Universidade Estadual de Campinas

LCSI

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Máquinas, Componentes e Sistemas Inteligentes
Laboratório de Controle e Sistemas Inteligentes

Matriz de Jogos Estratégicos – Novo Modelo para Representação e Estudo de Conflito de Interesses

Autor: Eliezer Arantes da Costa
Orientador: Prof. Dr. Celso Pascoli Bottura

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica; Área de Concentração: Automação.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Rodrigo Stark Bernard (CSE/UFSC)
Prof. Dr. João Mauricio Gama Boaventura (FECAP, UNIP)
Prof. Dr. Hermano de Medeiros Ferreira Tavares (FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Rafael Santos Mendes (FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Paulo Augusto Valente Ferreira (FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Fernando Antônio Campos Gomide (FEEC/UNICAMP)

Campinas, 29 de abril de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE
- UNICAMP

C823m

Costa, Eliezer Arantes da
Matriz de jogos estratégicos – novo modelo para representação e estudo de conflito de interesses / Eliezer Arantes da Costa. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Celso Pascoli Bottura
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Teoria dos jogos. 2. Automação. 3. Conflito - Administração. 4. Estratégia. 5. Planejamento estratégico. 6. Planejamento empresarial. 7. Teoria do controle. I. Bottura, Celso Pascoli. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Strategic games matrix – new model for conflict of interests' representation and study
Palavras-chave em Inglês: Strategic games matrix, Game Theory, Strategic games, Business games, Multi-agent control, Conflict management, Strategic planning, Strategic management, Business simulation, Managers training, Hierarchical games
Área de concentração: Automação
Titulação: Doutor em Engenharia Elétrica
Banca examinadora: Ricardo Rodrigo Stark Bernard, João Mauricio Gama Boaventura, Hermano de Medeiros Ferreira Tavares, Rafael Santos Mendes, Paulo Augusto Valente Ferreira, Fernando Antônio Campos Gomide.
Data da defesa: 29/04/2008
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE DOUTORADO

Candidato: Eliezer Arantes da Costa

Data da Defesa: 29 de abril de 2008

Título da Tese: "Matriz de Jogos Estratégicos: Novo Modelo para Representar e Tomar Decisões em Situações de Conflito de Interesses"

Prof. Dr. Celso Pascoli Bottura (Presidente): _____

Prof. Dr. Ricardo Rodrigo Stark Bernard: _____

Prof. Dr. João Mauricio Gama Boaventura: _____

Prof. Dr. Hermano de Medeiros Ferreira Tavares: _____

Prof. Dr. Rafael Santos Mendes: _____

Prof. Dr. Paulo Augusto Valente Ferreira: _____

Prof. Dr. Fernando Antônio Campos Gomide: _____

Dedico esta obra à Riitta, minha esposa,
que nunca me faltou com seu apoio incondicional,
à Cristina, ao Carlos, e à Mônica (‘in memoriam’), meus filhos,
que me estimularam a prosseguir,
e à Carolina e ao Eduardo, meus netos,
que sempre me serviram de inspiração.

Dedico também a meus pais,
professores, colegas de trabalho e de estudos,
parentes, amigos e a meus inúmeros companheiros de luta que,
nas diversas fases de minha caminhada profissional,
me estimularam e me apoiaram, em todos os sentidos,
para a concretização deste sonho.

Agradecimentos

Meu primeiro agradecimento é primeiramente a Deus, nosso Pai Celeste, que me abençoou com tantas oportunidades e desafios, dando-me saúde e todas as demais condições para mais esta empreitada acadêmica. A Ele toda honra.

Agradeço à UNICAMP, em particular à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, que demonstrou grande abertura para acolher minhas experiências, vivências e problemas desafiantes que encontrei na vida empresarial, viabilizando, assim, este projeto de pesquisa, que procura aliar as minhas experiências empresariais e didáticas às acadêmicas.

Agradeço também ao ITA, que me forneceu as condições para uma boa formação fundamental e profissional, onde, além da engenharia eletrônica, me ensinou a pensar criticamente e a encarar positivamente os problemas complexos da vida profissional e acadêmica que acabei enfrentando na vida profissional.

Muitas pessoas e instituições contribuíram – de uma forma ou de outra – para a concretização deste sonho, às quais quero deixar aqui registrado meu mais profundo agradecimento.

Primeiramente, o colega, amigo, professor, mentor, e orientador, Celso Bottura, pela excelente orientação aos meus trabalhos, e pela contribuição efetiva para o desenvolvimento conceitual da Matriz de Jogos Estratégicos e de suas aplicações à área de controle multiagente.

Os professores Yaro Burian Jr. e Ana Cristina Lyra, que me incentivaram a retornar ao meu programa de doutorado, já interrompido por mais de vinte anos...

