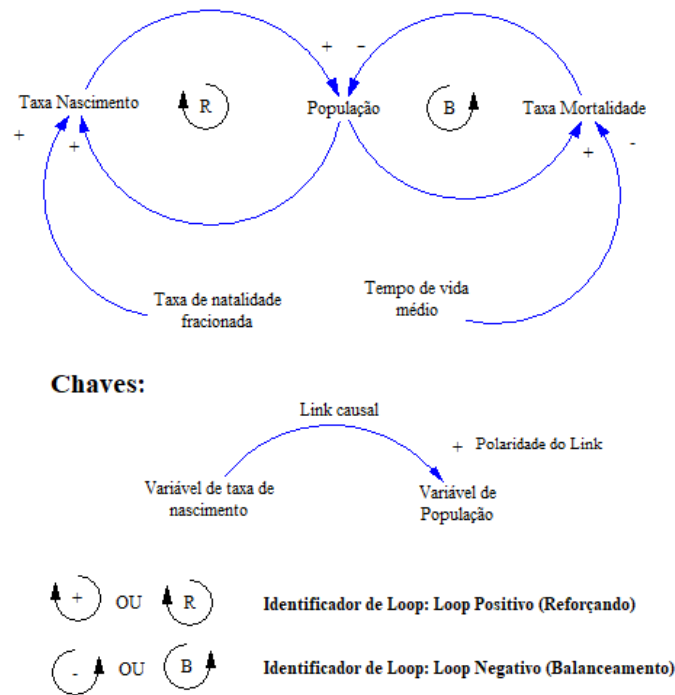


Figura 2.12: Notação de Diagrama de Loop Causal
Fonte: Adaptado de Sterman [24]

Uma ligação positiva significa que, se a causa aumentar, o efeito aumenta acima do que teria sido e, se a causa diminuir, o efeito diminui abaixo do que teria sido. Um aumento na taxa de natalidade fracionária significa que a taxa de natalidade (em pessoas por ano) aumentará acima do que teria sido, e uma diminuição na taxa de natalidade fracionada significa que a taxa de natalidade cairá abaixo do que teria sido. Ou seja, se a fertilidade média aumenta, a taxa de natalidade, dada a população, aumentará; se a fertilidade cair, o número de nascimentos cairá. Quando a causa é uma taxa de fluxo que se acumula em um estoque, também é verdade que a causa é adicionada ao estoque. No exemplo, os nascimentos aumentam a população. [24].

A modelagem utilizando CLD é uma ferramenta útil para representar processos de interdependência e feedback, muito utilizado em projeto de modelagem para capturar modelos mentais - tanto de um grupo de clientes quanto do seu próprio. Eles também são usados para comunicar os resultados de um esforço de modelagem concluído. No entanto, essa ferramenta tem algumas limitações como a incapacidade de capturar a estrutura de

estoque e fluxo dos sistemas. Ações e fluxos, juntamente com o feedback, são os dois conceitos centrais da teoria dos sistemas dinâmicos [24].

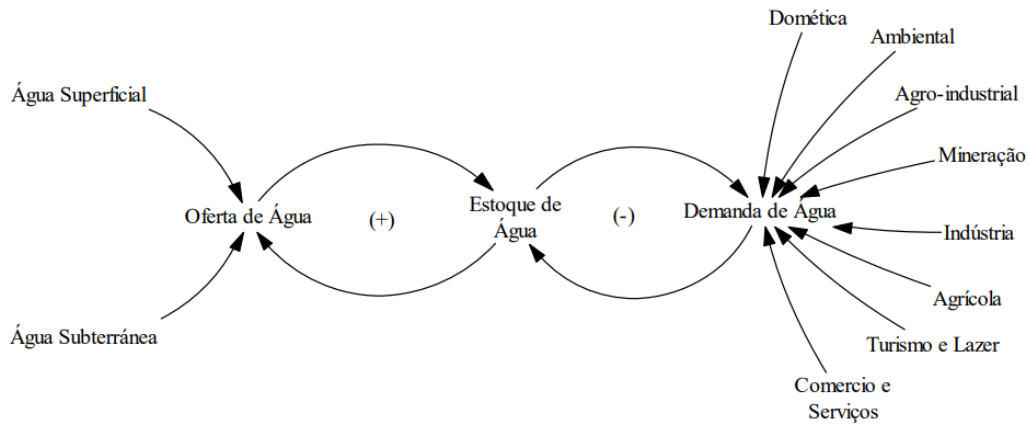


Figura 2.13: Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
 Fonte: Sánchez-Román [3]

Conforme destacado no tópico 2.2.2, Sánchez-Román [3] demonstrou o diagrama causal do sistema de recursos hídricos que ele se propôs modelar. A Figura 2.13 apresenta o relacionamento causal, mostrando as interconexões circulares de retroalimentação e de causalidade, apresentando as variáveis com as indicações positiva (+) ou negativa (-), indicando quais variáveis dependentes irão mudar quando a variável independente mudar.

2.3.2 Estoques, Fluxos e Acumuladores

Os estoques são acumulados. Eles caracterizam o estado do sistema e geram as informações sobre as quais as decisões e ações são baseadas. Os estoques dão inércia aos sistemas e fornecem memória. Os estoques criam atrasos acumulando a diferença entre a entrada para um processo e sua saída. Ao desacoplar as taxas de fluxo, os estoques são a fonte da dinâmica de desequilíbrio nos sistemas.

Sterman [24] afirma que ações e fluxos são familiares para todos nós. O saldo em uma conta corrente é um estoque. O déficit nas contas nacionais é fluxo. A falta de compreensão da diferença entre estoques e fluxos geralmente leva à subestimação de atrasos no tempo, foco de curto prazo e resistência política. A teoria por traz dos estoques e fluxos pode ser exemplificado na metáfora do fluxo de água, exemplificado pela Figura 2.14 em que demonstra nossa experiência cotidiana de água. A quantidade na caixa d'água é sempre o acumulativo das entradas para o estoque menos suas saídas [24].

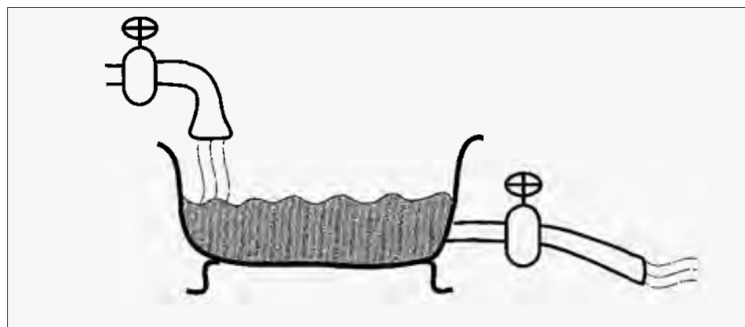


Figura 2.14: Metáfora Hidráulica
Fonte: Sterman [24]

A dinâmica do sistema, conforme apresentado por Sterman [24], usa uma notação de diagramação específica para estoques e fluxos. A Figura 2.15 demonstra os seguintes componentes da modelagem:

- Os estoques são representados por retângulos (sugerindo um contêiner contendo o conteúdo do estoque).
- As entradas são representadas por um cano (seta) apontando para (adicionando ao) o estoque.
- As saídas são representadas por tubos apontando para fora (subtraindo) do estoque.
- Válvulas controlam os fluxos.
- Nuvens representam as fontes e escoamento dos fluxos. Uma fonte representa o estoque do qual um fluxo originado fora do limite do modelo surge; sumidouros

representam os estoques para os quais os fluxos saem do dreno do limite do modelo. Presume-se que fontes e sumidouros tenham capacidade infinita e nunca podem restringir os fluxos que os suportam.

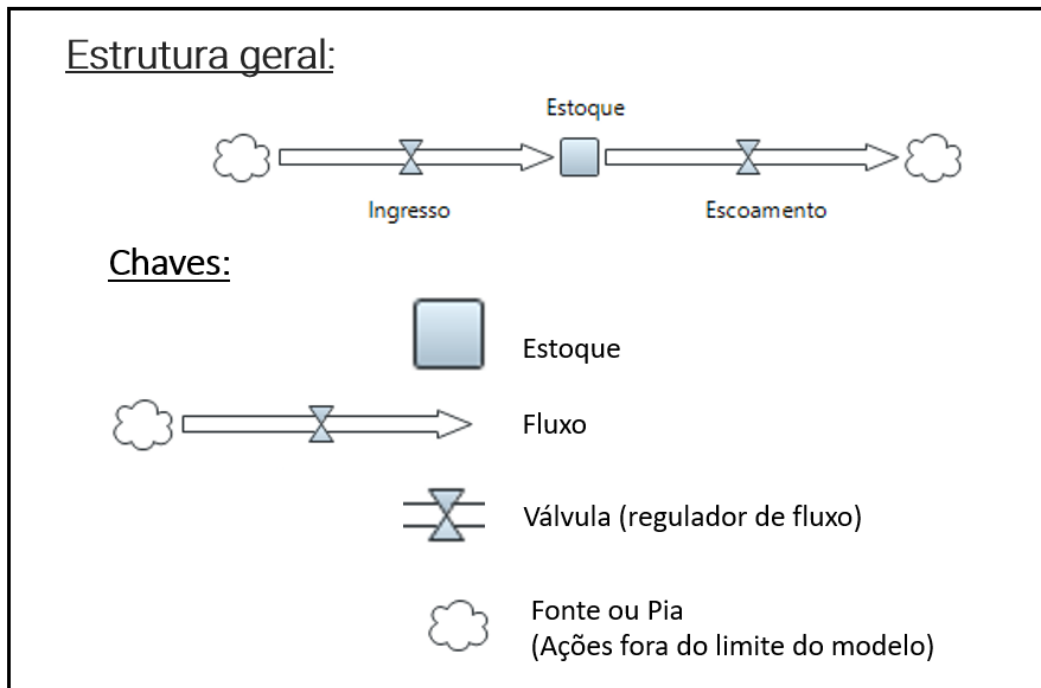


Figura 2.15: Notação de diagrama de fluxo e estoque
Fonte: Sterman [24]

A equação integral abaixo corresponde à equação da figura (2.15) em que $Entrada(s)$ equivale ao valor da entrada a qualquer momento s entre a hora inicial t_0 e a hora atual t . Equivalentemente, a taxa líquida de variação de qualquer ação, sua derivada, é a entrada menos a saída, definindo a equação diferencial 2.3. No princípio da Teoria de Estoque e Fluxo, a partir de “qualquer sistema de equações integrais ou diferenciais, podemos construir o mapa de estoque e fluxo correspondente; a partir de qualquer mapa de estoque e fluxo, podemos gerar o sistema de equações integral ou diferencial correspondente” [24].

$$Estoque(t) = \int_{t_0}^t [Entrada(s) - Saída(s)] ds + Estoque(t_0) \quad (2.3)$$

Sobre a contribuição dos estoques para a dinâmica de sistema, Sterman [24] afirma que os estoques são críticos para gerar a dinâmica dos sistemas pelas seguintes razões:

- Os estoques caracterizam o estado do sistema e fornecem a base para as ações.
- Os estoques fornecem sistemas com inércia e memória.
- Os estoques são a fonte de atrasos.

- Os estoques desacoplam as taxas de fluxo e criam uma dinâmica de desequilíbrio.

2.3.3 Principais Aspectos e Conceitos

Diferentemente de outras ferramentas e métodos de pesquisa operacional, a dinâmica de sistemas pode adotar dois modos de operação: pode envolver o uso de ferramentas qualitativas (por exemplo, diagramas de ciclo causal) seguidas de simulação quantitativa (por exemplo, redes de estoques e fluxos), dependendo da finalidade de análise [53].

Outra distinção interessante da modelagem dinâmica de sistemas é que os modelos podem ser desenvolvidos em modos isolados ou participativos. Dependendo do tipo de consulta, existem dois modos básicos de operação. O primeiro é um modo essencialmente descritivo, que pode ser definido como uma perspectiva suave e opera de maneira similar aos métodos de estruturação de problemas. O segundo é um modo preditivo / prescritivo, que pode ser considerado uma perspectiva difícil e resolve os problemas da mesma maneira que a previsão e a otimização.

A distinção se origina de um debate de longo prazo na comunidade pesquisa operacional, mais precisamente na comunidade de sistemas, no Reino Unido. A razão para essa abordagem é que os sistemas são percebidos de maneira diferente por diversos tomadores de decisão (stakeholders). Pontos de vista dissimilares dificultam a solução dos problemas observados, de modo que o passo mais importante é obter consenso sobre o que é o sistema e, em seguida, qual é o problema relacionado ao sistema. Por outro lado, uma perspectiva difícil visa resolver o problema, partindo do pressuposto de que os sistemas podem ser descritos e projetados usando conhecimentos (insights) gerados por modelos quantitativos.

2.4 Uma Breve História do Risco

O conteúdo deste tópico foi extraído do livro *A Fascinante História do Risco* escrito por Bernstein [1]. Utilizamos esta Bibliografia por ser considerada inovadora e criativa, sendo reconhecida por apresentar de forma magistral como a ideia de gerir risco foi desenvolvida no decorrer da história. Para tanto, apresentamos um resumo de como esse ramo da ciência vem sendo desenvolvido, pesquisado e aplicado no decorrer da história.

A história que ajuda a definir o que é o ser humano, pode ser explicada a partir da palavra “risco”, palavra esta que é originária no italiano antigo que significa “ousar”, é uma opção e não um destino. A evolução desse termo criou a ideia de controle, em que quem está mais predisposto a correr risco tem maior controle, quando os que tem menor apetite ao risco, terá um menor controle.

ALGO RELEVANTE QUE O TRABALHO FAZ É PERMITIR MEDIR O RISCO - IDENTIFICAR E DAR A RELEVÂNCIA DO RISCO

Gerir risco passa pela ideia de como por o futuro a serviço do presente, convertendo assim, o que poderia ser desafio em oportunidade. É ter a capacidade de avaliar o que poderia acontecer no futuro e de optar entre várias alternativas, atividade esta que tem se tornado um objetivo, se não o maior objetivo, das sociedades contemporâneas. Foi o domínio da administração do risco que possibilitou aos engenheiros projetarem as grandes pontes que transpõem nossos rios mais largos, aquecer nossos lares, construir as usinas elétricas, erradicada a poliomielite, construir aviões e transformar o sonho das viagens espaciais em realidade.

Analisar a história do risco é explorar o contraste entre os que afirmam que as melhores decisões se baseiam na quantificação e nos números, sendo determinadas pelos padrões do passado, e os que baseiam suas decisões em suas crenças mais subjetiva sobre o futuro incerto, por exemplo: acreditar que o sucesso ou o fracasso de suas decisões dependem dos deuses. É também, perceber que o passado determina o futuro. Ainda que não possamos quantificar o futuro, pela incerteza que temos e por ser desconhecido, é possível utilizar os números para analisar o que aconteceu no passado, e com isso fazer previsões sobre o futuro.

O Cristianismo assume um papel relevante na história do risco, uma vez que forma de viver difundida, quebra com o domínio dos deuses que determinavam tudo. Agora existe um só Deus e ele deve ser reverenciado. O resultado da vida de um homem é resultado primeiro de suas atitudes, conseqüentemente, suas ações trarão a bênção ou a maldição. A vida eterna ou o inferno. Essa mudança de paradigma atribui ao homem a responsabilidade por suas ações e, conseqüentemente, leva-o a calcular o futuro. A ideia é que “antes estava nas mãos dos deuses” agora é, “sua vida depende de suas ações”.

À medida que a contemplação do futuro se tornou uma questão de conduta moral e de fé, o futuro deixou de parecer tão inescrutável como antes. Não obstante, ele ainda não era suscetível a nenhum tipo de expectativa matemática. Os primeiros cristãos limitaram suas profecias ao que aconteceria no além-túmulo, por mais fervorosamente que suplicassem a Deus para influenciar os eventos mundanos a seu favor.

O Renascimento e a Reforma Protestante prepararam o terreno para o controle do risco. O que era místico perdeu espaço para a ciência e a lógica, o futuro passou a ter uma maior importância em relação ao presente e passou a ser previsto nos últimos anos. A perspectiva de enriquecer passou a ser altamente relevante e motivadora, e o conceito de que poucas pessoas ficam ricas sem correr riscos se tornou notório. Um novo paradigma surge indicando que qualquer pessoa que queira correr riscos pode ficar rica, e não mais

somente os príncipes e herdeiros. Um executivo de sucesso é antes de tudo um previsor; as ações de comprar, produzir, vender, fixar preços e organizar vêm depois.

O maior obstáculo à gestão de riscos passou pelas limitações do sistema matemático às descobertas e definição da probabilidade. Por volta de 1202, o homem percebe a necessidade de um sistema de numeração que permitisse “calcular” em vez de apenas registrar os resultados de nossas atitudes. A história dos números, do surgimento da matemática, da álgebra, está ligada com a fascinante história do risco, em um mundo cheio de números como ferramentas que dependem de nossas decisões mais relevantes, decisões tomadas por computadores, algoritmos e sistemas computacionais que devoram números para devolver ao homem tomadas de decisões.

A publicação do livro *Liber Abaci*⁹ (Livro do Àbaco), com os aprendizados que Leonardo Pisano (Fibonacci) teve com um matemático árabe da cidade de Bugia, permitiu que Fibonacci vislumbrasse todos os cálculos possíveis com o sistema - cálculos certamente impossíveis com os algarismos romanos. O *Liber abaci* foi o primeiro passo significativo na história da medição no fator-chave do controle sobre o risco. Porém, o ponto central do sistema indo-arábico foi a invenção do zero, “o Zero derrubou os limites às ideias e ao progresso”. O zero não tinha nenhuma relação com a contagem nesse sentido. Nas palavras do filósofo inglês do século XX, Alfred North Whitehead: “O que caracteriza o zero é que não precisamos usá-lo nas operações do dia a dia. Ninguém sai à rua para comprar zero peixe. Em certo sentido, é o mais civilizado dos cardinais, e seu uso nos é forçado apenas pelas necessidades das formas cultas de pensamento.” [1].

Como a aplicação dos conhecimentos de Fibonacci e a invenção do zero, o surgimento da aritmética foi um outro passo significativo. *Khowârizmî* foi quem construiu as primeiras regras de cálculo, que deram origem a regras para adição, a subtração, a multiplicação e a divisão. Foi a partir de sua obra que surgiu a ideia de algoritmo. Já o processo de manipulação das equações algébricas surgiu com a obra de *Hisâb al-jahr w'almuqâbalah*, “ciência da transposição e cancelamento”, permitindo a utilização da matemática para generalizar a aritmética. A invenção da imprensa com tipos móveis, por volta de 1450, permitiu a tradução de vários clássicos da matemática para o italiano, e abriu espaço para a utilização universal dos números, estimulando avanços nas transações comerciais e “finalmente, as primeiras noções das leis das probabilidades assumiram uma dimensão totalmente nova”. Esse processo evolutivo da utilização dos números abriu caminho para que no século XVII, Blaise Pascal matemático desse século, criou a: Teoria da Escolha, das Chances e das Probabilidades.

⁹“O Liber abaci é muito mais do que uma cartilha para se aprender a ler e escrever os novos numerais. Tem instruções de como determinar, com base no número de dígitos de um numeral, se é uma unidade, um múltiplo de dez, um múltiplo de cem e assim por diante” [1].

A evolução da utilização dos números para um sistema de medição e controle de risco, foi motivada com a tentativa de resolver o problema de como dividir apostas de um jogo interrompido. Esse problema aparece em várias obras matemáticas, por várias vezes, durante os séculos XVI e XVII. O que acabou sendo conhecido como o problema dos pontos, “marcou o início da análise sistemática da probabilidade - a medida de nossa confiança em que algo vai acontecer. Ele nos leva ao limiar da quantificação do risco.”. O problema é descrito assim:

A e B estão empenhados em um honesto jogo de balla. Eles concordam em continuar até que um deles vença seis rodadas. O jogo realmente termina quando A venceu cinco, e B, três rodadas. Como devem ser divididas as apostas?

Esse problema dos pontos começa pelo entendimento da complexidade de como dividir as apostas de um jogo que não pode ser terminado, uma vez que o jogador que está vencendo demonstra ter maiores chances de ganhar o jogo. Mas a questão inquietante é demonstrar quão maiores são essas chances do jogador que está vencendo. E quão pequenas é a possibilidade do jogador que está perdendo? Sabe-se que o jogador que está vencendo, quando o jogo é interrompido, teria maiores probabilidades de vitória se o jogo prosseguisse. Porém, calcular essa probabilidade foi o desafio que levou a um grande desenvolvimento da matemática e da Teoria do Risco.

Cardano que era considerado o rei da jogatina, introduziu em seu tratado *Liber de ludo aleae* (livro sobre o jogo de dados) [54], a ideia de aleatoriedade, descrevendo eventos incertos, sua obra é considerada o primeiro esforço sério de desenvolver os princípios estatísticos de probabilidade, e ele é considerado o primeiro a introduzir o lado estatístico da Teoria da Probabilidade. Cem anos após Cardano publicar sua obra, Hacking defendeu a primeira definição de probabilidade, “a probabilidade é determinada pela evidência e razão”. E esse termo assume duplo significado, “um voltado para o futuro e outro como interpretação do passado, um preocupado com nossas opiniões, o outro preocupado com o que realmente sabemos”.

Galileu foi o último italiano a lidar com a teoria da probabilidade. Ele escreveu um ensaio *Sobre o jogo de dados*. Porém, foi no início do século XVII, na França, que houve um grande salto na análise da probabilidade, com as descobertas de técnicas de medição capazes de determinar o grau de ordem que estaria oculto no futuro incerto. Três franceses: Blaise Pascal, Pierre de Fermat e o Cavaleiro de Méré enxergaram além das mesas de jogos e deram forma aos fundamentos sistemáticos da medição das probabilidades. Essa teoria forneceu uma medida de probabilidade em termos de números exatos. Para a época foi um rompimento dos paradigmas relacionados a tomada de decisão baseada em graus de

crença. E foram esses avanços, incluindo cálculo infinitesimal e álgebra, que forneceram a base de muitas aplicações práticas da probabilidade, de seguros, investimentos, previsão do tempo, dentre outros.

A solução proposta por Pascal e Fermat para resolver o problema dos pontos em um jogo interrompido foi a elaboração da primeira análise de resultados futuros. Bernstein [1] afirma: “Pascal e Fermat expõem uma maneira para se determinar a probabilidade de cada um dos resultados possíveis, presumindo-se sempre que os resultados podem ser matematicamente medidos. E acrescenta que a análise de Pascal ao problema é a base do início da Teoria da Tomada de Decisão: a teoria de decidir o que fazer quando é incerto o que acontecerá. Tomar tal decisão baseado na solução de Pascal e Fermat é o primeiro passo essencial no esforço da gestão de riscos.

Em 1662 um grupo de amigos de Pascal publicaram *La logique, ou l'art de penser* (Lógica, ou a arte de pensar) [55] em que quatro capítulos fundamentaram a Teoria da Inferência Estatística, tratando de probabilidades e hipóteses em um conjunto limitado de fatos. A obra exemplifica que o temor ao dano deve ser proporcional, não apenas à gravidade do dano, mas também à probabilidade do evento, e essa forma de conceber o risco é inovadora na gestão do risco, em que a ideia de que tanto a gravidade quanto a probabilidade devem influenciar uma decisão [1].

Poderíamos... afirmar que uma decisão deve envolver a força de nosso desejo de um resultado específico, assim como o grau de nossa crença na probabilidade daquela utilidade. A força de nosso desejo de algo, passou a ser conhecida como utilidade. E a utilidade assumiu um lugar central em todas as teorias de tomada de decisões e enfrentamento de riscos.

Os acontecimentos históricos permitiram visualizar como os protagonistas dessa retrospectiva chegaram perto de usar a probabilidade para prever prejuízos econômicos e construir métodos utilizados em nosso mundo na gestão de riscos. Vale ressaltar que após 1654, a feitiçaria deixaria de ser o método de previsão favorito, dando lugar a matemática e as Teorias das Probabilidades até então desenvolvidas.

O surgimento da Estatística

Bernstein [1] avalia que os estudos sobre inferência estatística de Grount permitiram comprovar a possibilidade de utilizar uma fração de dados para estimar o todo, seus trabalhos permitiram realizar a primeira estimativa populacional de Londres. O destaque do seu trabalho foi além e permitiu determinar se a população londrina estava aumentando ou diminuindo, ou se ela se tornara suficiente grande, ou grande demais. Além de descobrir

se seria possível utilizar esse mesmo método para estimar a probabilidade de um indivíduo morrer por peste, e em que idade essa probabilidade era mais alta. Grount criou uma tabela com o número de sobrevivente por faixa etária que foi amplamente utilizada, e foi útil para inspirar Petty a insistir com o governo no sentido de estabelecer um escritório de estatística.

Os estudos de Grount apresentaram os conceitos teóricos básicos necessários à tomada de decisões quando se trata de incerteza. “Amostragens, médias e noção do que é normal compõem a estrutura que iria, mais a frente, abrigar a ciência da análise estatística, colocando a informação a serviço da tomada de decisões e influenciando nossos graus de crença sobre as probabilidades de eventos futuros”.

Um outro pioneiro na utilização da estatística foi Halley, que deu um passo além ao trabalho de Grount e criou uma tabela para calcular o preço de seguros de vida para diferentes idades. “Sua tabela forneceu informações necessárias para o cálculo do valor das anuidades”, e foram estas tabelas que um século depois, foram utilizadas por governos e empresas seguradoras para calcular a expectativa de vidas baseadas nas probabilidades.

O desenvolvimento da estatística e probabilidades, com as grandiosas realizações matemáticas de Cardano, Pascal, Graunt, Petty e Halley, levou a atividade das seguradoras a ganhar impulso e se tornar um negócio ousado, com disposição a emitir apólices de seguros "contra quase todo tipo de risco, inclusive roubo a residência, roubos nas estradas, mortes por excesso de gim, morte de cavalos e seguros da castidade feminina". Porém, o primeiro artigo sobre a temática de risco só foi publicado em 1738 por Daniel Bernoulli com o título *Exposição de uma nova teoria sobre a medição do risco* [24]. Bernstein [1] afirma ser “um dos documentos mais profundos já escritos, não apenas sobre o tema do risco, mas também sobre o comportamento humano... esse documento aborda quase todos os aspectos da vida”. O trabalho de Bernoulli transformou a tomada de decisão de um evento místico para um evento lógico voltado para tomadores de decisões racionais, pois além de criar o conceito de *utilidade*, termos usado pelos matemáticos para definir *valor esperado*, ele introduziu a ideia que os economistas mais tarde chamariam de “força propulsora do crescimento do capital humano”. A ênfase do seu trabalho estava na tomada de decisão, pois seu objetivo era “estabelecer regras pelas quais qualquer um poderia estimar suas perspectivas em qualquer empreendimento arriscado à luz de suas circunstâncias financeiras específicas”.

O desenvolvimento da Gestão do Risco estava em plena ascensão no século XVII, e teorias ainda seriam descobertas como a Medição da Incerteza, a Lei dos Grandes Números, Média, Normal e Desvio Padrão. Da família Bernoulli, o tio de Daniel Bernoulli, Jacob Bernoulli formulou um problema em uma carta enviada a seu amigo Leibniz que questionava o fato de “sabermos as chances de se obter sete em vez de oito com um par

de dados, mas não sabemos as probabilidades de um homem com vinte anos sobreviver a um de sessenta”. Jacob não obteve respostas positivas sobre seu problema enviado a Leibniz, porém, seus esforços o levaram a publicar *Ars conjectandi* (A arte da conjectura) em que ele demonstrou “o processo de estimar o todo a partir das partes”. J. Bernoulli alcançou um nível na teoria das probabilidades onde “para chegar a uma hipótese sobre a probabilidade de um evento, basta que se calcule exatamente o número de casos possíveis e, depois, determine o grau em que um caso é mais provável de acontecer do que o outro”. J. Bernoulli deu contribuições significativas para a análise probabilística onde é possível estimar o todo a partir das partes. A metodologia desenvolvida por J. Bernoulli “fornece-nos um poderoso conjunto de ferramentas para desenvolver as probabilidades de resultados futuros com base nos dados limitados do passado”. Utilizando a Lei dos Grandes Números, apesar de dispendiosa por exigir uma análise de grande parte do todo, foi possível medir incerteza.

Em 1718 de Moivre lançou a célebre obra *The doctrine of chances* (A doutrina das chances)[56], essa obra “talvez seja a primeira obra que define explicitamente o risco”. De Moivre provou que com a ideia de desvio padrão, seria possível calcular uma medida estatística de sua dispersão em torno da média com uma amostra inferior a sugerida por J. Bernoulli. A solução proposta por de Moivre utilizando a Distribuição normal e o desvio padrão simplificou a solução apresentada por J. Bernoulli. Porém a solução apresentada por J. Bernoulli não respondia a problemas que deveriam ser calculados a *probabilidade inversa* (termo para a atual inferência estatística ou probabilidade de distribuição), e foi Thomas Bayes que formulou a pergunta: “como podemos determinar a probabilidade de que um evento ocorrerá sob circunstâncias em que nada sabemos sobre ele, exceto que ocorreu certo número de vezes e que deixou de ocorrer certo número de outras vezes”. Este é o problema que Bayes estava tentando resolver, suas contribuições no objetivo de solucioná-lo são consideradas modernas e vastamente utilizadas na atualidade

Dado o número de vezes em que um evento desconhecido ocorreu e falhou, pede-se a chance de que a probabilidade de seu acontecimento em uma única tentativa resida em algum ponto entre dois graus quaisquer de probabilidade que podem ser especificados [1].

A distribuição normal constitui o centro da maioria dos sistemas de administração do risco, e conforme afirma Bernstein [1], “grande parte do ato de correr riscos baseia-se em oportunidades desenvolvidas a partir de desvios da normalidade”, porém, os estudos de Galton acrescentaram um fator relevante aos estudos já conhecidos da curva de sino, comumente chamada de “normal”. Para Galton a curva de sino indica que certos dados estão correlacionados e podem ser analisados como uma entidade relativamente homogênea.

Ou no caso inverso, quando ocorre ausência da distribuição normal, há uma indicação de “sistemas dessemelhantes”, para o pensador esse pressuposto nunca é desmentido.

Além dessas descobertas, Galton foi o primeiro a aplicar o princípio que ficou conhecido como regressão ou reversão à média ¹⁰ e também contribuiu na criação do conceito de correlação em que é possível avaliar a proximidade entre séries diferentes. Esses dois princípios, Bernstein [1] afirma motivar “quase toda variedade de enfrentamento de riscos e de previsão” e fornece “a base filosófica de muitos sistemas de tomada de decisão”.

Medindo a incerteza

Cardano, Pascal, Graunt, Petty, Halley, os Bernoulli e de Moivre demonstraram ousadia ao provar que “a incerteza pode ser medida”. [1].

Dentro dessa análise histórica do risco, é necessário explorar como essa teoria que está sendo construída por centenas de anos pode ser aplicada na gestão. Faz-se necessário identificar “que riscos devemos correr, que riscos devemos evitar, que informações são relevantes? Quão confiantemente sustentamos nossas crenças sobre o futuro?” [1]. Explorar esta dimensão é explorar a palavra que mais tarde se tornou parte da explicação do risco, a “incerteza”. O risco conforme apresentado na ISO 31000 2 é “o efeito da incerteza nos objetivos”. Um dos papéis fundamentais dos filósofos e matemáticos na construção do paradigma do risco foi estabelecer as leis da probabilidade com o objetivo de abordar os mistérios da incerteza.

Conforme apresentado por Bernstein [1], faz-se necessário tornar distintos acontecimentos aleatórios daqueles que são resultados de causa e efeito. Sabe-se que ao atribuir a má sorte ou a boa sorte a um fato, retiramos dos envolvidos qualquer responsabilidade pelo ocorrido, e “quando dizemos que alguém é sortudo, negamos a tal pessoa o crédito pelo esforço que pode ter levado ao resultado feliz”. O inverso também é verdadeiro. A pergunta que devemos fazer é: “que certeza temos nessa afirmação? Foi o acaso ou a escolha que decidiu o resultado?” Para Bernstein [1] a essência da administração de risco está “em maximizar as áreas onde temos certo controle sobre o resultado, enquanto minimizamos as áreas onde não temos absolutamente nenhum controle sobre o resultado e onde o vínculo entre o efeito e causa está oculto de nós”, e a esse ato chama-se calcular a incerteza.

O matemático, físico e filósofo francês Poincaré, foi quem apresentou a Teoria de Causa e Efeito. Ele acreditava que tudo possui uma causa e afirmou que: “uma mente infinitamente poderosa, infinitamente bem-informada sobre as leis da natureza, poderia ter previsto todos os eventos desde o início dos séculos. Se tal mente existisse, não

¹⁰“A reversão é a tendência do tipo filial médio ideal de afastar-se do tipo paterno, revertendo ao que podemos grosseiramente e talvez justamente descrever como o tipo ancestral médio”

poderíamos jogar com ela nenhum jogo de azar, pois perderíamos” Poincaré [57]. Tanto Laplace como Poincaré defenderam a ideia que o desafio reside na possibilidade de realizar as tentativas suficientes ou obter os dados amostrais suficientes para que seja aplicado a Lei da Probabilidade à tomada de decisão, para estes, as informações de que dispomos para aplicar a Lei da Probabilidade são insuficientes. Bernstein [1] afirma que recebeu uma nota de um amigo com os seguintes dizeres:

A informação de que você dispõe não é informação que você deseja. A informação que você deseja não é a informação que você necessita. A informação que você necessita não é a informação que você consegue obter. A informação que você consegue obter custa mais do que você deseja pagar.

A Figura 2.16 representa o significado da nota que o amigo de Bernstein [1] encaminhou para ele, em que o custo de gerenciamento de risco é inversamente proporcional a magnitude do risco. Quanto mais se deseja minimizar o efeito do risco sobre os objetivos, o custo será inversamente maximizado.

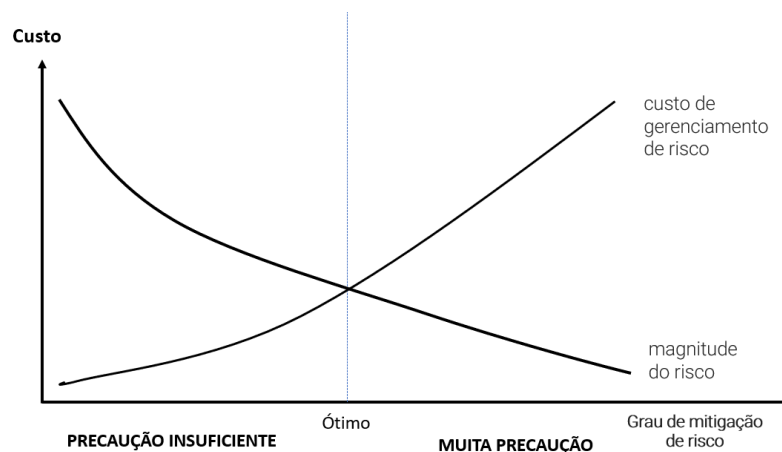


Figura 2.16: Custo da gestão de risco e magnitude do risco
 Fonte: Vasvári [58]

Seguindo a teoria de J. Bernoulli que “é necessário mil chances em 1.001 para se ter certeza moral”, por mais que se consiga as informações para realizar um julgamento, o custo para conseguir toda a informação inviabilizaria um julgamento com 100% de acerto. Reduzir a incerteza é algo caro. Bernstein [1] cita um incidente ocorrido que ilustra a problemática da aceitação da incerteza; foi dado a Arrow a incumbência de prever o tempo com um mês de antecedência, porém Arrow e sua equipe de pesquisadores identificaram que a capacidade de fazer previsão de longo prazo não se distinguia em nada de sortear números de um chapéu, e ele solicitou aos superiores, a dispensa dessa tarefa por considerar

desnecessária, porém como resposta foi lhe dito “o Comando Geral está consciente de que as previsões são falhas. Entretanto, são necessárias para fins de planejamento.”

