VII SINGEP
Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

DINÂMICA DE SISTEMAS: APLICAÇÃO À ANÁLISE DE GERAÇÃO DE VALOR EM UMA EMPRESA DE GRANDE PORTE

JOSÉ EDSON LARA
Fundação Pedro Leopoldo (FPL)

PLÍNIO FERRAZ PINTO VIANA
Fundação Pedro Leopoldo (FPL)

EDUARDO TRINDADE BAHIA
IETEC

Fundação Pedro Leopoldo

ISSN: 2317-8302

Dinâmica de sistemas: aplicação à análise de geração de valor em uma empresa de grande porte

Resumo

A abordagem da dinâmica de sistemas tem larga aplicação nas engenharias e, gradualmente, vem sendo introduzida em estudos de gestão dos negócios. Este artigo propõe aplicar este instrumental em uma área estratégica, e que se refere à capacidade de geração de valor pelas organizações. No artigo é desenvolvido um modelo utilizando a técnica de dinâmica de sistemas que permite quantificar resultados de lucro econômico (EVA) e simular as implicações de diferentes cenários. Inicialmente, foi empregado o instrumental consagrado de finanças para identificar parâmetros e os vetores de valor da empresa objeto do estudo, sendo que, de acordo com o modelo de 2012 a 2017 essa empresa não foi capaz de gerar valor aos acionistas em face da abrupta queda do preço internacional do minério de ferro, bem como do alto custo de capital da organização. Em seguida, o modelo na versão de dinâmica de sistemas foi calibrado para reproduzir a trajetória recente de geração de valor da empresa e para simular o comportamento futuro do EVA. A metodologia provou ser útil ao abordar o tema de geração de valor em uma perspectiva dinâmica e ao introduzir novas possibilidades teórico-instrumentais que podem ser exploradas na área das ciências sociais.

Palavras-chave: Dinâmica de sistemas; Geração de valor; EVA.

Abstract

The systems dynamics approach has a wide application in engineering and is gradually being introduced in business management studies. This article proposes to apply these tools in a strategic area, and that refers to the capacity of value creation by the organizations. In the article, a model is developed using the system dynamics technique that allows quantifying economic profit (EVA) results and simulating the implications of different scenarios. Initially, it was used the instrument of finance to identify parameters and value vectors of the company object of study, and according to the model from 2012 to 2017 this company was not able to generate value to shareholders in the face of the abrupt fall of the international price of iron ore as well as the high cost of capital of the organization. Next, the model in the system dynamics version was calibrated to replicate the company's recent value generation trajectory and to simulate future EVA behavior. The methodology proved to be useful in addressing the issue of value generation in a dynamic perspective and introducing new theoretical and instrumental possibilities that can be explored in the social sciences.

Keywords: System Dynamics, Value Generation, EVA.

1 Introdução

As mudanças ambientais, decorrentes das ações das inúmeras estruturas institucionais, sociais e tecnológicas, têm impulsionado as empresas a ajustarem seus modelos de negócios para atuar em consonância com contextos incertos, turbulentos e dinâmicos. A condição para a sustentabilidade é a efetividade, dimensionada em eficácia e eficiência, lograda a partir de gestão estratégica de negócios, em seus propósitos e processos corporativos, visando obter vantagens competitivas frente aos concorrentes. Neste contexto, com a necessidade das organizações se desenvolverem e adaptarem suas políticas às constantes mudanças no ambiente dos negócios, a geração de valor traduz o objetivo final das empresas, de forma responsável, de desenvolvimento sustentado em relação às expectativas de seus stakeholders (Andriof, Waddock, Husted & Rahman, 2017; Kumar & Sundarraj, 2017).

A análise de desempenho organizacional, numa perspectiva integrativa e sistêmica, busca identificar as variáveis de subsistemas e suas relações e inter-relações com outros subsistemas, com o objetivo de se escolher as melhores estratégias para o contexto organizacional como um todo (Kudelié & Konecki, 2017). Assim, a geração de valor retrata o desempenho econômico-financeiro necessário para criar valor aos shareholders e pavimentar a sustentabilidade de uma organização (Young & O'Byrne, 2003).

Conceitualmente, a dinâmica de sistemas interessa-se pela análise do comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo e à simulação desse comportamento, utilizando ferramentas computacionais (Sterman, 2000; Forrester, 2013; Morecrof, 2015). Do ponto de vista da utilização da dinâmica de sistemas no contexto dos negócios destacam-se três aplicações: investigação e solução de problemas, que consiste na busca pela compreensão da estrutura dinâmica de um sistema complexo, que gera um determinado comportamento problemático ao longo do tempo; projeto de soluções, objetivando construir um modelo quantitativo de simulação computacional para explorar as consequências de determinadas decisões e propor cenários, recursos e políticas que poderão mitigar os problemas analisados e definir novos procedimentos organizacionais; e, laboratórios de aprendizagem, visando a construção dos chamados "micromundos" ou "simuladores de voo gerencial" com o objetivo de se desenvolver um ambiente de aprendizagem e treinamento organizacional individual ou em grupo (Mrecroft, 2015)

Algumas pesquisas utilizando a dinâmica de sistemas foram desenvolvidas nas áreas dos negócios e da gestão empresarial, tais como os trabalhos nas áreas de manutenção, (Shahanaghi & Yazdian, 2009); logística, (Silva, Ferreira, Belderrain, & Correia, 2016); operações, (Figueiredo, 2010); planejamento de vendas e operação, (Domingos, Politano, & Pereira, 2015); marketing, (Crescitelli & Figueiredo, 2009); sustentabilidade (Uehara, Cordier & Hamaide, 2018); crescimento econômico (Bueno, 2010). Entretanto, constatou-se que existem poucos estudos em ciências sociais no país com o emprego deste instrumental, e não foi possível identificar qualquer aplicação no campo da estratégia corporativa de geração de valor, constituindo-se, assim, uma abordagem inovadora, o que justifica a realização deste trabalho.

A pesquisa procura resposta para a seguinte questão: pode-se empregar o modelo de dinâmica de sistemas para estimar o desempenho econômico-financeiro de uma organização? Consoante esta predisposição, foi estabelecido o objetivo geral que é o de desenvolver uma versão sistêmica do modelo EVA capaz de descrever cenários futuros de geração de valor aplicáveis a uma empresa. Como objetivos específicos, buscou-se: identificar os elementos de geração de valor de uma organização; propor um modelo com uso do instrumental de dinâmica de sistemas capaz de reproduzir as trajetórias de geração de valor; e, simular, mediante alterações em variáveis estratégicas, as possibilidades de geração de valor da organização com o uso deste modelo.