Os professores Roberto Colombo, Sergio Zaccarelli, Adalberto Fischmann, João Mauricio Boaventura, Ralph Silva, entre outros, que, em diversas oportunidades, ouviram com atenção minhas idéias, deram brilhantes contribuições para a concepção da Matriz de Jogos Estratégicos e eventuais aplicações.

O professor Ricardo Rodrigo Stark Bernard que de bom grado me cedeu a utilização do software de sua propriedade, Bernard®, na sua versão Websimulador, para que os voluntários pudessem fazer os seus lances via internet. Providenciou também uma nova versão para o software, na qual as empresas passaram a poder operar também em jogos não-equilibrados. Meu muito obrigado também ao Moisés Pacheco de Souza, da Bernard Sistemas Ltda., que processou todos os jogos, a partir de Florianópolis.

A colega Andréa Câmara, nossa ‘engenheira-psicóloga’, que me fez recomendações precisas sobre a construção dos questionários do experimento para

avaliação da postura competitiva e dos pressupostos de relação-de-forças dos jogadores.

Os professores Marcius Fabius de Carvalho, Oscar Salviano Silva Filho, Francis Regis Irineu, Paula Zucchi, e Fernando Antônio Campos Gomide, pelo apoio que me deram para o recrutamento de voluntários para participarem dos jogos do primeiro experimento.

Agradeço o apoio incondicional que recebi dos professores Claudia Fonseca Rosès e Douglas Ribeiro, da USF – Universidade São Francisco, Bragança Paulista, o que viabilizou o segundo experimento com os seus alunos de administração daquela universidade.

Agradeço ao professor José Virgílio de Avellar, do ITA, que se interessou por nosso trabalho, e me indicou seu aluno e orientado no Trabalho de Graduação, Victor Maia, para trabalharmos juntos no experimento. Na mesma linha, agradeço também ao colega engenheiro Victor Maia, hoje recém-graduado no curso de Engenharia Civil - Aeronáutica no ITA, cuja participação nos trabalhos foi inestimável. O Victor preparou os sites, processou as informações, preparou gráficos e tabelas, e apoiou toda a atividade de análise estatística de dados.

O professor Gilmar Barreto pelo apoio e na preparação e edição do documento final, esclarecendo as minhas muitas dúvidas e ajudando-me em tudo.

Os queridos amigos e parceiros da FutureTrends Consulting Ltda., Cláudio Câmara, Joaquim Farinha, Mauro Ribeiro, Pedro Ribeiro, Roberto Colombo e Wilson dos Santos, que assumiram boa parte de minha carga de trabalho, para viabilizar tempo disponível para este programa de doutorado.

Meus agradecimentos aos 55 voluntários do primeiro experimento, alunos e alunas de cursos de pós-graduação da FEM/UNICAMP, PUC-Campinas, ITA, e INEA (Instituto Nacional de Estudos Avançados), S. José dos Campos, e do CPES (Centro Paulista de Economia da Saúde)/EPM/UNIFESP, São Paulo; ainda mais, aos 52 participantes do segundo experimento, alunas e alunos do curso de Administração da USF – Universidade São Francisco, Bragança Paulista.

Não poderia deixar de mencionar a enorme contribuição dos Membros da Banca Examinadora, pelos excelentes comentários, críticas, correções e sugestões, que me permitiram um significativo aprimoramento deste documento.

E, por último, não menos importante, agradeço imensamente a Riitta, minha esposa, pela infinita paciência, pelo apoio incondicional e pelo estímulo, e também aos meus filhos Cristina e Carlos; agradeço também aos meus parentes, colegas do ITA, principalmente os da Turma 62, aos amigos, irmãos na fé, aos meus clientes, com quem muito aprendi sobre a verdadeira 'estratégia pé-na-estrada', enfim, a todos que acreditaram que ainda seria possível chegar ao doutorado, apesar de já ter completado os setenta anos...

"In all of man's written record there has been a preoccupation with conflict of interest; possibly only the topics God, love, and inner struggle have received comparable attention.

The scientific study of interest conflict, in contrast to its description or its use as a dramatic vehicle, comprises a small, but growing, portion of this literature.

As a reflection of this trend we find today that conflict of interest, both among individuals and among institutions, is one of the more dominant concerns of at least several of our academic departments: economics, sociology, political science, and other areas to a lesser degree."

Luce, R. D. & Raiffa, H., *Games and Decision*, 1957 [179: 1]

"The theoretical contents, not the foreign policy, may be what most people use this book for now.
In putting these essays together to make the book, I hoped to help establish an interdisciplinary field that had been variously described as "theory of bargaining," theory of conflict," or "theory of strategy."
I wanted to show that some elementary theory, cutting across economics, sociology and political science, even law and philosophy and perhaps anthropology, could be useful not only to formal theorists but also to people concerned with practical problems.
I hoped too, and I now think mistakenly, that the theory of games might be redirected toward applications in these several fields.
With notable exceptions like Howard Raiffa, Martin Shubik, and Nigel Howard, game theorists have tended to stay instead at the mathematical frontier.
The field that I hoped would become established has continued to develop, but not explosively, and without acquiring a name of its own."