Kenneth Arrow, Prêmio Nobel por suas descobertas, e que revolucionou as ciências econômicas, destacou que “nunca temos certeza; somos sempre ignorantes em certo grau”, em seus estudos focalizou “a tomada de decisão sob condições de incerteza e como convivemos com as decisões tomadas” Arrow [59]. Arrow é considerado o pai da administração de risco como “forma explícita de habilidade prática”. Para Arrow realizar a administração do risco é decidir que a probabilidade de estar errado é tão pequena ou é tão grande, ou ainda, é decidir que a probabilidade de estar certo é tão pequena ou tão grande, e com base nesse intervalo de confiança tomar a decisão. Bernstein [1] apresenta como a incerteza influi no processo de tomada de decisão:

...sob condições de incerteza, a escolha não é entre rejeitar uma hipótese ou aceitá-la, mas entre a rejeição e a não rejeição. Você pode decidir que a probabilidade de estar errado é tão pequena que você não deveria rejeitar a hipótese. Você pode decidir que a probabilidade de estar errado é tão grande que você deveria rejeitar a hipótese, mas com qualquer probabilidade diferente de zero de estar errado – certeza em vez de incerteza –, você não pode aceitar uma hipótese.

Uma conclusão já pode ser depreendida desse histórico até aqui apresentado: é que administrar riscos é medir o grau de incerteza em uma decisão.

A história mostra que a administração do risco tem o foco nas variáveis que afetavam a tomada de decisão, verificando-se a posterior que se faz necessário questionar se uma decisão leva a um resultado que está ou não contemplado no conjunto de possibilidades identificadas, pois o problema pode estar relacionado mais à consequência da tomada de decisão que à decisão em si.

Em 1921 Knight apresentou a primeira obra relevante sobre a temática de tomada de decisão sob condições de risco e incerteza. Esta obra, destaca Bernstein [1], apresenta inovações significativas na administração de riscos por demonstrar o elemento-surpresa em sistemas em que decisões dependem de previsões do futuro. Knight assegurou em seus estudos que não se trata de eliminar a indeterminação do futuro, e sim compreender que é extremamente perigoso depender do passado para determinar o futuro. Apegar-se unicamente às leis da probabilidades utilizando dados do passado sem reconhecer quando as condições do futuro começam a mudar “de mal para melhor ou de melhor para pior” é muito perigoso, uma vez que, afirma Knight, a predominância da surpresa no mundo das decisões indica que a incerteza “tende mais a prevalecer que a probabilidade matemática..

e a volatilidade é um representante da incerteza e deve ser acomodada na avaliação do risco”.

Qualquer “ocorrência”... é tão inteiramente singular que não há outras ou um número suficiente que permita tabular ocorrências iguais o bastante para formar uma base para qualquer inferência de valor sobre quaisquer probabilidades reais no caso em que estamos interessados. O mesmo se aplica obviamente à maioria das condutas, e não apenas às decisões empresariais Knight [60].

Keynes [61], em se tratando de riscos e incertezas, revolucionou a forma como utilizá-la. Em seu livro *A treatise on probability* (Tratado sobre a Probabilidade), demonstrou que a “incerteza, e não a probabilidade matemática, é o paradigma dominante do mundo real”, ele rejeitou os estudos e teorias que não incluíssem a incerteza, uma vez que há a probabilidade objetiva de algo que ainda não aconteceu, quer dizer “que não está sujeito ao capricho humano”. Keynes criticou a “Lei dos Grandes Números” ao dizer que um conjunto de observações de eventos similares de algo já ocorrido “é uma desculpa insatisfatória para acreditar que provavelmente ocorrerá no futuro”. Se tudo funciona pelas leis da probabilidade então nosso agir são como a dos jogadores que “não tem outro recurso senão recitar sortilégio aos seus deuses”. Keynes traz uma grande inovação em seus estudos ao afirmar que a certeza em um resultado só deve ocorrer quando identificarmos “uma situação em que cada série nova difere de forma significativa das demais”. Ele muda o foco da probabilidade para a incerteza ao afirmar em seus estudos que a incerteza e não as probabilidades dos números é o paradigma existente no mundo real. Para Bernstein [1], Keynes acrescenta um olhar novo e de otimismo para a administração dos riscos em que não somos “prisioneiros de um futuro inevitável”, e a incerteza é o que nos faz livres. Bernstein [1] resume a obra de Keynes com as seguintes palavras:

Felizmente, o mundo da pura probabilidade só existe no papel ou talvez como uma descrição parcial da natureza. Nada tem a ver com seres humanos arfantes, suados, ansiosos e criativos lutando para livrar-se das trevas. Isso é uma boa, e não uma má notícia. uma vez que aceitemos que não somos obrigados a aceitar o giro da roleta ou as cartas que recebemos, somos almas livres. Nossas decisões importam. Podemos mudar o mundo.

A inovação que Keynes acrescenta à administração do risco mostra um caminho alternativo utilizando a incerteza ao nosso favor, para ele o homem pode modificar o mundo,

pode alterar o seu destino ao tomar suas decisões. Bernstein [1] conclui: “O giro da roleta nada tem a ver com as mudanças que queremos”.

Keynes [62], Von Neumann [63], deram uma relevante contribuição na compreensão do risco e incerteza com a Teoria dos Jogos, ideia complementar à de Keynes. Para Bernstein [1], a “teoria dos jogos traz um novo sentido à incerteza” ao não admitir que a incerteza é um fato consumado e que nada podemos fazer para mudar, ao contrário, a Teoria dos Jogos afirma que os resultados não dependem somente de chance, mas, sobretudo, da habilidade de tomar decisões. Von Neumann [63] apresenta uma perspectiva em que as decisões devem resultar de um conjunto de ações. O objetivo é reduzir a incerteza, e se for necessário, mudar a estratégia até-se obter o resultado esperado. Como exemplo, no jogo de estratégia, as informações que cada jogador tem acerca dos elementos referentes a seus adversários e de sua atuação passada é muito relevante. Esse é um tipo de jogo de “informações completas” [64], em que os participantes do jogo, ao tomar uma decisão, conhece os acontecimentos passados, e dispõe dos elementos necessários para identificar qual é a melhor estratégia a seguir. A teoria apresenta a relevância de preferir a medição à intuição, e da utilização das informações para tomada de decisões racionais a emoções e aos hábitos. As contribuições de Von Neumann e Morgenstern moldaram o conceito da racionalidade como regra na administração do risco e na maximização da utilidade, e “revolucionaram a gestão dos investimentos e o comportamento de milhões de pessoas”.

No desenvolvimento da Teoria da Administração de riscos, faz-se necessário ainda referenciar o trabalho de Markowitz [65], Prêmio Nobel de ciência econômica no ano de 1990. Markowitz apresenta a ideia de risco e variância como sinônimo. Bernstein [1] afirma que “Markowitz é uma síntese das ideias de Pascal, De Moivre, Bayes, Laplace, Gauss, Galton, Daniel Bernoulli, Jevons, von Neumann e Morgenstern”, por utilizar as principais teorias formuladas por esses matemáticos como: Teoria das Probabilidades, da amostragem, da curva em sino e dispersão ao redor da média, da regressão à média e da Teoria da Utilidade.

A programação linear apresentada como uma forma de construir modelos matemáticos para maximizar ou minimizar uma função linear de diversas variáveis, como saída ou custo, foi uma das contribuições de John von Neumann. Porém sua maior contribuição, afirma Bernstein [1], foi demonstrar como utilizar a noção de risco para construir carteiras para investidores que “consideraram o retorno esperado uma coisa desejável e a variância do retorno uma coisa indesejada” [65]. Markowitz foi o primeiro a introduzir na economia a ideia do “uso da diversificação para reduzir a volatilidade”. Ele transformou o procedimento de fazer escolha de ações, do método até então intuitivo, para um método que utiliza o cálculo estatístico da incerteza, e com isso ser possível fazer a seleção do que ele denominou “carteiras eficientes”. A ideia de Markowitz é “maximizar a saída em

relação à entrada ou minimizar a entrada em relação a saída”. Para o pensador, uma carteira de ações eficiente são aquelas que minimizam o indesejável (a perda) e maximizam o desejável (a riqueza). A Teoria de *Portfolio Selection* (Seleção de Portfólio) apresentou à administração de riscos a base para os principais estudos relacionados a investimentos, tornando a Teoria da Diversificação uma prática modelo entre os investidores [1].

Administrar riscos depende da “racionalidade” que está relacionado a tomada de decisões baseada em análise de dados e visão de futuro. A “irracionalidade”, que é tomar decisões fora dos modelos de decisão racional, predomina nos processos de tomada de decisão, levando gestores a fazerem escolhas na vida real que geram falhas em áreas onde as consequências são muito graves. Kahneman [66], ao publicar o artigo a *Prospect theory* (Teoria da Perspectiva) demonstrou que “a principal força propulsora” da tomada de decisão é “a aversão à perda”, e acrescentou que “não se trata tanto de que as pessoas odeiam a incerteza - mas, pelo contrário, de que odeiam perder.” [66]. Kahneman [66] apresentou em seus estudos um fator anômalo na administração de riscos relacionado as emoções e o auto controle.

Neste capítulo fizemos questão de apresentar uma revisão da avaliação do história do risco, demonstrando de forma sintética o caminho percorrido na construção de uma relevante área do conhecimento na atualidade. Concluímos este tópico fazendo referência a Alexander [67] que ao destacar a relevância da matemático da medição de risco, reconhece que “os riscos não podem ser gerenciados adequadamente, a menos que sejam quantificados”. Hoje, outros conhecimentos são exigidos para os administradores de riscos que vão de distribuições de probabilidade, métodos de simulação, Value-at-Risk (VaR), e uma série de outras técnicas matemáticas e estatísticas.

Considerações

Seria por demais genérico definir o risco conforme apresentado na frase descrita na ISO 31000 2: “o efeito da incerteza nos objetivos”. Foi necessário demonstrar o esforço milenar em torno da problemática de fazer previsões, analisar escolhas e tomar a melhor decisão diante das incertezas. Personagens como Pascal, Galton, os Bernoulli (Daniel e Jacob), Gauss, Quetelet, von Neumann, Morgenstern, Markovitz, Black e Sholes, conforme apresentado no livro *A Fascinante História do Risco* escrito por Bernstein [1], tiveram um papel relevante na tentativa desvendar as possíveis soluções intrincadas na administração do risco. Todas as suas contribuições rumo a este objetivo, desde o Triângulo de Pascal até a distribuição normal criada por Gauss, da regressão à média introduzida por Galton à covariância apresentada por Markowitz, e das ideias sobre amostragem descobertas por Jacob Bernoulli indo até a ideia da irracionalidade de Kahneman e Tversky, Es-

sas descobertas levaram a contribuições úteis e aplicáveis aos problemas enfrentados pelo homem.

Quando investidores compram ações, cirurgiões realizam operações, engenheiros projetam pontes, empresários abrem seus negócios e políticos concorrem a cargos eletivos, o risco é um parceiro inevitável. Contudo, suas ações revelam que o risco não precisa ser hoje tão temido: administrá-lo tornou-se sinônimo de desafio e oportunidade. Bernstein [1]

No tópico 2.5, apresentaremos uma abordagem do estado da arte na atualidade sobre o risco. Desse modo, será possível ter uma visão mais abrangente sobre a evolução do risco até os tempos modernos.

2.5 Estado da Arte em Gestão de Riscos

O Risco nos tempos modernos passou a ser uma área de estudo necessária nas mais diversas dimensões da vida humana, envolvendo desde questões locais relativas a poucas pessoas, até de ordem mundial, relativas à vida na terra. Os riscos tornaram-se parte integrante da nossa sociedade. Assumir riscos é inerente às nossas vidas, faz parte dos nossos lares, estilos de vida, finanças, diversão, e mais ainda na sustentabilidade do meio ambiente. O conceito de risco é tão antigo quanto a humanidade [68], mas, sem dúvida, o papel do risco tornou-se significativamente mais proeminente nos tempos modernos.

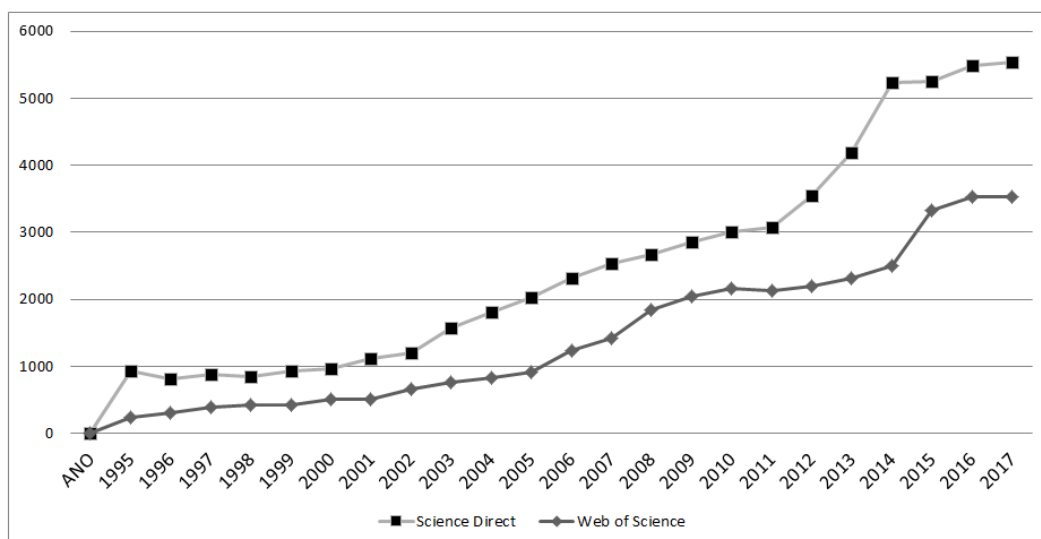


Figura 2.17: Quantidade de Publicações com o tema: Risk Management, por ano
Fonte: Consolidado de Science Direct e Web of Science, julho/2018.

Uma pesquisa realizada nas bases de dados de produção científica *Science Direct* e *Web of Science* [69] mostra o crescimento de publicações relacionadas ao tema *Risk Management* (Gestão de Risco) nos últimos anos. A Figura 2.17 mostra como o interesse pelo tema tem crescido no meio acadêmico de forma exponencial. Ao fazer uma análise de quais áreas mais se destacaram como foco das pesquisas sobre a Administração do Risco, a Tabela 2.1 mostra que a medicina, engenharia e as ciências sociais são as que mais se destacam.

Vasvári [58] faz uma revisão bibliográfica em que analisa o estado da arte relacionado a risco, percepção do risco e gerenciamento do risco. Para Vasvári [58], quanto menor o nível de modernização em uma sociedade, mais riscos e perigos são apresentados pela natureza. Ao olharmos para trás no tempo, as sociedades (pré) modernas estavam bem mais expostas aos perigos, ao passo que a inovação tecnológica criou a base para a modernização, o desenvolvimento científico e tecnológico eliminou vários perigos e riscos impostos pela natureza, porém, novos riscos foram criados. De acordo com Renn [70], que segue as conclusões de Bernstein, para a existência de risco, faz-se necessário a incerteza, consequentemente a indeterminação do futuro, em que não há predeterminação, mas sim uma dependência das atividades humanas atuais. No tópico 2.4 onde apresentamos uma breve história da avaliação do risco, e como a definição de risco evoluiu no tempo, identificamos que o risco é a incerteza mensurável, é uma incerteza provável e, consequentemente, uma de suas características descritivas é a probabilidade de ocorrência. Isso nos leva a entender que uma característica descritiva do risco é um possível estado futuro da realidade.

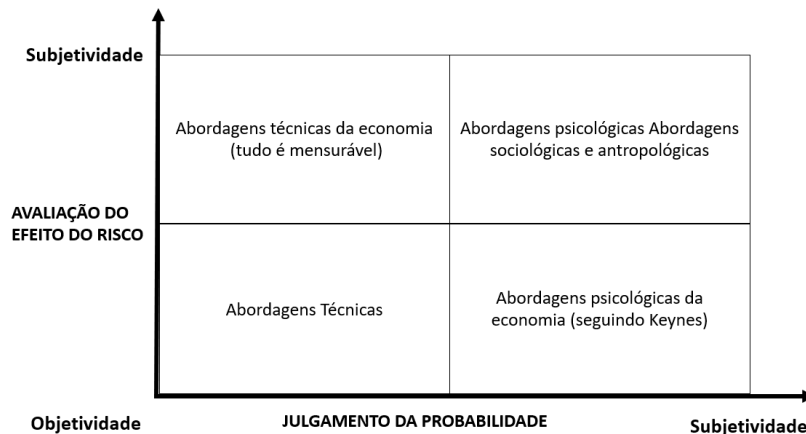


Figura 2.18: Abordagens Risco
Vasvári [58]

Vasvári [58] faz uma classificação de abordagens baseadas na subjetividade dos julgamentos sobre os efeitos do risco e a probabilidade de ocorrência, uma avaliação do efeito do risco comparando com o julgamento de probabilidade do risco, utilizando quatro abor-

Nº	Área de Aplicação	Qtd. Publicações
1	Medicine	29.969
2	Engineering	26.399
3	Social Sciences	10.976
4	Economics Econometrics and Finance	6.357
5	Earth and Planetary Sciences	5.987
6	Mathematics	5.146
7	Decision Sciences	5.026
8	Energy	4.799
9	Pharmacology Toxicology and Pharmaceutics	4.401
10	Nursing	3.593
11	Biochemistry Genetics and Molecular Biology	3.248
12	Chemical Engineering	3.006
13	Undefined	2.487
14	Materials Science	1.853
15	Health Professions	1.536
16	Chemistry	1.429
17	Psychology	1.405
18	Physics and Astronomy	1.369
19	Computer Science	1.292
20	Arts and Humanities	1.162
21	Environmental Science	1.084
22	Immunology and Microbiology	992
23	Multidisciplinary	481
24	Veterinary	457
25	Neuroscience	444
26	Dentistry	384
27	Agricultural and Biological Sciences	378
28	Business Management and Accounting	106

Tabela 2.1: Quantidade de Publicações por área sobre o tema: Risk Management
Fonte: Consolidado de Science Direct, julho/2018

dagens, indo de uma avaliação objetiva a uma subjetiva, e de um julgamento objetivo a um subjetivo. Conforme a Figura 2.18 as abordagens utilizadas são: 1) técnicas, 2) economia (em que tudo é mensurável), 3) psicológicas da economia (segundo Keynes), e 4) abordagens psicológicas, sociológicas e antropológicas. Nas abordagens técnicas, o risco é avaliado pela probabilidade média de que um evento ocorra e é analisado os impactos negativos e indesejáveis. A abordagem econômica, se aproxima da abordagem técnicas diferindo apenas que o efeito indesejado é substituído pela utilidade subjetiva. A abordagem psicológica atribui maior relevância ao julgamento subjetivo, uma vez que a percepção de risco é grandemente influenciada pelo contexto, e há uma tentativa de explicar por que os indivíduos não baseiam seus julgamentos de risco na probabilidade e valores esperados. A abordagem da perspectiva sociológica enfoca as interações sociais no contexto dos riscos, nessa abordagem, as pessoas não veem o mundo através dos olhos “virgens”, mas filtradas por significados sociais e culturais, que são transmitidos por fontes primárias como família, amigos, superiores e colegas [71]. Nessas abordagens, a definição de eventos indesejáveis, a percepção da incerteza e até mesmo a realidade são socialmente construídas.

2.5.1 Frameworks de Deferência na Destão de Riscos

Os processos de gerenciamento de riscos estão evoluindo, sendo o objetivo final, dar respostas aos gestores que desejam entender o amplo espectro de complexidade e riscos enfrentados em suas organizações, garantindo que elas sejam gerenciadas de maneira apropriada. Sabe-se que ao identificar e tratar o risco proativamente, as organizações protegem e criam valor para seus acionistas, incluindo proprietários, funcionários, clientes, reguladores e a sociedade em geral.

Existem algumas estruturas, *frameworks*, de gerenciamento de riscos disponíveis, sendo os seus objetivos comuns, descrever uma abordagem para identificar, analisar, responder e monitorar riscos e oportunidades dentro do ambiente interno e externo que de uma organização. Os objetivos das organizações em relação ao risco podem incluir:

- Evitar: sair das atividades que dão origem ao risco;
- Reduzir: tomar medidas para reduzir a probabilidade ou impacto relacionado ao risco;
- Definir ações alternativas: decidir e considerar outras medidas possíveis para minimizar os riscos;
- Compartilhar ou segurar: transferir ou compartilhar uma parte do risco para financiá-lo;

- Aceitar: nenhuma ação é tomada, devido a uma decisão de custo / benefício;

Nesta revisão analisaremos dois frameworks de gerenciamento de riscos, a ISO 31000 e o COSO ERM ¹¹ Enterprise Risk Management (Gerenciamento de riscos corporativo). Essas duas ferramentas têm estruturas e princípios em comum e ambas são consideradas o estado da arte na gestão de riscos.

Seguindo a ideia de Gjerdrum [72] faremos uma análise sobre a prática da gestão de riscos comparando a ISO 31000:2018 e a estrutura do COSO ERM.

2.5.2 ISO 31000 e Guias Correlatos

A ISO 31000:2018 se destaca por ser uma norma que enfatiza a implementação de cima para baixo, faz uma vinculação dos riscos à estratégia e ao alcance dos objetivos, traz uma abordagem do lado positivo e o negativo do risco e apresenta um panorama consistente que pode ser adaptado a qualquer tipo de operação em qualquer local e integrada com outras normas e diretrizes. A norma foi criada por um grupo de especialistas de 18 países que revisaram o padrão de gestão de risco Austrália / Nova Zelândia com objetivo de criar um padrão que pode ser usado por organizações em qualquer país independentemente do tipo, tamanho ou complexidade. O Guia 73:2009 é uma compilação de definições e termos relacionados a riscos, nele é possível encontrar o vocabulário básico que permite entender os termos e conceitos de gestão de riscos para diferentes aplicações e tipos [73].

Outro documento relacionado a norma 31000 é o padrão sobre o processo de avaliação de risco ISO 31010, que conta com sua última publicação de 2012 e é uma norma que objetiva apoiar a ISO 31000 e fornecer orientações para o processo de avaliação de riscos [74]. O objetivo da norma é criar um instrumento consistente e confiável no gerenciamento de riscos, possibilitando um padrão que seria aplicável a todas as formas de risco, incluindo:

1. Um vocabulário;
2. Um conjunto de critérios de desempenho;
3. Um processo comum para identificar, analisar, avaliar e tratar os riscos;
4. Orientação sobre como esse processo deve ser integrado nos processos de tomada de decisão de qualquer organização

A gestão de riscos está em processo evolutivo. Gjerdrum [72] afirma que a base da ISO 31000 segue uma trajetória acompanhando os princípios desta evolução e aponta três

¹¹O Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (Comitê dos Patrocinadoras das Organizações da Comissão de Treadway)

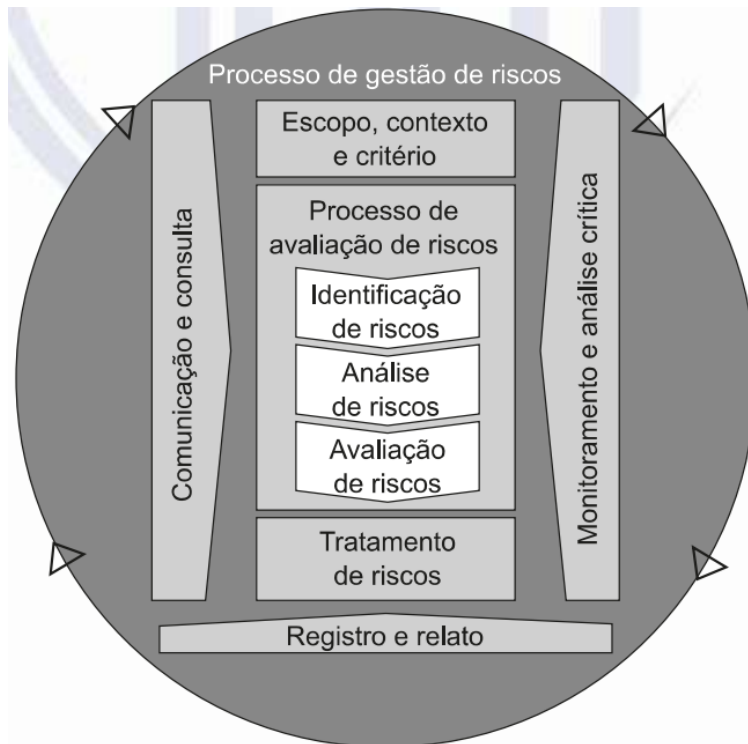


Figura 2.19: Processo ISO 31000:2018

princípios que norteia a base da norma ISO 31000 que são: 1. Toda a organização existe para atingir seus objetivos; 2. Vários fatores internos e externos afetam esses objetivos, causando incerteza nos objetivos da organização; 3. O efeito da incerteza nos objetivos de uma organização denomina-se “risco”. Esta evolução está gerando padronização no processo de gestão de risco envolvendo “a aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas para as atividades de comunicação e consulta, estabelecimento do contexto e avaliação, tratamento, monitoramento, análise crítica, registro e relato de riscos [74]. A Figura 2.19 apresenta processo de gestão de risco e contém os elementos chave envolvendo: comunicação e consulta; estabelecimento do contexto; processo de avaliação de riscos (abrangendo a identificação de riscos, a análise de riscos e a avaliação de riscos); tratamento de riscos; monitoramento e análise crítica. O processo de avaliação de riscos não é uma atividade autônoma e convém que seja totalmente integrado aos outros componentes do processo de gestão de riscos. A seguir relacionamos os processos da ISO 31000, e um resumo sistemático de cada fase do processo.

Processos ISO 31000

- **Processo: 6.2 Comunicação e consulta**

- Fornecer a compreensão do risco.

- Organizar as informações de gestão de riscos.
- Fornecer definição de critérios de risco.

- **Processo:6.3.2 Definindo o escopo, contexto e critérios**

- Definir as atividades de gestão de riscos e níveis de aplicação.
- Apresentar objetivos e decisões; resultados esperados; tempo, localização, inclusões e exclusões específicas.
- Definir as ferramentas e técnicas; recursos; responsabilidades e registros; relacionamentos com outros projetos, processos e atividades.
- Definir os contextos externo e interno; fatores organizacionais; inter-relações.
- Especificar a quantidade e o tipo de risco que podem ou não assumir.
- Definir dos critérios para avaliar a significância na tomada de decisão. Devem ser considerados: natureza, tipo de incertezas, consequências, probabilidades; fatores relacionados ao tempo; e como determinar o nível de risco.
- Definir como as combinações e sequências de múltiplos riscos serão levadas em consideração.

- **Processo: 6.4.2 Identificação de riscos**

- Encontrar, reconhecer e descrever riscos.
- Considerar: fontes de risco; causas e eventos; ameaças e oportunidades; vulnerabilidades e capacidades; mudanças nos contextos; indicadores de riscos; ativos e recursos; consequências dos impactos nos objetivos; incertezas; fatores temporais; vieses, hipóteses e crenças dos envolvidos.

- **Processo: 6.4.3 Análise de riscos**

- Compreender a natureza, características, nível de risco, local apropriado.
- Detalhar incertezas, fontes de risco, consequências, probabilidade, eventos, cenários, controles e sua eficácia.
- Detalhar a complexidade, em que um evento pode ter múltiplas causas e consequências e pode afetar múltiplos objetivos.
- Pode utilizar: técnicas qualitativas, quantitativas ou ambas.
- Considerar fatores como: probabilidade de eventos e consequências; natureza e magnitude das consequências; complexidade e conectividade; fatores temporais e volatilidade; a eficácia dos controles existentes; sensibilidade e níveis de confiança.

- Identificar eventos altamente incertos - que podem ser difíceis de quantificar.
- Fornecer uma entrada para a avaliação de riscos, e a estratégia e os métodos mais apropriados para o tratamento de riscos.

- **Processo: 6.4.4 Avaliação de riscos**

- Fornecer apoio a decisões de: fazer nada; considerar as opções de tratamento de riscos; realizar análises adicionais para melhor compreender o risco; manter os controles existentes; reconsiderar os objetivos.
- Comparar resultados da fase 6.4.3 e determinar onde é necessária ação adicional.
- Considerar o contexto mais amplo e as consequências reais.
- Registrar, comunicar e validar o resultado da avaliação de riscos nos níveis apropriados da organização.

- **Processo: 6.5 Tratamento de riscos**

- Selecionar e implementar opções para abordar riscos.
- Implementar um processo iterativo de: formular e selecionar opções para tratamento do risco; planejar e implementar o tratamento do risco; avaliar a eficácia deste tratamento; decidir se o risco remanescente é aceitável, se não for aceitável, realizar tratamento adicional.
- Selecionar opções de tratamento do risco como: evitar o risco ao decidir não iniciar ou continuar com a atividade que dá origem ao risco; assumir ou aumentar o risco de maneira a perseguir uma oportunidade; remover a fonte de risco; mudar a probabilidade; mudar as consequências; compartilhar o risco; reter o risco por decisão fundamentada.
- Identificar se o tratamento de riscos introduzir novos riscos que precisem ser gerenciados.

- **Processo: 6.6 Monitoramento e análise crítica**

- Planejar, coletar e analisar as informações, registrar resultados e fornecer retorno.
- Incorporar em todas as atividades de gestão de desempenho, medição e relatos da organização.

- **Processo: 6.7 Registro e relato**

- Comunicar atividades e resultados de gestão de riscos em toda a organização.

- Fornecer informações para a tomada de decisão.
- Melhorar as atividades de gestão de riscos.
- Auxiliar a interação com as partes interessadas, incluindo aquelas com responsabilidade e com responsabilização por atividades de gestão de riscos.

O Anexo VII apresenta a lista de ferramentas indicadas na ISO 31010:2012 relacionadas às técnicas para gestão de risco. Para cada etapa no processo de avaliação de riscos, a aplicação do método é descrita como AA = Altamente Aplicável, A= Aplicável e NA= Não Aplicável. A classificação acontece conforme proposto na norma e define as técnicas que se aplicam em cada etapa do processo de avaliação de riscos que são:

- Identificação de riscos;
- Análise de riscos - análise de consequências;
- Análise de riscos – estimativa qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa de probabilidades;
- Análise de riscos - avaliação da eficácia de qualquer controle existente;
- Análise de riscos - estimativa do nível de risco;
- Avaliação de riscos (risk evaluation)

2.5.3 COSO ERM

A estrutura de controle interno do COSO descreve a avaliação de risco como um processo de três etapas: 1. Estimar a significância do risco. 2. Avaliar a probabilidade ou frequência do risco. 3. Considerar como o risco deve ser gerenciado e avaliar quais ações devem ser tomadas [75]. O COSO ERM Framework possui oito componentes e quatro categorias de objetivos. Trata-se de uma expansão do quadro Integrado de Controle Interno do COSO, publicado em 1992 e alterado em 1994. Os oito componentes adicionais destacados - são:

- Ambiente Interno
- Definição de Objetivos
- Identificação de evento
- Avaliação de Risco
- Respostas aos Riscos
- Atividades de Controle

- Informação e Comunicação
- Monitoramento

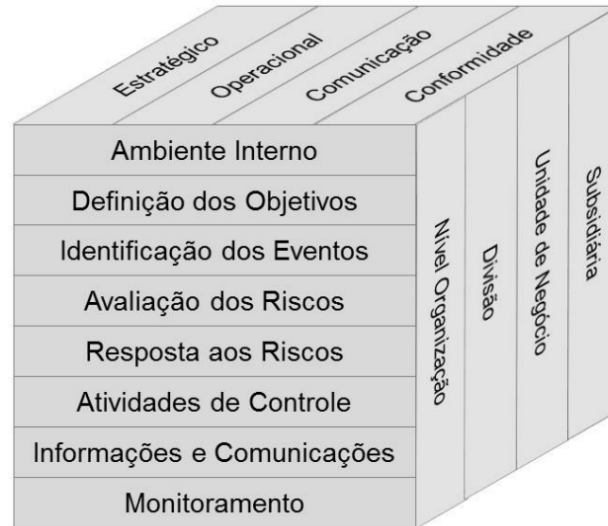


Figura 2.20: Cubo Coso ERM
 Fonte: Moeller [75]

As quatro categorias de objetivos são:

- Estratégia – metas de alto nível, alinhada e apoiando a missão da organização
- Operações – utilização eficaz e eficiente dos recursos
- Comunicação (Relatórios Financeiros) – confiabilidade das informações operacionais e financeiras
- Conformidade (Compliance) – o cumprimento das leis e regulamentos aplicáveis

A versão do COSO ERM publicado em 2006, tem uma estrutura de conteúdo e metodologia que detalha os requisitos para um gerenciamento de riscos corporativo, ver Figura 2.20. O modelo tem vinte e cinco diretrizes de competência para sete atributos que criam valor e utilidade do gerenciamento de risco em uma organização. Os 7 atributos são:

- Abordagem baseada em ERM
- Gerenciamento de processos de ERM
- Gerenciamento de apetite de risco
- Disciplina de causa raiz
- Descobrendo riscos

- Gerenciamento de desempenho
- Resiliência e sustentabilidade de negócios

Gjerdrum [72] criou um comparativo entre ISO 31000 e o COSO, esse comparativo está tabela apresentada na Figura 2.21.

Tabela - Comparativo ISSO 31000 e COSO ERM		
Termo-chave ou descrição	ISO 31000:2009	COSO ERM Framework
Escopo	A Norma fornece princípios e diretrizes genéricas sobre gerenciamento de riscos... pode ser usada por qualquer empresa pública, privada ou comunitária, associação, grupo ou indivíduo. Portanto, esta Norma não é específica de nenhuma indústria ou setor.	Ele captura os principais conceitos fundamentais sobre como as empresas e outras organizações gerenciam riscos, fornecendo uma base para aplicação em organizações, setores e setores. Concentra-se diretamente no cumprimento dos objetivos estabelecidos por uma entidade específica e fornece uma base para definir a eficácia do gerenciamento de riscos corporativos.
Definição de Gerenciamento de Risco	Atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização em relação ao risco.	O gerenciamento de riscos corporativos é um processo efetuado pelo conselho de administração, gerenciamento e outros funcionários da entidade, aplicado no estabelecimento de estratégias e em toda a empresa, projetado para identificar eventos potenciais que possam afetar a entidade e gerenciar riscos dentro de seu apetite ao risco. fornecer uma garantia razoável em relação à realização dos objetivos da entidade.
Definindo Risco	O efeito da incerteza sobre os objetivos.	A possibilidade de que um evento ocorra e afete negativamente a realização dos objetivos.
Definição de Apetite ao Risco	A quantidade e o tipo de risco que uma organização está disposta a buscar ou manter.	Uma grande quantidade de risco que uma entidade está disposta a aceitar em busca de sua missão ou visão.
Definição de Avaliação de risco	O processo global de identificação de risco, análise de risco e avaliação de risco.	Os riscos são analisados, considerando a probabilidade e o impacto, como base para determinar como eles devem ser gerenciados. Os riscos são avaliados de forma inerente e residual.
Processo de Gerenciamento de Risco	<p>Continuamente e interativamente: Comunicar e consultar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer o contexto • Avaliação de riscos: Identificação, Análise e Avaliação • Tratamento de risco <p>Continuamente e iterativamente: Monitorar e rever</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente interno • Definição de objetivos • Identificação de eventos • Avaliação de riscos • Resposta a riscos • Atividades de controle • Informações e comunicação • Monitoramento

Figura 2.21: comparativo ISO 31000 e coso ERM

2.5.4 Aplicação de Dinâmica de Sistemas na Gestão de Riscos

Um modelo computacional, mesmo que utilizando a ideia de micro mundo, é uma alternativa de observar o comportamento do mundo real, possibilitando analisar o desempenho no tempo, compreender as causas / efeitos das variáveis endógenas e exógenas ao modelo, e como elas interferem no sistema [76]. Implementar gerenciamento de riscos usando essa abordagem, é uma alternativa que rompe como paradigma tradicional de utilizar ferramentas que seguem princípios reducionista, analisando um sistema por partes isoladas, como já abordado no Tópico 2.2, não é suficiente para determinar o comportamento de um sistema.

A dinâmica do sistema, conforme apresentado no Tópico 2.2 tem sua base na engenharia e oferece a possibilidade de representar a realidade em diferentes níveis de granularidades, representação gráfica de relações e mecanismos e fluxos de informação, que além de permitir a integração de múltiplos riscos, pode-se utilizar dados de uma ampla gama de fontes, incluindo conhecimento de domínio, evidência anedótica e inferências lógicas [46].

Existe um vasto arcabouço da aplicação da dinâmica de sistema aos mais variados campos de pesquisa conforme já mencionado no Tópico 2.5, e Figura 2.17 (quantidade de publicações) e Tabela 2.1 (área de aplicação). Porém, encontramos uma quantidade restrita de pesquisa que aplicaram uma abordagem sistêmica ao gerenciamento de riscos em sistemas complexos, e nenhum em recursos hídricos.