A justificativa deste estudo, no que se refere à contribuição à literatura, se fundamenta no fato de que, ainda que se tenha buscado referências em importantes bases de artigos científicos, não se encontrou estudo analítico que usa o instrumental da dinâmica de sistemas no que diz respeito à formulação de estratégias de geração de valor. Acredita-se que um estudo acadêmico com a devida consistência epistemológica, teórica, morfológica e tecnológica, atendendo aos cânones de uma produção científica, poderá proporcionar contribuições substanciais ao estado da arte do tema em estudo. Nesse sentido, é também de bom alvitre supor que os gestores das empresas necessitam de estudos relevantes, que discutam temas inerentes à estratégia das organizações no contexto de novas tecnologias do conhecimento como a aplicação da dinâmica de sistemas.

2 Referencial Teórico

Serão apresentados nesta seção, de forma breve, os conceitos empregados na análise de EVA e na concepção de modelos de dinâmica de sistemas, que permitem simular possíveis trajetórias da geração de valor de uma corporação.

2.1 Sobre a Geração de Valor

Segundo Copeland et al. (2002), se os administradores concentrarem-se na construção de valor para o acionista criarão empresas mais saudáveis, que, por sua vez, levarão a economias mais sólidas, padrões de vidas mais elevados e maiores oportunidades de carreira e de negócios para os indivíduos. Esta concepção remonta a um dos mais importantes economistas da história econômica, Alfred Marshall, que introduziu o conceito de lucro econômico ainda no século XIX e que tem o mérito de medir o desempenho de forma clara e objetiva (Kistainy, et al., 2012).

Uma das maneiras de se medir a criação de valor para a organização é pelo valor econômico agregado (EVA), popularizada pela consultoria americana Stern Stewart Co., muito utilizada em grandes empresas, e que constitui uma métrica de desempenho financeiro distinta do lucro contábil. O lucro contábil não considera o custo de oportunidade de capital e os riscos assumidos pelos investidores. Estes podem ser refletidos no custo de oportunidade do capital investido, cujas fontes são os capitais de terceiros e dos acionistas. A ideia básica é que o retorno sobre o investimento deve ser consistentemente superior ao seu custo líquido para que um projeto adicione valor à organização, na forma apresentada pela equação 1:

$$\mathrm{EVA} = [(\mathrm{ROIC} - \mathrm{WACC}) \times \mathrm{CI}] \qquad (1)$$

Sendo:

ROIC - retorno sobre o capital investido, expresso pelo NOPAT (resultado operacional após a dedução dos Impostos) dividido pelo capital total investido (CI);

WACC - Custo Médio Ponderado de Capital

CI - capital total investido refletido pela necessidade de capital de giro (NCG) adicionada ao ativo realizável a longo prazo e o ativo permanente líquido (investimentos, imobilizados e intangíveis) (Galvão, Bressan & Campos, 2008).

Essa abordagem tem uma vasta utilização e permite que as organizações recompensem seus executivos (Bastos, Nakamura, David, & Rotta, 2009) e avaliem melhor suas estratégias financeiras e capacidades diferenciadoras para desenvolver vantagens competitivas frente ao mercado e captar novos investidores, podendo gerar mais riqueza (Young & O'Byrne, 2003).

A mensuração do EVA parte do pressuposto de que a avaliação do desempenho proporcionado por qualquer ativo, mesmo com o uso de modelos matemáticos, envolve decisões subjetivas, uma vez que o retorno de um ativo é calculado com base em expectativas de resultados futuros deste mesmo ativo (Keynes, 1936). A relação entre risco/retorno quando da tomada de decisão em relação a determinado investimento ganhou corpo a partir dos trabalhos de Markowitz (1952), cujo resultado foi o desenvolvimento de um modelo matemático de otimização de carteiras baseado na combinação de ativos individuais, capaz de reduzir o risco do investidor (volatilidade dos retornos, sendo esta medida pelo desvio padrão dos retornos). Posteriormente, o conceito de risco foi refinado, sendo admitido que o risco total pode ser classificado em específico (diversificável) e o risco não diversificável ou sistemático (beta), e esta interpretação marca o início da teoria do CAPM - Capital Asset Pricing Model (Fama & French, 2004). Esta teoria é intuitiva e bem simples, estabelecendo que o retorno de qualquer ativo se dá em função do risco assumido (Sharpe, 1964; Lintner, 1965). Não obstante às várias críticas (Fernandes, 2014). continua sendo a abordagem mais empregada para a precificação do custo de capital próprio (Levi & Welch, 2016; Da, Guo & Jagannathan, 2012).