Schelling, T. C., *The Strategy of Conflict*, 1960 [233: v-vi]

(Extraído do Prefácio da Edição de 1980)

Resumo

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de um novo modelo conceitual para representação, de uma forma integrada, das mais diversas situações de conflito de interesses, como uma base para análise e projeto de controle de sistemas hierárquicos multiagentes, e para o aprimoramento da metodologia de capacitação de executivos para a administração estratégica desses conflitos. O método utilizado para esta pesquisa foi um investigação das condicionantes análogas presentes nos quatro jogos clássicos da Teoria dos Jogos – Nash, Stackelberg, Pareto e Minimax – buscando, entre eles, as características semelhantes e as peculiaridades que realmente os fazem semelhantes e distintos entre si. Desta investigação, foram identificadas duas dimensões diferenciadoras, que possibilitaram a concepção e a construção de uma matriz para representação desses jogos, de uma forma integrada. O modelo conceitual resultante desta pesquisa fornece um esquema analítico abrangente, inspirado na teoria dos jogos, e é usado para explicar, descrever, interpretar e prever os comportamentos dos diversos agentes autônomos envolvidos em situações de conflito de interesses e, em certos casos, prescrever decisões mais adequadas. A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), proposta e utilizada neste trabalho, estabelece um quadro de referência conceitual, mapeando seis diferentes tipos de jogos. Nela, os pressupostos dos modelos clássicos de jogos citados, e outros em casos-limite, são usados de forma integrada e complementar. São tratados, na MJE, jogos competitivos e cooperativos, jogos equilibrados e não-equilibrados, levando em conta tanto a postura concorrencial de cada jogador como o seu pressuposto de relação-de-forças. A MJE contempla de forma inovativa o tratamento de múltiplos subjogos estratégicos simultâneos entre os agentes envolvidos. A aplicação dos conceitos da MJE a complexos sistemas – hierárquicos ou não –, com múltiplos agentes inteligentes interativos autônomos, provê uma metodologia de utilidade para análise e projeto de estratégias de controle. Parte importante deste estudo é a realização de experimentos exploratórios com propósito pedagógico. Esses jogos de empresa, realizados via computador, indicam que os participantes ampliam sua percepção para compreender os diversos jogos a jogar, e sua habilidade para atuar em cada um deles. Este uso da MJE leva cada participante a analisar situações de conflito de interesses e a melhor escolher suas decisões estratégicas: Através de um processo dinâmico interativo de tentativa e erro, ele ou ela acaba aprendendo a tomar melhores decisões, levando em conta as possíveis decisões dos demais agentes envolvidos bem como sua avaliação das conseqüências de suas escolhas.

Palavras-chave: Matriz de Jogos Estratégicos; teoria dos jogos; jogos estratégicos; jogos de empresas; controle multiagente; gestão de conflitos; planejamento estratégico; gestão estratégica; simulação de empresas; treinamento gerencial; jogos hierárquicos.

Abstract

The objective of the current research is the development of a new conceptual model aiming to represent, in an integrated manner, the many situations of conflict of interests as a basis for analysis and design of hierarchical multiagent systems control and for the improvement of the methodology for betterment of the managers' skills to deal with the strategic management of such conflicts. The investigation method used was a comparative analysis of the unique characteristics of classical games from Game Theory – Nash, Stackelberg, Pareto, and Minimax – searching, among them, their commonalities and differentiations. This investigation identified two distinct dimensions that enabled the conception and construction of a matrix to represent, in a integrated form, those four games mentioned above. The resulting conceptual model provides a comprehensive analytical scheme, inspired in the theory of games, and is used to explain, describe, interpret and forecast behaviors of autonomous agents involved in situations of conflict of interests and, in some cases, to prescribe the more adequate decisions. The Strategic Games Matrix (SGM) proposed and used in this study establishes a conceptual reference framework mapping six different types of games. In it, the assumptions for classic game models, among others for limit-cases, are used in an integrated and complementary manner. The SGM deals with both competitive and cooperative games, as well as balanced and unbalanced ones, taking into consideration both the players´ competitive postures and the power-ratio assumed by each one. The SGM contemplates in an innovative way the treatment of multiple simultaneous strategic sub-games among the agents involved. The application of the SGM concepts to complex systems – hierarchical or not –, with multiple autonomous intelligent interactive agents, provides a methodology of utility for analysis and design of their control strategies. An important part of this study is the exploratory experiments with pedagogical purpose. Such business games, played in a computer, indicate that the participants increase their perception to understand the various games to play, and their ability to act at each one of them. This use of the SGM leads each participant to analyze conflict of interests' situations and to improve its strategic decisions: Through an interactive dynamic process of trial and error he/she ends up learning how to make better decisions taking into consideration the likely decisions of the other agents involved as well as her/his evaluation of the consequences of their choices.