Apresentamos aqui alguns trabalhos que demonstram a aplicação da modelagem causal, estruturas de feedback, atrasos e avanços, uma construção comum nos campos da ciência e engenharia, aplicado gestão de riscos: Bharathy [77] fez a aplicação sistêmica no gerenciamento de riscos e demonstrou como a dinâmica de sistemas pode ser aplicada ao processo de gestão de risco da ISO 31000. Garbolino [78] utilizou dinâmica de sistema com técnica de análise de risco HAZOP (HAZard e OPerability) para avaliação de riscos na área industrial. Lyneis [79] demonstrou a aplicação da dinâmica de sistema ao gerenciamento de projetos, e demonstrou como essa abordagem pode auxiliar no gerenciamento de risco de projetos. Chaim & Castellano [80] apresentou estudo da aplicação de métodos e técnicas de análise quantitativa de risco aplicados a um pequeno banco comercial. Semwanga [81] aplicou uma abordagem de modelagem de dinâmica de sistema para explorar opções de políticas utilizando técnica de *brainstorming* e análise de sensibilidade para determinar as estratégias que poderiam ter um grande impacto na mortalidade neonatal. Ullah [82] utilizando técnicas de entrevistas estruturadas e semiestruturadas demonstrou como aplicar a dinâmica de sistema em análise qualitativa para investigar percepções de corrupção. Ho [83] utilizou técnica Delphi e lógica Fuzzy para selecionar e qualificar variáveis em dinâmica de sistema em um projeto de sustentabilidade urbana.

A proposta desta pesquisa é aplicação da Dinâmica de Sistemas e a gestão de riscos em um processo que integre os diversos riscos que surgem em uma sistema, e possibilite dar uma ferramenta ao gestor que vai além de utilizar apenas ferramentas estatísticas de gerenciamento de riscos tradicional (o tratamento de riscos como uma lista de itens a serem abordados).

A lista a seguir apresenta uma lista de riscos apresentado pela equipe de enfrentamento da crise hídrica no Distrito Federal (DF) [5], e que afetam a problemática da água no DF:

1. Pouca integração entre os órgãos envolvidos;
2. Cadastro incompleto de usuários de água;
3. Dificuldade na preservação e manutenção de áreas de recargas hídricas;
4. Dificuldade na desconstituição de áreas irregulares;
5. Diagnóstico incompleto das áreas prioritárias;
6. Alto índice de perda na produção de água;
7. Pouca integração com o Governo Federal;
8. Fragilidade na infraestrutura;
9. Escassez de recursos financeiros;
10. Crescimento populacional no DF acima da média nacional;
11. Parcelamento irregular do solo;
12. Retração na produção de alimentos e geração de empregos;
13. Retração na oferta habitacional;
14. Crescimento do uso clandestino de água;
15. Uso de recurso hídrico maior do que o outorgado;
16. Previsão de baixo nível pluviométrico;

Um outro exemplo que apresenta uma lista de riscos, foi o Plano de Manejo da APA Bacia do Rio Descoberto Lontra [84], que apresenta a matriz de análise estratégica da Bacia. Essa lista conforme mostra a seguir, apresenta fraquezas e ameaças a bacia:

Fraquezas:

1. Falta de estrutura de gestão;
2. Falta de comprometimento do órgão (ICMBIO);

3. Descarte inadequado dos resíduos agrícolas (embalagem contaminadas);
4. Coleta irregular de lixo na área rural;
5. Perfuração de poços indiscriminada e ilegal (Chapadinha/Rodeador);
6. Práticas agrícolas inadequadas;
7. Extração de cascalho ilegal;
8. Parcelamento do solo;
9. Lançamento de drenagem pluvial do município de Águas Lindas; Taguatinga Norte e parte da Ceilândia;
10. Falta de implementação do Parque Estadual do Descoberto;
11. Invasão do Parque Estadual do Descoberto;
12. Invasão do MST/FETRAF em vários pontos da APA;
13. Expansão urbana desenfreada (crescimento de Águas Lindas, Expansão da área urbana de Brazlândia);
14. Legislação ultrapassada (IN 001/88),

Ameaças:

1. Falta de comprometimento/articulação entre a APARD e demais órgãos federais e estaduais;
2. Falta de implementação de Políticas Públicas relacionadas aos resíduos sólidos
3. Falta de atuação dos demais órgãos fiscalizadores;
4. Expansão urbana desenfreada (demanda da água);
5. Lançamento de águas pluviais com resíduos sólidos de Taguatinga/Ceilândia/ Águas Lindas.

Estas listas de riscos, ameaças e vulnerabilidades demonstram a forma isolada, simplificada no sentido newtoniano-cartesiano conforme explicado no Tópico 2.1, de fazer o tratamento do risco, e não utilizar uma linguagem sistêmica e dinâmica que permita fazer uma análise do sistema como um todo. Um outro exemplo a acrescentar é a classificação das principais categorias de risco e confiabilidade da engenharia de recursos hídricos proposta por Jackson [85]. Os autor acrescenta riscos categorizando-os por: confiabilidade estrutural, confiabilidade do abastecimento de água e riscos de poluição da água.

A apontando ainda que um sistema complexo como os recursos hídricos, apresentam incertezas hidráulicas, econômica e estrutural. Conforme veremos no Tópico 2.6, a gestão de riscos em recursos hídricos, não permite que seja analisada apenas por uma lista de riscos hierárquicos.

A seguir, apresento o processo de modelagem da Dinâmica de sistema, e demonstro como ela pode ser aplicada ao Processo de Gerenciamento de Riscos, conforme proposto na ISO 31000, já relacionados no tópico 2.5.2 (Processos ISO 31000), criando uma alternativa para gestão de riscos em sistemas complexos.

Processo de modelagem da Dinâmica de Sistemas

A Figura 2.22 apresenta o processo de modelagem que sugere uma iteratividade contínua entre todas as fases da modelagem. O resultado de cada fase gera novas percepções que podem levar a mudanças em qualquer fase da modelagem, conforme indicado pelos links no centro da figura. A ação de modelagem é um processo de feedback, não uma sequência linear de etapas. Os modelos passam por constantes iterações, questionamentos, testes e refinamentos contínuos. Sterman [24] afirma que o objetivo inicial de um modelo “dita o limite e o escopo do esforço de modelagem, mas o que é aprendido com o processo de modelagem pode contribuir para alterar nossa compreensão básica do problema e o propósito de nosso esforço”.

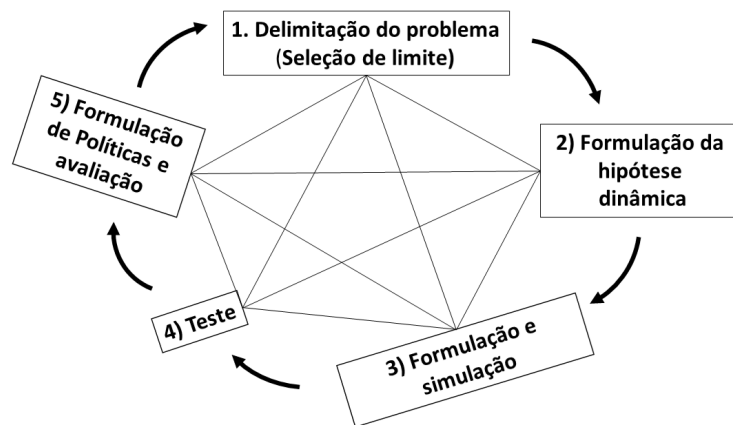


Figura 2.22: Processo de Modelagem
Fonte: Adaptado de Sterman [24]

A Tabela 2.2 apresenta uma correlação que obtemos como resultado desta pesquisa, que resume a correlação entre os processo da ISO 31000 e os processos da Dinâmica de Sistemas.

1. Delimitação do problema (seleção do limite)

Meadows and Behrens (1974:5)	Roberts (1983)	Sterman (2000)
Descrição geral do problema observado	Definição de problema	Articulação do problema
Especificação precisa do propósito do modelo		
Definição do horizonte temporal		
Identificação dos principais elementos a serem incluídos	Conceptualização do sistema	Hipótese Dinâmica
Postulação da estrutura do modelo	Representação de modelo	Formulação
Estimativa de parâmetros		
Avaliação da sensibilidade do modelo	Comportamento do modelo	Testando
	Avaliação de modelo	
Experimentação e simulação	Análise de políticas e uso de modelos	Formulação e avaliação de políticas

Figura 2.23: Etapas e estágios no processo de modelagem de dinâmica do sistema
Fonte: Grobbelaar [86]

- Seleção da ideia central; Qual o problema? Por que é um problema?
- Variáveis-chave: Quais as variáveis-chave e os conceitos a se considerar?
- Horizonte temporal: Qual o tempo futuro a se considerar? Que dados históricos podem ser utilizados para fundamentar o problema?
- Definição do problema dinâmico (modos de referência): Qual o comportamento histórico dos conceitos-chave e das variáveis? Qual o comportamento futuro esperado?

2. Formulação da hipótese dinâmica:

- Geração da hipótese inicial: Que teorias podem explicar o problema?
- Foco interno: Formular uma hipótese dinâmica que explique dinâmica como consequência interna das estruturas de feedback.
- Mapeamento: Desenvolver mapas das estruturas causais baseadas nas hipóteses iniciais, variáveis-chave, modos de inferência e outros dados disponíveis. Usar ferramentas como:
 - diagramas de limites de modelo,
 - diagramas de subsistema,
 - diagramas de loop causais,
 - mapas de estoque e fluxo,
 - diagramas de estrutura de políticas,
 - outras ferramentas de facilitação.

3. Estruturação do modelo de simulação

- Estrutura do modelo: Especificar as estruturas e regras de decisão.
- Parametrização e estimação: Estimar os parâmetros, relacionamentos comportamentais e condições iniciais.
- Teste: Testar a consistência com as proposições iniciais e limites estabelecidos.

4. Testes:

- Comparar com modos de referência: O modelo imita o comportamento previsto de forma adequada?
- Consistência: Quando testado em condições extremas, o modelo reage de modo a imitar a realidade?
- Sensibilidade: Como o modelo reage a incertezas nos parâmetros, nas condições iniciais, nos limites e nas agregações?

5. Projeto e avaliação de políticas:

- Especificação de cenários: Que condições ambientais podem surgir?
- Projeto de políticas: Quais novas regras de decisão, estratégias e estruturas podem ser experimentadas no mundo real? Como podem ser representadas no modelo?
- Análise “se-então”: Quais os efeitos da política?
- Análise de sensibilidade: Quão robustas são as recomendações da política sobre cenários distintos e incertezas conhecidas?
- Interações entre políticas: As políticas interagem? São sinergias ou respostas compensatórias?

Para tanto, propomos a dinâmica do sistema alinhada ao processo de gerenciamento de riscos da ISO 31000 permitindo a integração, conectividade e transparência no processo de gestão de riscos com um todo.

PROCESSO	ISO 31000	Dinâmica de Sistemas
6.2	Estabelecer Contexto, escopo e critérios	Conceitualizar e formular o problema. Reunir informações e definir os parâmetros e limites da análise
6.4.2	Identificação do Risco	Desenvolver o modelo causal - Identificação de eventos internos e externos que potencialmente afetam a realização dos objetivos
6.4.3	Análise do Risco	Desenvolver o modelo dinâmico . Buscar um modelo válido que represente a realidade
6.4.4	Avaliação do Risco	Fase anterior com a realização de simulação.
6.5	Tratamento do Risco	Simular e explorar o modelo - testar, verificar e avaliar o modelo.
6.2	Comunicação e Consulta	Simular e explorar o espaço de decisão, avaliando alternativas existentes e hipotéticas. Usar o modelo como uma ferramenta de diálogo e comunicação .
6.6	Monitoramento e Análise Crítica	Monitoramento, feedback, aprendizado e atualização. Captura e manutenção do conhecimento e aprendizado de ciclos anteriores.
6.7	Registro e Relato	Documentação do Modelo. Registro de informações e resultados alcançados para a tomada de decisão.

Tabela 2.2: Interação entre o Processo de Gestão de Risco ISO 31000 e o Processo de Modelagem de Sistemas

2.6 Gestão de Risco em Recursos Hídricos

O capítulo de encerramento da terceira edição do Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água [87] destacou que o risco e a incerteza têm sido um desafio de rotina para gestores e decisores políticos de recursos hídricos em todos os setores e no mundo. As Nações Unidas (ONU) preveem que dois terços da população mundial viverá em regiões escassas de água até 2025.

A gravidade dos dados da ONU indica que sem gestão e planejamento para a mudança, centenas de milhões de pessoas estarão em maior risco de fome, falta de saúde, escassez de energia e pobreza, escassez de água, poluição ou inundações. A formulação efetiva de políticas públicas exige que os profissionais trabalhem para comunicar claramente as incertezas em torno de futuros alternativos, e demonstra como essas incertezas podem ser reduzidas e quais ações podem fornecer a melhor garantia de resultados desejados diante dessas incertezas [88] [89]. Os tomadores de decisão devem levar em consideração incertezas múltiplas, incluindo aquelas associadas a dados e informações que estão disponíveis, que são limitados ou inexistentes e, ainda, a imprevisibilidade inerente ao clima e outros fatores ambientais.

As mudanças que ocorrem no mundo, seja na indústria, agropecuária, agroindústria, mineração, comércio, serviços, recreação e outros, causam transformações cujos impactos são de difícil previsão para gestão hídrica. As evoluções tecnológicas, os padrões de vida, de consumo e expectativa de vida, estão gerando cada vez mais demanda de água e expandindo as áreas urbanas. De outra parte, a agropecuária se expande para prover alimentos, alterando drasticamente a cobertura da terra. Considerando as mudanças climáticas e as taxas com que essas mudanças ocorrem, temos um quadro de impactos de longo prazo que são incertos em ritmo e intensidade, tornando a gestão dos recursos hídricos desafiadora. [90]

No próximo século, afirma Jackson [85], as mudanças climáticas combinadas com o crescente desequilíbrio hídrico entre o abastecimento, o consumo, a contaminação e a população, irão alterar dramaticamente a disponibilidade de água e, a menos que a eficiência na gestão dos recursos hídricos aumente consideravelmente, esse desequilíbrio reduzirá a disponibilidade dos recursos e serviços que dependem da água. Esta problemática cria uma necessidade emergente de vincular a pesquisa com a melhor gestão de recursos hídricos [85] com o objetivo de: 1) criar condições para que os gestores planejem e se adaptem a cenários cada vez mais incertos; 2) fazer que os usuários dos recursos hídricos planejem e se adaptem às incertezas do futuro abastecimento de água e da qualidade; e 3) preparar os agentes responsáveis para criar, regular e adaptar as estruturas de governança atendendo às necessidades dos usuários que vivem agora e aqueles que viverão no futuro.

Lembrando que essas questões devem incluir as necessidades do nosso meio ambiente, os desprivilegiados e sem voz [90].

Ganoulis [91] demonstrou a importância de obter uma visão sistêmica dos recursos hídricos. Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental dentro da complexidade da economia nos dias atuais. São essenciais na agricultura, nos processos industriais, nas demandas domésticas, para remoção de sujeiras e lixo, e nos sistemas municipais de águas residuais (Figura 2.24). Além do fato de que a água é essencial para todos os tipos de vida, a garantia do desenvolvimento e do crescimento econômico depende do suprimento suficiente de água doce. Diante da grande demanda de água para produção de grãos, vários países estão importando grãos ou outros produtos agrícolas para equilibrar seu orçamento de recursos hídricos. Conforme demonstrado na Figura 2.24, o desenvolvimento econômico é colocado sobre estresse e surgem diversos conflitos entre os diferentes usuários “diretos” e “indiretos”, isso se deve ao ciclo crescente da demanda hídrica para os diferentes usos, resultando no aumento da poluição e deterioração da qualidade da água, que culmina em recursos hídricos cada vez mais escassos.

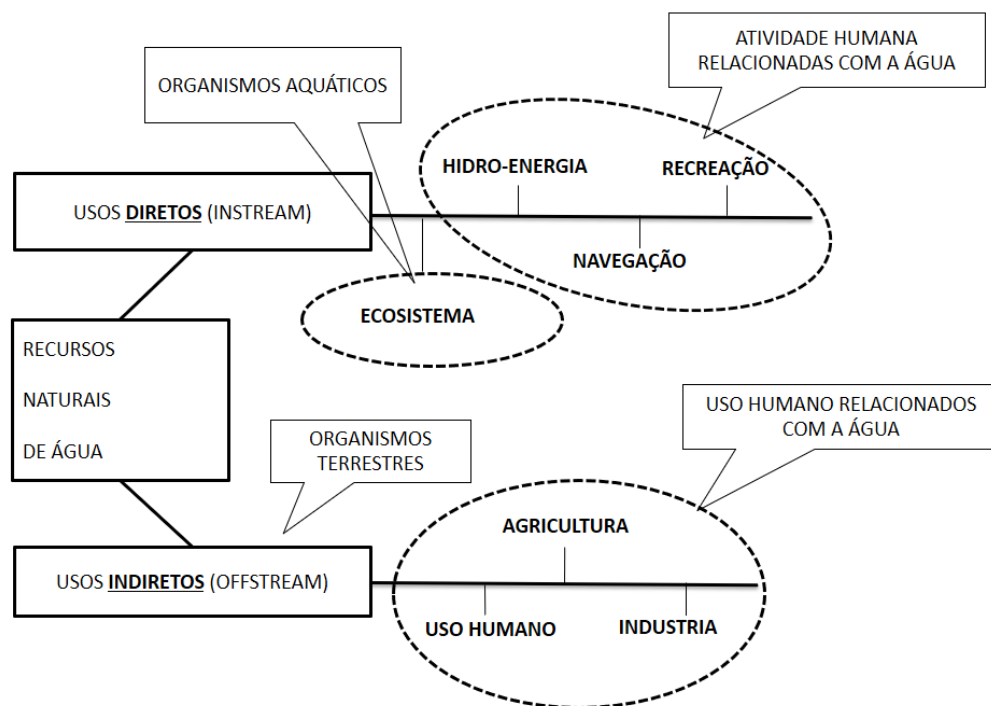


Figura 2.24: Utilizações Diretas e Indiretas dos Recursos Hídricos
Fonte: Adaptado de Ganoulis [91]

Para Ganoulis [91] é preciso compreender a forma sistêmica no uso da água para fazer a análise de riscos da poluição, tornando esta análise um grande desafio aos gestores de recursos hídricos. Como demonstrado em sua pesquisa, a implementação das diretivas municipais de águas residuais e água potável na União Europeia necessitaria de investi-

mentos na casa de 14 bilhões de euros por ano, e vários centos de bilhões de euros no futuro próximo, para enfrentar os problemas da futura demanda de água e combater a crescente poluição. Afirmou ainda [91] que, para considerar as questões de gerenciamento de problemas relacionados à água, além de componentes científicos e técnicos, também há componentes sociais, econômicos, políticos e institucionais envolvidos.

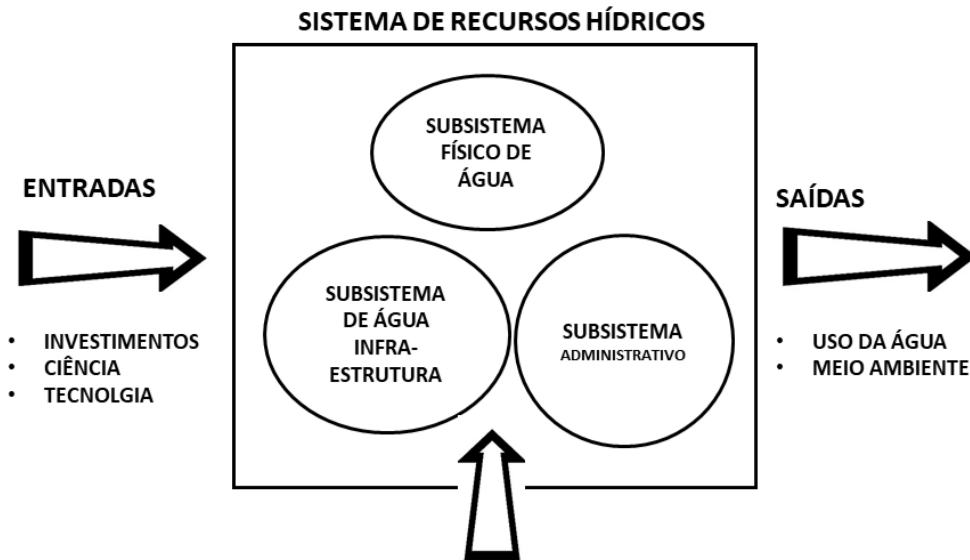


Figura 2.25: Descrição de um sistema de recursos hídricos
Fonte: Adaptado de Ganoulis [91]

Conforme estruturado na Figura 2.25 por Ganoulis [91], para compor um sistema hídrico é preciso investimento, pesquisa e tecnologia, sabendo-se que existem os subsistemas físico, humano e administrativo, além das restrições políticas, institucionais, sociais, econômicas e ambientais, que são variáveis de incertezas resultando, como saída, nos sistemas de uso da água e meio ambiente existentes. Devendo ser incluído, além do subsistema de água natural, os subsistemas de obras hidráulicas (canais, sistemas de distribuição, lagos artificiais, etc.). Esses subsistemas estão interligados e sujeitos a várias restrições sociais, políticas e econômicas. Os insumos para o sistema são os dados e os investimentos em ciência e tecnologia. Os resultados são os usos da água, a proteção ambiental, novas tecnologias, etc.

Existe uma interdependência entre os múltiplos sistemas envolvendo a água, conforme Figura 2.24, e para analisar os riscos envolvidos exige-se uma compreensão de suas correlações. Por exemplo, na escala de captação do rio existem diferentes usos da água, tais como consumo humano, irrigação agrícola, produção de energia e indústria etc., sendo que estes usuários muitas vezes estão em situações conflitantes. Um exemplo claro são as indústrias, que podem poluir as águas subterrâneas no aquífero circundante ao produzirem grandes quantidades de águas residuais não tratadas, o que, por sua vez, afeta a

qualidade da água bombeada para beber. A irrigação também pode ter suas atividades afetadas devido ao aumento da poluição da água decorrente de atividades industriais que afetam a qualidade da água dos rios. O fato de existir um número desproporcional de poços que retirem água subterrânea, reduz a quantidade de água disponível, o que pode afetar a produção agrícola [91].

A gestão de recursos hídricos é um sistema vivo e dinâmico, em que as partes são inter-relacionada e interdependentes, tornando-se complexo, portanto, e insuficiente quando analisados isoladamente.

Um sistema hídrico envolve complexidades que dificultam as análises quantitativa e qualitativa. Nesse sentido, os modelos hidrológicos tornam-se ferramentas essenciais para auxiliar a representação da realidade, mesmo que simplificada, contribuindo assim para o entendimento dos sistemas e para a previsão de condições diferentes das observadas, podendo facilitar os estudos por meio de uma linguagem ou de uma forma de mais fácil acesso, uso e aplicação. Ferrigo [92] demonstrou como a modelagem de recursos hídricos pode auxiliar a compreensão dos processos complexos envolvendo análise a avaliação dos impactos nos recursos hídricos e no meio ambiente. Para Ferrigo [92], Maidment [93], Singh [94], Tucci [95]; Viessman [96], Todini [97], Borah [98], Singh [94] e Santos [99], existe uma grande variedade de modelos utilizados.

Apresentamos a seguir uma lista de modelos que são utilizados na gestão de recursos hídricos. Todos foram analisados por Ferrigo [92], não sendo necessário aqui analisá-los separadamente nesta pesquisa.

- HSPF (Hydrologic Simulation Program-Fortran), Bicknell [100]
- PRMS (Precipitation-Runoff Modeling System), Leavesley [101]
- WEPP (Water Erosion Prediction Project), Flanagan [102]
- TOPMODEL, Beven [103]
- WESP (Watershed Erosion Simulation Program), Flanagan [102]
- SHE (System Hydrologic Europe), Abbott [104]
- AGNPS (Agricultural NonPoint Source Pollution Model) , Yoon [105]
- AnnAGNPS (Annualized Agricultural NonPoint Source Pollution Model), Borah [98]
- ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watersehed Environment Response Simulation), Beasley [106]
- ANSWERS-Continuous (Areal Nonpoint Source Watersehed Environment Response Simulation Continuous), Beasley [106]

- CASC2D (Cascade of planes in 2-Dimensions), Bouraoui [107]
- MIKE SHE (European Hydrological System Model), Graham [108]
- DWSM (Dynamic Watershed Simulation Model), Borah [109]
- KINEROS (Kinematic Erosion Model), Smith [110]
- HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's - Hydrologic Modeling System), Feldman [111]
- SWMM (Storm Water Management Model), Rossman [112]
- GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems), Leonard [113]
- CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System), Knisel [114]
- EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator), Williams [115]
- SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins), Arnold [116]
- QUAL2E é um modelo de simulação da qualidade da água desenvolvido pela EPA, Brown [117]
- SWAT foi desenvolvido pelo USDA, Baldissera [118]

Estes modelos se diferenciam em: modelos físicos, matemáticos, empíricos, conceituais, concentrados, distribuídos, estocásticos, determinísticos, eventos, contínuos, orçamento e preditivos. E seguem algumas diretrizes para que possam ser estruturados como: revisão do problema, definição dos objetivos, identificação de disponibilidade e precisão dos dados, recursos de estudo, conhecimento das opções de modelos, seleção do modelo, organização e discretização dos dados, definição dos critérios de desempenho, verificação do funcionamento, realização de análise de sensibilidade, preparação de dados, calibração e verificação dos resultados e, por fim, uma documentação.

Uma outra categoria de modelos utilizando Dinâmica de Sistemas vem sendo utilizados na gestão de recursos hídricos. Trabalhos como simulação de sistemas de recursos hídricos [119]; no gerenciamento da qualidade da água de superfície [120]; na modelagem de chuva-escoamento em escala de bacias hidrográficas [121], na previsão de inundações pelo derretimento de neve em bacias hidrográficas da América do Norte [122], na análise de balanço hídrico em um sistema de campo de arroz, e mapeamento nas interações dinâmicas superficiais e subterrâneas em uma área de irrigação [123], na modelagem global de recursos hídricos com um modelo integrado do sistema socioeconômico e ambiental [124],

no desenvolvimento de um modelo em dinâmica de sistemas complexo refletindo as interações entre recursos hídricos, fluxo ambiental e fatores socioeconômicos [125] demonstram eficiência na aplicação da dinâmica de sistemas.

Khan [123] ao analisar o comportamento complexo de sistemas hidrológicos utilizando dinâmica de sistemas afirma que a interação entre os componentes do ciclo da água consiste em processos biofísicos complexos, não lineares e bidirecionais (interdependentes) que podem ser interpretados usando ciclos de realimentação e feedback em um ambiente de dinâmica do sistema, o que reforça a introdução da busca bibliográfica realizada nesta pesquisa, em que podemos caracterizar o sistema hídrico como um sistema complexo, as pesquisas acima referenciadas, demonstram a aplicabilidade da dinâmica de sistemas na gestão de recursos hídricos.

Analise de Riscos

Apesar do número de estudos encontrados na pesquisa bibliográfica realizada sobre modelagem hidrológica e manejo de bacias hidrográficas, não identificamos modelos em dinâmica de sistemas na Gestão de Riscos em recursos hídricos. Entretanto, outros trabalhos, como mostraremos a seguir, apresentam formas de fazer a gestão de riscos recursos hídricos.

Na temática de gestão de riscos em recursos hídricos, Zongxue [126] demonstrou como analisar riscos em um sistema de abastecimento de água. Em sua formulação de um modelo de risco, em que é avaliada a variabilidade das condições climáticas como chuva e temperatura, apresenta-se a necessidade de avaliar os vários tipos de falhas em um sistema hídrico. É proposto também que os critérios de riscos sejam quantificados e incorporados à modelos matemáticos de planejamento e operação, tendo como objetivo o desenvolvimento de políticas para um sistema de gestão hídrica.

Apresentaremos a seguir o modelo proposto por Zongxue [126] que segue a mesma proposta de Jinno [127] na gestão de risco de recursos hídricos.

Primeiro é formulado o modelo da demanda de água pela fórmula:

$$D(cfs) = D_{base} + D_{potencial} [1 + p_i * f(t)] + \varepsilon \quad (2.4)$$

Onde:

- D_{base} = uso de água de base (interna);
- $D_{potencial}$ = uso potencial;
- p_i = coeficiente de resposta da precipitação;
- $f(t)$ = número de dias chuvosos em uma semana; e

- ε = uma variável aleatória independente normalmente distribuída.

Em seguida foi realizado simulações com o modelo da operação do reservatório com o objetivo de avaliar o desempenho futuro dos sistemas, e foi estabelecidos coeficientes diários e mensal da demanda de água.

No próximo passo, foi formulado o modelo matemático de risco com o objetivo de quantificar os critérios de riscos com as seguintes dimensões: Confiabilidade, Resiliência, Vulnerabilidade, Índice de Risco de Seca, Índice de Dano de Seca.

Confiabilidade

Confiabilidade foi considerada a possibilidade de operações de sistemas sem falhas ao longo de um período de planejamento de N anos, e é definida como a probabilidade do sistema estar em um estado satisfatório.

$$\alpha = P \{X_t \in S\} \quad (2.5)$$

onde S é o conjunto de todas as saídas satisfatórias.

Em sistemas de recursos hídricos, a confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um sistema fornecer a demanda de água desejada aos usuários, ou seja:

$$\alpha = \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} I_{[i]}, \quad (2.6)$$

Onde:

- NS = total de dias de período de abastecimento de água;
- $I_{[i]}$ = variável de estado do sistema de abastecimento de água. $I_{[i]}$ = é igual a 1 se nenhum déficit ocorrer, e é igual a zero se ocorrer um déficit.

Resiliência

A definição de resiliência, foi considerada uma medida da probabilidade de estar em um período sem falha. De acordo com esta definição, um sistema resiliente é aquele que é capaz de se recuperar de um estado deficitário para operação normal em um curto espaço de tempo. E deve levar em consideração o elemento tempo para facilitar a quantificação do critério e sua incorporação em um modelo matemático. Foi formulada a medida de resiliência como o número máximo de períodos consecutivos de escassez que ocorrem antes da recuperação. Transformando essa afirmação, a resiliência foi adotada para descrever a capacidade de um sistema de retornar a um estado satisfatório quando ocorre um estado de falha, e pode ser definida como a probabilidade condicional.

$$\beta = P \{X_t \in S / X_{t-1} \in F\}, \quad (2.7)$$

em que F é o conjunto de todas as saídas insatisfatórias. De acordo com a derivação matemática necessária, que pode ser expressa como:

$$\beta = \frac{1}{E [T_f]}, \quad (2.8)$$

onde $E [T_f]$ é o período de falha esperado. Neste estudo, a resiliência é definida como o inverso do período médio de déficit hídrico, ou seja,

$$\beta = \begin{cases} \frac{1}{(1/NF) \sum_{i=1}^{NF} FP_i} & NF \neq 0 \\ 1, & NF = 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Se $NF = 0$, o que significa $FP = 0$, então $\beta = 1$. Isso indica que o sistema está em um estado satisfatório durante todo o período de abastecimento de água. Na situação geral, $0 < \beta < 1$, indica que o sistema de abastecimento de água está em um estado insatisfatório (ocorre déficit), e retornará a um estado satisfatório. Quanto maior o período médio de déficit hídrico, menor a resiliência. Isso significa que, se o déficit hídrico ocorrer durante um período mais longo, é mais difícil fornecer água racional.

Vulnerabilidade

Vulnerabilidade foi utilizada como a medida do significado da falha, e definida como a magnitude do maior déficit de água durante o período de operação. E foi usada para descrever as consequências significativas da seca

$$\gamma = E \{Se\} \quad (2.10)$$

em que Se é o indicador numérico da gravidade da seca. Em combinação com as situações do sistema hídrico, o indicador de vulnerabilidade utilizado foi o déficit médio durante todo o período de fornecimento dividido pela demanda média de água durante o mesmo período.

$$\gamma = \frac{(1/NF) \sum_{i=1}^{NF} VE_i}{(1/NF) \sum_{i=1}^{NF} VD_i} \quad (2.11)$$

Onde:

- $VE_i =$ O i éximo déficit hídrico em m^3 .
- $VD_i =$ demanda de água em m^3 durante o período de i éximo déficit.

γ é geralmente menor que 1 e maior que 0, o que significa que quanto maior o déficit hídrico, maior a vulnerabilidade.

Como restrição da aplicação do modelo matemático para o cálculo da resiliência, Zongxue [126], Jinno [127] destaca haver lacunas nas definições da equação 2.9 de vulnerabilidade e da equação 2.11 de resiliência, porque elas são definidas em um domínio médio do período de seca. Por exemplo, uma recuperação rápida após muitas falhas produz a mesma resiliência que uma recuperação longa após uma única falha.

Índice de Risco de Seca

Um Índice de Risco de Seca foi definido, com o objetivo de diagnosticar as diferenças nos sistemas ou subsistemas, como uma função ponderada linear de confiabilidade e resiliência e vulnerabilidade,

$$\nu = \omega_1 \cdot (1 - \alpha) + \omega_2 \cdot (1 - \beta) + \omega_3 \cdot \gamma \quad (2.12)$$

no qual:

$$\sum_{i=0}^3 \omega_i = 1.0 \quad (2.13)$$

onde w_1 , w_2 e w_3 são pesos que precisam ser predeterminados. O peso é atualmente considerado como o mesmo valor para todos, ou seja, $w_1 = w_2 = w_3 = 1/3$.

Índice de Dano de Seca

Considerado relevante acrescentar critérios adicionais de risco na avaliação da estratégia de operação de um sistema hídrico, motivada pela possibilidade de ocorrer uma seca, cuja estimativa do dano não é trivial, um índice de dano foi utilizado chamado Índice de Dano de Seca.

$$DDI_t = \left(\frac{VE_t}{VD_t} \cdot 100\% \right)^2 \cdot \Delta_t \quad (2.14)$$

Onde:

- VE_t = déficit hídrico durante o período.
- VD_t = demanda de água durante o período.

Então, o índice acumulado de dano por seca (CDDI) é:

$$CDDI = \int_0^t DDI_t dt, \quad (2.15)$$

que descreve o dano total causado pela seca durante o período (0; t). Geralmente expressa o dano total durante a seca desde o início até a data. DDI_t e CDDI podem ser usados para avaliar os danos causados pela seca de maneira relativa.

A pesquisa realizada por Zongxue [126], demonstrou resultados relevantes. Em sua conclusão, o autor demonstrou que as flutuações do clima ou da temperatura influenciada seriamente a confiabilidade do sistema, e a seca representa um grande risco para o desenvolvimento na indústria e na agricultura, causando grande transtorno para a população.

Índice de Sustentabilidade

Destaca-se ainda, dentre as pesquisas analisadas relacionadas à gestão de recursos hídricos, o Índice de Sustentabilidade proposto por Xu [128] referenciado na pesquisa de Sánchez-Román [3] usando a abordagem de dinâmica do sistema. A proposta é introduzir um índice como razão do possível déficit hídrico agregado em relação à oferta correspondente na mesma região.

O modelo proposto faz uma estimação total da oferta total de água, e de sua demanda de água, incluindo a demanda da população, industrial, agrícola, demanda ambiental e a transferência de Água entre Bacias. Em seguida, calcula-se o Índice de Sustentabilidade, definido como a razão do balanço hídrico em relação à oferta total de água, que é dado da seguinte forma:

$$IS = \begin{cases} (S - D)/S, & S > D \\ 0 & S \leq 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

Onde:

- D = Demanda Total de Água,
- S = Oferta Total de Água disponível.

e o IS é calculado obtendo-se a razão entre do Balanço Hídrico pela Oferta Total de Água. Na proposta realizada, conforme apresentado na Tabela 2.3, para IS superiores a 0,2 existe um baixo ou nenhum estresse de abastecimento de água, isso significa que a demanda de água é menor ou igual a 80% do potencial de abastecimento da bacia. Quando IS é menor que 0,2 apresenta-se uma condição de vulnerabilidade, ou seja, a demanda de água é maior que 80% do potencial de abastecimento. Se IS for zero, indica que o abastecimento de água é insustentável, ou seja, a demanda de água é igual ou excede toda a oferta de água disponível.