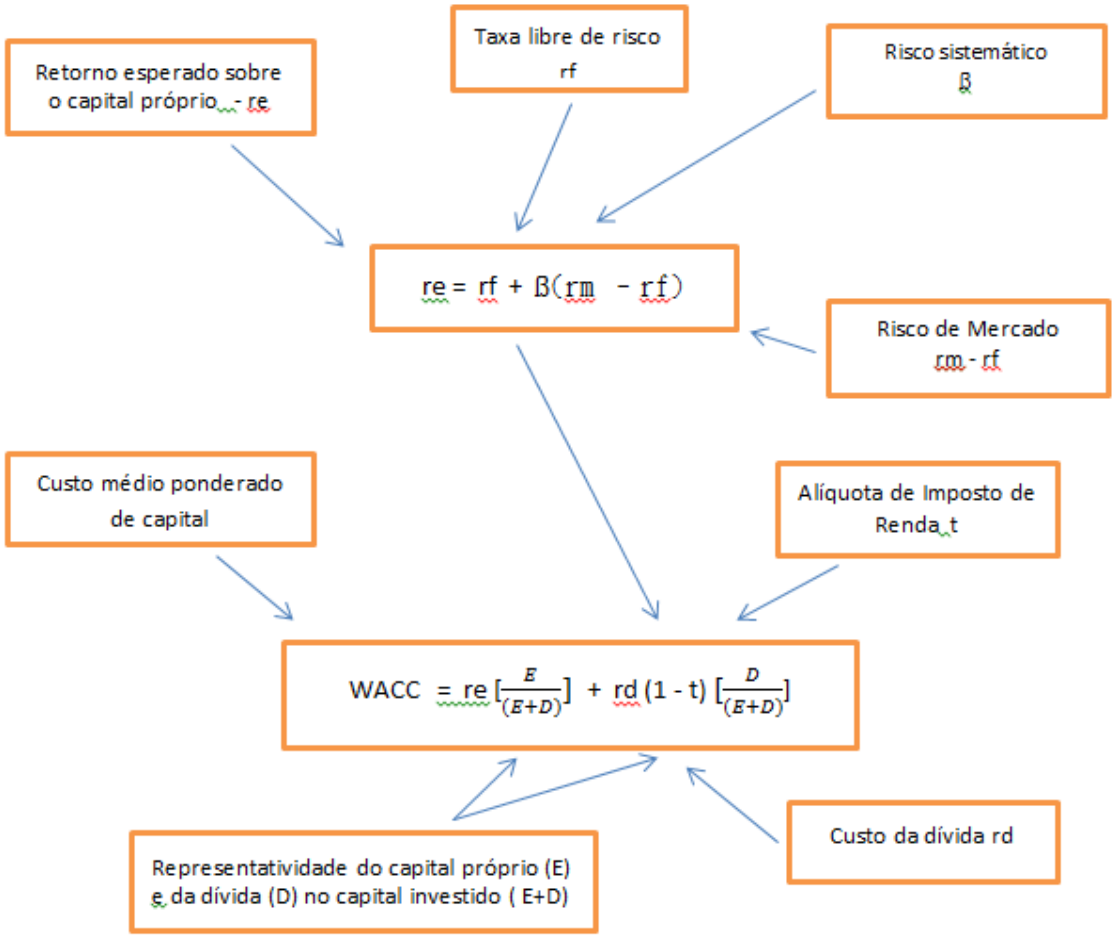

Figura 1 – Procedimentos para a estimativa do custo médio ponderado (WACC)
Fonte: Adaptado de E. Kislingerová. (2000). Using of the economic value added model for valuation of a company. Prague University of Economics. Biatec, Roãník, 8(1). P.39.

Em geral, empresas trabalham alavancadas, utilizando o financiamento corporativo de curto e longo prazo para ampliar as suas possibilidades de crescimento e explorar os benefícios fiscais proporcionados pelo uso de capital de terceiro (Miller, 1988). Sabe-se, contudo, que a dívida aumenta o risco da empresa que cresce com o endividamento e coloca limites ao uso de capital de terceiros (Fama & Stern 2016). Assim, as contribuições de Modigliani e Miller ensejaram o surgimento de uma teoria bastante aceita no meio acadêmico, denominada de teoria do "trade off " que leva em conta dois fatores que atuam em direções opostas: as economias fiscais induzem as empresas a endividarem, enquanto que os riscos de inadimplência e os custos percebidos de falência inibem o apetite das empresas pelo financiamento. O uso indiscriminado de dívidas além de aumentar o custo financeiro produz também o risco de insolvência financeira ou de falência, o que pode reduzir o valor da organização.

Desta forma, a estimativa do custo de capital necessária para mensurar o EVA deve levar em consideração as diferentes formas de financiamento e os riscos que estão expressos nos custos de capital próprio e de terceiros, conforme ilustrado pela Figura 1.

2.2 Sobre a Dinâmica de Sistemas

O marco na área de dinâmica de sistemas (system dynamics) foi a publicação do livro "Industrial Dynamics", por Jay Forrester no MIT (Massachusetts Institute of Technology), no início da década de 1960 (Forrester, 1961). Essa obra foi inicialmente aplicada à simulação nas áreas de teoria de controle e processos industriais. Todavia, hoje ela é aplicada em diversas áreas como a Biologia, a Engenharia e as Ciências Sociais.

Para Sterman (2000), a dinâmica de sistemas é um campo que possui o objetivo de mapear estruturas de sistemas organizacionais ou sociais e verificar a inter-relação de seus elementos num contexto amplo em que cada parte contribui para um processo comum. Assim, de acordo com o autor através da simulação por dinâmica de sistemas, pode-se compreender como um determinado sistema se comporta ao longo do tempo e como possíveis mudanças em seus elementos afetam todo o seu comportamento

O uso da dinâmica de sistemas possibilita a construção de um modelo da realidade. Seus elementos e suas relações de causa e efeito podem ser visualizados por diagramas e gráficos através da simulação computacional. Isso torna possível a experimentação de alternativas e mudanças no comportamento dos elementos de um sistema e a definição de cenários que podem resultar em diferentes comportamentos de um mesmo sistema (Walters, et al., 2016).

A dinâmica de sistemas utiliza dois tipos de diagramas que podem ser simulados por computador e que são compostos por enlaces de feedback que se interagem: o diagrama de laço causal (modelagem "soft") e o diagrama de estoque e fluxo (modelagem "hard"), conforme destaca Sterman (2000) (Tabela 1).

Os diagramas de laço causal representam as relações de causa e efeito entre as variáveis ou elementos de um determinado sistema complexo e permitem que as estruturas de retro-alimentação ("feedback") sejam visualizadas (Pidd, 1998). Assim, o primeiro passo ao se utilizar a "dinâmica de sistemas" seja entender os enlaces das retro-alimentações que fazem parte do sistema complexo em estudo

Sterman (2000) esclarece como os processos de feedback, presente em sistemas complexos, encontram-se em várias situações ao nosso redor. A expansão da população mundial, o crescimento de start-ups, as quedas abruptas na bolsa de valores e a proliferação de micróbios em nossos organismos são exemplos de feedbacks positivos. Já a tendência de nossos corpos tentarem manter a nossa temperatura interna em 37 ^{0}C, as dificuldades

encontradas em alterar o status-quo numa organização e as relações econômicas de equilíbrio entre oferta e demanda são exemplos de feedbacks negativos.

Tabela 1 - Diferenças entre as modelagens soft e hard

	HARD	*SOFT*
Definição do modelo	Uma representação da realidade.	Um método para gerar debates e *insights* sobre a realidade.
Definição do problema	Uma única e bem definida dimensão (objetivo específico).	Múltiplas dimensões (objetivos diversos).
Agentes / Organizações	Não são levados em conta.	Partes integrantes do modelo.
Dados / Informações	Quantitativos.	Qualitativos.
Objetivos	Soluções e otimizações.	*Insights* e aprendizagem.
Resultados	Produtos ou recomendações.	Aprendizado em grupo ou autodesenvolvimento.

Fonte: Bastos, A. A. (2003). A Dinâmica de Sistemas e a compreensão de estruturas de negócios. São Paulo:Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

Para Cardozo (2000), o diagrama de laço causal permite uma visão sistêmica da estrutura causal do sistema complexo cuja utilização ocorre nas seguintes situações: em conceitualização de problemas; no desenvolvimento de modelos de fluxo e estoque; na análise qualitativa e explicação de resultados de simulações; e em projetos de novas políticas.