Keywords: Strategic Games Matrix; game theory; strategic games; business games; multi-agent control; conflict management; strategic planning; strategic management; business simulation; managers training; hierarchical games.

Sumário

Lista de Figuras (xix)

Lista de Tabelas (xxiii)

Trabalhos Publicados pelo Autor (xxv)

Os Pontos de Equilíbrio dos Cinco Jogos de Soma-Variável da MJE (xxix)

1 INTRODUÇÃO GERAL 1

Apresentação 1

1.1 Motivações da pesquisa 3

1.2 Objetivos da pesquisa 5

1.3 Bases vivenciais para a pesquisa 6

1.4 Metodologia de pesquisa 7

1.5 Os experimentos 11

1.6 Resultados dos experimentos 13

1.7 Limitações e implicações da pesquisa 14

1.8 Conseqüências práticas e contribuições deste estudo 17

2 A MATRIZ DE JOGOS ESTRATÉGICOS – MJE 19

Apresentação 19

2.1 Introdução 20

2.2 As bases conceituais da Matriz de Jogos Estratégicos – MJE 23

2.2.1 O uso da teoria dos jogos para a formulação de estratégias 23

2.2.2 Jogos clássicos usados para conceituação e construção da MJE 25

2.2.3 Identificação das dimensões relevantes de diferenciação estratégica 25

2.2.4 A dimensão de confronto concorrencial nos jogos estratégicos 27

2.2.5 A dimensão de relação-de-forças entre jogadores 29

2.2.6 A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE) 30

2.3 Uma tipologia para os jogos estratégicos com base na MJE 31

2.3.1 Jogo estratégico competitivo – Equilíbrio de Nash 32
2.3.2 Jogo estratégico cooperativo – Equilíbrio de Pareto 33
2.3.3 Jogo estratégico retaliatório – Equilíbrio de Ponto-de-Sela 34
2.3.4 Jogo Estratégico Tipo Líder-Seguidor – Equilíbrio de Stackelberg 35

2.4 Jogos Estratégicos em Casos-Limite 36

2.4.1 Jogo estratégico Paternalista-Solidário 36
2.4.2 Jogo estratégico tipo Hegemônico-Marginal 38

2.5 Formalização do conceito de Matriz de Jogos Estratégicos 39

2.6 'Jogo-de-Cena' em posicionamentos estratégicos via MJE 46

2.7 A Dinâmica do Posicionamento Estratégico via MJE 48

2.8 Conclusões e recomendações 50

3 TEORIA DOS JOGOS: RESUMO CONCEITUAL E APLICAÇÃO À MJE 53

Apresentação 53

3.1 Fundamentação conceitual 54

3.1.1 Esboço histórico 54
3.1.2 Conceituação de um jogo 58
3.1.3 Conceito de agente-jogador 59
3.1.4 Uma tipologia geral para jogos 63
3.1.5 Uma classificação geral para os jogos da MJE 67

3.2 Modelo de um jogo dinâmico discreto 71

3.2.1 Apresentação formal de um jogo dinâmico 72
3.2.2 Descrição da dinâmica do jogo 78
3.2.3 Jogos dinâmicos estocásticos 80
3.2.4 Jogos dinâmicos com estruturas hierárquicas 83
3.2.5 Sistemáticas de coordenação em jogos hierárquicos 90
3.2.6 Controle ótimo aplicado a jogos dinâmicos hierárquicos 94
3.2.7 Estratégias de equilíbrio para os jogos clássicos 96

3.3 Estratégias de equilíbrio para jogos diádicos 103

3.3.1 Pontos de equilíbrio e estratégias de equilíbrio 103
3.3.2 As curvas de reação 106

3.4 Aplicação das estratégias de equilíbrio aos jogos da MJE 109

3.4.1 Ponto de equilíbrio de Nash 109
3.4.2 Pontos de equilíbrio de Stackelberg 111
3.4.3 Curva das soluções-não-inferiores 114
3.4.4 Regiões de negociação 116
3.4.5 Ótimo de Pareto 118
3.4.6 Jogo Paternalista-Solidário 123
3.4.7 Jogo Hegemônico-Marginal 126
3.4.8 Visão integrada dos cinco jogos de soma-variável da MJE 130
3.4.9 Jogo Minimax 130

3.5 Discussões 134

3.5.1 Estabilidade do equilíbrio de Nash 134
3.5.2 Teorema de Koenigs aplicado à estabilidade do equilíbrio de Nash 140
3.5.3 Ciclos-limite estacionários para jogos de Nash 145
3.5.4 Curvas de reação e ponto de equilíbrio em um duopólio de Cournot 149
3.5.5 A solução de Nash pode ser 'melhor' que a de Stackelberg? 154
3.5.6 A solução de Pareto é sempre 'melhor' que as de Stackelberg ou de Nash? 155
3.5.7 Considerações finais 156