Caracterização do Risco	Descrição
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE $> 0,2$	Baixo ou nenhum estresse de abastecimento de água
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE $< 0,2$ e > 0	Condições vulneráveis. A demanda de água é maior que 80% do potencial de abastecimento de água.
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ≤ 0	Abastecimento de água insustentável. A demanda de água já iguala ou excede todos os recursos hídricos locais disponíveis.

Tabela 2.3: Caracterização do Índice de Sustentabilidade
Fonte: Adaptado de Wei [125]

Capítulo 3

Procedimentos e Métodos

O que faz o conhecimento científico distinto das demais formas de conhecimento é que ele tem como base fundamental a sua verificabilidade, o que exige demonstração das operações mentais e técnicas que possibilitam a sua comprovação, ou seja, o método que possibilitou chegar a esse conhecimento [129]. Conforme destaca Gil [129]: “Pode-se definir método como caminho para se chegar a determinado fim. E método científico como o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento”.

No que se refere a bases lógicas da investigação, esta pesquisa segue o método indutivo, partindo da observação de fatos ou fenômenos cujas causas se deseja conhecer e, por conseguinte, procurar compará-los com a finalidade de descobrir as relações existentes entre eles. Sendo o objetivo final proceder à generalização, com base na relação verificada entre os fatos ou fenômenos. Quanto aos meios técnicos desta investigação, pretende-se utilizar o método experimental e estatístico. Experimental porque consiste em submeter os fatores analisados no estudo à influência de certas variáveis em condições que seja possível controlá-las, permitindo observar os resultados que a variável produz no objeto, e, estatístico, porque parte desta pesquisa se fundamentará na aplicação da Teoria Estatística da Probabilidade, bem como serão realizados testes estatísticos, com o objetivo de tornar possível determinar, em termos numéricos, a probabilidade de acerto de determinada conclusão, bem como a margem de erro de um valor obtido [129].

O método para a modelagem da Dinâmica do Sistema (SD) foi desenvolvido para melhorar a capacidade de compreensão e aprendizado em sistemas complexos, e, por pertencer a mais de um ramo do conhecimento, é, portanto, considerado uma ciência interdisciplinar. É um método que tem sua base na Teoria de Dinâmica não-linear e controle de feedback, e baseia-se em psicologia cognitiva e social, economia e outras ciências sociais para incorporar as dimensões humanas e tomada de decisão [24].

A aplicação do processo de modelagem SD é realizada em cinco etapas gerais, conforme apresentado no Tópico 2.5.4, que são: 1. Articulação do problema, 2. Desenvolvimento

da hipótese dinâmicas, 3. Formulação de um modelo de simulação, 4. Teste do modelo de simulação e 5. Concepção e análise de políticas / estratégias.

A etapa de Articulação do problema refere-se ao esforço objetivo do pesquisador na admiração do problema sem fazer conclusões antecipadas sobre o problema [130]. Nessa etapa, fazem entrevistas, apresentações, criam-se modelos mentais com pessoas chaves relacionadas ao problema, e realiza-se a coleta de todos os dados relevantes que podem descrever o comportamento do problema ao longo do tempo. É a fase que determina os limites, variáveis, horizontes de tempo e fontes de dados para a modelagem. A etapa de desenvolvimento da hipóteses dinâmicas realiza a sintetização do que é conhecido sobre problema em uma teoria endógena, realizando a explicação com um modelo causal de loop e feedback conforme demonstrado no Tópico 2.3.1. Essas etapas iniciais são análogas à metodologia “*soft systems*” por ter sua ênfase no envolvimento com os gestores na definição dos critérios de tomada de decisão, seus modelos mentais do sistema, e, na modelagem conceitual das causas do problema [24, 130, 131].

O próximo passo, é a formulação de um modelo de simulação, em que ocorre a construção do modelo quantitativo utilizando ferramenta computacional com estoques e fluxos, links de informações e nuvens, conforme Tópico 2.3.2, e Figura 2.15. Essa etapa envolve a conceituação dos mecanismos de feedback primário em que eles são descritos usando equações diferenciais parciais acopladas. Richmond [132] aconselha não criar limitações para essa fase, deve-se resistir as tentativas de colocar limites.

O passo quatro, é onde ocorre o teste do modelo de simulação, onde busca testar o modelo em condições que extrapolam os valores calibrados na tentativa de aproximar dos valores no mundo real. O objetivo é verificar se os valores assumidos pelos parâmetros representam a realidade, se as tendências do modelo corresponde aos comportamentos consistentes, e se existem variáveis que podem gerar falha ou melhorar a função do sistema [24, 133].

Como instrumentos para essa fase, Turner [133] apresenta os testes não-lineares ativos (ANTs) úteis para a exploração de modelos complexos de simulação que incluem: 1) Análise de sensibilidade multivariada: revelando sensibilidades do modelo para grupos de parâmetros; 2) Quebra e validação de modelos: explorando as condições sob as quais um modelo se quebra. 3) Descoberta de Cenários de Casos Extremos: encontrando cenários melhores ou piores que poderiam resultar, considerando mudanças razoáveis nos parâmetros. 4) Descoberta de Políticas: descobrindo estratégias para alcançar algum resultado (in) desejável dentro do contexto do modelo.

A última fase da metodologia de aplicação de SD, envolve a aplicação de perguntas “*What if...*” (“e se?”) ao modelo. O objetivo é identificar locais de alavancagem ou potencial de gestão e futuros pontos de inflexão no modelo, ou ainda identificar que novas

regras de decisão, estratégias e estruturas podem ser tentadas no mundo real, e como elas podem ser representadas no modelo. A aplicação é: “E se...” tal análise: quais são os efeitos das políticas?

A descrição dessas cinco fases resume o processo básico envolvendo essa pesquisa, para considerações metodológicas de SD aplicadas a diferentes disciplinas (ver [134, 135, 135–138]).

Apresentaremos a seguir as atividades que foram realizadas em cada etapa da metodologia de SD seguindo o método proposto conforme Tópico 2.5.4, e destaques já referenciados acima.

1. Articulação do problema:
 - (a) Entrevistas / inquéritos;
 - (b) Descrevendo modelos mentais; e
 - (c) Coletando / agregando dados do modo de referência
2. Desenvolvimento da hipótese dinâmica:
 - (a) Identifique as teorias atuais do problema;
 - (b) Diagrama de loop causal; e
 - (c) Mapeamento de estoque e fluxo.
3. Formulação de um modelo de simulação:
 - (a) Especificando a estrutura do modelo, regras de decisão;
 - (b) Estimação de parâmetros e definição de condições iniciais; e
 - (c) Verificar a consistência do modelo com hipóteses dinâmicas.
4. Teste do modelo de simulação:
 - (a) Comparações do modo de referência;
 - (b) Teste de condições extremas; e
 - (c) Análises de sensibilidade.
5. Concepção e análise de políticas / estratégias:
 - (a) Projeto e análise de cenários; e
 - (b) Envolvimento das partes interessadas.

3.1 Finalidade da Pesquisa

Há de diferenciar a pesquisa pura da pesquisa aplicada, sendo que a pesquisa pura tem por objetivo progresso da ciência e o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e consequências prática, diferente da pesquisa aplicada, pois esta, apesar de apresentar características de uma pesquisa pura, tem como característica fundamental a sua aplicabilidade [129]. Neste sentido esta pesquisa tem como finalidade ser uma pesquisa aplicada .

3.2 Tipo de Pesquisa

A pesquisa é classificada como exploratória e descritiva, uma vez que tem como objetivo prover maior conhecimento sobre a associação entre duas abordagens, no caso Teoria da Complexidade, pensamento sistêmico, dinâmica de sistemas e análise de riscos em recursos hídricos. Matos Chaim [139] destaca que a pesquisa exploratória tem como finalidade a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. A pesquisa descritiva pode ser utilizada complementarmente à exploratória, visto que esta tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis [129].

3.3 Universo da Pesquisa

Por motivos de relevância, foi escolhido a bacia hidrográfica Alto do Descoberto, localizada no Distrito Federal e no estado de Goiás com uma área de 452 km², responsável por 61% do abastecimento público de água do DF, tendo como recorte territorial somente o Distrito Federal.

Conforme Figura 3.2 do mapa onde é destacado a rede hidrometeorológica da CAESB, o recorte de estudo desta pesquisa está na imagem destacada, sendo que os dados da bacia são: área de 12,57 km² de área da barragem, área de drenagem 437 km², profundidade 6,90 metros, volume útil 91,10 hm³, volume morto 11,20 hm³, cota vertida 1.030,00 m. A bacia é composta pelas unidades hidrográficas, conforme Tabela 3.1.

O Reservatório do Rio Descoberto abastece o principal sistema de captação de água do Distrito Federal, responsável por até 60,67% da água captada conforme mostra os dados oficiais da CESB na Figura 3.1.

A Unidade Hidrográfica do Rio Descoberto possui seis estações fluviométricas, uma estação pluviométrica, uma sedimentométrica e três pontos de captação de água. As estações fluviométricas são Barroão DF-415, Descoberto Jusante Captação Barroão,

ANO	% Atendido Bacia Descoberto
2008	59,84
2009	60,15
2010	58,87
2011	59,81
2012	59,77
2013	58,29
2014	59,86
2015	58,89
2016	60,67
2017	53,42

Figura 3.1: Percentual da Água captada na Bacia do Rio Descoberto para atendimento da água demanda para Brasília

Fonte: CAESB, maio/2018.

Bacias Hidrográficas	Unidades Hidrográficas	Área (km²)
Rio Descoberto	Baixo Rio Descoberto	202,6
	Médio Rio Descoberto (até Rio Melchior)	158,6
	Ribeirão das Pedras	99,8
	Ribeirão Engenho das Lajes	97,6
	Ribeirão Rodeador	116,6
	Rio Descoberto	216,6
	Rio Melchior	206

Tabela 3.1: Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas localizadas no Distrito Federal e entorno

Fonte: ADASA, dezembro/2011

Capão da Onça DF-415, Capão da Onça Montante Captação, Chapadinha DF-180 e Olaria DF-180. A estação pluviométrica é a ETA Brazlândia e a estação sedimentométrica é a Descoberto Chácara 89. As duas captações se localizam ao norte da unidade hidrográfica com os nomes de Barrocão 1 e Capão da Onça 1 e outra, no lago Descoberto.

O passo mais importante na modelagem é a articulação do problema, em que é definido qual é o problema que se pretende trabalhar, qual problema se deseja resolver, e, com isso, definir qual é o objetivo do modelo Stermann [24]. A Figura 3.3 apresenta o problema objeto dessa pesquisa, o pesquisador mostra que o Reservatório do Descoberto vem apresentando picos de insuficiência, que levou a uma crise hídrica no Distrito Federal. A cota vertida do reservatório (reservatório cheio é 1.030m), porém, como apresenta a figura, picos de insuficiência vêm crescendo ao longo dos últimos 160 meses analisados.

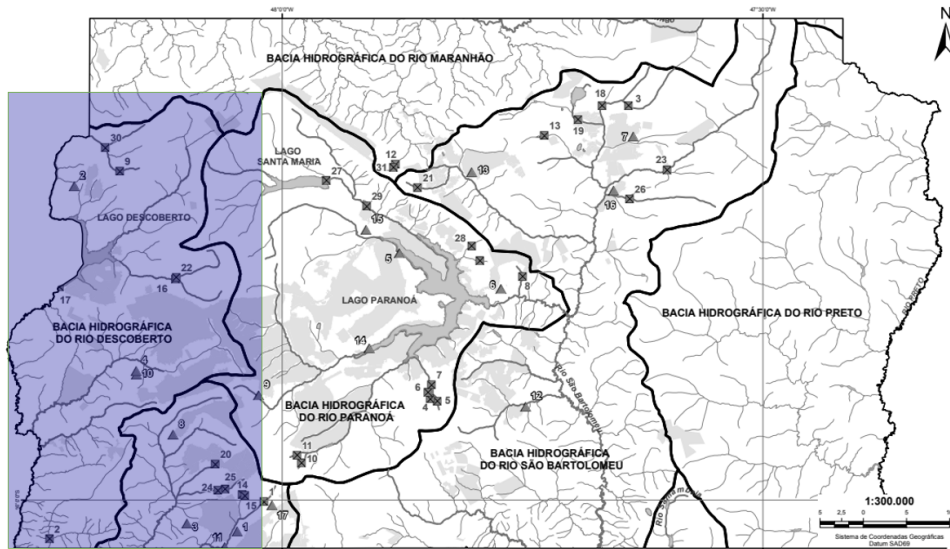


Figura 3.2: Localização das Bacia Hidrográfica Rio Descoberto no Distrito Federal
 Fonte: CAESB, maio/2018

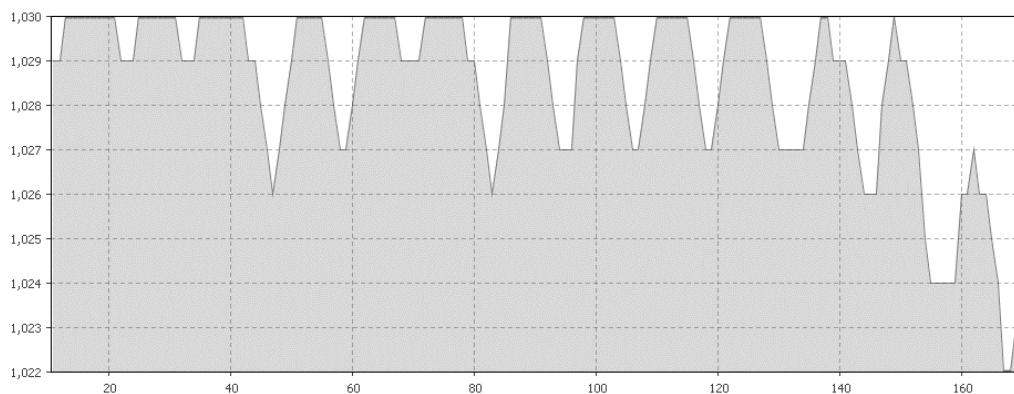


Figura 3.3: Cota Reservatório Descoberto - Análise 160 meses - 2014 a 2018
 Fonte: Consolidado Estatístico da ADASA, maio/2018.

Ressalta-se ainda que Brasília é considerada, conforme Figura 3.4, o terceiro estado com a menor disponibilidade hídrica por habitante.

Para identificação dos fatores de risco e a descrição da gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal, utilizamos entrevistas semi-estruturadas dirigidas a especialistas e gestores dos principais órgãos do DF relacionados à gestão de recursos hídricos. O modelo criado por Sánchez-Román [3] foi utilizado num primeiro momento para conduzir o processo de apresentação e direção das entrevistas, permitindo elucidar aos técnicos e gestores a identificação dos fatores de risco. Assim os dados essenciais para a criação de um modelo para a Bacia do Alto do Descoberto foram identificados.

Conforme Tópico 2.3.1, o modelo de loop causal é uma ferramenta útil para representar processos de interdependência e feedback, muito utilizado em projeto de modelagem para

Disponibilidade Hídrica de Regiões/Estados (m³/hab.ano)
1º Pernambuco = 1270
2º Paraíba = 1392
3º Distrito Federal = 1537
4º Sergipe = 1601
5º Alagoas = 1691
.....
São Paulo = 2694
Paraná = 12.600
Brasil = 36.000

Figura 3.4: Disponibilidade Hídrica de Regiões/Estados (m³/hab.ano)
Fonte: ADASA, maio/2018

capturar modelos mentais, sendo também útil para comunicar os resultados de um esforço de modelagem concluído. Foi utilizando o modelo de loop causal, e fazendo as perguntas semi-estruturadas “Como?”, “O que?”, “Quem?”, “Por que?” e “Quando?” que se chegou a um modelo consensual para a realização dessa pesquisa.

3.4 Fontes de Informações e Dados

Grande parte dos dados utilizados nesta pesquisa são de origem primária, adquiridos com entrevistas e coleta de informações de pessoas especializadas no tema, diretores e presidentes de organizações vinculadas à gestão de recursos hídricos no Distrito Federal. Um outro conjunto de dados são de origem secundária provenientes de bancos de dados públicos; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB); Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA); Agência Nacional de Águas (ANA); Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-DF); Agência de Proteção Ambiental (EPA); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - Brasília Ambiental (IBRAM); Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP); Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) e Secretaria de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEAGRI).

3.5 Coleta de Dados

A técnica adotada para coleta de dados, objetivando o delineamento da pesquisa, utiliza as seguintes fontes de pesquisa: 1) Pesquisa bibliográfica, 2) Análise documental, 3) Pesquisa presencial com especialistas e diretores de recursos hídricos junto aos principais órgãos do Distrito Federal: ADASA, CAESB, ANA, EMATER-DF, 4) Modelagem de loop causal, e 5) A modelagem Dinâmicos de Sistemas.

A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir de material já elaborado, constituído prioritariamente de livros e artigos científicos. Nesta fase, foi identificado um conteúdo rico que somou ao levantamento bibliográfico apresentado na pesquisa e que foi relevante para compreensão do objetivo desta. Conforme destaca Matos Chaim [139], análise documental é útil para coletar os dados públicos disponíveis relativos ao entendimento de um sistema, descrever as características, a sua relevância e as suas complexidades. Com o objetivo de buscar um conhecimento direto da realidade, foi utilizado o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF) [140] que apresenta no relatório de 2017 a disponibilidade hídrica do DF; o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do DF, PGIRH/DF [141]; Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica e a base de dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS).

Um questionário, conforme Anexo III.1, foi encaminhado à CAESB e à ADASA, com o objetivo de identificar o Fator Demanda Hídrica do Distrito Federal. Os dados foram utilizados para parametrização do modelo, e serão analisados no resultado dessa pesquisa. Os dados foram fundamentais para a formulação do modelo, das equações e para alimentar o modelo quando da simulação.

Foram realizadas três rodadas de entrevistas com: 1) Gerente da Gerência de Meio Ambiente da EMATER-DF; 2) Secretário da SEAGRI-DF; 3) Engenheiro Agrônomo, Coordenador do Programa de Olericultura do Distrito Federal e especialista em irrigação; 3) Gerente Regional e coordenador do Plano de Enfrentamento da Crise Hídrica na Bacia do Descoberto; e, 4) Diretor da ADASA, especialista em Hidrologia do Distrito Federal.

Para estruturação do Modelo de Estoques e Fluxos, foi possível contar com a participação de especialista em Engenharia de Irrigação e Drenagem e Engenharia Agrícola. Foram realizadas três entrevistas que foram gravadas.

Para identificação do modelo de crescimento populacional, foi realizada uma entrevista com a área de Supervisão de Documentação e Disseminação de Informações/IBGE/DF. O roteiro para a entrevista semi-estruturada dirigida a esse órgão, está no Anexo II.1.

Por fim, para validação da qualidade do modelo, incluindo sua relevância, elaboramos o questionário apresentado no Anexo IV.1 enviado a todos os participantes das entrevistas realizadas. O questionário e todas as respostas foram analisadas no resultado dessa pesquisa, e o conteúdo completo está no Anexo IV.1.

As entrevistas foram realizadas nos meses de julho de 2017 a maio de 2018, sendo que algumas foram liberadas para serem gravadas, e outras, apenas foi liberada para serem registradas o que se falou.

Mediante análise quantitativa, foi possível obter as conclusões correspondentes aos dados coletados. Como resultado dessa fase, foram identificados grupos relacionados aos fatores de riscos da gestão hídrica no Distrito Federal:

1. Demanda da População;
2. Demanda da Agricultura;
3. Demanda Comercial;
4. Demanda Setor Público;
5. Demanda Indústria e
6. Oferta de Água. O fator Oferta de Água é composto pelos seguintes fatores:
 - Volume dos Afluentes;
 - Volume de Infiltração;
 - Volume de Retorno.

3.6 Variáveis

A gestão de recursos hídricos utiliza variáveis físicas (ambientais), sociais e econômicas. Conforme já estruturado por Sánchez-Román [3], as principais variáveis que determinam a dinâmica de um sistema hídrico são: Água Superficial, Água Subterrânea, Oferta de Água, Estoque de Água e Demanda de Água, em que a Demanda de Água pode ser subdividida em demanda: 1) população, 2) ambiental, 3) agroindústria, 4) pecuária, 5) indústria, e 6) agrícola.

Como ponto de partida, utilizou-se as variáveis proposta por Sánchez-Román [3], porém, foi identificado outras variáveis, e algumas deixaram de ser utilizadas.

As variáveis, sua descrição e seus principais indicadores foram organizadas nos grupos a seguir descritos.

- Demanda da População;
- Demanda da Agricultura;
- Demanda Comercial;
- Demanda Setor Público;

- Demanda Industria; e
- Oferta de Água. O fator Oferta de Água é composto pelos seguintes fatores:
 - Volume dos Afluentes;
 - Volume de Infiltração; e
 - Volumes de Retorno.

A Tabela 3.2 apresenta a definição das variáveis, a forma como eles foram operacionalizadas, os indicadores e as técnicas que foram utilizadas para coletar os dados.

Variáveis / Definição	Operacionalização das variáveis	Indicadores	Técnica utilizada para coletar os dados
Demanda De Água:			
Demanda da População	Indicar a demanda de água de população	População, consumo per capita, perda de água na distribuição, perspectiva de crescimento populacional	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, pesquisa documental.
Demanda Comercial	Indicar a demanda de água para a área comercial	Quantidade de Comércios, consumo per capita, perda de água na distribuição, perspectiva de crescimento da área comercial	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, pesquisa documental.
Demanda Industria	Indicar qual a demanda de água para a área industrial	Quantidade de indústrias, consumo per capita, perda de água na distribuição, perspectiva de crescimento da área comercial	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, pesquisa documental.
Demanda da Agricultura	Indicar qual a demanda de água da agricultura	Tipos de cultivo, área total cultivadas, tipo de irrigação, consumo por tipo de cultivo Vs tipo de irrigação.	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, pesquisa documental.
Oferta de Água			
Volume dos Afluentes	Identificar quais os afluentes que contribuem para a bacia	Histórico de vazão de cada afluente, coeficiente de escoamento não superficial.	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, pesquisa documental.
Volume de infiltração	Identificar qual a área total de drenagem da bacia	Histórico de infiltração na área da bacia e área de drenagem da bacia.	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, pesquisa documental.
Volumes de Retorno	Identificar qual o percentual de retorno para cada setor de demanda hídrica.	Volume de tratamento de água no Distrito Federal	Entrevistas semi-estruturada, questionário direcionadas aos órgãos, Pesquisa documental.
Balanco Hídrico			
Balanco Hídrico	Identificar a diferença no tempo entre a demanda hídrica pela oferta	Total de demanda, total de oferta	Simulação na Dinâmica de Sistema

Tabela 3.2: Relação das principais variáveis, sua descrição e seus principais indicadores relacionados à Gestão Hídrica

3.7 Descoberta de Conhecimento dos Dados

Um dos processos não trivial realizado por essa pesquisa foi a extração das informações implícitas, previamente desconhecidas e potencialmente úteis, a partir dos dados conseguidos, tanto primários como secundário, e nas buscas documentais. Identificamos que em Brasília não existe uma base de dados organizada, com as informações relacionadas aos recursos hídricos, o que torna moroso e exige um grande trabalho de organização e tratamento de dados.

Assim, foi necessário seguir uma metodologia similar, porém adaptada, à proposta pelo *KDD - Knowledge Discovery in Databases* (Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados). O processo de KDD contém uma série de passos, a saber: seleção, pré-processamento e limpeza, transformação, mineração de dados (data mining) e interpretação/avaliação [142, 143].

Para extrair as informações necessárias à modelagem nesta pesquisa, usamos os seguintes passos: seleção, pré-processamento e limpeza, transformação, e após a modelagem e simulação, a interpretação/avaliação. Neste tópico detalharemos os passos: seleção, pré-processamento e limpeza, e transformação.

3.7.1 Seleção dos Dados

O passo referente à seleção foi realizado como já apresentado no Tópico 3.5 em que é detalhado a “Coleta de Dados”. Reuniu-se num total de treze banco de dados com informações sobre recursos hídricos no DF, tendo como recorte a Bacia Hidrográfica do Alto do Descoberto (BHAD) como:

- Consumo da População beneficiada pela BHAD;
- Água Produzida;
- Água Captada;
- Consumo Per Capita;
- Quantidade de Ligações Ativas;
- Demanda de Água Residencial;
- Demanda de Água Comercial;
- Demanda de Água Industrial;
- Demanda de Água do Setor Público;
- Demanda de Água da Irrigação;

- Demanda de Água da População (Rural);
- Área da Bacia;
- Área de Drenagem da Bacia;
- Percentual de Água retirada na Bacia;
- Cota do Reservatório;
- Precipitação pluviométrica;
- Temperatura Máximo;
- Temperatura Mínima;
- Insolação;
- Vazão dos Rios (Descoberto chácara 89, Chapadinha, Aviário - DF180, Olaria - DF080, Rodeador - DF435, Capão Comprido, Ribeirão das Pedras) e Rios do Estado de Goiás.

O processo realizado nessa fase foi bastante complexo, uma vez que envolveu dados oriundos de várias fontes diferentes e incluiu diversos formatos, porém, refletiu de forma significativa na qualidade resultado.

Para os bancos de dados, foi feito um recorte temporal coletando informações históricas entre os anos de 2004 a 2018.

3.7.2 Pré-processamento e limpeza

Nesta etapa foram realizadas tarefas para eliminarem dados redundantes e inconsistentes. Foi necessário recuperar dados incompletos e ajustar dados discrepantes *outliers*. Foram tratados também dados considerados ausentes, como os dados relacionados aos afluentes do Estado de Goiás. Não foram identificados nas fontes primárias e secundárias o volume dos rios relacionados ao Estado de Goiás que contribuem para a bacia. Nas entrevistas foi informado apenas um percentual médio que os afluentes de Goiás contribuem com a bacia; esse dado teve que ser calculado.

Um outro exemplo foi a régua criada para calcular o volume do reservatório. Foram identificadas informações apenas apresentando a cota do reservatório, conforme Figura 3.5. Para realizar o cálculo do volume do reservatório, utilizou-se a régua apresentada na Figura 3.6, e criou-se a Tabela 3.3 com os valores da cota, retornando o volume do reservatório quando da modelagem. Essa tabela foi relevante para o modelo realizar a simulação e comparar os valores de volume simulado, com os valores de volume reais.

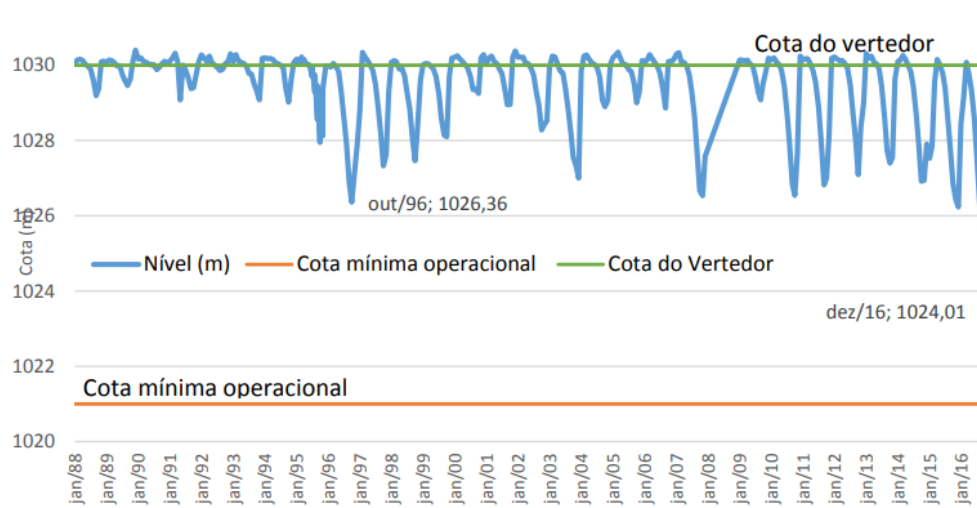


Figura 3.5: Cotas do reservatório no último dia do mês (1988-2016)
 Fonte: PGIRH/DF [141]

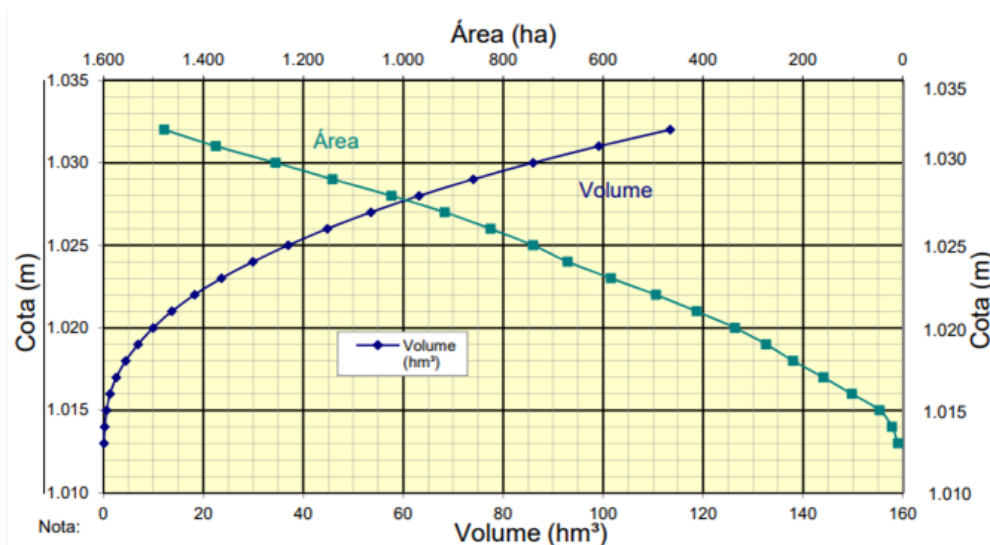


Figura 3.6: Curvas Cota x Área x Volume da Barragem do Rio Descoberto
 Fonte: Lima Rocha [144]

Como resultado dessa etapa foi gerado um banco de dados único com os dados históricos dos anos de 2004 a 2018, sendo que os dados foram agrupados, considerando médias mensais.

3.8 Transformação

Após os dados terem sido selecionados, limpos e pré-processados, eles foram armazenados em um formato que permitisse o software *Anylogic* pudesse lê-los.

Nível do Reservatório (cota)	Volume hm^3	Tipo
1013	0	Volume Morto
1014	0,5	
1015	1	
1016	2	
1017	2,5	
1018	4,5	
1019	7	
1020	10	
1021	14	
1022	18	
1023	23,5	
1024	30,4	
1025	36,5	
1026	44,8	
1027	54	
1028	63,5	
1029	74	Cota Vertedouro Água não usada
1030	86	
1031	99	
1032	114	

Tabela 3.3: Tabela de Cálculo do Volume do Reservatório

Nessa etapa foi criada as Table Function (Tabela Funções) exigidas para as variáveis de distribuição de probabilidade utilizadas no modelo.

O Software *AnyLogic* suporta tipos especiais de funções como funções de tabela. Uma função de tabela é uma função definida para explicitar um relacionamento não-linear complexo que não pode ser descrito como uma composição de funções padrão, ou para trazer dados experimentais definidos como uma função de tabela para um modo contínuo. A função de tabela funciona da seguinte maneira: o usuário define uma função dando um número de pares (argumento, valor), ou seja, um número de pontos base no gráfico XY. O *AnyLogic* constrói a função de tabela com base nos dados fornecidos e no tipo de interpolação escolhida. Uma chamada de uma função com algum valor passado como um argumento de função, retornará um valor (possivelmente, interpolado) da função. Para o caso x, que está fora do intervalo do argumento original, o software permite utilizar comportamentos probabilísticos customizados. Funciona como uma função probabilística dinâmica para descrever o comportamento de uma série de dados no momento da execução.

A Figura 3.7 apresenta o resultado da tabela função baseado no histórico da precipitação, e a Figura 3.8 apresenta o resultado do histórico da vazão dos afluentes da bacia do descoberto.

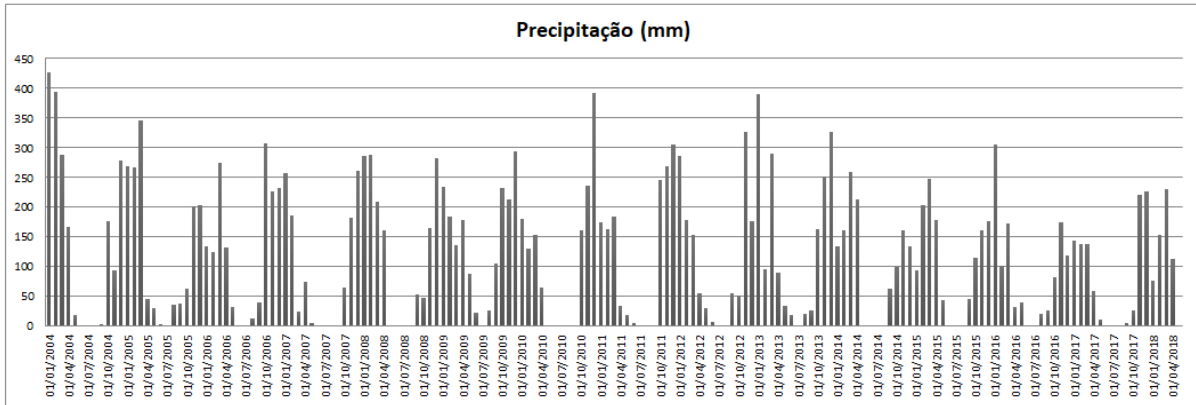


Figura 3.7: Histórico de Precipitação.
 Fonte: Consolidado da ADASA, maio/2018

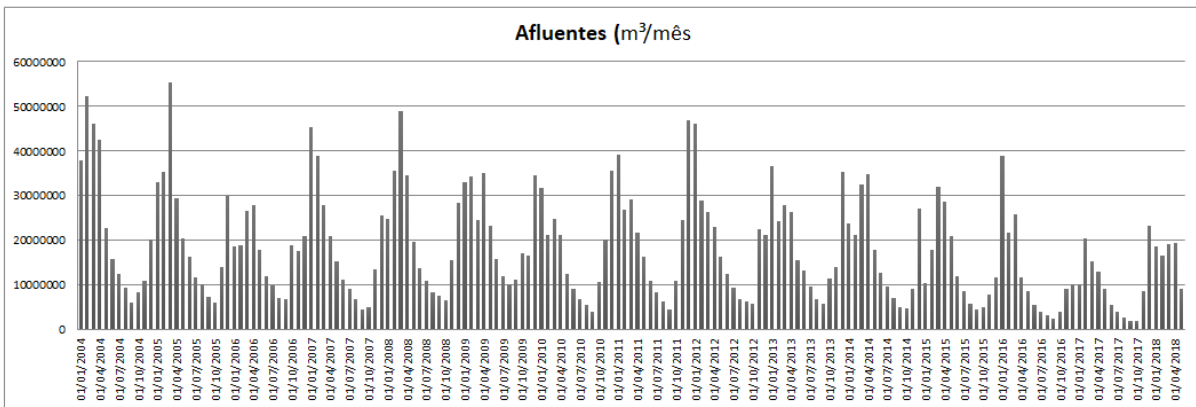


Figura 3.8: Histórico de Vazão
 Fonte: Consolidado da ADASA, maio/2018

3.9 Ferramentas Computacionais Aplicadas

Após a realização do levantamento documental, realização das entrevistas, feitos os inquéritos, descritos os modelos mentais e coletado e agregando os dados, utilizou-se de ferramentas computacionais aplicadas ao objeto desta pesquisa.

Para a análise dos dados, foram utilizados [?], que é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), utiliza a linguagem SQL como interface [145]; o software Excel da Microsoft para o manuseio dos dados, tratamentos, limpeza e remoção de dados que não sejam interessantes, remoção de valores que estão distorcidos, e correção de inconsistências que foram identificadas, conforme detalhamento neste tópico.

A construção do modelo dinâmico dos recursos hídricos, para a modelagem de simulação, foi realizada na plataforma *Anylogic*. O *Anylogic* tem como objetivo fornecer um ambiente dinâmico para a análise de modelos computacionais enquanto eles estão em execução, incluindo a possibilidade de visualizar sua dinâmica no tempo. O software fornece

métodos de análise amigáveis que facilitam a compreensão, verificação e a comunicação.