Para Richmond e Peterson (2001), o fato dos diagramas causais não permitirem a distinção entre fluxos e estoques, nem a sua simulação computacional, e se basearem apenas em palavras e setas para caracterizar um laço de realimentação, podem conduzir a deduções erradas sobre o comportamento de um determinado sistema complexo. Por isso, a importância da simulação computacional mediante o método de diagrama de fluxo e estoque da dinâmica de sistemas.

Para Pidd (1998), o principal objetivo dos diagramas de fluxo e estoque é representar os relacionamentos quantitativos (matemáticos) entre as variáveis de estoque (acumulações) e as variáveis de fluxo (taxas) que formam um modelo dinâmico de um sistema complexo enfatizando a estrutura física do sistema analisado.

O retângulo representa o nível, acumulações ou estoques; as flechas com duas linhas sólidas representam os fluxos físicos com sua variável de fluxo; as demais são variáveis auxiliares ou constantes; as nuvens representam a fonte e o destino; e, as setas representam os fluxos de informação.

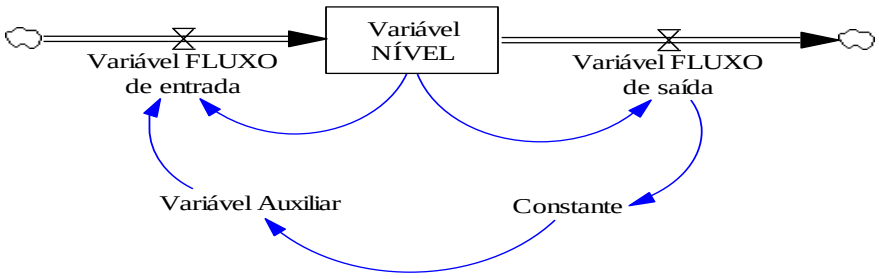

Figura 2 - Diagrama de Fluxo e Estoque.
Fonte: Filho, J. B. (2001). Simulação dinâmica de modelos operacionais com enfoque aplicado à engenharia de projetos. Florianópolis, SC: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.

As nuvens, representadas na Figura 2 como fonte e destino, estão fora dos limites do sistema complexo analisado. Por isso, possuem essa notação em nuvem e não são

consideradas nos resultados e comportamentos do sistema em suas simulações computacionais (Musse, 2010).

Para Ford (1999) e Martin (1997), os elementos essenciais para a elaboração do modelo dinâmico são os estoques e os fluxos. Segundo eles, qualquer sistema complexo pode ser representado por essas duas variáveis. A variável estoque pode representar integrações (acumulações) ou somatórias. A forma como o estoque será representado dependerá dos intervalos de tempo nos quais os fluxos ocorrem. Caso o intervalo seja contínuo o estoque representará integrações ou acumulações, caso seja intervalos de tempo discretos o estoque representará somatórias. Já Cardozo (2000) esclarece que o principal problema na modelagem em dinâmica de sistemas está na dificuldade de se definir de forma precisa as variáveis de fluxo do sistema complexo analisado. Outros aspectos importantes a serem considerados em dinâmica de sistemas são os efeitos ou a sua percepção de forma não imediata. Atrasos estão presentes em vários momentos em nossa vida, assim como nos efeitos em sistemas complexos. O efeito de uma determinada ação pode levar muito tempo para ocorrer ou ser percebido (Musse, 2010).

Cardozo (2000) propõe um roteiro contendo oito passos para a construção e teste de simulações em dinâmica de sistemas: 1) aquisição de conhecimentos; 2) especificação do comportamento dinâmico; 3) construção do diagrama de laços causais; 4) construção do diagrama de fluxo e estoque; 5) estimativa de valores dos parâmetros; 6) verificação da consistência; 7) análise de sensibilidade; 8) aplicação de políticas.

Sterman (2000) explica que, na prática, não há nenhuma "receita de bolo" ou procedimento para se elaborar um modelo de sucesso em Dinâmica de Sistemas que garantirá a sua utilidade. Esse processo é interativamente criativo no qual os modeladores terão estilos e aproximações diferentes entre si. Mesmo assim, os modeladores de sucesso, segundo Sterman (2000), seguiram um procedimento sistemático que envolve as seguintes atividades (ver Figura 31): (1) articular o problema a ser abordado, (2) formular a hipótese dinâmica ou a teoria sobre as causas desse problema, (3) formular o modelo que será simulado para testar a hipótese dinâmica, (4) testar esse modelo até que seja atingido o seu propósito ou o problema seja solucionado, (5) projetar e avaliar políticas para desenvolvimento da organização a partir dos resultados e do comportamento do sistema simulado.

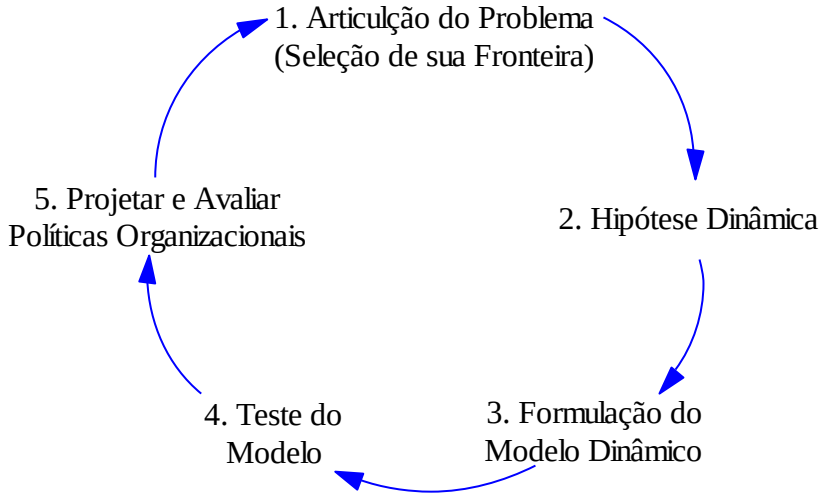

Figura 31 - Modelo iterativo de Dinâmica de Sistemas proposto por Sterman.
Fonte: Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin McGraw-Hill.

O modelo apresentado neste artigo utilizando análise de sistema foi desenvolvido a partir de Sterman (2000), sua representação gráfica e a operacionalização dos vetores de geração de valor estão detalhadas na seção seguinte.