4 CONTROLE EM SISTEMAS HIERÁRQUICOS MULTIAGENTES VIA MJE 157

Apresentação 157

4.1 Sistemas hierárquicos com múltiplos agentes inteligentes 160

4.1.1 Estruturação de um jogo hierárquico em três níveis com um coordenador 160
4.1.2 Estruturação de um jogo hierárquico em três níveis com dois coordenadores 160
4.1.3 Uma metodologia para estruturação de sistemas hierárquicos 161

4.2 Aplicação da Metodologia da MJE para estruturação de sistemas 165

4.2.1 Estruturas hierárquicas em três níveis com um coordenador 165
4.2.2 Encaminhamento da solução do jogo como um problema de otimização dinâmica 166

4.2.3 Estruturas hierárquicas em três níveis com dois coordenadores 167
4.2.4 Estruturas heterárquicas e outras estruturas 167

4.3 Aplicação da MJE na regulação de recursos hídricos 168

4.3.1 Relevância do problema de regulação de recursos hídricos 168
4.3.2 Um problema de regulação de recursos hídricos 170
4.3.3 Abordagem através do método de "Projeto Evolucionário de Sistemas" 172
4.3.4 Uma abordagem metodológica com base na MJE 173
4.3.5 A estrutura de regulação multinível com múltiplos agentes 173
4.3.6 Algumas considerações sobre esta aplicação da MJE 178

4.4 Aplicação da MJE para Estruturação de Estratégias em um *Cluster* 179

4.4.1 Importância do problema de gestão estratégia em *Clusters* 179
4.4.2 O Pólo-Tec-Tex de Americana e região (SP) 181
4.4.3 Metodologia para modelagem de estratégias de empresas clusterizadas com base na MJE 182
4.4.4 Uma aplicação da metodologia da MJE na formulação de estratégias para as empresas do Pólo-Tec-Tex 183
4.4.5 Comentários sobre a aplicação da MJE a *clusters* empresariais 188

4.5 Aplicação da MJE para rede de empresas de produção de PCs – Um Estudo de Caso 190

4.6 Como escolher o jogo certo a jogar e jogá-lo corretamente? 194

4.6.1 A Matriz de Eficácia Estratégica 194
4.6.2 Comentários finais 196

5 DELINEAMENTO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS DO JOGO DE EMPRESAS 199

Apresentação 199

5.1 Caracterização e descrição do Projeto Omega 200

5.1.1 O que é o Projeto Omega 200
5.1.2 Motivações para o experimento 201
5.1.3 Natureza e limitações do experimento 202
5.1.4 Modelo Conceitual usado como base para o experimento 203
5.1.5 Questões-problema colocadas para o Projeto Omega 204
5.1.6 Descrição das etapas do Projeto 204
5.1.7 Equipe de trabalho 205
5.1.8 Locais de realização dos trabalhos 205
5.1.9 Distribuição de atividades e responsabilidades 206

5.2 O laboratório dos jogos 207

5.2.1 Fluxograma de informações e decisões na dinâmica do jogo 207
5.2.2 Descrição dos módulos do simulador 209
5.2.3 Diagrama de blocos causal do simulador da estrutura do mercado 212

5.3 Os doze tipos de jogos do experimento 214

5.3.1 Jogo 1 – LONDRES – Tipo Minimax 217
5.3.2 Jogo 2 – MADRID – Tipo Nash 218
5.3.3 Jogo 3 – PARIS – Tipo Pareto 219
5.3.4 Jogo 4 – VIENA – Tipo Hegemônico-Marginal 220
5.3.5 Jogo 5 – BERLIM – Tipo Stackelberg 221
5.3.6 Jogo 6 – ROMA – Tipo Paternalista-Solidário 223
5.3.7 Jogo 7 – ATENAS – Tipo Minimax 224
5.3.8 Jogo 8 – LISBOA – Tipo Nash 224
5.3.9 Jogo 9 – AMSTERDÃ – Tipo Pareto 224
5.3.10 Jogo 10 – BRUXELAS – Tipo Hegemônico-Marginal 225
5.3.11 Jogo 11 – COPENHAGUE – Tipo Stackelberg 225
5.3.12 Jogo 12 – GENEBRA – Tipo Paternalista-Solidário 225

5.4 Avaliação do perfil e do desempenho dos jogadores 226

5.4.1 Questionários para avaliação do perfil dos jogadores 226
5.4.2 Tabulação e avaliação das respostas aos questionários 227

5.5 Tratamento dos dados do Projeto Omega-2 237

5.5.1 Esquema conceitual da análise de dados do experimento 237
5.5.2 Descrição das etapas do diagrama de blocos 238

5.6 Alguns resultados dos experimentos 244

5.6.1 Resultados das correlações entre as variáveis do experimento 244
5.6.2 Opinião dos participantes sobre o experimento 247
5.6.3 Comentários finais 248