A modelagem de simulação fornece soluções relevantes ao fornecer *insights* claros sobre sistemas complexos. Diferente da modelagem física, como fazer uma cópia em escala reduzida de um sistema hídrico, a modelagem de simulação é baseada em computador e usa algoritmos e equações. Essa simulação permite a experimentação em uma representação digital válida de um sistema, sendo seu principal objetivo resolver problemas reais com segurança e eficiência em todos os setores e disciplinas. A capacidade de analisar o modelo à medida que ele é executado diferencia a modelagem de simulação de outros métodos, como os que usam o Excel ou a programação linear. Ao poder inspecionar processos e interagir com um modelo de simulação em ação, tanto a compreensão quanto a confiança são construídas rapidamente [146].

A pesquisa culmina com a aplicação de técnicas e softwares computacionais no processo de modelagem de sistemas dinâmicos, que em si exige um método rigoroso de descrição do sistema hídrico e que facilitará o *feedback*, geralmente por meio de um modelo de simulação contínuo, dos efeitos da estrutura do sistema e políticas de controle alteradas sobre o comportamento do sistema. Um diagrama de sistema dinâmico pode formalizar e comunicar a imagem mental de um modelador e, portanto, a compreensão de uma determinada situação de uma maneira que a linguagem escrita não pode [24]. Esta modelagem exige um ciclo contínuo de aprendizado e compreensão do problema que serão estudados.

Os modelos e ferramentas aplicados ao sistema dinâmico são comumente utilizados para fins pedagógicos, bem como para a estruturação de ambientes de aprendizagem para líderes e gestores governamentais [147]. A organização internacional (*System Dynamics Society*) que tem como objetivo incentivar o desenvolvimento e o uso de sistemas dinâmicos e do pensamento sistêmico, afirma que a pesquisa relacionada a esse tema inclui “teorizar, testar empiricamente e quantificar os processos subjacentes à dinâmica de diversos sistemas sociais, técnicos, naturais e biológicos”. Um pesquisador de sistemas dinâmicos deve se esforçar para “capturar os processos causais em jogo, e a representação destes deve corresponder aos processos do mundo real no sistema em estudo. Seguindo essas orientações metodológicas esta pesquisa desenvolveu grande parte de seus esforços, construindo um modelo em sistema dinâmico que permitiu a estruturação do ambiente a ser pesquisado, e forneceu condições para testar empiricamente a hipótese dessa pesquisa.

3.10 Limitações do Estudo

O seguintes pontos, com suas respectivas justificativas, não foram realizados nessa pesquisa:

- Definição de Políticas para Mitigação, redução ou eliminação do Risco.

- A pesquisa se limitou a fornecer um instrumento para a gestão de riscos, e não executar o processo de gestão de risco da bacia estudada. Para tanto não foram definidos os parâmetros para a análise de risco, ficando como sugestão de trabalhos futuros, a aplicação da pesquisa com essa tarefa a ser executada.
 - Não será considerado nesta pesquisa o crescimento da demanda hídrica dos setores: comércio, indústria e setor público, uma vez que estes dados não foram identificados. Para a demanda hídrica destes setores, será considerada uma taxa fixa.
- Dados não inexistentes e não identificados.
 - Não foi possível identificar todos os dados necessários para realização da simulação que representassem a realidade do sistema hídrico da Bacia do Alto Descoberto no Distrito Federal. O motivo é porque o dado não foi identificado em documentos ou bibliografias disponíveis, ou os especialistas não tinham as informações precisas. Um exemplo é o Índice de Infiltração da Bacia. Conforme destaca um dos especialistas em uma entrevista: “...esse dado preciso para a Bacia do Descoberto, não temos”.
 - Apresentar resultados com valores precisos
 - Não é objeto da pesquisa apresentar os resultados da simulação com valores precisos que representem a realidade da bacia, e sim, demonstrar como a Dinâmica de Sistemas pode ser aplicada ao Processo de Gestão de Riscos, logo, os valores de parametrização inicial, que utilizaremos a seguir, são valores que ou foram encontrados na bibliografia, ou estimados pelos especialistas nas entrevistas, ou calibrados no modelo para realizar a simulação e a aplicação do modelo.

Capítulo 4

Aplicação do Método

A aplicação do método da dinâmica de sistemas ao processo de gestão de riscos apresentados neste Tópico, está de acordo com os objetivos específicos da pesquisa.

4.1 Identificação dos Fatores de Riscos e suas Res- pectivas Relações causais

A articulação do problema e o estabelecimento do contexto foram realizados utilizando como referência Sánchez-Román [3] e Xu [128], acompanhado à proposta de Ganoulis [91] Figura 2.24, no Tópico 2.6. Assim, iniciou-se o desenvolvimento do modelo específico para a Bacia do Alto do Descoberto em Brasília Distrito Federal. O resultado dessa fase foi a criação do Diagrama de Loop Causal, processo esse que se deu com o auxílio de especialistas da EMATER-DF e ADASA por meio das entrevistas, e da escolha do recorte de fatores que possibilitassem a execução do modelo. O modelo conforme Figura 4.1, permite a identificação dos fatores de riscos e suas respectivas relações causais nessa primeira fase.

Os fatores que representam a Oferta de Água são: as Águas dos Afluentes, as Águas de Infiltração, e Águas de Retorno. São elas que garantem o Estoque de Água que é ofertado na Bacia do Alto do Descoberto, em Brasília DF. A Demanda Total de Água resulta da Demanda da População, somada com a Demanda Ambiental, Agrícola, Comercial, Indústria e do Setor Público. Há que se considerar ainda a água que é vertida quando o lago atinge seu pico de suporte hídrico, em que a água é liberada por meio do vertedouro para seu curso, e o processo de evapotranspiração, pois são variáveis que influenciam o balanço hídrico da bacia.

A partir de então, o modelo de simulação explícito do sistema de Recursos da Bacia do Descoberto foi formulado com o cálculo do balanço hídrico, da demanda, da oferta, e do

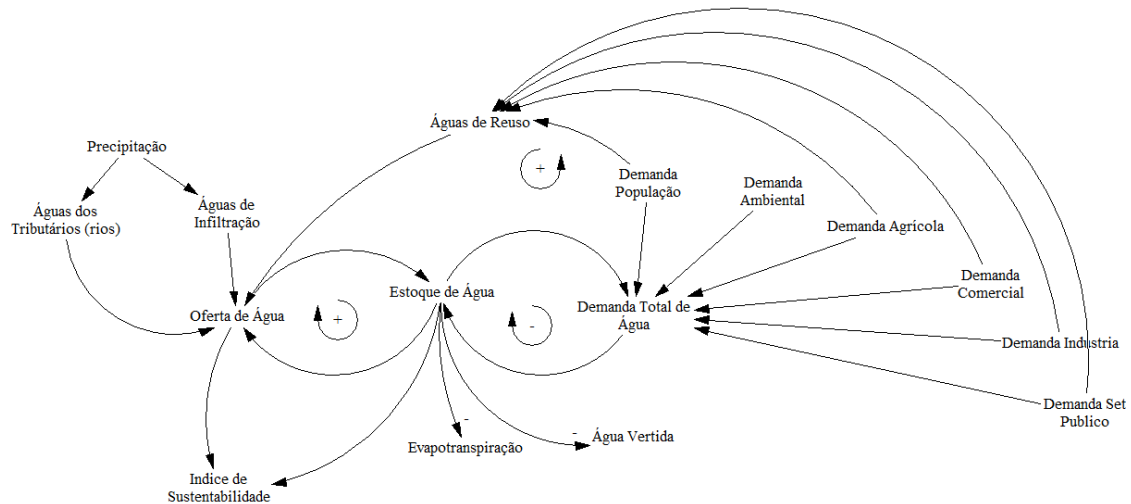


Figura 4.1: Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos.

índice de sustentabilidade, expressa com equação diferencial como proposto por Sánchez-Román [3] que são:

Balanco Hídrico:

$$BalancoHídrico(t) = \int_{t_0}^t [OfertadeÁgua(s) - DemandatotaldeÁgua(s)]ds + Estoque(t_0) \quad (4.1)$$

Demanda de Água:

$$DemandaTotaldeÁgua = DemandaPopulacao + DemandaIndustria + DemandaAgricola + DemandaComercial + DemandaSetPublico + (DemandaAmbiental * 86400 * 30) \quad (4.2)$$

Em que:

- O Balanco Hídrico (t): Balanco Hídrico no mês t ($m^3/mês$);
- Oferta de Água: Oferta total de água pela infiltração e pelos rios (Descoberto Chácara 89, Chapadinha, Aviário - DF180, Olaria - DF080, Rodeador - DF435, Capão Comprido, Ribeirão das Pedras e Rios do Goiás) - mês t ($m^3/mês$);
- Saída de Água (demanda ambiental): Volume de água descarregado para a jusante da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto - ($m^3/mês$);
- Demanda Total de Água: Volume total de água demandada pelas diversas atividades na Bacia Hidrográfica incluindo (População, Indústria, Comércio, Agricultura, Setor Público e Ambiental) - ($m^3/mês$);
- Demanda População: Total Requerido Pela População - ($m^3/mês$);
- Demanda Agricultura : Total Requerido Pela Agricultura - ($m^3/mês$);

- Demanda Comércio: Total Requerido Pelo Comércio - ($m^3/mês$);
- Demanda Setor Público: Total Requerido Pela Setor Público - ($m^3/mês$);
- Para transformar l/s para $m^3/mês$, faz-se necessário multiplicar por $24*60*60*60*30$ ou $(86400*30)$.

Com a conclusão dessa fase do processo de gestão de riscos, foi possível caracterizar, por diagramas causais, os fatores de riscos mais relevantes da bacia hidrográfica, reunir as informações relevantes, definir os parâmetros e os limites da análise, avaliando e explicando as suposições com especialistas de gestão de recursos hídricos. Um modelo conceitual do problema e dos contextos foi desenvolvido.

As ações realizadas nessa fase, correlacionam-se ao processo 6.3.2 - Definindo o escopo da ISO 31000, conforme apresentado do Tópico 2.5.4, Tabela 2.2. Essas ações foram sintetizadas no modelo de Diagrama de Loop Causal representado na Figura 4.1.

4.2 Análise das Relações de Estoque e Fluxo em Recursos Hídricos

Dentro da Bacia do Descoberto foram identificados seis grupos de fatores para modelar as relações de estoque e fluxo dos recursos hídricos do local que são:

- Balanço Hídrico: Composto pela Oferta e a Demanda;
- Oferta por Infiltração: Composto pela por todas as áreas de drenagem da bacia;
- Oferta pelos Tributário (rios): Composto pelo volume total dos afluentes da bacia;
- Demanda por Setores: Composto pela demanda total de água da indústria, comércio, setor público;
- Demanda da Agricultura: Composto pelos componentes do sistema de irrigação;
- Demanda da População: composto pelos componentes de crescimento populacional;

A Figura 4.2 apresenta as relações de estoque e fluxo do balanço hídrico da Bacia do Descoberto proposto neste trabalho.

Há que se destacar que:

- A variável (Vertedouro) é uma função que retira a água do balanço hídrico que excede a cota 1030;

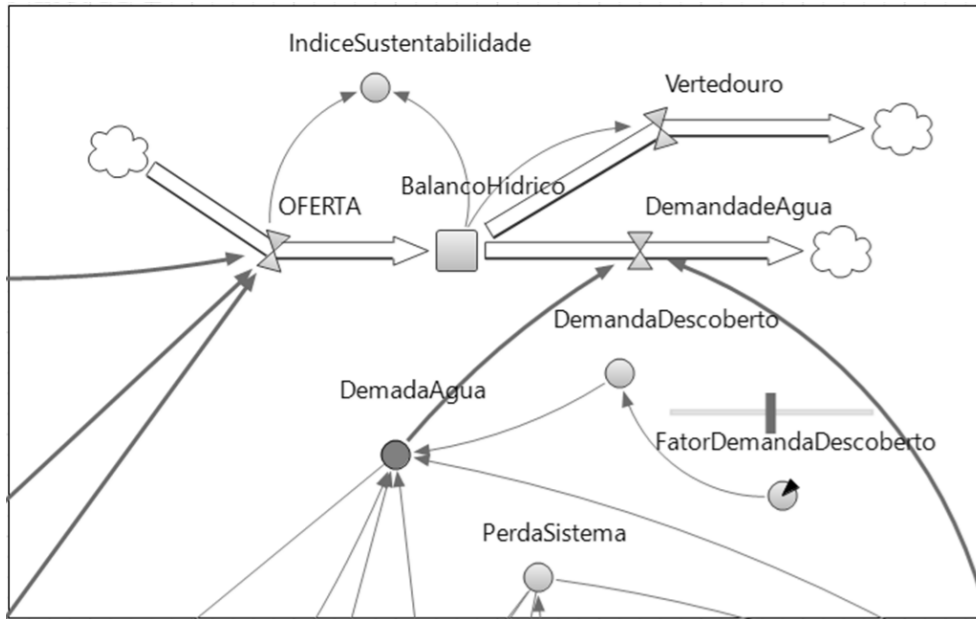


Figura 4.2: Fatores de Risco relacionado ao Balanço Hídrico do Modelo de Recursos Hídricos da Bacia do Alto do Descoberto.

- A variável (ÍndiceSustentabilidade) é dada pela fórmula, seguindo a literatura conforme destacado no Tópico 2.6 (Índice de Sustentabilidade), que é:

$$\hat{Índice de Sustentabilidade} = \text{Balanço Hídrico} / \text{Oferta} \quad (4.3)$$

- A variável Perda do Sistema foi estimada usando os dados informados pela CAESB, conforme Tabela 4.1.

ANO	Índice de perdas na distribuição (percentual em relação ao total captado)
2008	30,04
2009	27,67
2010	24,93
2011	24,8
2012	23,92
2013	27,27
2014	27,1
2015	35,19
2016	35,21
2017*	32,25

Tabela 4.1: Perda no Sistema de Distribuição de Água - * para 2018, os dados são referentes aos meses de janeiro a maio

Fonte: CAESB, maio/2018

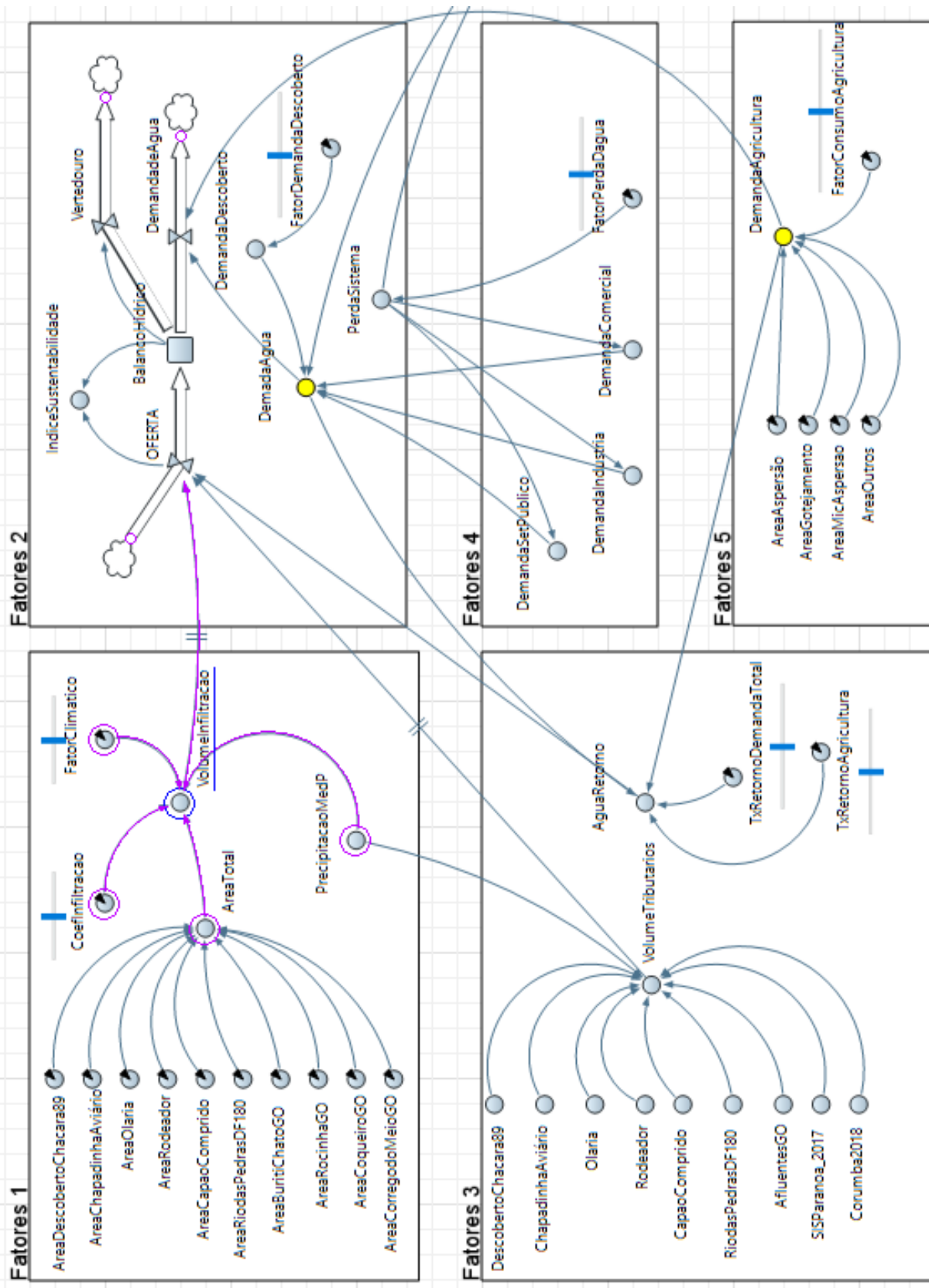


Figura 4.3: Modelo dos Fatores de Risco Relacionado ao Balanço Hídrico, Oferta e Demanda de Recursos Hídricos da Bacia do Alto do Descoberto.

Na Figura 4.3 estão identificadas as relações de estoque e fluxo dos fatores conforme segue:

- Fator 1: relações de estoque e fluxo da Oferta de Água relacionado à Infiltração. A fórmula para Cálculo do Volume de Infiltração Ofertado na Bacia é dada pela equação:

$$VolumeInfiltracao = (CoefInfiltracao * ((0.001 * PrecipitacaoMedP) * FatorClimatico) * AreaTotal) * 1000000 \quad (4.4)$$

O valor 0.001 é um fator para transformar a chuva que está em milímetros (nos dados iniciais do modelo) em metros [3].

FatorClimatico - É o Fator do Comportamento Climático (FCC) que definir um valor de influência na oferta de água. Os valores, conforme observa Sánchez-Román [3], devem ter as seguintes condições: $FCC \leq 1 \Rightarrow$ Clima Seco, $FCC > 1 \Rightarrow$ Clima Molhado, e $FCC = 1 \Rightarrow$ Clima Normal.

Para ser consistente o cálculo do volume de infiltração, esse valor deve estar em $m^3/mês$; é por isso que é multiplicado por 1.000.000. [3].

- Fator 3: relações de estoque e fluxo da Oferta de Água relacionado ao escoamento não superficial. A fórmula para Cálculo do Volume de escoamento é dado pela equação:

$$VolumeTributarios = (60 * 60 * 24 * 30) * (\text{vazão média mensal todos os tributários}) \quad (4.5)$$

A multiplicação pelo valor $(60*60*24*30)$ faz-se necessário para converter m^3/s para m^3 por mês.

- Fator 4: Relações de Estoque e Fluxo da Demanda de Água pela indústria, comércio e setor público. Para o Cálculo do Consumo desses setores, foi utilizado o dado da CAESB que:

Consumo comercial representa 6,48%, setor público: 2,71% e industrial: 0,57%. Esses valores são referentes ao volume total captado, ou seja é a demanda do Distrito Federal, e foram utilizados para estimar o consumo de cada setor.

- Fator 5: relações de Estoque e Fluxo relacionados a Agricultura. Para estimar o consumo de água da agricultura, utilizamos os dados da EMATER-DF de uma pesquisa realizada em 2017, em que o autor dessa dissertação participou, e teve

acesso aos dados. A fórmula, definida pelos especialistas da EMATER-DF, em conjunto com a ADASA e CAESB, foi:

$$DemandaAgricultura = (((AreaGotejamento + AreaAspersão + AreaMicAspersao + AreaOutros) * 0.814) * 60 * 60 * 24 * 30) / 1000) * FatorConsumoAgricultura \quad (4.6)$$

O fator 0.814 é um fator dado pelos especialistas em irrigação, que multiplicado pela área, corresponde ao volume em l/s de água necessária, levando em conta todos os tipos de cultivos realizado na bacia.

Ao multiplicar $60*60*24*30$, converte-se de l/s para l/mês, e ao dividir por 1000, transforma-se de l/s para m^3 /mês.

- A Figura 4.4 apresenta os fatores de riscos relacionados ao crescimento populacional, que impactam na demanda de água pela população.

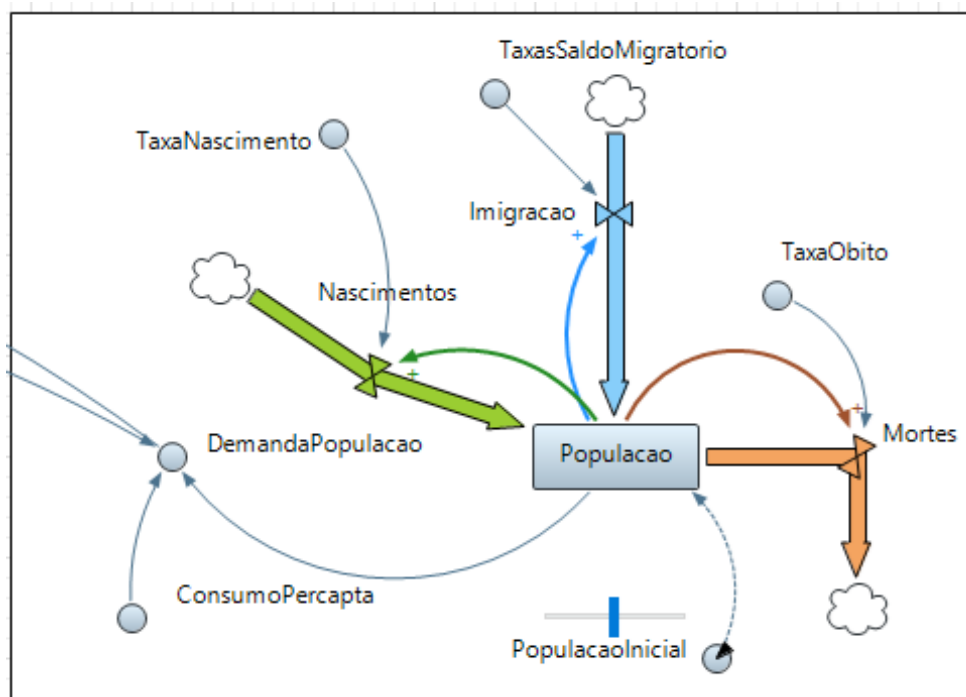


Figura 4.4: Fatores de Risco Relacionado à Demanda Hídrica da População na Bacia do Alto do Descoberto.

A fórmula para o Cálculo da Demanda Total da População é dada pela equação:

$$DemandaPopulacao = (Populacao * ConsumoPercepta * PerdaSistema) / 1000 \quad (4.7)$$

Onde:

Ano	l/hab./dia
2008	175,6
2009	170,4
2010	183,3
2011	187
2012	188,8
2013	189,91
2014	180,46
2015	153,7
2016	150,51

Tabela 4.2: Consumo Médio per cápita de Água por dia
 Fonte: CAESB, maio/2018

População - utilizou-se a projeção do crescimento populacional do DF até o ano de 2030, considerando a taxa de nascimento, saldo migratório e a taxa de óbito, conforme Anexo VI.1.

ConsumoPercepta - em relação ao cálculo da demanda per cápita / dia, a CAESB informou o consumo de água do Distrito Federal seguindo os valores contidos na tabela 4.2.

Perda do Sistema: para o cálculo da perda do sistema, utilizou-se a Tabela 4.1 conforme dados enviados pela CAESB.

Com a identificação dessas relações, concluímos que:

- A Oferta de Água tem relação com: Precipitação, Água de Infiltração, Água Escoramento não superficial e Água de Reuso.
- A Demanda de Água, tem relação com as variáveis: Demanda População, Demanda Ambiental, Demanda Agrícola, Demanda Comercial, Demanda do Setor Público, Demanda Indústria e Demanda da Agricultura.
- Água de Reuso é um fator relevante por considerar a água que é coletada e reconduzida ao sistema hídrico para ser reutilizada. Ela é composta pela água de retorno tratada das variáveis: Demanda População, Demanda Agrícola, Demanda Comercial, Demanda do Setor Público, Demanda Indústria e Demanda da Agricultura.
- A Evapotranspiração, que também é um fator relevante e exerce influência no balanço hídrico, é a soma da evaporação da água no espelho d'água do reservatório.
- A Água Vertida, representa o limite da Barragem do Descoberto que é a cota 1030. Quando a água atinge essa marca, ela é descartada, ou seja, vertida pela barragem, seguindo seu curso. Toda água acima da cota 1030 deve ser desconsiderada.

- O Fator estoque de Água, composto na diferença da Água Total Ofertada pela Água Total Demandada, é um fator fundamental na definição do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. Este fator, é também uma variável importante, conforme o trabalho de Xu [128] comentado no Tópico 2.6, sub tópico (Índice de Sustentabilidade), pois permite a análise de risco de uma bacia utilizando-se o índice de sustentabilidade.

Nessa fase de análise das relações de estoque e fluxo em recursos hídricos, foi formulado o modelo de simulação, estimando-se os parâmetros e definindo as condições iniciais. Vários testes foram realizados para verificar a aplicabilidade do modelo.

A Figura 4.5 apresenta a série de cotas Simuladas do Reservatório, compreendendo o período de 2004 a 2018. A Figura 4.6 apresenta a série de cotas do reservatório registradas no último dia de cada mês, no período de janeiro de 1988 a dezembro de 2016. Ao comparar a cota simulada com a cota real, ainda que a cota real compreende um período superior, de 1988 a 2016, e a cota simulada apenas o período de 2004 a 2018, o destaque na Figura 4.6 demonstra uma proximidade entre esse período simulado e o mesmo período na série de cotas real.

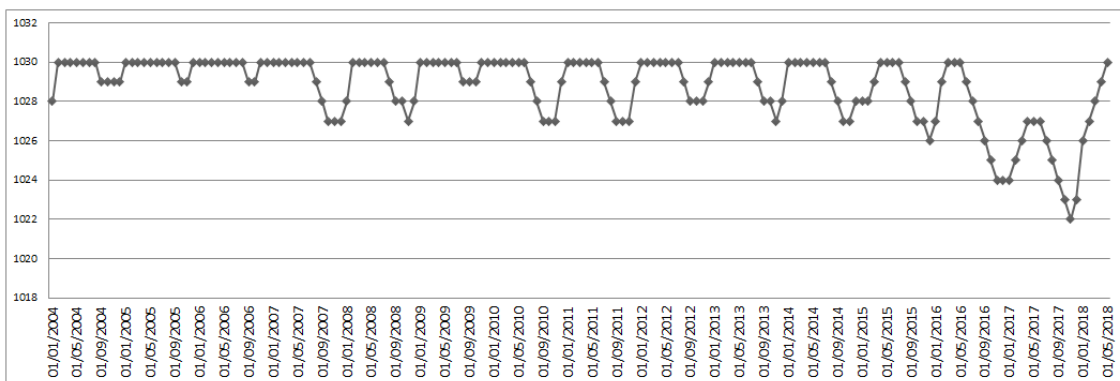


Figura 4.5: Cota Simulada do Reservatório - Simulando 5.282 dias

Fonte: Consolidado Estatístico da ADASA, junho/2018.

Com a conclusão dessa fase, foi possível identificar as relações de estoque e fluxo em recursos hídricos, e fazer a identificação de eventos internos e externos que potencialmente afetam a realização dos objetivos. Múltiplas perspectivas foram consideradas na identificação de riscos como os relacionados a feedback e ao atraso.

Nessa fase, a base de dados da bacia do Alto do Descoberto foi utilizada para calibrar o modelo, como o demonstrado no histórico de cotas, e vários testes foram realizados com o objeto de gerar uma lista dos fatores de riscos mais relevantes à gestão dos recursos hídricos da Bacia do Descoberto.

Foram entrevistados um especialista da ADASA, um especialista da Secretaria de Agricultura do DF - Seagri, três especialistas da EMATER-DF, um doutor e especialista

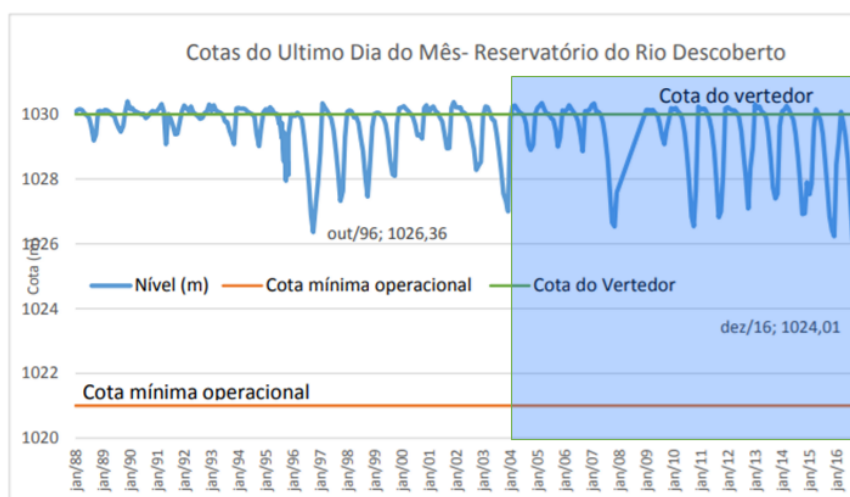


Figura 4.6: Cotas do Reservatório no Último Dia do Mês (1988-2016)
 Fonte CAESB, maio/2018

em Engenharia de Água e Solo e Engenharia Hidráulica com especialidade em Ciências Agrárias. O modelo foi apresentado aos especialistas, que deram feedbacks, sugestões de ajustes e melhorias, e por fim, fizeram a validação do modelo.

A partir dessas entrevistas, forças significativas foram identificadas, conforme o modelo fora estruturado, dessa maneira, um conjunto de riscos foram estabelecido.

O subproduto mais relevante dessa fase, concretizou-se na conclusão da elaboração do modelo em dinâmica de sistemas, estoque e fluxo, incluindo suas interações conforme a Figura 4.3.

As ações realizadas nessa fase, correlacionam-se ao processo 6.4.2 Identificação de riscos da ISO 31000, conforme apresentado do Tópico 2.5.4, Tabela 2.2. Essas ações foram sintetizadas no modelo de Estoques e Fluxos.

4.3 Tratando Incertezas

Conforme destacado no Tópico 2.4, um dos avanços significativos da história do risco foi o desenvolvimento de técnicas e ferramentas que possibilitam medir a incerteza. Para tanto, faz-se necessário identificar quais riscos devemos correr? Quais riscos devemos evitar? Quais informações são relevantes? Quão confiantemente sustentamos nossas crenças sobre o futuro?

Para que o modelo de simulação proposto responda perguntas como essas, foram definidas duas variáveis consideradas de grande influência no modelo, e que são fontes de incerteza para o futuro da gestão de recursos hídricos. Essas variáveis são: Precipitação Média e Vazão Média dos Tributários.

A precipitação, conforme destacou o especialista em hidrologia da ADASA, em uma das entrevistas realizadas, é um dos fatores de risco mais relevantes para um sistema hídrico, uma vez que ele é altamente incerto. O gráfico da Figura 4.7, com base nos dados enviados da ADASAS, que analisa um período de 173 meses de chuva no Distrito Federal entre 2004 e 2018, demonstra como é a distribuição de chuva.

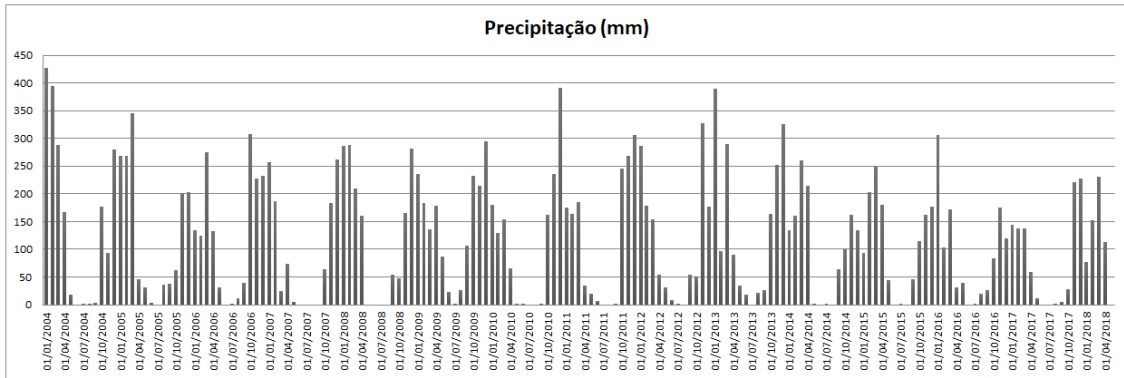


Figura 4.7: Precipitação Média Mensal Real
 Fonte: Consolidado Estatístico da ADASA, junho/2018

Se comparar todos os valores de um único mês no período, é perceptível a variância no volume de precipitação. A Figura 4.8 mostra como varia a chuva quando comparado todos os meses de janeiro entre 2004 e 2018.

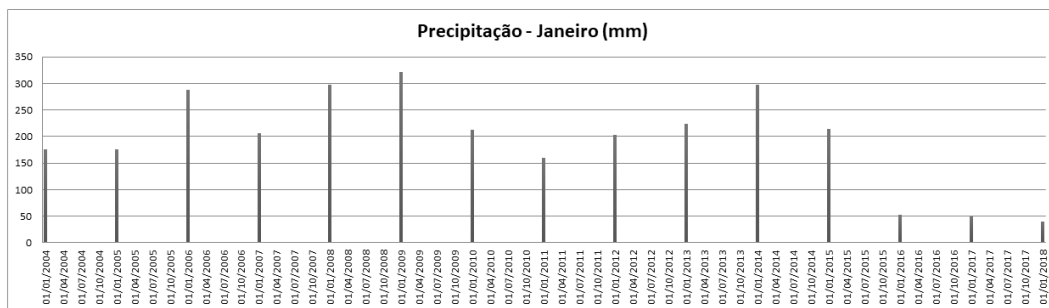


Figura 4.8: Precipitação Média (mm) Mensal Real - Meses de janeiro
 Fonte: Consolidado Estatístico da ADASA, junho/2018

Assim, foi necessário criar uma função probabilística, conforme já explicado no Tópico 3.8 em que é destacado a Tabela Funções, indicando uma variável probabilística customizada, para identificar o mês da simulação, e fazer uma escolha a ser calculada no modelo aleatoriamente. A Figura 4.9 apresenta o resultado de uma simulação de chuva até o ano de 2030. O sistema *Anylogic* utiliza o dado passado, criar uma função probabilística que mais se encaixa na variação do mês e atribui um valor aleatório para a simulação.

A Vazão Média dos Tributários foi a segunda variável utilizada seguindo a mesma metodologia utilizada na precipitação. Conforme destaca Figura 4.10 o volume total dos

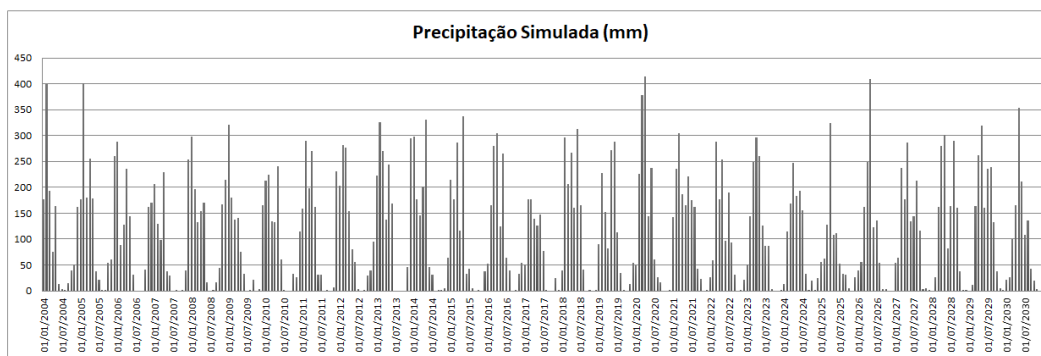


Figura 4.9: Precipitação Média mensal (mm) de todos os meses de janeiro
 Fonte: Consolidado Estatístico da ADASA, junho/2018.

tributários do Lago do Descoberto apresenta incerteza, uma vez que esta variável é totalmente influenciada pela variável chuva, seguindo por outros fatores, como a quantidade de água retirada no curso do rio.