3 Metodologia

Esta pesquisa se caracteriza por ser descritiva e com uma abordagem quantitativa, mediante uso de análise de regressão e do método de dinâmica de sistemas para simular trajetórias de geração de valor da empresa Vale S.A, empresa extrativa mineral de capital aberto com ações negociadas na B3.

Registra-se que as simulações apresentadas constituem-se apenas um exercício cujo principal objetivo é detalhar um modelo muito conhecido em finanças que poderia ser utilizado para analisar o desempenho econômico-financeiro de organizações de diferentes setores e atividades produtivas. Os dados históricos da empresa objeto da análise foram extraídos das informações divulgadas no mercado, e reportam-se a um período muito conturbado, haja vista a grande e abrupta queda no preço do minério de ferro, que é o principal produto comercialização pela empresa objeto do estudo. Obviamente, tanto os retornos (ROIC) quanto os custos de capital (WACC) foram influenciados negativamente, e isto se traduz em um desempenho insatisfatório da empresa na perspectiva dos shareholders. Assim, há expectativa de que esta situação possa ser alterada em um futuro próximo, de tal maneira que foram apresentadas simulações mais otimistas sobre esses vetores de geração de valor. Isto posto, fica o alerta de que as simulações referem-se às mudanças de parâmetros de custo de capital e de retornos operacionais, que podem ou não ocorrer, e foram adotados com intuito apenas de mostrar como o modelo poderia ser operacionalizado.

Foram utilizadas equações, consoante a especificação matemática do EVA, para relacionar todas as variáveis (estoque, fluxo e auxiliares) conforme ilustrado na Figura 1. Após a obtenção dos parâmetros do modelo EVA, foi criado o diagrama do sistema para se analisar, mediante simulação (Figura 4), o comportamento futuro da empresa em face de alterações de parâmetros desse sistema (WACC e ROIC).

As variáveis estoque, caracterizadas matematicamente por integrais,**Erro! Fonte de referência não encontrada.** são a necessidade de capital de giro (NCG), o resultado operacional líquido após a dedução do imposto de renda (NOPAT) e o lucro econômico (EVA), apresentadas no referencial teórico. As variáveis fluxo (EVA Acumulado), caracterizadas matematicamente por derivadas, são as responsáveis pelas mudanças das variáveis estoque. As demais variáveis são auxiliares e dependentes das variáveis fluxos.

Na operacionalização do modelo, foram utilizados os softwares Eviews e VenSim, sendo o primeiro empregado para estimar o risco sistemático da empresa (beta), e o segundo para simular as mudanças de parâmetros no modelo EVA. As constantes e variáveis descriminadas no digrama de fluxo e estoque foram inseridas no VenSim, e em seguida, o modelo com o instrumental de dinâmica de sistemas foi calibrado visando reproduzir os dados estimados para o EVA referente ao ano de 2017 (cenário base). Posteriormente, foi projetada a geração de valor para um período de 10 anos, admitindo-se os seguintes cenários (Tabela 2):

ISSN: 2317-8302

Tabela 2 – Cenários das simulações por Dinâmica de Sistemas

Cenários	WACC	ROIC	Cenários	WACC	ROIC
Simulação 1	-1%	Constante	**Simulação 6**	Constante	+3%
Simulação 2	-2%	Constante	**Simulação 7**	-1%	+1%
Simulação 3	-3%	Constante	**Simulação 8**	-2%	+2%
Simulação 4	Constante	+1%	**Simulação 9**	-3%	+3%
Simulação 5	Constante	+2%			

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

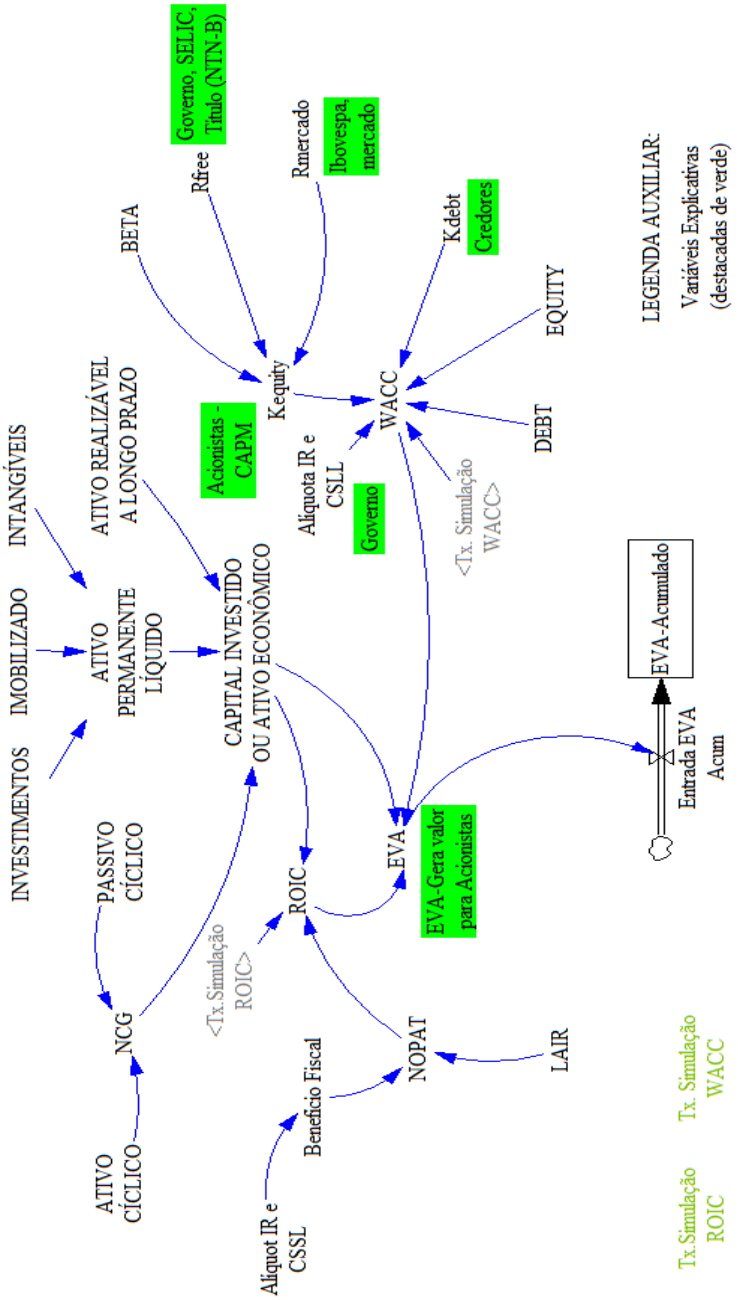

Figura 4 - Diagrama de fluxo e estoque – Gestão de Valor
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

4 Análise dos Resultados

Para o cálculo do custo de capital próprio, foi necessário empregar uma taxa livre de risco, arbitrar um prêmio de risco de mercado e estimar o beta. Para a taxa livre de risco foi considerado o título público NTN-B Principal com vencimento em 15/08/2024 com rentabilidade de 5,5% a.a, obtido do site do Tesouro Direto do Governo Federal, tendo sido acrescentada a taxa média de inflação do período da análise de 6,50% ao ano (a.a.). Adotou-se o prêmio de risco de mercado de 5%, conforme sugerido por Silva, Locatelli e Lamounier (2016).