6 **COMENTÁRIOS, CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS** 251

Um rápido histórico dos trabalhos 251

6.1 Os objetivos desta Tese 253

6.2 Alguns resultados desta pesquisa 254

6.3 Limitações do Modelo Conceitual da MJE 257

6.4 Limitações do experimento exploratório 258

6.5 Desenvolvimentos futuros 259

REFERÊNCIAS 263

BIBLIOGRAFIA 285

ANEXOS 291

1. Questionário para Qualificação dos Candidatos – QQD 292
2. Questionário para Avaliação da Postura Concorrencial – QPC 293
3. Questionário para Avaliação dos Pressupostos de Relação-de-Forças – QPR 294
4. Questionário para Avaliação das Preferências Motivacionais – QQP 295
5. Questionário para Avaliação da Flexibilidade e Adaptabilidade – QFA 296
6. Questionário para Avaliação dos Resultados do Jogo – QRJ 297
7. Questionário para Avaliação das Mudanças Comportamentais – QMP 298
8. Gráficos Comparativos de Cotação de Ações ($) e da Participação nas Vendas (%) para as Doze Partidas de Jogos 299
9. Tabelas de Análise de Fatores 312
10. Tabelas de Análise de Regressão 322
11. Tabelas de Análise da Regressão Multivariada 330
12. Testemunhais dos Participantes do Segundo Experimento 332

APÊNDICES

A. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *A game-inspired modeling framework for multiple intelligent agents control systems – A water resources regulation problem application.* Proceedings of the 22nd IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC), Singapura, 1-3 de Outubro, 2007 [86].

B. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *The Strategic Games Matrix as a framework for intelligent autonomous agents hierarchical control strategies modeling.* Proceedings of the 4th ICINCO – International Conference on Informatics in Control Automation and Robotics, Angers, França, 9-12 de Maio, 2007 [89].

Lista de Figuras

2.1 A Matriz de Jogos Estratégicos 31

2.2 Os seis jogos estratégicos mapeados na MJE 32

2.3 Exemplo de um Jogo-de-Cena de posicionamento estratégico 48

2.4 Exemplo de uma Dinâmica de Posicionamento Estratégico 50

3.1 Árvore de segmentação para os jogos da MJE 68

3.2 Representação de um jogo dinâmico determinístico em sua forma extensiva, como um problema de controle de sistemas 78

3.3 Representação de um jogo determinístico como um problema de controle de sistemas hierárquicos em dois níveis 85

3.4 Representação dos mecanismos de coordenação e controle 92

3.5 Sobreposição das duas famílias de curvas isocritério para os jogadores P_1 e P_2 105

3.6 Curva de reação D_1 para o Jogador P_1 108

3.7 Curva de reação D_2 para o Jogador P_2 109

3.8 Ponto de equilíbrio de Nash, $N=(\boldsymbol{u}^{1,N}, \boldsymbol{u}^{2,N})$, no cruzamento das curvas de reação D_1 e D_2 110

3.9 Ponto de equilíbrio de Stackelberg, S_1, com P_1 como Líder e P_2 como Seguidor 112

3.10 Ponto de equilíbrio de Stackelberg, S_2, com P_2 como Líder e P_1 como Seguidor 113

3.11 Curva T como lugar geométrico dos pontos de tangência entre as curvas de isocritério de P_1 e de P_2 115

3.12 Região de negociação entre P1 e P2, no segmento [A,B] da curva T 119

3.13 Região de negociação [x(A), x(B)], sobre a curva T, para determinação de um Ótimo de Pareto 120

3.14 Ponto de equilíbrio $X^P(\mu)$ como uma possível solução negociada para um Jogo de Pareto 122

3.15 Ponto de equilíbrio, $\boldsymbol{u}^{PS}$ de um Jogo Paternalista-Solidário para o qual $\tau_1 \in [\overline{u}^1, \tilde{u}^2]$ 125

3.16 Ponto de equilíbrio, $\boldsymbol{u}^{PS}$ de um Jogo Paternalista-Solidário para o qual $\tau_1 \notin [\overline{u}^1, \tilde{u}^2]$ 126

3.17 Curva de reação do jogador P_2 em um Jogo Hegemônico-Marginal onde P_1 é o jogador Hegemônico e P_2 é o jogador Marginal 127

3.18 Ponto de equilíbrio $\boldsymbol{u}^{HM}$ de um Jogo Hegemônico-Marginal onde P_1 é o jogador Hegemônico e P_2 o jogador Marginal 128

3.19 Visão gráfica integrada dos pontos de equilíbrio para os cinco jogos de soma-variável da MJE 130

3.20 Ponto de equilíbrio $\mathbf{u}^{M}$ de um jogo Minimax, de soma zero, como solução em ponto de sela, SP 132

3.21 Ponto de equilíbrio $\mathbf{u}^{M}$ de um Jogo Minimax, de soma-zero, no cruzamento das duas curvas de reação D_1 e D_2 133