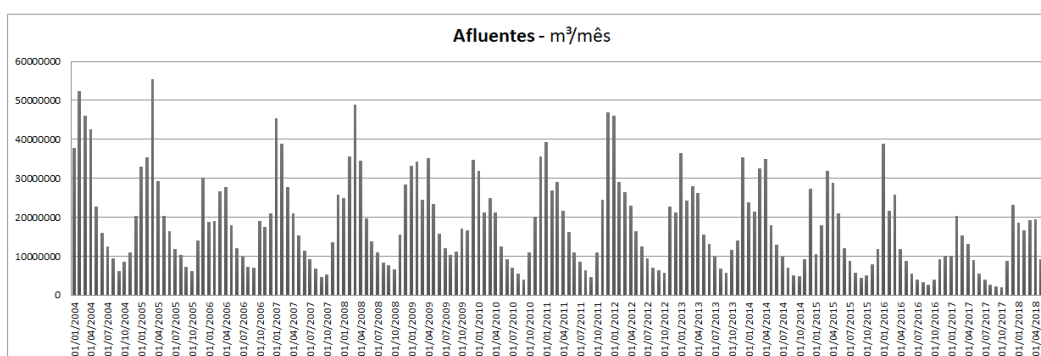


Figura 4.10: Vazão Média (m^3) Real.

Utilizando a simulação, conforme mostra a Figura 4.11, foi possível gerar valores para a vazão média até o ano de 2030.

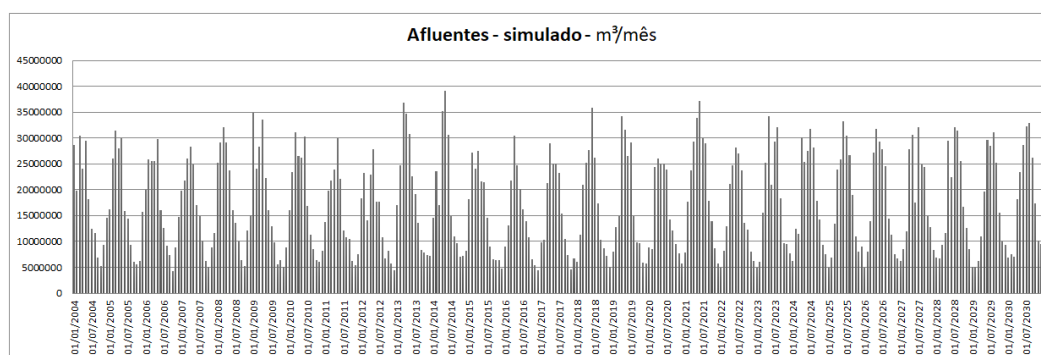


Figura 4.11: Vazão Média Simulada - (m^3) 2004 a 2030.

Uma vez que a administração de risco maximiza as áreas onde temos certo controle sobre o resultado, enquanto minimizamos as áreas onde não temos absolutamente nenhum controle sobre o resultado e onde o vínculo entre o efeito e causa está oculto. Atribuir essas duas variáveis aleatórias ao modelo, permite, como destaca Bernstein [1] “calcular a incerteza”, e definir política que ou minimize o efeito das incertezas, ou maximize o potencial das variáveis que se tem certo controle.

4.4 Instrumentalizando a Proposição de Políticas de Gestão de Risco em Recursos Hídricos

Com o resultado das etapas já apresentadas, e a validação do modelo, foi criado um Painel de Parametrização com os principais fatores de riscos identificados, em que o especialista de gestão de riscos pode, antes de executar o modelo, definir os parâmetros para ver o resultado na execução do modelo. A Figura 4.12 mostra o Painel para realizar a parametrização antes de executar o modelo. O especialista pode definir parâmetros para testar políticas na gestão de riscos nos recursos hídricos. Mostram também, a possibilidade de parametrizar oito variáveis, possibilitando conferir o impacto de cada mudança no momento da execução. Os parâmetros que podem ser alterados em tempo de execução são: 1) CoefInfiltracao; 2) FatorClimatico; 3) FatorDemandaDescoberto; 4) TxRetornoDemandaTotal; 5) TxRetornoAgricultura; 6) FatorPerdaDagua; 7) FatorConsumoAgricultura e 8) PopulacaoInicial.

4.5 Simulando e Calculando o Risco

Considerações relevantes para a simulação aqui apresentada:

- Não foi possível identificar todos os dados necessários para realização da simulação que representassem a realidade do sistema hídrico da Bacia do Alto Descoberto no Distrito Federal. O motivo é porque o dado não foi identificado em documentos ou bibliografias disponíveis, ou os especialistas não tinham as informações precisas. Um exemplo é o Índice de Infiltração da Bacia. Conforme destaca um dos especialistas em uma entrevista: “...esse dado preciso para a Bacia do Descoberto, não temos”.
- Não é objeto da pesquisa apresentar os resultados da simulação com valores precisos que representem a realidade da bacia, e sim, demonstrar como a Dinâmica de Sistemas pode ser aplicada ao Processo de Gestão de Riscos, logo, os valores de parametrização inicial, que utilizaremos a seguir, são valores que ou foram encontra-

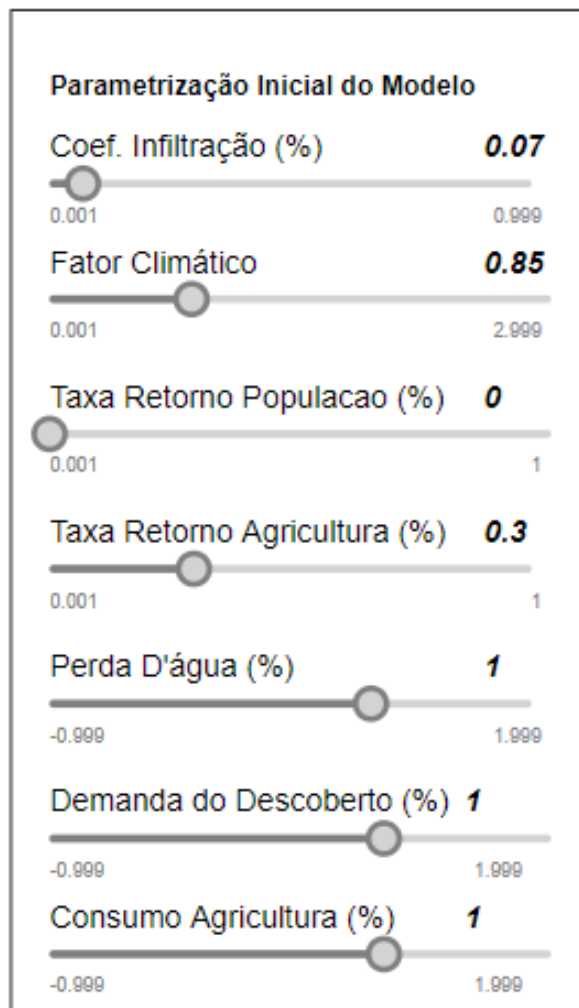


Figura 4.12: Tela de Parametrização do Modelo

dos na bibliografia, ou estimados pelos especialistas nas entrevistas, ou calibrados no modelo para realizar a simulação e a aplicação do modelo.

A aplicação do método, porém, utilizando o software *AnyLogic*, permitiu identificar uma série de ferramentas e técnicas como: otimização e variação de parâmetro, calibração do modelo, comparação de execuções, análise de sensibilidade, ferramentas essas que ampliam a capacidade de aplicação do método [146]. A Figura 4.13 apresenta uma simulação utilizando calibração de parâmetro, que foi realizada junto com o especialista para calibrar um valor estimado para o coeficiente de infiltração.

Dadas as considerações, apresentamos os resultados de uma simulação como ilustração, demonstrando como o modelo pode ser utilizado na gestão de riscos dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Para a simulação a seguir, utilizaram-se os seguintes parâmetros iniciais:

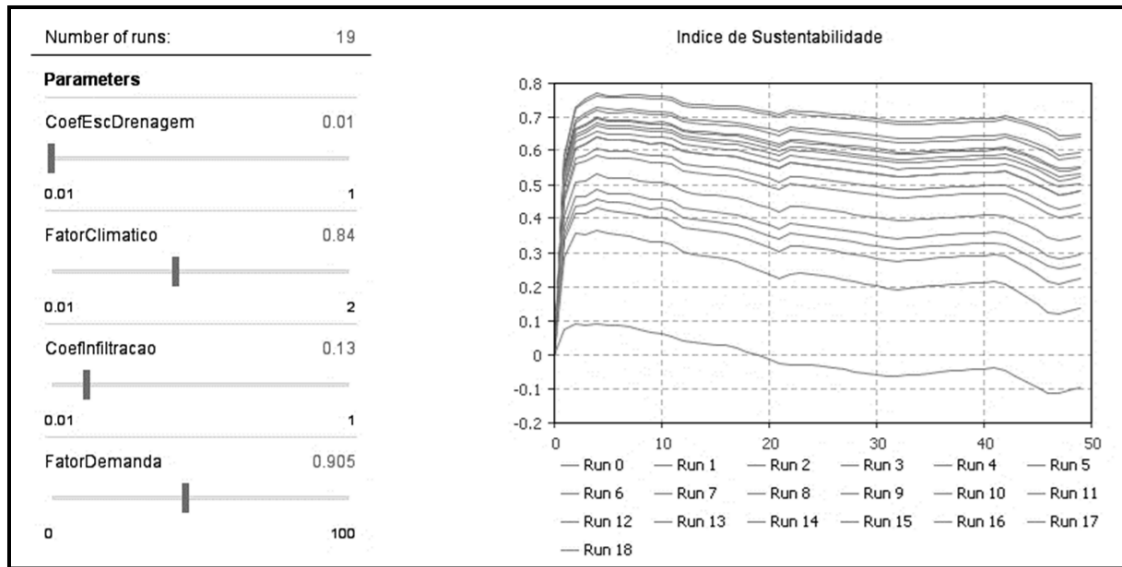


Figura 4.13: Aplicação da Técnica de Calibração de Parâmetro para estimar o Coeficiente de Infiltração com o Especialista.

- Coeficiente de Infiltração = 0.070 - (valor estimado pelo especialista / calibrado no modelo);
- Taxa Retorno Agricultura = 0.30 - (valor estimado pelo especialista);
- Taxa Retorno Demanda Total = 0 - (valor estimado pelo especialista);
- Fator Climático = 1 - (valor estimado pelo especialista);
- Consumo Médio per cápita = Consumo informado pela CAESB, Tabela 4.2;
- Projeção do Crescimento Populacional = utilizou-se a projeção do crescimento populacional do DF até o ano de 2030, considerando a taxa de nascimento, saldo migratório e a taxa de óbito, conforme dados do IBGE - Anexo VI.1;
- Área Total de Drenagem = Conforme dados da CAESB - $437km^2$ ver Tabela 3.1;
- Volume dos Tributários = Dados da ADASA, conforme Figura 4.10;
- Demanda da Agricultura = Dados da EMATER-DF;
- Demanda da Indústria, Comércio, Setor Público = Dados retirados do Plano Integrado de Enfrentamento a Crise Hídrica - Governo do Distrito Federal Distrito Federal [5];
- Perda D'Água = Foram utilizados os Dados informados pela CAESB, conforme Tabela 4.1.

As Figuras: 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19 mostram o resultado de uma simulação utilizando os valores parametrizados informados neste tópico. Há que se destacar a Figura 4.19 em que o sistema apresenta uma tendência de insustentabilidade, demonstrando uma insuficiência no sistema a partir de 2028.

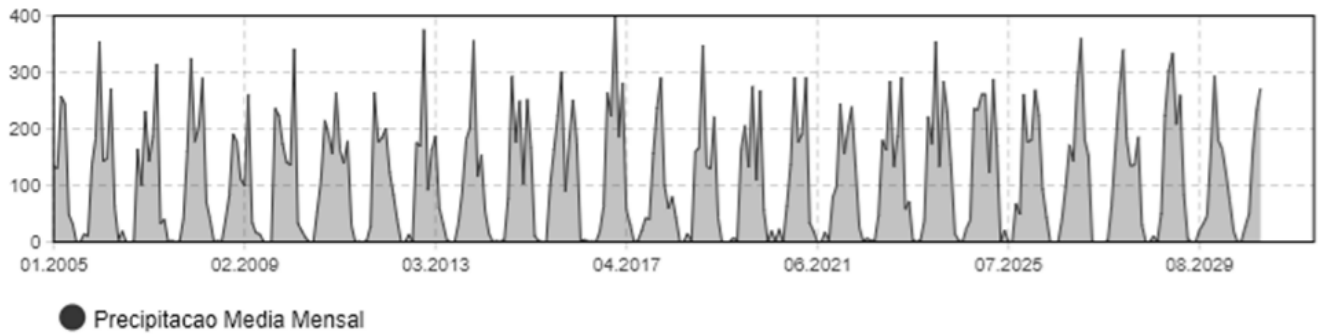


Figura 4.14: Precipitação Simulada mm/mês - Período 2005-2030

A simulação da Figura 4.14 foi realizada utilizando-se de uma variável probabilística no *AnyLogic* baseado na série histórica de precipitação informada pela ADASA.

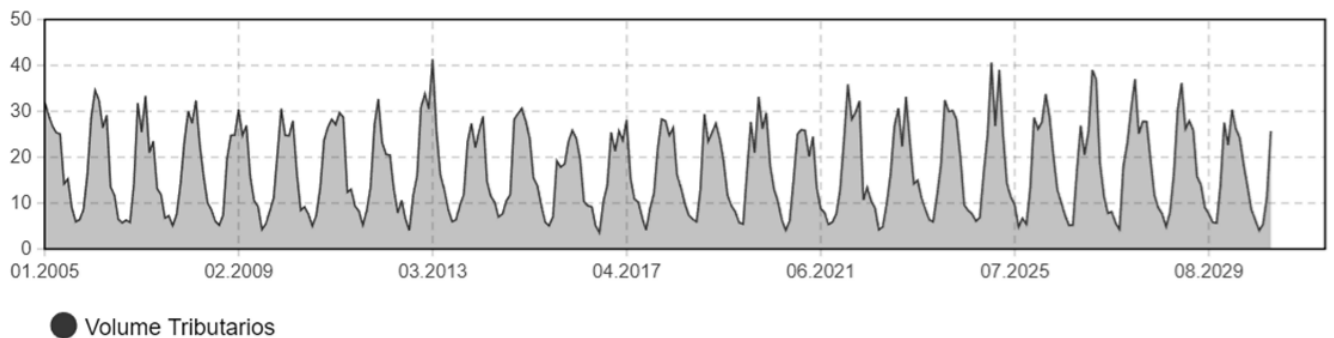


Figura 4.15: Vazão total dos Tributários Simulada (Descoberto chácara 89, Chapadinha Aviário - DF180, Olaria - DF080, Rodeador - DF435, Capão Comprido, Ribeirão das Pedras e Outros Afluentes GO) - m^3 /mês - Período 2005-2030

A simulação da Figura 4.15 foi realizada utilizando-se de uma variável probabilística no *AnyLogic* baseado na série histórica de precipitação e volume de cada tributário, baseado nos dados informados pela ADASA.

A simulação da demanda da população, Figura 4.17, foi realizada utilizando-se os dados simulados da Precipitação Média Mensal, e do índice de infiltração estimado informado pela ADASA. A simulação considerou a projeção de crescimento populacional obtidos no IBGE, do histórico de perda d'água e da demanda *per cápita*, dados esses informados pela CAESB.

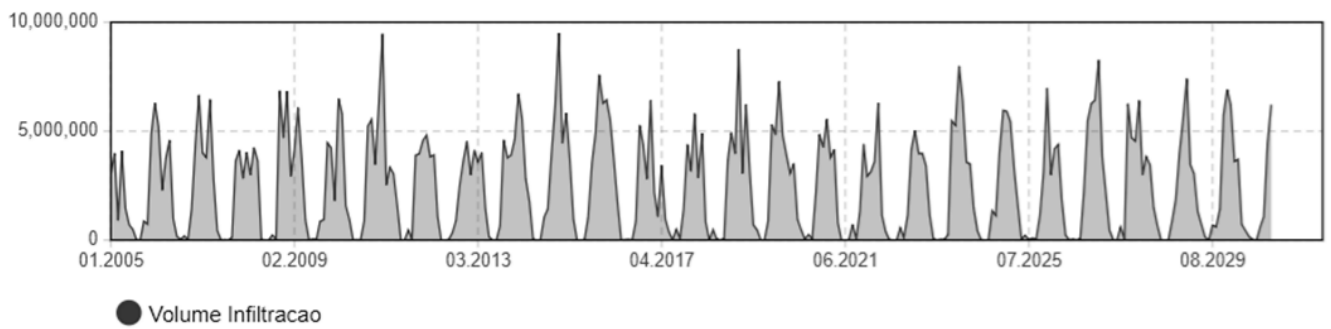


Figura 4.16: Volume Infiltrado Simulado - $m^3/mês$ - Período 2005-2030

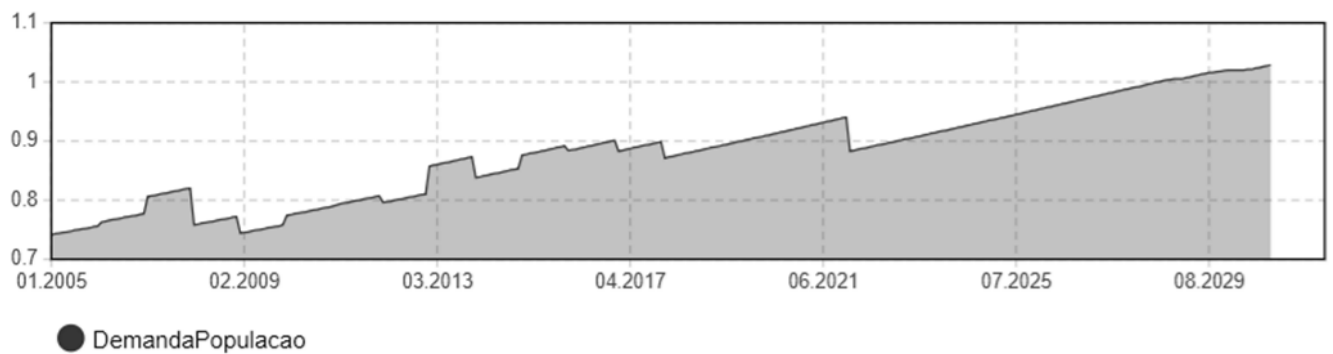


Figura 4.17: Demanda Simulada da População - $1.000.000 m^3/mês$ - Período 2005-2030.

A simulação do balanço hídrico, Figura 4.18, considerou a oferta de água simulada, e a demanda total de água incluindo população, comércio, indústria, setor público e a agricultura. O gráfico aponta, com base nos dados estimados, que haverá insuficiência de água a partir de 2028.

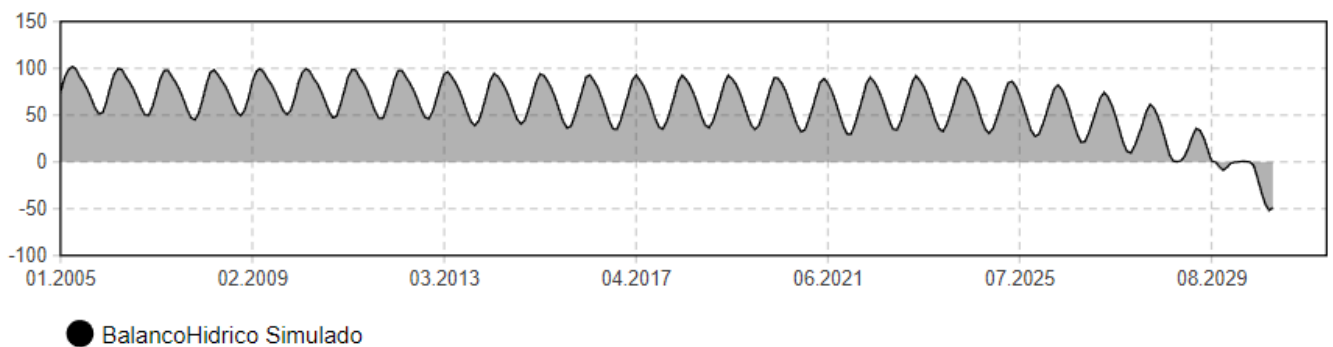


Figura 4.18: Balanço Hídrico Simulado - $1.000.000 m^3/mês$ - Período 2005-2030.

O cálculo do índice de sustentabilidade, Figura 4.19 foi realizado utilizando-se a equação: Balanço Hídrico / Oferta. O gráfico apresenta que o sistema se tornará insustentável a partir de 2028.

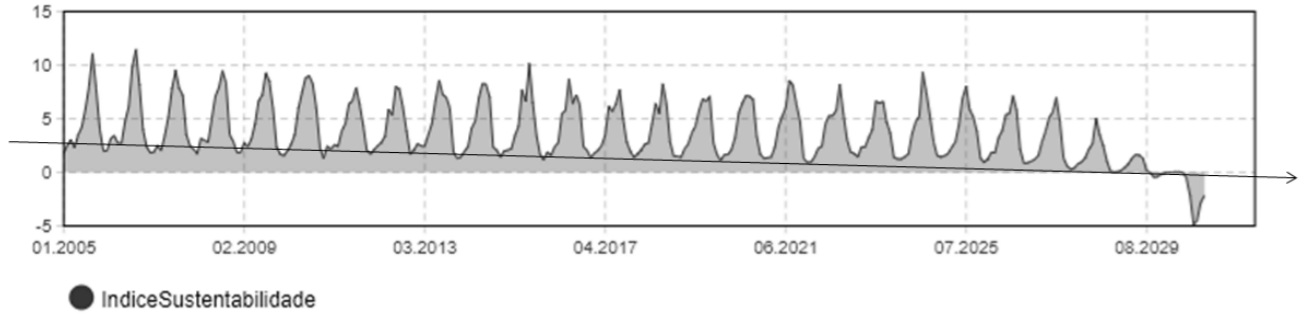


Figura 4.19: Índice de Sustentabilidade - Período 2005-2030.

Apresentamos três índices para mensurar os riscos no sistema. Para tal, são definidos inicialmente alguns indicadores do comportamento do sistema, do ponto de vista da variação do Índice de Sustentabilidade no Tempo.

Esses índices estão baseados no trabalho apresentado em [127, 128] já analisados no Tópico 2.6 e adaptado a esta pesquisa.

Para referência, quanto ao Índice de Sustentabilidade (IS), consideraremos os valores propostos por Xu [128] referenciado na pesquisa de Sánchez-Román [3] em que para IS superiores a 0,2 existe um baixo ou nenhum estresse de abastecimento de água, isso significa que a demanda de água é menor ou igual a 80% do potencial de abastecimento da bacia. Quando IS é menor que 0,2, apresenta-se uma condição de vulneráveis, ou seja, a demanda de água é maior que 80% do potencial de abastecimento. Se IS for zero, indica que o abastecimento de água é insustentável, ou seja, é igual ou excede toda a oferta de água disponível.

Segue o modelo adaptado para mensurar o risco:

Sejam S_t , o valor do índice de sustentabilidade no instante t , e T , o horizonte de tempo da simulação, definem-se:

α_I = Proporção do tempo em que o sistema permanece em condições satisfatórias.

$$\alpha_I = P[S_t > 0, 2] \quad (4.8)$$

$$\alpha_I = \frac{\sum_{t=1}^T I_t}{1} \quad (4.9)$$

em que:

$$IS = \begin{cases} 1, & \text{se } S_t > 0, 2 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.10)$$

α_E = Proporção do tempo em que o sistema permanece em estado de estresse.

$$\alpha_E = P[0 \leq S_t \leq 0, 2] \quad (4.11)$$

$$\alpha_E = \frac{\sum_{t=1}^T I_t}{T} \quad (4.12)$$

Em que:

$$\alpha_E = \begin{cases} 1, & \text{se } 0 \leq S_t \leq 0, 2 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.13)$$

α_S = Proporção do tempo em que o sistema não está insustentável.

$$\alpha_S = P[S_t \geq 0] \quad (4.14)$$

$$\alpha_S = \alpha_I + \alpha_E \quad (4.15)$$

$1 - \alpha_S$ = proporção do tempo em que o sistema está insustentável.

$$1 - \alpha_S = P[S_t < 0] \quad (4.16)$$

β_E = Proporção do tempo em que o sistema se recupera da entrada em um estado de estresse.

$$\beta_E = P[S_t > 0, 2 | 0 \leq S_{t-1} \leq 0, 2] \quad (4.17)$$

$$\beta_E = \begin{cases} \frac{1}{N_E \sum_{i=1}^{N_E} E_i}, & \text{se } N_E \neq 0 \\ 1 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.18)$$

em que N_E é a quantidade de vezes que o sistema entra em stress, e E_i é a quantidade de passos de tempo em que o sistema permanece no estado da i -ésima entrada em estresse, e ao final, não decai em estado de insustentabilidade.

β_X = Proporção do tempo em que o sistema se recupera da entrada em estado de insustentabilidade

$$\beta_X = P[S_t \geq 0 | S_{t-1} < 0] \quad (4.19)$$

$$\beta_X = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{N_X} \sum_{i=1}^{N_X} X_i}, & \text{se } N_E \neq 0 \\ 1 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (4.20)$$

em que N_X é a quantidade de vezes que o sistema entra em estado de insustentabilidade, e X_i é a quantidade de passos de tempo em que o sistema permanece no estado da i -ésima entrada em insustentabilidade.

β_z Proporção do tempo em que o sistema se recupera para performance satisfatória, depois de ter entrado em qualquer situação de *performance* insatisfatória.

$$\beta_Z = P[S_t > 0, 2 | S_{t-1} \leq 0, 20] \quad (4.21)$$

$$\beta_z = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{N_z} \sum_{i=1}^{N_z} Z_i}, & \text{se } N_E \neq 0 \\ 1 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (4.22)$$

em que N_Z é a quantidade de vezes que o sistema entra em qualquer estado insatisfatório, e X_i é a quantidade de passos de tempo em que o sistema permanece no estado da i -ésima entrada em estado insatisfatório.

γ é considerado a equação da Vulnerabilidade do Sistema. Neste trabalho, esse valor é um parâmetro que o especialista poderá colocar no sistema, considerando qual a vulnerabilidade do sistema.

Assim, temos:

β_z a equação do risco de Insustentabilidade, que é dada pela fórmula:

$$R_I = w_1(1 - \alpha_s) + w_2(1 - \beta_x) + w_3.\gamma \quad (4.23)$$

Equação do risco de Estresse:

$$R_E = w_1(1 - \alpha_E) + w_2(1 - \beta_E) + w_3.\gamma \quad (4.24)$$

Equação do risco de Performance insatisfatória:

$$R_S = w_1(1 - \alpha_I) + w_2(1 - \beta_Z) + w_3.\gamma \quad (4.25)$$

em que w_1 , w_2 e w_3 são pesos que precisam ser predeterminados. Seguindo a proposta de Zongxue [126], Jinno [127], foi considerado para este trabalho o mesmo valor para todos, ou seja, $w_1 = w_2 = w_3 = 1/3$.

Adaptadas as equações para o calcular o risco no sistema proposto, temos:

- α_I Proporção do tempo em que o sistema permanece em condições satisfatórias, considerada a confiabilidade do sistema;
- α_E Proporção do tempo em que o sistema permanece em estado de estresse;
- α_S Proporção do tempo em que o sistema não está insustentável;
- $1 - \alpha_S$ Proporção do tempo em que o sistema está insustentável;
- β_E Proporção do tempo em que o sistema se recupera da entrada em um estado de estresse - considerando a Resiliência e o Estresse do Sistema;
- β_X Proporção do tempo em que o sistema se recupera da entrada em estado de insustentabilidade - considerando a Resiliência e a Insustentabilidade;
- β_z Proporção do tempo em que o sistema se recupera para performance satisfatória, depois de ter entrado em qualquer situação de performance insatisfatória - considerado a Resiliência Total;
- R_I - a equação do Risco de Insustentabilidade;
- R_E - a equação do Risco de Estresse;
- R_S - a equação do Risco de Performance insatisfatória.

Para aplicação das fórmulas ao modelo, foi desenvolvido um algoritmo cujos códigos fontes encontram-se no Anexo V.1. O painel da Figura 4.20 foi criado para apresentar o resultado da simulação, demonstrando a possibilidade de utilizar a Dinâmica de Sistemas para medir o Risco de Índice de Sustentabilidade, conforme mostrado na Figura 4.19.

Considerando a aplicação do modelo proposto neste tópico, temos: Ao analisar 316 meses, o sistema considera confiável em 91% do tempo. O modelo identificou que o sistema entra para o nível de estresse 3 vezes, ficando 3 meses nesse estado, e entra para o nível insustentável 2 vezes, ficando 21 meses, sem capacidade de retornar. Se considerar que o sistema falha quando ele entra no estado de estresse mais às vezes que ele entra no estado de insustentabilidade, o nível de resiliência é de 0,172, e o risco de insustentabilidade é de 0,438%.

Destaca-se que o valor da vulnerabilidade hídrica foi dado por um especialista, considerando 48%, valor esse que pode ser calculado, conforme fórmula apresentada no Tópico referente à análise de riscos 2.6, porém, por questões de objetividade, ele não será desenvolvido nesta pesquisa.

Concluimos, assim, com o quadro proposto na Figura 4.20, ilustrando como é possível aplicar a Dinâmica de Sistemas, realizar a simulação e aplicar uma métrica para medir o risco do sistema hídrico.


Total de Meses Simulados	Sistema Satisfatório	Sistema Entrou em Stress	Sistema Entrou Insustentável	Qtd vezes Ficou em Stress	Qtd vezes Ficou em Insustentável
316	288	3	2	3	22
Confiabilidade do Sistema: 0.911		Resiliência do Sistema: 0.172		Vulnerabilidade Hídrica da Bacia: 0.4	
Índice de Risco de Insustentabilidade 0.438				Considerar para Cálculo do Risco <input type="radio"/> Só Insustentabilidade <input checked="" type="radio"/> Stress + Insustentabilidade	

Figura 4.20: Análise do Risco

4.6 Validação do Modelo com Especialistas

O processo de validação não deve ser feito pelo modelador apenas (ou pesquisador), a interação com o cliente (ou usuário) desempenha um papel importante na construção de um modelo válido e no estabelecimento de sua credibilidade [148]. Faz-se necessário destacar também outra questão relevante quanto a saída do modelo, uma vez que essa poderá desviar da saída do sistema real e ainda permanecer válida [149]. Sendo o objetivo do modelo a aproximação da realidade, alguns erros e aproximações são inevitáveis, e a validação do modelo estabelece um ponto em que o modelador e o usuário do modelo se dão por satisfeito, e o modelo é considerado válido [148].

Após a realização de três rodadas de apresentação do modelo, sendo que na primeira rodada, buscou-se identificar os fatores de riscos relacionados à Bacia do Descoberto, na segunda rodada, foi apresentado o modelo, e foram realizados ajustes baseados nas sugestões dos especialistas, e, na terceira rodada, houve apresentação do resultado final do modelo.

As apresentações foram realizadas com: 1) Gerente da Gerência de Meio Ambiente da EMATER-DF, 2) Secretário da SEAGRI-DF, 3) Engenheiro Agrônomo, Coordenador do Programa de Olericultura do Distrito Federal, e especialista em Irrigação, 3) Gerente Regional e coordenador do Plano de Enfrentamento da Crise Hídrica na Bacia do Descoberto, 4) Diretor da ADASA, especialista em Hidrologia do Distrito Federal.

Após as apresentações, foi encaminhado o questionário semi-estruturado, conforme Anexo IV.1, buscando identificar a relevância do modelo matemático para o tomador de decisão em gestão de risco nos recursos hídricos nos níveis estratégico, tático, e operacional. No nível estratégico, buscou-se identificar a relevância do modelo aos formuladores de políticas públicas e decisões da gestão hídrica. No nível tático, objetivou-se identificar a relevância no desenvolvimento de projetos a médio e longo prazo, envolvendo a gestão de recursos hídricos, e no nível operacional, identificou-se a relevância do modelo no âmbito sócioeconômico e na prevenção de riscos na agricultura. Buscou-se ainda, identificar como

o modelo pode apoiar no processo de decisão da Gestão de Riscos em Recursos Hídricos.

Respostas dos Especialistas

- **Relevância no nível estratégico:**

- R1 - Mediante as grandes dificuldades emergentes, em especial no contexto das dinâmicas que configuram a utilização dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, faz mister a intervenção imediata por meio de políticas públicas para mitigar os impactos ambientais produzidos pela ação antrópica. Inadmissível a utilização dos recursos naturais de forma desorganizada e predatória sem pensar nos limites da sua capacidade de sustentação. A mudança do atual modelo de desenvolvimento pela necessidade de evitar riscos catastróficos, seja econômico, seja ambiental, exigiu dos gestores ambientais a aplicabilidade urgente e imediata de políticas públicas com respostas eficientes quanto à sustentabilidade das bacias hidrográficas. Sendo assim, numa visão de conversão dos rumos, como alternativa de conservação e continuidade dos recursos naturais, interagindo com diferentes áreas econômicas, sociais e ambientais, faz-se necessário a criação de ferramentas precisas e aplicáveis que possam planejar e mensurar as ações .
- R2 - De um modo geral, dirigentes tomam decisões estratégicas perante dilemas que lhes permitam avaliar a relação custo-benefício de cada alternativa. Nesse sentido, uma ferramenta como esta, à medida que oferece termos claros de comparação, inclusive gameificados de modo a possibilitar a medição da intensidade dos resultados de cada decisão, só pode ser considerada de elevada importância. Trata-se, ao cabo, de sustentar cientificamente uma decisão política.
- R3 - A ferramenta proposta pode ser utilizada de forma estratégica pelos gestores, juntamente com as informações climatológicas, para tomadas de decisões governamentais que possam mitigar os efeitos de adversidades temporais e locais no âmbito do Distrito Federal.
- R4 - Os formuladores de políticas públicas precisam se basear em informações conjunturais confiáveis e multifatoriais no planejamento. O modelo proposto une os fatores relevantes no que se refere à disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica e fornece informações que certamente reduzirão a possibilidade de erros na formulação dessas políticas.
- R5 - Extremamente importante na perspectiva de ser um valioso instrumento para apoiar a tomada de decisão, tanto no enfretamento de possíveis crises

hídricas, bem como na melhoria dos processos de gestão dos recursos hídricos, possibilitando maior suporte planejado para uso sustentável deste recurso de sorte a atender a população em geral nos múltiplos usos a que se destina, tais como: irrigação, hidroeletricidade, abastecimento humano, dessedentação de animais, dentre tantos outros.

- **Relevância no nível tático**

- R1 - Em todos os projetos são necessários dar as devidas justificativas para demonstrar a sua importância. Quando você tem como justificativa um aplicativo “rodando” com muitas variáveis, fica muito mais fácil de convencer a sua importância na gestão de recursos hídricos. A gestão de recursos hídricos é de responsabilidades dos atores governamentais e não, com a participação de todos os envolvidos naquela bacia, mas com instrumentos certos para fazer uma ótima gestão.
- R2 - Uma decisão estratégica tomada implica o desenvolvimento de projetos que lhe deem concretude, ou seja, intervenções na realidade que busquem resultados positivos para a sociedade. Tais projetos, desde que disponham de modelos matemáticos que permitam simular e medir ações e seus resultados prováveis, ganham no plano tático um aliado importantíssimo, pois torna possível modular a intervenção em toda extensão. No caso dos recursos hídricos, cruciais para a sociedade, melhorar a capacidade de gestão com um instrumental de base matemática pode ser, de fato, elemento fundamental para a realização de projetos preventivos e mitigadores de crises.
- R3 - Considerando as peculiaridades de cada sistema e bacia hidrográfica em estudo o modelo matemático poderá indicar suas fragilidades por categoria para futuras propostas de intervenções. As intervenções na bacia poderão ou deverão ser classificadas de simples a complexas, de baixo custo ou onerosas, bem como quanto ao tempo para a execução.
- R4 - Na gestão de recursos hídricos, esse modelo possibilitará rápida identificação de prioridades e otimizará esforços na elaboração de projetos por reunir indicadores necessários em um só local.
- R5 - Muito relevante no que tange às projeções de possibilidades de análises de capacidade de suporte na instalação e viabilidade ambiental de empreendimentos, propiciando um fortalecimento da base de estudos dos projetos de desenvolvimento existentes e a serem implantados, de forma abrangente e sustentável.