O risco sistemático da empresa (ß) foi estimado em 1,2865, sendo que o coeficiente foi estatisticamente significativo no nível de 1% (Tabela 3). Esse valor revela uma sensibilidade dos retornos da Vale S.A maior do que a da carteira de mercado (Ibovespa - IBV). Tal fato indica que, no período, o ativo da empresa era mais arriscado do que a carteira de mercado, reflexo tanto da volatilidade da commodity transacionada pela companhia como por seu elevado nível de endividamento.

Tabela 3 - Estimativa do Risco Sistemático da Vale S.A: 2012/2016[1]

Variável	Coeficientes	Erro Padrão	Estatística t	Prob.
C	-0,0049	0,0111	-0,4441	0,6584
IBV	1,2865[2]	0,1917	6,7079	0,0000
R^2 = 0,3947	R^2 ajustado = 0,3859	F = 44,9964	D-W = 2,2745	

Nota: [1] Não foram detectados problemas de autocorrelação e de heteroscedasticidade.[2] Beta alavancado.
Fonte: Estimativas dos autores.

Introduzindo o valor de beta e as demais informações de mercado na fórmula de cálculo do CAPM, estimou-se um custo de capital próprio de 18,4% ao ano, que reflete o alto custo do dinheiro no país e o risco sistemático da Vale.

Em relação ao custo do capital de terceiros, este foi obtido despesas financeiras dividas pela dívida, foi obtida uma taxa média de 20,10% ao ano (foi desconsiderado o ano de 2015, atípico e com uma despesa financeira excessivamente elevada. Com os benefícios fiscais da ordem 31% sobre o encargo da dívida, o custo líquido de capitais de terceiros foi calculado em 13,87%. Considerando que a estrutura de capital da companhia era composta por cerca de 60% de capital próprio e 40% de capital de terceiros, o WACC foi estimado em 16,47% a.a.

A Tabela 4 apresenta os resultados de geração de valor no período, consoante ao modelo EVA.Verifica-se que o desempenho da companhia ficou aquém do desejável, sendo que o retorno sobre o capital investido (ROIC) não foi suficiente para remunerar o custo do capital investido, sendo assim, houve destruição de valor. O EVA foi negativo nos seis anos analisados, mas observou-se um desempenho menos adverso nos últimos dois anos, fruto de melhores resultados operacionais.

Tabela 4 - Geração de valor – EVA: Companhia Vale S.A.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
R*OIC*	5,35%	11,13%	7,01%	-0,53%	13,65%	12,23%
WACC	16,47%	16,47%	16,47%	16,47%	16,47%	16,47%
Spread	-11,12%	-5,34%	-9,46%	-17,00%	-2,82%	-4,24%
Capital Investido[1]	228.660.428	244.513.391	259.626.937	281.745.165	268.114.855	258.734.952
EVA[1]	-25.427.040	-13.057.015	-24.560.708	-47.896.678	-7.560.839	-10.970.362

Nota: [1] Valores em R$ mil.
Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos dados apresentados até a Tabela 4, foram elaboradas nove simulações utilizando a metodologia de Dinâmica de Sistemas através do software VenSim® sobre o modelo de Fluxo e Estoque (Figura 4).

Três simulações de queda do WACC foram elaboradas considerando-se uma queda de -1% ao ano em dez anos na primeira simulação, uma queda de -2% ao ano em 10 anos na segunda simulação e uma queda de -3% ao ano em 10 anos na terceira simulação sendo seus resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado da simulação em 10 anos de queda sobre o valor do WACC (Custo Médio Ponderado de Capital)

	WACC	**Variação em 10 anos**	**EVA® (R$) – Em 10 anos**
Ano base: 2017	0,164700	-	**- 10.970.362.000,00**
Simulação 1	0,150219	(- 1,24 %)	**- 7.223.570.000,00**
Simulação 2	0,135738	(- 2,49 %)	**- 3.476.760.000,00**
Simulação 3	0,121256	(- 3,73 %)	**+ 2.700.550.000,00**

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Três simulações de aumento do ROIC foram realizadas nesta pesquisa considerando-se um aumento de +1% ao ano em dez anos na quarta simulação, um aumento de +2% ao ano em 10 anos na quinta simulação e um aumento de +3% ao ano em 10 anos na sexta simulação sendo seus resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado da simulação em 10 anos de aumento sobre o valor do ROIC

	ROIC	**Variação em 10 anos**	**EVA® (R$) – Em 10 anos**
Ano base: 2017	0,122300	-	**- 10.970.362.000,00**
Simulação 4	0,133309	(+ 0,98 %)	**- 8.121.850.000,00**
Simulação 5	0,144319	(+ 1,96 %)	**- 5.273.270.000,00**
Simulação 6	0,155328	(+ 2,94 %)	**- 2.424.750.000,00**

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Percebe-se pelos resultados da Tabela 5 e Tabela 6 que o parâmetro WACC é mais sensível do que o parâmetro ROIC, pois com a variação do WACC em 10 anos houve uma geração de valor positiva mais rápida do que com a variação do ROIC.

Por fim, três simulações de aumento do ROIC e queda do WACC simultaneamente foram elaboradas conforme pode ser visualizado pelos resultados da Tabela 7.

Tabela 7 - Resultado da simulação em 10 anos de aumento sobre o valor do ROIC e queda do WACC simultaneamente

	ROIC	WACC	EVA® (R$) – Em 10 anos
Ano base: 2017	0,122300	0,164700	**- 10.970.362.000,00**
Simulação 7	0,133309	0,150219	**- 4.375.040.000,00**
Simulação 8	0,144319	0,135738	**+ 2.220.350.000,00**
Simulação 9	0,155328	0,121256	**+ 8.815.680.000,00**

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Os resultados das simulações também apresentaram que uma variação simultânea de -3% ao ano no parâmetro WACC e +3% ao ano no parâmetro ROIC em 10 anos geram um valor positivo significativo alto de R$ 8.815.680.000,00 conforme pode ser visualizado na Tabela 7.