3.22 Ponto de equilíbrio N, estável, em um Jogo de Nash, com θ_1 e θ_2 no 1º quadrante 136

3.23 Ponto de equilíbrio N, não-estável, em um Jogo de Nash, com θ_1 e θ_2 no 1º quadrante 136

3.24 Ponto de equilíbrio N, estável, em um Jogo de Nash, com θ_1 no 2º quadrante e θ_2 no 1º quadrante 139

3.25 Ponto de equilíbrio N, não-estável, em um Jogo de Nash, com θ_1 no 1º. quadrante e θ_2 no 2º. quadrante 139

3.26 Ponto de equilíbrio N, estável, em um Jogo de Nash, com $\theta_1=\theta_2$ 140

3.27 Construção de uma seqüência de decisões reativas alternadas recorrentes, em um Jogo de Nash, sobre as tangentes q_1 e q_2, para aplicação do Teorema de Koenigs 142

3.28 Ponto de equilíbrio N, estável, em um Jogo de Nash, como um caso-limite com a formação de ciclos-limite 144

3.29 Construção de uma seqüência de decisões reativas alternadas, em um Jogo de Nash, sobre as tangentes q_1, q_2, q_3 e q_4, para aplicação do Teorema de Koenigs 145

3.30 Ciclo-limite estacionário, no retângulo ABCD, para seqüências de decisões recorrentes reativas alternadas em um Jogo de Nash 148

3.31 Ponto de equilíbrio $\boldsymbol{u}^{C}$, estável, para um Jogo de Cournot 154

4.1 Aplicação dos jogos clássicos da MJE a uma estrutura hierárquica em três níveis com um coordenador 162

4.2 Aplicação de seis jogos da MJE em uma estrutura hierárquica em três níveis, com dois coordenadores 164

4.3 Aplicação dos seis jogos da MJE para estruturação de um sistema multinível de gestão de recursos hídricos 176

4.4 Cadeia de Suprimento ➔ Produção ➔ Comercialização ➔ Vendas, no Pólo-Tec-Tex de Americana e região, SP 186

4.5 Aplicação dos seis jogos da MJE para estruturação das estratégias para as empresas do Pólo-Tec-Tex 189

4.6 Aplicação dos seis jogos da MJE para análise e interpretação dos conflitos de interesses empresariais no caso Intel Corporation 193

4.7 Matriz de Eficácia Estratégica (MEE) 197

5.1 Fluxograma de informações e decisões na dinâmica do Jogo de Empresas 208

5.2 Diagrama de bloco conceitual do SIND 4.0® 210

5.3 Diagrama de blocos da estrutura de um simulador de mercado competitivo 213

5.4 Perfil concorrencial dos jogadores: pressuposto de relação-de-forças, qpr, versus postura competitiva, QPC 232

5.5 Prontidão para mudanças dos jogadores: Flexibilidade e Adaptabilidade, QFA, versus a Motivação para Jogar, QQP 232

5.6 Comparação das avaliações das Posturas Concorrenciais dos jogadores, QPC, antes dos jogos versus depois dos jogos 235

5.7 Comparação das Avaliações dos Pressupostos de Relação-de-Forças dos jogadores, QPR, antes dos jogos versus depois dos jogos 235

5.8 Comparação das Avaliações da Motivação para o Jogo, QQP, antes dos jogos versus depois dos jogos 236

5.9 Comparação das Avaliações de Flexibilidade e Adaptabilidade dos Jogadores, QFA, antes dos jogos versus depois dos jogos 236

5.10 Esquema conceitual para análise de dados do experimento 237

5.11 Tratamento dos questionários dos Anexos 2, 3, 4 e 5, preenchidos antes da execução dos jogos 240

5.12 Análise de grupamentos de jogadores em nove grupos correspondentes às células da MJE 240

5.13 Alocação das equipes aos doze jogos do experimento 241

5.14 Tratamento dos questionários dos Anexos 2, 3, 4 e 5, preenchidos depois da execução dos jogos 241

5.15 Avaliação do desempenho das empresas participantes dos jogos 242

5.16 Tratamento dos questionários sobre os resultados dos jogos 242

5.17 Análises das diferenças das médias dos índices 243

5.18 Tratamento das análises de regressão múltipla entre as variáveis do experimento, as ‘explicadas’ e as ‘explicadoras’ 243

5.19 Resultados das análises da regressão múltipla entre as variáveis do experimento 244

Lista de Tabelas

2.1 Pressupostos de Posturas Concorrenciais dos Jogadores 28

2.2 Pressupostos de Relação-de-Forças entre os Jogadores 30

5.1 Lista das Variáveis Utilizadas no Experimento 228

5.2 Resultados das Análises de Fatores, dos Questionários de Avaliação de Perfil dos Jogadores, Antes e Depois dos Jogos 230

5.3 Alocação dos Jogadores aos Respectivos Jogos a Jogar 233

5.4 Resultados das Análises dos Fatores do Questionário de Avaliação do Resultado do Jogo, QRJ, e do Questionário para Avaliação de Mudanças Comportamentais, QMP 234