- **Relevância no nível operacional**

- R1 - Fazer planejamento de risco próximo a uma catástrofe não dimensionada, não é planejamento; não é admissível planejar sem as corretas ferramentas para poder dimensionar todos os "se" que podem advir. Planejar e monitorar para dar sustentabilidade sócio-econômico a uma bacia.
- R2 - É consenso que a questão hídrica atinge a população em praticamente todos os elementos que constituem seu bem estar e a sua própria existência. Causa disto, o modo e a intensidade de produção e consumo engendrados ao longo do tempo. Daí, o confronto atual com a (in)segurança hídrica, que nos faz pensar sobre alternativas sustentáveis para o desenvolvimento social e econômico das nações.

O consumo humano direto e indireto dos alimentos que consome, a maioria deles produzidos a partir da utilização de grandes quantidades de água, encontra-se, por vezes, ameaçado, o que impõe alteração no sentido da diminuição da pressão sobre os recursos hídricos.

Em termos operacionais isto significa criar, aplicar e expandir sistemas de produção de baixo consumo de água, implicando o acompanhamento da disponibilidade hídrica. Dispor de modelos que ofereçam condições de previsibilidade dessa disponibilidade é determinante para a realização de investimentos no setor, dado que quase sempre eles são definitivos ou, pelo menos, de longa maturação.

Em termos agronômicos, a previsibilidade, ou, por outras palavras, a gestão de riscos, é crucial. Secas duradouras, estresse hídrico e mesmo a escassez temporária de água podem determinar a quebra de safras importantes, com sérias consequências na economia, no emprego, na inflação etc. Isto posto, parece razoável afirmar que, pela capacidade de auxiliar na gestão de riscos de disponibilidade de água, o modelo proposto serve muitíssimo à operação de projetos agropecuários.

- R3 - Será de grande valia a análise da gestão dos recursos hídricos do ponto de vista econômico quando se trata de bacias com vocações agrícolas, e principalmente quando envolve a irrigação, e ainda mais quando se tem diversidades de uso da água da bacia. Se o modelo em desenvolvimento indicar o ganho ou o prejuízo relacionado ao uso da água o trabalho de conscientização dos gestores públicos junto aos usuários e ocupantes do espaço rural será facilitado e demonstrará domínio e segurança à população e outros agentes envolvidos, proporcionando a adesão às intervenções futuras.

- R4 - Na agricultura, atividade em que a gestão do risco é fundamental, o modelo possibilitará às entidades públicas e privadas tomadas de decisão fundamentadas e certamente mais adequadas.
- R5 - Muito elevada. A água é um dos recursos de maior importância para a sobrevivência no planeta.

- **Ferramenta como apoio no processo de decisão da Gestão de Recursos hídricos**

- R1 - Os trabalhos de gestão ambiental da Emater-DF incluem recuperação de área degradada em Área de Preservação Permanente APP e reserva legal e projetos de revitalização de bacias, como o Projeto Produtor de Água, projeto Reflorestar e o projeto Descoberto Coberto . Portanto, com uma ferramenta de apoio de decisão como esta, podemos melhor direcionar todos os trabalhos de gestão de bacias hidrográficas
- R2 - Evidentemente, uma ferramenta que some na capacidade de prevenir a disponibilidade/escassez de água é, no mundo atual, extremamente válida, desde que seja efetivamente utilizada. Trata-se de organizar e colocar uma série de dados conhecidos em um modelo que, com razoável precisão, sinalize o sentido em que decisões estratégicas devam ser implementadas.

A gestão de recursos hídricos, por depender basicamente de fatores não controláveis (pluviosidade p.ex.) carece de elementos que permitam atuar sobre aqueles fatores controláveis – armazenamento, manejo, consumo etc. A ferramenta apresentada vai nesse sentido, ou seja, permite ao decisor antever pontos críticos em vários dos fatores susceptíveis à ação humana, portanto dependentes de uma determinada política pública.

Submeter projetos e investimentos relevantes em termos hídricos, ao crivo da gestão de riscos oferecida pelo modelo é a forma adequada de obter os melhores elementos para a tomada de decisão.

- R3 - A ferramenta deve ser clara ou transparente e confiável para os gestores tomarem decisões acertadas.
- R4 - Essa ferramenta possibilitará prever com adequada antecedência os eventos em uma bacia hidrográfica por meio da análise e inter-relação entre diversos fatores como o clima, produção e demanda de água.
- R5 - Não respondeu.

- **Como a ferramenta pode ser aplicada:**

– R1 - É de vital importância usarmos aplicativos digitais com todas as variáveis ponderáveis e imponderáveis como instrumento de gestão. A dinâmica de uma bacia envolve várias variáveis com diferentes consequências complexas que podem ter mensurações práticas e determinantes para a sua sustentabilidade. Acredito que este aplicativo é um grande avanço na gestão de bacias hidrográficas, inclusive revolucionando a necessidade de integração de vários órgãos, governamentais ou não, na constante busca de resposta de como fazer planejamento visando o melhor aproveitamento dos recursos humanos e econômicos.

– R2 - Metodologias, modelos, sistemas, controles, etc., são utilizados a partir, também, de decisões que muitas vezes ultrapassam os limites puramente técnicos. Aplicar um sistema como o proposto neste trabalho significa, por um lado, ter maior refinamento na decisão tomada, mas, por outro lado, pode significar uma “perda de autonomia” nem sempre assumida pelo decisor político.

Uma eficiente “vacina” contra a preponderância política é a máxima divulgação do modelo. Quanto mais conhecido e sancionado nos setores especializados e intermediários das várias instituições, mais força terá o modelo para se impor como elemento auxiliar da gestão.

O presente trabalho possui boas características como produto social em vista da relevância do tema que trata, e apresenta amplas condições de aplicabilidade dado que requer informações disponíveis e esforços de baixo custo.

– R3 - Acredito que a ferramenta deva ser acompanhada por técnicos que conheçam os conceitos e a realidade local e as potenciais soluções para as intervenções para afinar o discurso com a prática. Possivelmente a ferramenta será utilizada intensamente na adaptação a realidade local, com ajustes, no lançamento das bases de informações das bacias, na análise dos resultados e nos estudos de propostas de intervenções, e depois servirá para acompanhar os alcances propostos.

– R4 - Esse trabalho pode ser utilizado por gestores públicos e privados no planejamento de políticas e ações, na elaboração de projetos e nas tomadas de decisão quanto à questão hídrica referentes a uma bacia hidrográficas.

– R5 - Identificação de avaliação mais aproximada do ciclo hidrológico e seus efeitos nos aspectos de precipitação, infiltração e escoamento, fornecendo informações a medidas de intervenção em diversos cenários de forma a avaliar mais precisamente a ação antrópica na bacia hidrográfica e os impactos de eventos naturais na sustentabilidade da bacia; e planejamento do uso e ocupação.

Capítulo 5

Conclusões e Recomendações

Ao término desta pesquisa, foi possível concluir que:

1. Com relação à Sistemas Complexos e Pensamento Sistêmico, podemos afirmar que:
 - Os desafios contemporâneos amplificados pelo uso da tecnologia exigem do gestor a capacidade de ver o mundo como um sistema complexo. Esse especialista não pode simplesmente tomar decisões achando que os resultados são imediatos e pontuais, ou que não haverá impactos indiretos, é preciso entender as interdependências e as interatividades no sistema que atua. O desafio, desde tomadas de decisões para pequenos negócios até a gestão do nosso planeta, é encontrar as ferramentas e os processos que nos ajudam a entender a complexidade, projetar as melhores decisões operacionais e orientar a mudança que tanto desejamos. Faz-se necessário a utilização de recursos computacionais para construir ferramentas que melhor expressem os sistemas e auxilie a Gestão de Risco e Tomada de Decisões.
2. Com relação à Dinâmica de Sistemas SD, concluímos que:
 - É uma ferramenta útil no aprendizado da complexidade dinâmica dos sistemas SD. Fornece instrumentos robustos para os gestores ampliarem a capacidade para o conhecimento tácito e explícito, permitindo-os a planejar melhor sob incertezas, e propor com mais assertividade as políticas operacionais necessárias no sistema, tornando-se um instrumento adequado para auxiliar a tomada de decisão. A avaliação bibliográfica e a aplicação do método permitiu-nos concluir que a SD pode ser aplicada a outros sistemas complexos e dinâmicos caracterizados pela interdependência, interação mútua, feedback da informação e causalidade circular.

- O Diagramas de Loop Causal CLD é uma maneira útil de ilustrar e representar inter-relacionamentos dinâmicos, ou seja, os mecanismos de feedback que melhor explicam a Dinâmica do Sistema. São úteis no início de um projeto de modelagem para capturar modelos mentais - tanto de um grupo de clientes quanto do modelador. O CLD fornece uma representação visual com a qual comunica o entendimento de uma estrutura de sistema, permitindo capturar o modelo mental, usando variáveis e ligações. As ligações de causa e efeito emergem para ajudar a explicar os padrões complexos existentes no sistema, facilitando as discussões em grupo e reflexões de dinâmicas que os limitam. O CLD também é útil para ilustrar e comunicar os resultados do processo de modelagem após a conclusão.
- A operacionalização dos Estoques e Fluxos na SD permite caracterizar o estado do sistema e gerar as informações que dão direcionamento para as decisões serem tomadas. Os diagramas criados a partir das caixas, setas e variáveis, são as fontes de inércia e memória nos sistemas que permite criar os atrasos e desequilíbrio no sistema, correspondendo exatamente a um sistema de equações integrais ou diferenciais, porém podendo ser trabalhados e explicados de forma mais fáceis.
- Existem um conjunto de ferramentas e instrumentos dentro da SD que permitem realizar experimentos, otimização e variação de parâmetro, calibração do modelo, comparação de execuções, análise de sensibilidade, ferramentas essas que ampliam a capacidade de aplicação do método e podem ser acrescentadas como ferramentas equivalentes às apresentadas no Anexo VII e Tópico 2.5.2 que são indicadas na ISO 31010:2012, relacionadas às técnicas para gestão de risco.

3. Com relação à Modelagem e Simulação concluímos que:

- Fornece uma maneira segura de testar e explorar diferentes cenários *what-if* (e se), permitindo avaliar o impacto que uma decisão tem, antes de fazer mudanças no mundo real.
- Permite a observação do comportamento do sistema ao longo do tempo, fazer alterações de parâmetros e observar as mudanças, em qualquer nível de detalhe.
- Tem custo e tempo menor para sua execução, quando comparado com experimentos com ativos reais.
- Proporcionando maior precisão e previsão no sistema.

- Permite que os pressupostos sejam mais facilmente verificados e a complexidade dos sistemas seja aprendida, comunicada e compreendida.
 - Permite, desde que os dados estejam disponíveis, quantificar os riscos e incerteza existentes no sistema.
4. Com relação à avaliação das melhores práticas em Gestão de Risco, concluímos que:
- A ISO 31000 é um instrumento universalmente utilizado no processo de gerenciamento de riscos, e é adaptável ao processo de modelagem em Dinâmica de Sistemas. Para demonstrar essa possibilidade, foi realizado um comparativo entre os processos da ISO 31000 e o processo de Dinâmica de Sistemas, a Tabela 2.2, detalhada no Tópico 2.5.4, consolida esse comparativo, que inclusive norteou a implementação da metodologia proposta neste trabalho.
5. Com relação aos objetivos específicos da pesquisa concluímos que:
- O primeiro objetivo específico para esta dissertação - Identificar os fatores de riscos e suas respectivas relações causais - tem como conclusão, baseado na fundamentação teórica, e na aplicação da Dinâmica de Sistemas ao processo de criação do modelo causal, que a Dinâmica de Sistemas é um instrumento que possibilita a identificação dos fatores de riscos e as relações causais em sistemas complexos. No processo de identificação dos principais fatores de riscos na gestão da Bacia do Alto do Descoberto, vários fatores foram levantados em um primeiro momento, porém, com a criação do modelo causal, houve um refinamento, e a própria metodologia de SD possibilitou chegar a um modelo válido. Os especialistas que participaram do processo de entrevistas e apresentações consideraram satisfatório para realizar a análise proposta nesta pesquisa. Uma outra característica da aplicação dessa metodologia, destacado quando do processo de convencimento dos especialistas quanto à utilização da Dinâmica de Sistemas, é o processo de aprendizado e geração de conhecimento com o uso dos mapas mentais e do modelo causal. O ato de construir o modelo causal permitiu transitar pelo recorte do problema, geração de conhecimentos, informações de feedback, regras, mapas, identificação de variáveis, comportamentos e fluxos. Há que se destacar ainda que uma vez identificados os fatores de riscos e suas respectivas interações sistêmicas, considerando a complexidade e a resposta sistêmica quando da mudança de alguns fatores, foi possível saber como, de forma sistêmica, o sistema responderá.
 - O segundo objetivo específico - Analisar as relações de estoque e fluxo em recursos hídricos, tem como conclusão baseado na Fundamentação Teórica, na

identificação das fórmulas matemáticas, e no software *AnyLogic*, que a metodologia atende à proposição apresentada. A Dinâmica de Sistemas possibilita construir modelos de estoques e fluxos próximos à realidade com suas variáveis essenciais, permitindo inclusive comparar os impactos que uma determinada variável tem em relação a outra no modelo. Dentro do processo de criação do modelo de estoques e fluxos, nas simulações realizadas, na definição das fórmulas matemáticas, e com os valores sendo apresentados pelos gráficos, houve a possibilidade dos especialistas auxiliar o refinamento de seus conhecimentos, e verem como a dinâmica de sistemas possibilita ir além dos conhecimentos advindos de modelos lineares, ou simulações feitas com planilhas apenas. A Dinâmica de Sistemas proporcionou, por exemplo, compreender como os loops de reforço, as relações causais influenciam os resultados dos estoques e fluxos no modelo.

- O terceiro objetivo específico - Propor uma mensuração para o risco em recursos hídricos usando dinâmica de sistemas - tem como conclusão que é possível mensurar o risco utilizando as relações de estoque e fluxo no modelo de simulação. Como exemplo, apresentaram-se três índices para mensurar os riscos no sistema, sendo que outros índices podem ser implementados. A utilização do Índice de Sustentabilidade como detalhado no Tópico 4.5 demonstra uma das possíveis aplicações. Assim, utilizando-se o Índice de Sustentabilidade, chegou-se aos valores do risco conforme destaca a Figura 4.20, detalhada no Tópico 4.5. A aplicação desses índices demonstrou a viabilidade de utilizar índices para mensuração de riscos em sistemas complexos.
- O quarto objetivo específico - A partir do modelo de estoque e fluxo, propor um instrumento que possibilite a criação de políticas de gestão de risco em recursos hídricos - tem como conclusão que a Dinâmica de Sistemas atende ao objetivo proposto. Uma vez que ao permitir atribuir valores aos fatores de riscos do modelo em tempo de execução, ou antes da execução alterar os valores, e ver como o modelo se comporta, a ferramenta demonstrou ser um instrumento que possibilita a criação de políticas de gestão de riscos em recursos hídricos. Conforme destaca os especialistas: é um grande avanço no processo de gestão de riscos de uma bacia hidrográfica, já que é possível, propor uma política no modelo e ver como ele se comportará no tempo.
- O quinto objetivo específico - Validar o modelo com especialistas - foi atendido, uma vez que foram realizadas várias rodadas de entrevistas, e os especialistas puderam testar e dar a opinião em relação à funcionalidade do modelo. As opiniões de todos os especialistas foram favoráveis à utilização da metodologia.

Os especialistas da EMATER-DF cogita a inclusão da aplicação da Dinâmica de Sistemas na Bacia do Alto do Descoberto para o ano de 2019 em seu planejamento estratégico. Os comentários dos especialistas estão apresentados no Anexo IV.1 e no Tópico 4.6.

- O sexto objetivo específico - Aplicar a simulação na Bacia Hidrográfica do Alto do Descoberto em Brasília-DF - foi parcialmente alcançado, como prova de conceito, uma vez que o modelo foi construído a partir dos especialistas com conhecimento na Bacia do Alto do Descoberto, e todos os dados utilizado na simulação do modelo são referente à Bacia do Alto do Descoberto. Os resultados das simulações, observados com os especialistas, e já demonstrados no desenvolvimento do Tópico 4, demonstraram consistência e aplicabilidade para a gestão de riscos em bacia hidrográfica.
- Há que se destacar ainda, que o processo de simulação, utilizando variáveis aleatórias, atingiu um dos objetivos fundamentais relacionados à gestão de riscos, já que permitiu verificar como os fatores de riscos do modelo, que são geridos sobre incertezas, nesse modelo (pluviometria e vazão dos rios), se comportariam no tempo, ao utilizar distribuições probabilística para esses fatores. A simulação que foi realizada até 2030, com os dados que estavam disponíveis ou foram estimados, permitiu identificar como o sistema se comportaria.

Finalmente, com a pesquisa realizada, foi possível concluir que a Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta que possibilita o processo de gerenciamento de riscos em sistemas complexos fornecendo apoio ao processo de decisão. Assim, o objetivo geral desta pesquisa alinhando ao que identificamos no referencial teórico ilustra que, a Dinâmica de Sistema permite criar modelos e realizar simulações possibilitando que o gestor de recursos hídricos: 1) planeje e se adapte a cenários cada vez mais incertos; 2) faça que os usuários dos recursos hídricos planejem e se adaptem às incertezas do futuro de abastecimento de água e qualidade; e 3) prepare os agentes responsáveis para criar, regular e adaptar as estruturas de governança dos níveis locais a globais atendendo às necessidades dos usuários por longos anos. Ainda, a aplicação do método com os especialistas, e nas conclusões sobre a aplicação desse método, tanto com o olhar da gestão de riscos, e com o olhar da Dinâmica de Sistemas, permitiu propor um processo alternativo, seguindo a norma ISO 31000, conforme foi demonstrado no Tópico 2.5.4, Tabela 2.2, base de sustentação do método proposto.

5.1 Dificuldades

A maior dificuldade na aplicação do modelo na Gestão dos Recursos foi a curva de aprendizado sobre as terminologias e a compreensão da área hídrica. É um sistema complexo, e, grande parte do esforço da pesquisa, se deu no entendimento e compreensão da complexidade do sistema hídrico. Outra dificuldade encontrada na execução da pesquisa, foi o não existir em Brasília uma base de dados unificada com as informações hídricas que possibilitasse a execução da pesquisa. Vários órgãos foram acionados, porém, o Fórum Mundial da Água envolveu todos os órgãos relacionados à área hídrica de Brasília, dificultando ainda mais que os órgãos disponibilizassem as informações necessárias a pesquisa.

Outra dificuldade encontrada foi a consolidação da Base de Dados para realizar os testes. A maior parte dos dados não estavam com o sistema de unidade padronizado. Algumas em m^3 , outras em l/s e outras hm^3 , consolidar foi um desafio.

Para operacionalização do sistema *Anylogic* buscou-se apoio e suporte técnico a especialistas em modelagem, envolvendo a equipe técnica do Software nos Estados Unidos EUA.

5.2 Recomendações

Esta pesquisa foi aplicada na Gestão de Riscos de recursos hídricos da Bacia do Descoberto em Brasília DF, porém, verifica-se que o mesmo objetivo desse trabalho pode ser aplicado a outras bacias, e inclusive a outros setores que são considerados sistemas complexos como as infra-estrutura de um cidade (transporte, saúde, abastecimento, meio ambiente, econômica e política). Pois além de serem complexos, afetam a vida e o bem estar do homem. A recomendação que fazemos é que esse estudo seja realizado em outras bacias, e inclusive outros setores, possibilitando a ampliação da técnica e a agregação do conhecimento na gestão de riscos em sistemas complexos.

Ainda, por não ser objeto dessa pesquisa, o modelo não foi testado para a construção real de política para a gestão de recursos hídricos. Recomendamos a refinamento do modelo aqui proposto, bem como a sua aplicação na criação de políticas de gestão de riscos dos recursos hídricos da Bacia do Descoberto no Distrito Federal, incluindo outras bacias.

- Projeção do Crescimento da Demanda Hídrica para o Comércio, Indústria e o Setor Público - Acrescentar a projeção da demanda hídrica, o Crescimento da demanda para o Comércio, Indústria e o Setor Público, uma vez que esta pesquisa, considerou valores fixos para esses setores. Para uma simulação mais realista, faz necessário

um estudo do crescimento da demanda hídrica para estes setores, acompanhando o crescimento populacional.

Referências

- [1] P. Bernstein, *Desafio aos deuses*. 1, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 104
- [2] I. ISO 31000, “31000: 2009 risk management—principles and guidelines,” *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2009. 1, 39, 44
- [3] M. Sánchez-Román, RM e Folegatti, “Sustentabilidade da agricultura irrigada nas bacias hidrográficas dos rios piracicaba, capivari e jundiaí: Uma perspectiva em dinâmica de sistemas. modelo em dinâmica de sistemas para a gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios piracicaba, capivari e jundiaí. 2008. 175 f,” Ph.D. dissertation, Tese (Pós-Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. 2, 24, 25, 26, 29, 72, 79, 82, 92, 93, 97, 109
- [4] C. J. S. e. o. Machado, “Recursos hídricos e cidadania no brasil: limites, alternativas e desafios,” 2003. 2, 3
- [5] G. Distrito Federal, “Plano integrado de enfrentamento à crise hídrica,” 2017. 2, 57, 106
- [6] M. De Fleur, *Teorias da comunicação de massa*. Zahar, 1993. 5
- [7] M. A. Behrens, “A prática pedagógica e o desafio do paradigma emergente,” *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, vol. 80, no. 196, 2007. 5
- [8] A. Morin, Edgar e Marques, “O problema epistemológico da complexidade,” 1996. 5, 6
- [9] C. E. Shannon, “A mathematical theory of communication,” *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 5, no. 1, pp. 3–55, 2001. 5
- [10] V. R. Nunes, Antônio Carlos F e de Macedo, “A contribuição de uma organização social para ciência, tecnologia e inovação: O caso da rnp,” *J. De Negri, & LC Kubota, Políticas de Incentivo a Inovação Tecnológica no Brasil*, pp. 535–579, 2008. 6
- [11] R. V. e. G. K. B. Castells, Manuel e Majer, *A sociedade em rede*. Fundação Calouste Gulbenkian, 2002, vol. 1. 6
- [12] M. Serva, “O paradigma da complexidade e a análise organizacional,” *Revista de Administração de Empresas*, vol. 32, no. 2, pp. 26–35, 1992. 6

- [13] J. Lojkin, *A revolução informacional*. Cortez São Paulo, 1995. 6
- [14] R. Descartes, *Discurso del método*. Ediciones Colihue SRL, 2004. 6
- [15] H. R. Maturana, “A ontologia da realidade,” 1997. 6
- [16] A. Engelmann, “A psicologia da gestalt e a ciência empírica contemporânea,” *Psicologia: teoria e pesquisa*, vol. 18, no. 1, pp. 1–16, 2002. 6, 9
- [17] E. Morin, “Ciência com consciência, tradução de maria d,” *Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória*, vol. 14, 2005. 6
- [18] I. Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. G. Brookman, 1833, vol. 1. 6
- [19] F. Capra, *Ponto de Mutação, O*. editora Cultrix, 1998. 7
- [20] E. e. o. Morin, *Os setes saberes necessários à educação do futuro*. Cortez Editora, 2014. 7
- [21] E. Morin, “Reencontro com edgar morin—por uma reforma do pensamento,” *Petra-glia, Izabel Cristina. Edgar Morin: a educação e a complexidade do ser e do saber. Petrópolis, RJ: Vozes*, 1995. 7
- [22] E. Morin, Edgar e Lisboa, *Introdução ao pensamento complexo*. Sulina Porto Alegre, 2007, vol. 3. 7, 9, 10
- [23] J. e. R. J. Reinsel, David e Gantz, “Data age 2025: The evolution of data to life-critical. don’t focus on big data; focus on the data that’s big.” *IDC, Seagate, April*, 2017. 7, 8
- [24] J. D. Sterman, *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, 2000, no. HD30. 2 S7835 2000. 7, 8, 9, 13, 15, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 37, 59, 74, 75, 78, 90
- [25] H. E. Pence, “What is big data and why is it important?” *Journal of Educational Technology Systems*, vol. 43, no. 2, pp. 159–171, 2014. 8
- [26] M. Mitchell, *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press, 2009. 8, 9, 10
- [27] H. Adams, “A law of acceleration,” *H. Adams (1919) The education of Henry Adams. New York: Houghton Mifflin*, 1904. 9
- [28] P. W. e. o. Anderson, “More is different,” *Science*, vol. 177, no. 4047, pp. 393–396, 1972. 9
- [29] L. v. Bertalanffy, “Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações,” *Petrópolis: Vozes*, 2008. 10
- [30] F. M. Churchman, C West e Guimarães, *Introdução à teoria dos sistemas*, 1972. 10

- [31] I. Chiavenato, “Introdução à teoria geral da administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações. rev. e atual,” 2003. 10
- [32] L. H. A. Monteiro, *Sistemas dinâmicos*. Editora Livraria da Física, 2006. 11
- [33] E. Schlicht, “Isolation and aggregation in,” *Economics*, 1985. 11
- [34] P. Rocha, Jorge e Morgado, “A complexidade em geografia,” *Geophilia—o sentir e os sentidos da Geografia*, pp. 137–153, 2007. 11
- [35] P. M. Batty, Michael e Torrens, “Modelling and prediction in a complex world,” *Futures*, vol. 37, no. 7, pp. 745–766, 2005. 11
- [36] J. Tenedório, J. Rocha, S. Encarnação, and J. Ferreira, “Modelos geográficos e sistemas complexos—técnicas de computação aplicadas à previsão de alterações na linha de costa,” 2006. 12
- [37] R. Krönert, U. Steinhardt, and M. Volk, *Landscape balance and landscape assessment*. Springer Science & Business Media, 2001. 13
- [38] J. Horgan, *O fim da ciência: uma discussão sobre os limites do conhecimento científico*. Companhia das Letras São Paulo, 1998. 13
- [39] S. Lloyd, “Measures of complexity: a nonexhaustive list,” *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 21, no. 4, pp. 7–8, 2001. 13
- [40] P. A. e. T. M. H. Furtado, Bernardo Alves e Sakowski, “Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas,” *Brasília: Ipea*, 2015. 15
- [41] N. B. e. P. R. S. James, Hubert Maxwell e Nichols, *Theory of servomechanisms*. McGraw-Hill New York, 1947, vol. 25. 16
- [42] J. W. Forrester, “The beginning of system dynamics,” *McKinsey Quarterly*, pp. 4–17, 1995. 16, 17, 18
- [43] G. J. Hillier, Frederick S e Lieberman, *Introdução à pesquisa operacional*. McGraw Hill Brasil, 2013. 16
- [44] J. Forrester, *Industrial Dynamics*, ser. Students’ edition. Massachusetts Institute of Technology Press, 1961. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=4CgzAAAAMAAJ> 17
- [45] J. W. Forrester, “Urban dynamics,” *IMR; Industrial Management Review (pre-1986)*, vol. 11, no. 3, p. 67, 1970. 17
- [46] ———, *World dynamics*. Wright-Allen Press, 1971. 17, 21, 56
- [47] N. J. e. R. C. J. Forrester, Jay W e Mass, “The system dynamics national model: understanding socio-economic behavior and policy alternatives,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 9, no. 1-2, pp. 51–68, 1976. 17

- [48] D. L. e. R. J. e. B. W. W. Meadows, Donella H e Meadows, “The limits to growth,” *New York*, vol. 102, p. 27, 1972. 18, 21, 22, 23
- [49] (2018) Elsevier group. [Online]. Available: <http://wcs-webofknowledge.ez54.periodicos.capes.gov.br/RA/analyze.do> 18
- [50] (2018) Elsevier group. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com> 18, 19
- [51] U. Bardi, *The limits to growth revisited*. Springer Science & Business Media, 2011. 20, 22
- [52] M. V. e. O.-G. A. M. e. o. Sánchez-Román, Rodrigo M e Folegatti, “Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios piracicaba, capivari e jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas,” *Engenharia Agrícola*, vol. 29, no. 4, pp. 578–590, 2009. 24
- [53] G. R. Wolstenholme, F. Gonzalez, and R. C. Zahorik, “Memory cell incorporating a chalcogenide element and method of making same,” Dec. 7 1999, uS Patent 5,998,244. 32
- [54] G. Cardano, *The book on games of chance:(Liber de ludo aleae)*. Holt, Rinehart and Winston, 1961. 35
- [55] A. Arnauld, P. Nicole, and É. Charles, *La Logique, ou l’art de penser*. Ch. Delagrave, 1878. 36
- [56] T. Bayes, R. Price, and J. Canton, “An essay towards solving a problem in the doctrine of chances,” 1763. 38
- [57] H. Poincaré, “Mathematical creativity, reprinted in the world of mathematics ed newman,” 1988. 40
- [58] T. e. o. Vasvári, “Risk, risk perception, risk management—a review of the literature,” *Public Finance Quarterly*, vol. 1, p. 29, 2015. 40, 46
- [59] K. J. Arrow, “Essays in the theory of risk-bearing,” Tech. Rep., 1970. 41
- [60] F. H. Knight, *Risk, uncertainty and profit*. Courier Corporation, 2012. 42
- [61] J. M. Keynes, *A treatise on probability*. Courier Corporation, 2013. 42
- [62] —, *General theory of employment, interest and money*. Atlantic Publishers & Dist, 2016. 43
- [63] O. Von Neumann, John e Morgenstern, *Theory of games and economic behavior (commemorative edition)*. Princeton university press, 2007. 43
- [64] T. M. Carvalho, “A teoria dos jogos e sua aplicação à economia,” *Revista Brasileira de Economia*, vol. 11, no. 2, pp. 17–37, 1957. 43
- [65] H. Markowitz, “Portfolio selection,” *The journal of finance*, vol. 7, no. 1, pp. 77–91, 1952. 43

- [66] A. Kahneman, Daniel e Tversky, “Prospect theory: An analysis of decision under risk,” in *Handbook of the fundamentals of financial decision making: Part I*. World Scientific, 2013, pp. 99–127. 44
- [67] E. Alexander, Carol e Sheedy, *The professional risk managers’ handbook: A comprehensive guide to current theory and best practices*. Prmia Publications, 2005. 44
- [68] I. Garaczi, “Kockázati modellek és társadalmi mozgások (risk models and movements in society),” 2013. 45
- [69] William. (2017) Elsevier group. [Online]. Available: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus> 46
- [70] O. Renn, “Concepts of risk: a classification,” 1992. 46
- [71] R. York, E. A. Rosa, and T. Dietz, “Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity,” *American sociological review*, pp. 279–300, 2003. 48
- [72] M. Gjerdrum, Dorothy e Peter, “The new international standard on the practice of risk management—a comparison of iso 31000: 2009 and the coso erm framework,” *Risk management*, vol. 31, no. 2, pp. 8–13, 2011. 49, 55
- [73] I. Guide, “73: 2009,” *Risk management—Vocabulary*, vol. 551, 2009. 49
- [74] G. Purdy, “Iso 31000: 2009—setting a new standard for risk management,” *Risk analysis*, vol. 30, no. 6, pp. 881–886, 2010. 49, 50
- [75] R. R. Moeller, *COSO enterprise risk management: understanding the new integrated ERM framework*. John Wiley & Sons, 2007. 53, 54
- [76] J. D. Morecroft, “System dynamics and microworlds for policymakers,” *European Journal of Operational Research*, vol. 35, no. 3, pp. 301–320, 1988. 56
- [77] M. K. Bharathy, Gnana K e McShane, “Applying a systems model to enterprise risk management,” *Engineering Management Journal*, vol. 26, no. 4, pp. 38–46, 2014. 56
- [78] J.-P. e. G. F. Garbolino, Emmanuel e Chery, “A simplified approach to risk assessment based on system dynamics: an industrial case study,” *Risk Analysis*, vol. 36, no. 1, pp. 16–29, 2016. 56
- [79] D. N. Lyneis, James M e Ford, “System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research,” *System Dynamics Review*, vol. 23, no. 2-3, pp. 157–189, 2007. 56
- [80] M. Chaim & Castellano, “Erm quantitative risk analysis methods and techniques applied to a small commercial bank,” 2012. 56
- [81] S. e. A. T. Semwanga, Agnes Rwashana e Nakubulwa, “Applying a system dynamics modelling approach to explore policy options for improving neonatal health in uganda,” *Health research policy and systems*, vol. 14, no. 1, p. 35, 2016. 56

- [82] T. Ullah, Muhammad Aman e Arthanari, “Using a qualitative system dynamics approach to investigate perceptions of corruption,” in *29th International Conference of the System Dynamics Society. Washington, DC. Retrieved from <http://www.systemdynamics.org/conferences/2011/proceed/papers/P1223.pdf>*, 2011. 56
- [83] H.-L. Ho, Yu-Feng e Wang, “Applying fuzzy delphi method to select the variables of a sustainable urban system dynamics model,” in *Proceedings of the 26th International Conference of System. [http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/proceed/\(accessed on 15/May/2011\).\[Links\]](http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/proceed/(accessed%20on%2015/May/2011).[Links])*. Citeseer, 2008. 56
- [84] C. Lontra, “Plano de manejo da apa bacia do rio descoberto,” Ministério do Meio Ambiente, Tech. Rep. 1, 12 2014. 57
- [85] S. R. e. D. C. N. e. M. D. M. e. N. R. J. e. P. S. L. e. R. S. W. Jackson, Robert B e Carpenter, “Water in a changing world,” *Ecological applications*, vol. 11, no. 4, pp. 1027–1045, 2001. 58, 63
- [86] S. S. Grobbelaar, “R&d in the national system of innovation: A system dynamics model,” 2007. 60
- [87] U. WWAP, “United nations world water assessment programme,” *The World Water Development Report*, vol. 1, 2009. 63
- [88] K. Vincent, “Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale,” *Global Environmental Change*, vol. 17, no. 1, pp. 12–24, 2007. 63
- [89] D. C. Watkins Jr, David W e McKinney, “Finding robust solutions to water resources problems,” *Journal of water resources planning and management*, vol. 123, no. 1, pp. 49–58, 1997. 63
- [90] UNESCO, *Managing Water Report under Uncertainty e Risk*. The United Nations World Water Development Report 4, 2012. 63, 64
- [91] J. Ganoulis, *Risk analysis of water pollution*. John Wiley & Sons, 2009. 64, 65, 66, 92
- [92] S. Ferrigo, “Análise de consistência dos parâmetros do modelo swat obtidos por calibração automática—estudo de caso da bacia do lago descoberto-df,” 2014. 66
- [93] D. R. e. o. Maidment, *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill New York, 1993, vol. 1. 66
- [94] D. K. Singh, Vijay P e Frevert, *Mathematical models of small watershed hydrology and applications*. Water Resources Publication, 2002. 66
- [95] C. E. e. o. Tucci, *Modelos hidrológicos*. UFRGS, 1998. 66
- [96] T. E. e. K. J. Viessman, Warren e Harbaugh, *Introduction to hydrology*. Intex Educational, 1972. 66
- [97] E. Todini, “Hydrological catchment modelling: past, present and future,” *Hydrology e Earth System Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 468–482, 2007. 66