A Figura 5 mostra os resultados da simulação 9 em 10 anos com relação às variáveis WACC, ROIC, EVA e EVA Acumulado neste período.

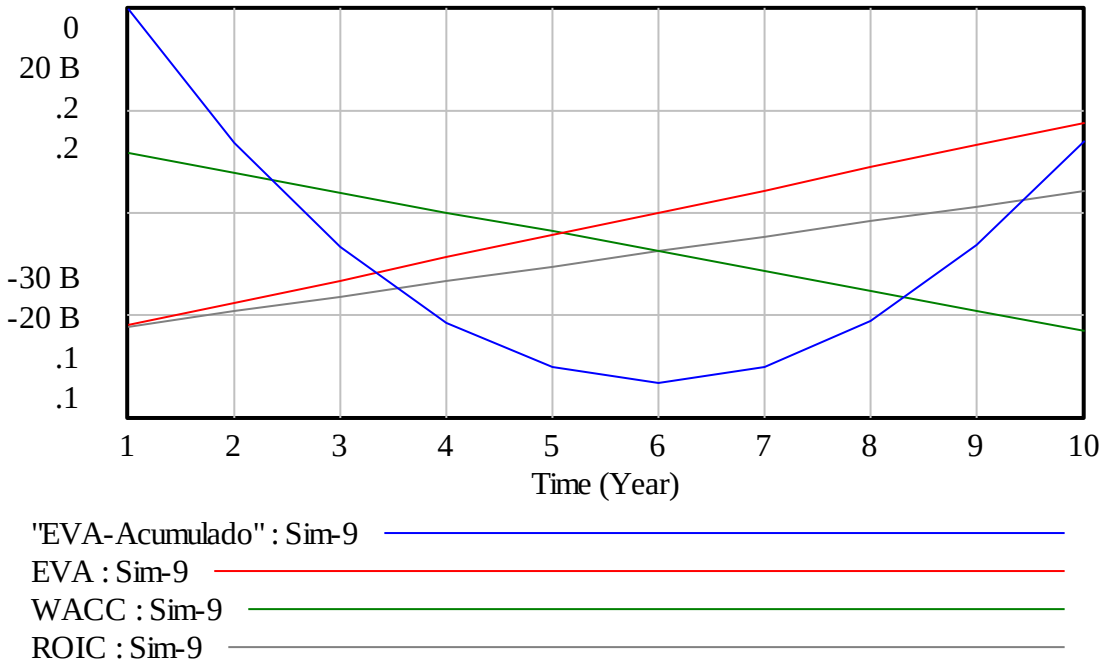

Figura 5 – Gráficos dos resultados da Simulação 9 por Dinâmica de Sistemas.
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

5 Considerações finais

O objetivo geral desta pesquisa foi cumprido ao elaborar e avaliar um modelo baseado em Dinâmica de Sistemas que pode contribuir na estratégia de Geração de Valor de uma empresa. Esse modelo possibilita aos gestores de diversos segmentos empresariais a conhecerem as possíveis situações futuras de geração de valor pelo método EVA® de forma a poder prever ações mitigadoras para diversas situações de risco.

O estudo dos cenários desta pesquisa a partir de simulações não teve como objetivo prever o estado futuro de um conjunto pré-definido de variáveis, mas sim identificar diferentes trajetórias que essas variáveis poderiam percorrer, em especial o EVA®, gerando

diferentes estados finais. A capacidade empresarial de antecipar as possíveis trajetórias futuras permite preparar preliminarmente as soluções necessárias às situações futuras. Isso permite um melhor planejamento estratégico no sentido de mitigar os impactos indesejados e de aproveitar possíveis oportunidades futuras. Assim, a construção de cenários permite lidar com as incertezas e inter-relações complexas que determinam o futuro dos resultados das diversas variáveis envolvidas.

O objetivo desta pesquisa foi menor em analisar conceitualmente a geração de valor, no entanto maior em utilizar os dados de uma empresa de grande porte para verificar a possibilidade de introduzir a Dinâmica de Sistema na gestão das organizações. Optou-se assim, como exemplo nesta pesquisa, utilizar o modelo de gestão que tem grande apelo e é utilizado por algumas das maiores empresas internacionais que é a criação de valor baseada no método EVA®. Assim, foi possível calibrar o modelo de Fluxo e Estoque criado nesta pesquisa (Figura 4) para replicar os valores observados nos dados obtidos e daí apresentar simulações baseadas nas variável-chave de criação de valor: ROIC e WACC. Os resultados foram muito interessantes mostrando a dinâmica ao longo do tempo as quais dependem da atuação dos gestores em prol da estratégia corporativa na criação de valor. Registra-se, portanto, que é perfeitamente plausível e recomendado a utilização da metodologia de Dinâmica de Sistemas no campo das Ciências Sociais aplicadas e especificamente na gestão das organizações.

As simulações elaboradas nesta dissertação através da metodologia de Dinâmica de Sistemas e da variação dos parâmetros WACC e ROIC foram bem conservadoras. Ademais, pode ser que a melhoria das condições econômicas brasileira e internacional leve a situação de queda do custo de financiamento (WACC) e melhoria do resultado operacional (ROIC). Assim sendo, optou-se por apresentar o terceiro bloco de simulações (simulações 7, 8 e 9) considerando-se uma melhoria simultânea no ROIC e no WACC com as mesmas hipóteses conservadoras das simulações anteriores.

A importância da associação da metodologia de Dinâmica de Sistemas à simulação pelo programa VenSim® e ao tema Geração de Valor EVA®, apresentado nesta pesquisa, foi um avanço teórico, morfológico e tecnológico, pois não foi encontrado nenhum estudo analítico e crítico no âmbito dessa associação em uma mineradora ou em outra organização em plataformas de artigos científicos como, por exemplo, SPELL, ScienceDirect e Emerald Insight. Além disso, houve uma contribuição teórica significativa, com a devida consistência epistemológica, sobre a metodologia de Dinâmicas de Sistemas para o campo das Ciências Sociais a partir da utilização de importantes referências dessa área como Forrester (1961); Sterman (2000); Garcia (2006) e Senge (2009).

Este trabalho apresenta algumas limitações. Primeiramente, os resultados obtidos não devem ser generalizados e não podem refletir o setor mineral como um todo. Recomenda-se que sejam realizados novos estudos sobre outras empresas do setor mineral e industrial.

Por fim, a pesquisa não pretendeu esgotar o assunto de geração de valor e o método da Dinâmica de Sistemas em relação ao setor de mineração. Contudo, a expectativa destes autores é que o trabalho possa subsidiar discussões e análise associado à aplicação da Dinâmica de Sistemas no contexto de cenários estratégicos de geração de valor assim como seja referência para novas pesquisas sobre esses temas na academia.

Referências

Andriof, A; Waddock, S.; Husted, B.& Rahman, S. S. (2017) Unfolding Stakeholder Thinking: Theory, Responsibility and Engagement. New York. Routledge. ISBN: 9781909493285

Bastos, A. A. (2003). A Dinâmica de Sistemas e a compreensão de estruturas de negócios. São Paulo: Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

Bastos, D. D., Nakamura, W. T., David, M., & Rotta, U. A. (2009). A relação entre o retorno as ações e as métricas de desempenho: evidências empíricas para as companhias abertas no Brasil. Revista de Gestão USP , 16 (3), 65-79. DOI: https://doi.org/10.5700/issn.2177-8736.rege.2009.36678

Bueno, N. P. (2010). O modelo de Solow-Swan na linguagem de dinâmica de sistemas: uma aplicação para o Brasil. Nova Economia, 20 (2), 287-309. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-63512010000200003.

Cardozo, C. M. (2000). Operação de sistemas hidroelétricos em ambiente competitivo: uma abordagem da gestão empresarial via simulação estocástica e dinâmica de sistemas. Florianópolis, SC: Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.

Crescitelli, E., & Figueiredo, J. B. (2009). Brand Equity Evolution: a System Dynamics Model. BAR - ANPAD , 6 (2), 101-117. http://dx.doi.org/10.1590/S1807-76922009000200003

Copeland, T., Koller. T., & Murrin, J. (2002).Valuation: measuring and managing the value of the companies. (3rd Ed.). New York, USA: John Willey & Sons Ltd. ISBN-13: 978-1118873700

Da, Z., Guo. R., & Jagannathan, R. (2012) CAPM for estimating the cost of equity capital: interpreting the empirical evidence. Journal of Financial Economics, 103(1): 204-220. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2011.08.011

Domingos, J. C., Politano, P. R., & Pereira, N. A. (2015). Modelo de dinâmica de sistemas para o processo de S&OP ampliado. Gestão & Produção , 22 (4), 755-788. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1702-14.

Fama, E., & French, K.R. (2004) The capital asset pricing model: theory and evidence. Journal of Economic Perspective. 18 (3): 25-46. DOI: 10.1257/0895330042162430

Fama. E., & Stern, J.M. (2016). A look back at modern finance: accomplishments and limitations. Journal of Applied Corporate Finance 18(4): 10-16. https://doi.org/10.1111/jacf.12206

Filho, J. B. (2001). Simulação dinâmica de modelos operacionais com enfoque aplicado à engenharia de projetos. Florianópolis, SC: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.

Ford, F. A. (1999). Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems. Washington, D.C.: Island Press.

Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. Cambridge, MA: Productivity Press.

Forrester, J. W. (2013). Industrial Dynamics. Cambridge, MA: Productivity Press.

Garcia, J. M. (2006). Theory and Practical Exercises. Barcelona: MIT Sloan School of Management.

Keynes, J. M. (1936). The general theory of employment, interest and money. London: U.K: Macmillan and Co.

Kislingerová, E. (2000). Using of the economic value added model for valuation of a company. Prague University of Economics. Biatec, Roãník, 8(1). 38-39. http://www.nbs.sk/_img/Documents/BIATEC/kislan.pdf.

Kistainy, et al. (2012). The economics book. London: Dorlington Kindesley Limited. ISBN 978-1-4093-4126-0

Kistainy, et al. (2012). The economics book. London: Dorlington Kindesley Limited.
Kumar, V. & Sundarraj, R. P. (2017) Global Innovation and Economic Value. New Delli. Índia. ISBN 978-81-322-3760-0. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-81-3760-0.

Kudelié, R.& Konecki, M. (2017). Ont the minimum feedback arc set: planarity of Information Systems Diagraphs. Proceedings of Multidisciplinary Academic Conference. Zagreb. 11th Mac. ISBN 978-80-88085-16-4

Shahanaghi, K., & Yazdian, S. A. (2009). Analyzing the effects of implementation of Total Productive Maintenance. World Journal of Modelling and Simulation , 5 (2), 120-129. ISSN 1 746-7233

Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. The Journal of Finance 7(1): 77-91. DOI: 10.2307/2975974

Martin, L. A. (2001). Beginner modeling exercises. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Morecroft, J. D. W. (2015). Strategic Modelling and Business Dynamics – a feedback systems approach. West Sussex. United Kingdom. ISBN 978-1-118-84468-7.

Musse, J. (2010). Backcasting e dinâmica de sistemas como instrumentos para criar conhecimento em sistemas complexos, visando à tomada de decisão. Florianópolis: Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93786

Pidd, M. (1998). Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão. Porto Alegre: Artes Médicas. ISBN: 9788573073522

Richmond, B., & Peterson, S. (2001). An introduction to systems thinking. Lebanon, New Hampshire: High Performance Systems, Incorporated. ISBN 0-9704921-1-1

Silva, S. B., Ferreira, M. D., Belderrain, M. C., & Correia, A. R. (2016). Modelagem da Cadeia Logística de Reposição de Componentes Aeronáuticos no contexto do System Dynamics. ITA , 7-12. ISSN:1983 7402.

Sharpe, W. F. (1964) Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. The Journal of Finance. 19(3): 425-442. DOI: 10.2307/2977928

Silva, T., Locatelli, R. L., & Lamounier, W.M. (2016). Abertura de capital e retornos aos acionistas: o caso da Companhia de Saneamento de Minas Gerais S/A. Revista de Gestão & Tecnologia, 16(1), 7-32. DOI: 10.20397/2177-6652/2016.v16i1.961

Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin McGraw-Hill. ISBN 0-07-231135-5

Walters, J. P., Archer, D. W., Sassenrath, G. F., Hendrickson, J. R., Hanson, J. D., Halloran, J. M., et al. (2016). Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. Ecological modelling , 333 (1), 51-65. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015

Young, S. D., & O'Byrne, S. F. (2003). EVA e gestão baseada em valor: guia prático para implementação. Trad. Paulo Lustosa. Porto Alegre: Bookman. ISBN: 9788536302294