- [98] M. Borah, DK e Bera, “Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases,” *Transactions of the ASAE*, vol. 46, no. 6, pp. 1553–1566, 2003. 66
- [99] L. L. Santos, “Modelos hidrológicos: Conceitos e aplicações,” *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 2, no. 3, pp. 1–19, 2009. 66
- [100] J. C. e. K. J. J. L. e. D. J. A. S. e. J. R. C. Bicknell, Brian R e Imhoff, “Hydrological simulation program-fortran. user’s manual for release 11,” *US EPA*, 1996. 66
- [101] R. e. T. B. e. S. L. Leavesley, George H e Lichty, *Precipitation-runoff modeling system: User’s manual*. USGS Washington, DC, 1983. 66
- [102] M. Flanagan, DC e Nearing, “Usda-water erosion prediction project: Hillslope profile and watershed model documentation,” NSERL report, Tech. Rep., 1995. 66
- [103] M. J. Beven, KJ e Kirkby, “A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/un modèle à base physique de zone d’appel variable de l’hydrologie du bassin versant,” *Hydrological Sciences Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 43–69, 1979. 66
- [104] J. e. C. J. e. O. P. e. R. J. Abbott, MB e Bathurst, “An introduction to the european hydrological system—systeme hydrologique europeen, “she”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system,” *Journal of hydrology*, vol. 87, no. 1-2, pp. 61–77, 1986. 66
- [105] J. Yoon, “Agnps—agricultural non-point source pollution model,” *Department of Agricultural Engineering Purdue University. Purdue*, 1996. 66
- [106] L. F. Beasley, David B e Huggins, “Answers, areal nonpoint source watershed environment response simulation: user’s manual,” 1981. 66
- [107] M. e. M. A. e. D. M. e. B. R. Bouraoui, Rachid e Lahmar, “The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a mediterranean climate,” *Animal Research*, vol. 51, no. 6, pp. 479–491, 2002. 67
- [108] M. B. Graham, Douglas N e Butts, “Flexible, integrated watershed modelling with mike she,” *Watershed models*, vol. 849336090, pp. 245–272, 2005. 67
- [109] R. e. B. M. Borah, Deva K e Xia, “Dwsm—a dynamic watershed simulation model for studying agricultural nonpoint source pollution,” in *2001 ASAE Annual Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1998, p. 1. 67
- [110] D. e. W. D. e. U. C. Smith, RE e Goodrich, “Kineros—a kinematic runoff and erosion model,” *Computer models of watershed hydrology*, vol. 20, pp. 627–668, 1995. 67
- [111] A. D. Feldman, *Hydrologic modeling system HEC-HMS: technical reference manual*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2000. 67
- [112] L. A. Rossman, *Storm water management model user’s manual, version 5.0*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency Cincinnati, 2010. 67

- [113] W. e. S. D. Leonard, RA e Knisel, “Gleams: Groundwater loading effects of agricultural management systems,” *Transactions of the ASAE*, vol. 30, no. 5, pp. 1403–1418, 1987. 67
- [114] G. Knisel, WG e Foster, “Cremps [chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems]: a system for evaluating best management practices [mathematical models, pollution].” 1981. 67
- [115] J. R. Williams, “The erosion-productivity impact calculator (epic) model: a case history,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, vol. 329, no. 1255, pp. 421–428, 1990. 67
- [116] J. R. Arnold, Jeffrey G e Williams, “Validation of swrrb—simulator for water resources in rural basins,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 113, no. 2, pp. 243–256, 1987. 67
- [117] T. O. Brown, Linfield C e Barnwell, *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual*. US Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Environmental Research Laboratory, 1987. 67
- [118] G. C. Baldissera, “Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica swat (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio cuiabá/mt,” *Cuiabá-MT, Brazil: Universidade Federal do Mato Grosso*, 2005. 67
- [119] S. P. Ahmad, Sajjad e Simonovic, “Spatial system dynamics: new approach for simulation of water resources systems,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 331–340, 2004. 67
- [120] L. Elshorbagy, Amin e Ormsbee, “Object-oriented modeling approach to surface water quality management,” *Environmental Modelling & Software*, vol. 21, no. 5, pp. 689–698, 2006. 67
- [121] A. e. M. S. Ghashghaei, Maryam e Bagheri, “Rainfall-runoff modeling in a watershed scale using an object oriented approach based on the concepts of system dynamics,” *Water resources management*, vol. 27, no. 15, pp. 5119–5141, 2013. 67
- [122] S. Li, L e Simonovic, “System dynamics model for predicting floods from snowmelt in north american prairie watersheds,” *Hydrological Processes*, vol. 16, no. 13, pp. 2645–2666, 2002. 67
- [123] L. e. A. A. Khan, Shahbaz e Yufeng, “Analysing complex behaviour of hydrological systems through a system dynamics approach,” pp. 1363–1372, 2009. 67, 68
- [124] S. P. Davies, Evan GR e Simonovic, “Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–environmental system,” *Advances in water resources*, vol. 34, no. 6, pp. 684–700, 2011. 67

- [125] H. e. S. J. e. A. K. C. e. X. Z. Wei, Shouke e Yang, “System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the weihe river basin, china,” *European Journal of Operational Research*, vol. 221, no. 1, pp. 248–262, 2012. 68, 73
- [126] K. e. K. A. e. T. S. e. I. K. Zongxue, Xu e Jinno, “Performance risk analysis for fukuoka water supply system,” *Water Resources Management*, vol. 12, no. 1, pp. 13–30, 1998. 68, 71, 72, 111
- [127] K. Jinno, “Risk assessment of a water supply system during drought,” *International Journal of Water Resources Development*, vol. 11, no. 2, pp. 185–204, 1995. 68, 71, 109, 111
- [128] K. e. I. H. e. Z. X. Xu, ZX e Takeuchi, “Sustainability analysis for yellow river water resources using the system dynamics approach,” *Water Resources Management*, vol. 16, no. 3, pp. 239–261, 2002. 72, 92, 100, 109
- [129] A. C. Gil, *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008. 74, 77
- [130] M. Goodman, “Everyone’s problem to solve: Systems thinking cross-functionally,” *The Systems Thinker Newsletter*, 2018. [Online]. Available: <https://thesystemsthinker.com/everyones-problem-to-solve-systems-thinking-cross-functionally> 75
- [131] D. C. Lane, “Should system dynamics be described as a ‘hard’ or ‘deterministic’ systems approach?” *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 17, no. 1, p. 3, 2000. 75
- [132] S. Richmond, B e Peterson, “An introduction to systems thinking: Stella software. lebanon, nh: High performance systems,” 2005. 75
- [133] H. M. e. G. R. e. T. L. O. e. A. A. S. Turner, Benjamin L e Menendez, “System dynamics modeling for agricultural and natural resource management issues: Review of some past cases and forecasting future roles,” *Resources*, vol. 5, no. 4, p. 40, 2016. 75
- [134] F. A. Ford, Andrew e Ford, *Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems*. Island press, 1999. 76
- [135] J. J. Deaton, Michael e Winebrake, *Dynamic modeling of environmental systems*. Springer Science & Business Media, 1999. 76
- [136] W. E. e. P. E. K. e. M. S. L. e. M. S. L. Grant, William E e Grant, *Ecology and natural resource management: systems analysis and simulation*. John Wiley & Sons, 1997. 76
- [137] B. McGarvey, Bernard e Hannon, *Dynamic modeling for business management: An introduction*. Springer Science & Business Media, 2004. 76

- [138] B. Ruth, Matthias e Hannon, “Modeling dynamic biological systems,” in *Modeling Dynamic Biological Systems*. Springer, 1997, pp. 3–27. 76
- [139] R. Matos Chaim, “Taxas de juros decrescentes e exposição em bolsa de valores,” 2007. 77, 81
- [140] D. ZEE-DF-ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO, “Zee, distrito federal 2017.” 81
- [141] PGIRH/DF, “Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do distrito federal,” 2017. 81, 87
- [142] G. e. S. P. Fayyad, Usama e Piatetsky-Shapiro, “The kdd process for extracting useful knowledge from volumes of data,” *Communications of the ACM*, vol. 39, no. 11, pp. 27–34, 1996. 85
- [143] —, “From data mining to knowledge discovery in databases,” *AI magazine*, vol. 17, no. 3, p. 37, 1996. 85
- [144] M. d. C. Lima Rocha, Eliane Rodrigues; Magalhães César, “Balanço hídrico do reservatório do rio descoberto,” 2015. 87
- [145] Oracle. (2017) Oracle mysql. [Online]. Available: <https://www.oracle.com/br/mysql/index.html> 89
- [146] A. Borshchev, *The big book of simulation modeling: multimethod modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic North America Chicago, 2013. 90, 105
- [147] R. Spencer. (2017) System dynamics societyl. [Online]. Available: <http://www.systemdynamics.org/sd-for-academia/> 90
- [148] M. S. Martis, “Validation of simulation based models: a theoretical outlook,” *The electronic journal of business research methods*, vol. 4, no. 1, pp. 39–46, 2006. 113
- [149] L. e. G. R. Kleindorfer, George B e O’Neill, “Validation in simulation: various positions in the philosophy of science,” *Management Science*, vol. 44, no. 8, pp. 1087–1099, 1998. 113

Anexo I

Entrevista - Identificação dos Fatores Chaves de riscos

I.1 Entrevista - Identificação dos Fatores Chaves de riscos

Anexo II

Pesquisa levantamento de Dados IBGE

II.1 Entrevista semi-estruturada - Identificação da População do Distrito Federal

Área: Supervisão de Documentação e Disseminação de Informações/IBGE/DF.

Data: 01/06/2018.

Bom dia (tarde, noite) Sr. (a) , esta entrevista tem por objetivo identificar os fatores relacionado ao crescimento populacional do Distrito Federal.

É importante ressaltar que as informações levantadas nesta entrevista terão caráter confidencial e sua utilização será estritamente para fins acadêmicos, bem como será assegurado o anonimato do entrevistado.

Podemos gravar a entrevista para que não haja erros nas informações levantadas?
(não foi autorizado realizar a gravação).

Começemos a entrevista.

1. Como O IBGE faz o acompanhamento do crescimento Populacional da região do Distrito Federal?
2. Qual o histórico do crescimento Populacional dos últimos 10 anos do distrito federal?
3. Qual a Projeção do crescimento Populacional do Distrito Federal até 20130?
4. Qual o histórico do índice de Nascimento, saldo migratório e óbito da População do Distrito Federal nos últimos 10 anos?
5. Qual a projeção do índice de Nascimento, saldo migratório e óbito da População do Distrito Federal para até 20130?

Resposta 1: Foi informado que o IBGE utiliza a tábua de mortalidade para fazer o cálculo de projeção de crescimento populacional. E essa tábua contém as seguintes variáveis:

- Ano
- População (em 01/07): Total, Homem e Mulheres;
- Nascimentos;
- Óbitos;
- Saldo Migratório;
- TCG (%);
- TBN (%);
- TBM (%);
- TLM(%);
- Esperança de vida ao nascer - (em anos): Ambos, Homens e Mulheres;
- Taxa de mortalidade infantil - TMI (%): Ambos, Homens e Mulheres;
- TFT;
- Taxas específicas de fecundidade por grupo etário da mãe: 15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49;
- Razão de dependência * (%): Jovens, Idosos, Total;
- Índice de envelhecimento ** (%);
- Proporção de pessoas por grandes grupos etários: 0-14, 15-64, 65 +, 15-59, 60+;
- Idade Média;

Onde: TCG = Taxa de Crescimento Geométrico / TBN = Taxa Bruta de Natalidade / TBM = Taxa Bruta de Mortalidade / TLM = Taxa Líquida de Migração / TFT = Taxa de Fecundidade Total / IE = Índice de Envelhecimento.

Resposta 2, 3, 4, e 5 para as perguntas 2, 3, 4 e 5 vamos providenciar os seguintes dados:

- Estimativa de população: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/estimativas-de-populacao.html?=&t=publicacoes>

- Tábua de mortalidade: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/91-tabuas-completas-de-mortalidade.html?=&t=o-que-e>
- Projeção da população: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>
- Séries estatísticas: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>

Anexo III

Pesquisa levantamento de Dados

III.1 Entrevista semi-estruturada - Levantamento de Dados de Consumo Hídrico

O questionário a seguir foi encaminhado a CAESB e a ADASA, onde os dados foram encaminhados, conforme serão analisados no resultado dessa pesquisa, e foram fundamentais para a formulação do modelo, das equações e para alimentar os dados quando da simulação.



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Exatas

Brasília, 22 de Maio de 2018.

À CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DF

Assunto: **Solicita autorização para realizar pesquisa durante o Mestrado no PPCA**

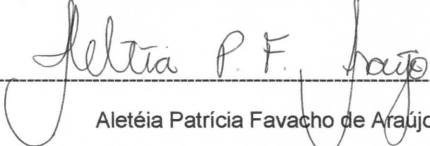
Solicitamos autorização para realizar pesquisa com os dados dos recursos hídricos de Brasília, referente à Bacia Alto do Descoberto.

Esclarecemos que a pesquisa visa **(Construir um Modelo Matemático em Dinâmica de Sistemas para Gestão de Risco em Recursos)**, para fins de elaboração de dissertação de mestrado do aluno **Oséias Gomes**, do Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada – PPCA da UnB.

Os dados necessários estão descritos a seguir:

1. Qual a Demanda de Água da População (Urbana) nos últimos 10 Anos (L/S)?
2. Qual a Demanda de Água da População (Rural) nos últimos 10 Anos (L/S)?
3. Qual a Área da Bacia do Alto do Descoberto?
4. Quanto dessa demanda é para a Bacia do Alto do Descoberto (histórico 10 anos)?
5. Qual a Precipitação Média Anual dos últimos anos? (se possível 20 anos, ou o que for possível) - Bacia Alto do Descoberto;
6. Qual o Coeficiente de Escoamento da Bacia nos últimos 10 anos?
7. Qual o Coeficiente de Infiltração da Bacia nos últimos 10 anos?
8. Qual o Volume de Retorno da Bacia nos últimos 10 anos?
9. Qual a média Per capita de Água por Habitante do Distrito Federal (Histórico 10 anos)?
10. Qual a Demanda Ambiental (Vazão ecológica) da Bacia Alto do Descoberto (Histórico 10 anos)?
11. Qual a Demanda por Seguimento:
 - a. Agroindústria
 - b. Pecuária
 - c. Agricultura
 - d. Indústria
12. Qual a perda d'água (%) da Bacia Alto do Descoberto (Últimos 10 anos)?

Sem mais, e contando com a autorização desta instituição na disponibilização destes dados, coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.



Aletéia Patrícia Favacho de Araújo

Coordenadora do Programa de Pós em Computação Aplicada – PPCA

Matrícula 1035011

Anexo IV

Pesquisa Avaliação do Modelo Proposto

IV.1 Anexo 1 - Pesquisa semi-estruturado - Avaliação do Modelo

Área: . Data: .

Bom dia (tarde, noite) Sr. (a) , esta entrevista tem por objetivo identificar os fatores relacionado aos fatores de riscos na recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

É importante ressaltar que as informações levantadas nesta entrevista terão caráter confidencial e sua utilização será estritamente para fins acadêmicos, bem como será assegurado o anonimato do entrevistado.

Podemos gravar a entrevista para que não haja erros nas informações levantadas? (não foi autorizado realizar a gravação).

Começemos a entrevista.

- 1) - Qual a relevância de um modelo matemático como proposto para um tomador de decisão dado a relevância da Água, em especial o que vivemos no distrito Federal?
 - 1.1) Relevância Estratégica: Aos formuladores de Políticas Públicas e decisores da gestão hídrica:
 - 1.2) Relevância Tática: No desenvolvimento de projetos a médio e longo prazo, envolvendo a gestão de recursos hídricos:
 - 1.3) Relevância Operacional: Sócio Econômica e na prevenção de riscos na agricultura:
- 2) Você acredita que uma ferramenta como esta pode apoiar o processo de decisão da Gestão de Recursos hídricos? Se sim, Como?. Dê sua opinião livremente:

- 3) Como você visualiza a Aplicabilidade de um trabalho como este. Dê sua opinião livremente:

Resposta 1 Do Especialista em Meio Ambiente da EMATER-DF, code nome MMA

1) - Qual a relevância de um modelo matemático como proposto para um tomador de decisão dado a relevância da gestão hídrica, em especial o que vivemos no distrito Federal?

1.1) Relevância Estratégica: Aos formuladores de Políticas Públicas e decisores da gestão hídrica:

Resposta: Mediante as grandes dificuldades emergentes, em especial no contexto das dinâmicas que configuram a utilização dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, faz mister a intervenção imediata através de políticas públicas para mitigar os impactos ambientais produzidos pela ação antrópica. Inadmissível a utilização dos recursos naturais de forma desorganizada e predatória sem pensar nos limites da sua capacidade de sustentação. A mudança do atual modelo de desenvolvimento pela necessidade de evitar riscos catastróficos, seja econômico, seja ambiental, exigiu dos gestores ambientais a aplicabilidade urgente e imediata de políticas públicas com respostas eficientes quanto a sustentabilidade das bacias hidrográficas. Sendo assim, numa visão de conversão dos rumos como alternativa de conservação e continuidade dos recursos naturais, interagindo com diferentes áreas econômicas, sociais e ambientais, faz-se necessário a criação de ferramentas precisas e aplicáveis que possam planejar e mensurar as suas ações .

1.2) Relevância Tática: No desenvolvimento de projetos a médio e longo prazo, envolvendo a gestão de recursos hídricos:

Resposta: Em todos os projetos são necessários dar as devidas justificativas para demonstrar a sua importância. Quando você tem como justificativa um aplicativo rodando com aproximadamente 280 variáveis, fica muito mais fácil de convencer a sua importância na gestão de recursos hídricos. A gestão de recursos hídricos é de responsabilidades dos atores governamentais e não, com a participação de todos os envolvidos naquela bacia, mas com instrumentos certos para fazer uma ótima gestão.

1.3) Relevância Operacional: Sócio Econômica e na prevenção de riscos na agricultura:

Resposta: Fazer planejamento de risco próximo a uma catástrofe não dimensionada, não é planejamento; não é admissível planejar sem as corretas ferramentas para poder dimensionar todos os "se" que podem advir. Planejar e monitorar para dar sustentabilidade Sócio-econômica de uma bacia.

2) Você acredita que uma ferramenta como esta pode apoiar o processo de decisão da Gestão de Recursos hídricos? Se sim, Como?. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Os trabalhos de gestão ambiental da Emater-DF incluem recuperação de área degradada em APP e reserva legal e projetos de revitalização de bacias como o projeto produtor de água, projeto Reflorestar e o projeto Descoberto Coberto . Portanto, com uma ferramenta de apoio de decisão como esta, podemos melhor direcionar todos os trabalhos de gestão de bacias hidrográficas

3) Como você visualiza a Aplicabilidade de um trabalho como este. Dê sua opinião livremente:

Resposta: É de vital importância usarmos aplicativos digitais com todas as variáveis ponderáveis e imponderáveis como instrumento de gestão. A dinâmica de uma bacia envolve várias variáveis com diferentes consequências complexas que podem ter mensurações práticas e determinantes para a sua sustentabilidade. Acredito que este aplicativo é um grande avanço na gestão de bacias hidrográficas, inclusive revolucionando a necessidade de integração de vários órgãos, seja governamentais ou não, na constante busca de resposta de como fazer planejamento visando o melhor aproveitamento dos recursos humanos e econômicos.

Resposta 2 do Especialista em Assistência Técnica e Extensão Rural code nome - VLBC

1) - Qual a relevância de um modelo matemático como proposto para um tomador de decisão dado a relevância da gestão hídrica, em especial o que vivemos no distrito Federal?

1.1) Relevância Estratégica: Aos formuladores de Políticas Públicas e decisores da gestão hídrica:

Resposta: De um modo geral, dirigentes tomam decisões estratégicas perante dilemas que lhes permitam avaliar a relação benefício-custo de cada alternativa. Neste sentido, uma ferramenta como esta, à medida que oferece termos claros de comparação, inclusive gameificados de modo a possibilitar a medição da intensidade dos resultados de cada decisão, só pode ser considerada de elevada importância. Trata-se, ao cabo, de sustentar cientificamente uma decisão política.

1.2) Relevância Tática: No desenvolvimento de projetos a médio e longo prazo, envolvendo a gestão de recursos hídricos:

Resposta: Uma decisão estratégica tomada implica o desenvolvimento de projetos que lhe deem concretude, ou seja, intervenções na realidade que busquem os resultados positivos para a sociedade. Tais projetos, desde que disponham de modelos matemáticos

que permitam simular e medir ações e seus resultados prováveis, ganham no plano tático um aliado importantíssimo, pois torna possível modular a intervenção em toda extensão.

No caso dos recursos hídricos, cruciais para a sociedade, melhorar a capacidade de gestão com um instrumental de base matemática pode ser, de fato, elemento fundamental para a realização de projetos preventivos e mitigadores de crises.

1.3) Relevância Operacional: Sócio Econômica e na prevenção de riscos na agricultura:

Resposta: É consenso que a questão hídrica atinge a população em praticamente todos os elementos que constituem seu bem estar e a sua própria existência. Causa disto, o modo e a intensidade de produção e consumo engendrados ao longo do tempo. Daí, o confronto atual com a (in)segurança hídrica, que nos faz pensar sobre alternativas sustentáveis para o desenvolvimento social e econômico das nações.

O consumo humano direto e indireto através dos alimentos que consome, a maioria deles produzidos a partir da utilização de grandes quantidades de água, encontra-se, por vezes, ameaçado, o que impõe alteração no sentido da diminuição da pressão sobre os recursos hídricos.

Em termos operacionais isto significa criar, aplicar e expandir sistemas de produção de baixo consumo de água, implicando o acompanhamento da disponibilidade hídrica. Dispor de modelos que ofereçam condições de previsibilidade dessa disponibilidade é determinante para a realização de investimentos no setor, dado que quase sempre eles são definitivos ou, pelo menos, de longa maturação.

Em termos agronômicos, a previsibilidade, ou, por outras palavras, a gestão de riscos, é crucial. Secas duradouras, stress hídrico e mesmo a escassez temporária de água podem determinar a quebra de safras importantes, com sérias consequências na economia, no emprego, na inflação etc. Isto posto, parece razoável afirmar que, pela capacidade de auxiliar na gestão de riscos de disponibilidade de água, o modelo proposto serve muitíssimo a operação de projetos agropecuários.

2) Você acredita que uma ferramenta como esta pode apoiar o processo de decisão da Gestão de Recursos hídricos? Se sim, Como?. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Evidentemente, uma ferramenta que some na capacidade de prevenir a disponibilidade/escassez de água é, no mundo atual, extremamente válida, desde que seja efetivamente utilizada. Trata-se de organizar e colocar uma série de dados conhecidos em um modelo que, com razoável precisão, sinalize o sentido em que decisões estratégicas devam ser implementadas.

A gestão de recursos hídricos, por depender basicamente de fatores não controláveis (pluviosidade p.ex.) carece de elementos que permitam atuar sobre aqueles fatores con-

troláveis – armazenamento, manejo, consumo etc. A ferramenta apresentada vai neste sentido, ou seja, permite ao decisor antever pontos críticos em vários dos fatores suscetíveis à ação humana, portanto dependentes de uma determinada política pública.

Submeter projetos e investimentos relevantes em termos hídricos, ao crivo da gestão de riscos oferecida pelo modelo é a forma adequada de obter os melhores elementos para a tomada de decisão.

3) Como você visualiza a Aplicabilidade de um trabalho como este. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Metodologias, modelos, sistemas, controles etc., são utilizados a partir, também, de decisões que muitas vezes ultrapassam os limites puramente técnicos. Aplicar um sistema como o proposto neste trabalho significa, por um lado, ter maior refinamento na decisão tomada, mas, por outro lado, pode significar uma “perda de autonomia” nem sempre assumida pelo decisor político.

Uma eficiente “vacina” contra a preponderância política é a máxima divulgação do modelo. Quanto mais conhecido e sancionado nos setores especializados e intermediários das várias instituições, mais força terá o modelo para se impor como elemento auxiliar da gestão.

O presente trabalho possui boas características como produto social em vista da relevância do tema que trata, e apresenta amplas condições de aplicabilidade dado que requer informações disponíveis e esforços de baixo custo.

Resposta 3 de um dos Responsável pela gestão da Crise Hídrica na Bacia do Descoberto em 2017 - RTA

1) - Qual a relevância de um modelo matemático como proposto para um tomador de decisão dado a relevância da gestão hídrica, em especial o que vivemos no distrito Federal?

1.1) Relevância Estratégica: Aos formuladores de Políticas Públicas e decisores da gestão hídrica:

o Resposta: A ferramenta proposta pode ser utilizada de forma estratégica pelos gestores, juntamente com as informações climatológicas, para tomadas de decisões governamentais que possam mitigar os efeitos de adversidades temporais e locais no âmbito do Distrito Federal.

1.2) Relevância Tática: No desenvolvimento de projetos a médio e longo prazo, envolvendo a gestão de recursos hídricos:

o Resposta: Considerando as peculiaridades de cada sistema e bacia hidrográfica em estudo o modelo matemático poderá indicar suas fragilidades por categoria para futuras propostas de intervenções. As intervenções na bacia poderão ou deverão ser classificadas

como simples a complexas, de baixo custo ou onerosas, bem como quanto ao tempo para a execução.

1.3) Relevância Operacional: Sócio Econômica e na prevenção de riscos na agricultura:

o Resposta: Será de grande valia a análise da gestão dos recursos hídricos do ponto de vista econômico quando se trata de bacias com vocações agrícolas, e principalmente quanto envolve a irrigação, e ainda mais quando se tem diversidades de uso da água da bacia. Se o modelo em desenvolvimento indicar o ganho ou o prejuízo relacionado ao uso da água o trabalho de conscientização dos gestores públicos junto aos usuários e ocupantes do espaço rural será facilitado e demonstrará domínio e segurança a população e outros agentes envolvidos, proporcionando a adesão às intervenções futuras.

2) Você acredita que uma ferramenta como esta pode apoiar o processo de decisão da Gestão de Recursos hídricos? Se sim, Como?. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Sim. Acho que respondi esta pergunta em parte nas respostas anteriores, mas ainda faço a uma consideração que a ferramenta deve ser clara ou transparente e confiável para os gestores tomarem decisões acertadas.

3) Como você visualiza a Aplicabilidade de um trabalho como este. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Acredito que a ferramenta deva ser acompanhada por técnicos que conheçam os conceitos e a realidade local e as potenciais soluções para as intervenções para afinar o discurso com a prática. Possivelmente a ferramenta será utilizada intensamente na adaptação a realidade local, com ajustes, no lançamento das bases de informações das bacias, na análise dos resultados e nos estudos de propostas de intervenções, e depois servirá para acompanhar os alcances propostos.

Resposta 4 de um dos Gestores da Crise Hídrica no DF, especialista em Irrigação e recursos hídricos na Bacia do Descoberto - ANDT

1) - Qual a relevância de um modelo matemático como proposto para um tomador de decisão dado a relevância da gestão hídrica, em especial o que vivemos no distrito Federal?

1.1) Relevância Estratégica: Aos formuladores de Políticas Públicas e decisores da gestão hídrica:

Resposta: Os formuladores de políticas públicas precisam se basear em informações conjunturais confiáveis e multifatoriais no planejamento. O modelo proposto une os fatores relevantes no que se refere à disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica

e fornece informações que certamente reduzirão a possibilidade de erros na formulação dessas políticas.

1.2) Relevância Tática: No desenvolvimento de projetos a médio e longo prazo, envolvendo a gestão de recursos hídricos:

Resposta: Na gestão de recursos hídricos, esse modelo possibilitará rápida identificação de prioridades e otimizará esforços na elaboração de projetos por reunir indicadores necessários em um só local.

1.3) Relevância Operacional: Sócio Econômica e na prevenção de riscos na agricultura:

Resposta: Na agricultura, atividade onde a gestão do risco é fundamental, o modelo possibilitará à entidades públicas e privadas tomadas de decisão fundamentadas e certamente mais adequadas.

2) Você acredita que uma ferramenta como esta pode apoiar o processo de decisão da Gestão de Recursos hídricos? Se sim, Como?. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Sim. Essa ferramenta possibilitará prever com adequada antecedência os eventos em uma bacia hidrográfica por meio da análise e inter-relação entre diversos fatores como o clima, produção e demanda de água.

3) Como você visualiza a Aplicabilidade de um trabalho como este. Dê sua opinião livremente:

Resposta: Esse trabalho pode ser utilizado por gestores públicos e privados no planejamento de políticas e ações, na elaboração de projetos e nas tomadas de decisão quanto à questão hídrica referentes a uma bacia hidrográficas.

Anexo V

Algoritmo para Cálculo do Risco

V.1 Anexo 5 - Algoritmo para Calcular do Risco

```
double riscoIndice(double isRisco){
    int dia = getDayOfMonth();
    int mes = getMonth() + 1;
    int ano = getYear();
    CountRUN++;

    if (IndiceSustentabilidade >0.2){
        SistemaOK++;
        SistemaEntraEmFalha=SistemaEmFalha=0;
    }
    if (IndiceSustentabilidade <=0.2){
        SistemaFalhou++;
        SistemaEmFalha=1;
    }
    if (SistemaEmFalha==1 && SistemaEntraEmFalha==0){
        QtdVezEntrouEmFalha++;
        SistemaEntraEmFalha=1;
        txtVezesEntrouEmFalha . setText ( QtdVezEntrouEmFalha );
    }
    if (IndiceSustentabilidade <=0){
        SistemaInsustentavel++;
    }
}
```

```

if (SistemaEmFalha==1){
    QtdVezFalhou++;
    txtqtdVezFalhou.setText(QtdVezFalhou);
}
txtCountRUN.setText(CountRUN);
txtSistemaOK.setText(SistemaOK);
txtSistemaFalhou.setText(SistemaFalhou);
txtSistemaInsustentavel.setText(SistemaInsustentavel);

alfa = SistemaOK/CountRUN;
if (QtdVezEntrouEmFalha==0){
    beta = 0;
}
else {
    beta = ( 1/( (1/QtdVezEntrouEmFalha)*(QtdVezFalhou) ) );
}

double fator1 = 0.333 ;

gama = ( (fator1)*(1-alfa) ) + ( (fator1)*(1-beta))
+ (IndiceVulnerabilidade* fator1);

txtConf.setText(alfa);
txtResli.setText(beta);
txtVulner.setText(IndiceVulnerabilidade);
txtRiscoSeca.setText(gama);

return isRisco;
}

```

Anexo VI

Projeção do Crescimento Populacional

VI.1 Anexo 6 - Projeção do Crescimento Populacio- nal até 20130

Projeção do Crescimento Populacional para 2030.

Fonte: IBGE, maio/2018.

Ano	Qtd. População	Taxa Cresc. Anual	Num. Nascidos	Óbitos	Saldo Migratóri	Espctavia de Vida
2000	2.108.798	1,01888	43.656	9.410	4.744	72,25
2001	2.148.606	1,01888	43.103	9.329	6.847	72,73
2002	2.190.118	1,01932	42.605	9.297	9.094	73,19
2003	2.233.473	1,01980	42.184	9.310	11.444	73,64
2004	2.278.824	1,02031	41.865	9.368	13.896	74,07
2005	2.326.355	1,02086	41.664	9.461	16.462	74,49
2006	2.376.239	1,02144	41.554	9.599	19.149	74,89
2007	2.428.637	1,02205	41.512	9.771	21.947	75,28
2008	2.483.669	1,02266	41.551	9.985	24.798	75,64
2009	2.541.434	1,02326	41.685	10.236	27.716	76,00
2010	2.602.074	1,02386	41.919	10.521	30.723	76,34
2011	2.664.444	1,02397	42.203	10.842	31.271	76,67
2012	2.727.098	1,02351	42.495	11.187	31.372	76,98
2013	2.789.761	1,02298	42.782	11.564	31.449	77,28
2014	2.852.372	1,02244	43.049	11.955	31.480	77,57
2015	2.914.830	1,02190	43.281	12.375	31.450	77,85
2016	2.977.216	1,02140	43.507	12.811	31.750	78,12
2017	3.039.444	1,02090	43.692	13.281	31.626	78,37
2018	3.101.220	1,02032	43.839	13.769	31.462	78,62
2019	3.162.452	1,01974	43.962	14.282	31.264	78,85
2020	3.223.048	1,01916	44.066	14.818	31.035	79,08
2021	3.282.791	1,01854	44.147	15.382	30.454	79,30
2022	3.341.579	1,01791	44.188	15.977	30.176	79,50
2023	3.399.501	1,01733	44.198	16.599	29.879	79,70
2024	3.456.467	1,01676	44.179	17.251	29.565	79,89
2025	3.512.409	1,01618	44.128	17.943	29.239	80,06
2026	3.567.130	1,01558	44.053	18.657	28.655	80,23
2027	3.620.581	1,01498	43.961	19.397	28.314	80,40
2028	3.672.828	1,01443	43.841	20.175	27.970	80,55
2029	3.723.789	1,01388	43.676	20.975	27.625	80,70
2030	3.773.409	1,01333	43.458	21.801	27.279	80,83

Figura VI.1

Anexo VII

Ferramentas e Técnicas - ISO/IEC 31010:2012

Nº.	FERRAMENTAS & TÉCNICAS	IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS	ANÁLISE DE RISCOS			AVALIAÇÃO DE RISCOS (DECISÃO)
			CONSEC	PROB	NÍVEL DE RISCO	
1	Brainstorming	AA	NA	NA	NA	NA
2	Entrevistas Estruturadas ou Semi-Estruturadas	AA	NA	NA	NA	NA
3	Técnica de Delphi	AA	NA	NA	NA	NA
4	Checklists	AA	NA	NA	NA	NA
5	Análise de risco primário	AA	NA	NA	NA	NA
6	Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)	AA	AA	A	A	A
7	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle	AA	AA	NA	NA	AA
8	Avaliação de Riscos	AA	AA	AA	AA	AA
9	Técnica Estruturada de What-If (SWIFT)	AA	AA	AA	AA	AA
10	Análise de Cenários	AA	AA	A	A	A
11	Análise de impacto nos negócios	A	AA	A	A	A
12	Análise de Causa- Raiz	NA	AA	AA	AA	AA
13	Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA/FMECA)	AA	AA	AA	AA	AA
14	Análise de Árvore de Falhas	A	NA	AA	A	A
15	Análise de Árvore de	A	AA	A	A	NA
16	Análise de Causa &	A	AA	AA	A	A
17	Análise de Causa-e-Efeito	AA	AA	NA	NA	NA
18	Análise de Camadas de Proteção (LOPA)	A	AA	A	A	NA
19	Análise de Árvore de	NA	AA	AA	A	A
20	Análise de Confiabilidade Humana (HRA)	AA	AA	AA	AA	A
21	Análise da Gravata Borboleta (Bow-Tie)	NA	A	AA	AA	A
22	Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)	AA	AA	AA	AA	AA
23	Análise de Circuitos Ocultos (Sneak Circuit Analysis)	A	NA	NA	NA	NA
24	Análise de Markov	A	AA	NA	NA	NA
25	Simulação de Monte Carlo	NA	NA	NA	NA	AA
26	Estatística Bayesiana e	NA	AA	NA	NA	AA
27	Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA/FMECA)	AA	AA	AA	AA	AA
28	Análise de Árvore de Falhas	A	NA	AA	A	A
29	Análise de Árvore de	A	AA	A	A	NA
30	Análise de Causa & Consequencia	A	AA	AA	A	A
31	Análise de Causa-e-Efeito	AA	AA	NA	NA	NA
32	Análise de Camadas de Proteção (LOPA)	A	AA	A	A	NA
33	Análise de Árvore de decisão	NA	AA	AA	A	A
34	Análise de Confiabilidade	AA	AA	AA	AA	A

Nº.	FERRAMENTAS & TÉCNICAS	IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS	ANÁLISE DE RISCOS			AVALIAÇÃO DE RISCOS (DECISÃO)
			CONSEC	PROB	NÍVEL DE RISCO	
35	Análise da Gravata Borboleta (Bow-Tie)	NA	A	AA	AA	A
36	Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)	AA	AA	AA	AA	AA
37	Análise de Circuitos Ocultos (Sneak Circuit Analysis)	A	NA	NA	NA	NA
38	Análise de Markov	A	AA	NA	NA	NA
39	Simulação de Monte Carlo	NA	NA	NA	NA	AA
40	Estatística Bayesiana e Redes Bayes	NA	AA	NA	NA	AA

AA = Altamente Aplicável A= Aplicável

NA= Não Aplicável

A classificação acima, de acordo com a norma internacional ISO/IEC 31010, mostra como uma determinada técnica se aplica em cada etapa do processo de avaliação de riscos (risk assessment), conforme segue:

- identificação de riscos;
- análise de riscos - análise de consequências
- análise de riscos – estimativa qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa de probabilidades;
- análise de riscos - avaliação da eficácia de qualquer controle
- análise de riscos - estimativa do nível de risco;
- avaliação de riscos (risk evaluation).

Para cada etapa no processo de avaliação de riscos (risk assessment), a aplicação do método é descrita como Altamente Aplicável, Aplicável ou