Trabalhos Publicados pelo Autor

1. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *Aplicação da Matriz de Jogos Estratégicos na modelagem de estratégias cooperativas e competitivas para empresas de um pólo têxtil e de confecções*. Aceito para publicação na Revista Eletrônica Sistemas e Gestão.
2. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *A game-inspired modeling framework for multiple intelligent agents control systems – A water resources regulation problem application.* Proceedings of the 22nd IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC), Singapura, 1-3 de Outubro, 2007 [1].
3. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *Competição e cooperação em regulação de recursos hídricos – Um modelo para gestão multinível com múltiplos agentes autônomos*. Anais do XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SOBRAPO, Fortaleza, CE, 28-31 de Agosto, 2007.
4. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *Competition and cooperation for water resources: A multilevel multi-stakeholder management modeling.* Proceedings of the Academy of Management – AoM - 2007 Annual Meeting, Philadelphia, PA, 3-8 de Agosto, 2007.
5. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *A game-inspired modeling framework for multiple intelligent agents control systems – A water resources regulation problem application.* Anais do DINCON'2007 - 6º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, São José do Rio Preto, SP, 22-25 de Maio, 2007.
6. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *The Strategic Games Matrix as a framework for intelligent autonomous agents hierarchical control strategies modeling*. Proceedings of the 4th ICINCO – International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Angers, França, 9-12 de Maio, 2007. [2]
7. Wikipédia - em português, *Matriz de Jogos Estratégicos*, verbete disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Matriz_de_Jogos_Estrat%C3%A9gicos], proposto e submetido por iniciativa de Costa, E. A., março de 2007.
8. Costa, E. A. *Gestão Estratégica – Da empresa que temos para a empresa que queremos* (2ª. Ed.). Saraiva, São Paulo, SP, 2007.
9. Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. & Fischmann, A. A. *Choosing the game to play using the Strategic Games Matrix - An illustrative*

[1] Transcrito como Apêndice A deste trabalho.
[2] Transcrito como Apêndice B deste trabalho.

business application. Presented at the 26th SMS - Strategic Management Society - Annual International Conference, Viena, Áustria, 29 de Outubro - 1º. de Novembro, 2006.

10. Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. & Fischmann, A. A. *Expansão do conceito de co-opetição e sua aplicação para análise de jogos estratégicos na indústria de PCs*. Anais do XXX Congresso da ANPAD – Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, Salvador, BA, 23-27 de Setembro, 2006.
11. Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. & Fischmann, A. A. *The game to play: Expanding the co-opetition proposal*. Proceedings of the Academy of Management – AoM - 2006 Annual Meeting, Atlanta, GA, 11-16 de Agosto, 2006.
12. Costa, E. A., Bottura, C. P. & Alerigi, A. R. *Estrategias cooperativas y competitivas para redes y clusters empresariales mediante la Matriz de Juegos Estratégicos.* XIX Congreso Latinoamericano de Estrategia - SLADE, Puebla, México, 25-27 de Maio, 2006.
13. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *A Matriz de Jogos Estratégicos como uma nova ferramenta para gestão estratégica via Teoria dos Jogos.* Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, pp. 17-40, Abril, 2006.
14. Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G., and Fischmann, A. A. *Aplicação de Matriz de Posicionamento Estratégico (MPE) para formulação de estratégias competitivas e cooperativas na interação com competidores.* Anales de la XL Asamblea Anual del CLADEA – Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración, Santiago do Chile, 20-21 de Outubro, 2005.
15. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *Matriz de Posicionamento Estratégico (MPE) em gestão estratégica de estruturas hierárquicas*. Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SOBRAPO, Gramado, RS, 27-30 de Setembro, 2005.
16. Costa, E. A., Bottura, C. P., Alerigi, A. R. *Modelación de estrategias competitivas y cooperativas en ambientes empresariales mediante la Teoría de los Juegos*. Trabalho Convidado, apresentado ao Foro Regional en Clusters y Empresas Integradoras, Tecnológico de Monterrey, Toluca, México, 3-4 de Agosto, 2005.
17. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *Metodologias para análise e para projeto de estruturas hierárquicas com múltiplos controladores via Matriz de Posicionamento Estratégico.* Anais do DINCON'2005 - 4º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, Bauru, SP, 6-10 de Junho, 2005.
18. Costa, E. A. & Bottura, C. P., *Formulação de estratégias empresariais competitivas e cooperativas em complexas estruturas multiníveis via Matriz de Posicionamento Estratégico.* Anales del XVIII Congreso Latinoamericano de Estratégia, SLADE, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia, 19-21 de Maio, 2005.

19. Costa, E. A. & Bottura, C. P. *Proposta de Matriz de Posicionamento Estratégico via Teoria dos Jogos para gestão empresarial em ambientes cooperativos e competitivos.* Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SOBRAPO, São João del Rei, MG, 23-26 de Novembro, 2004.

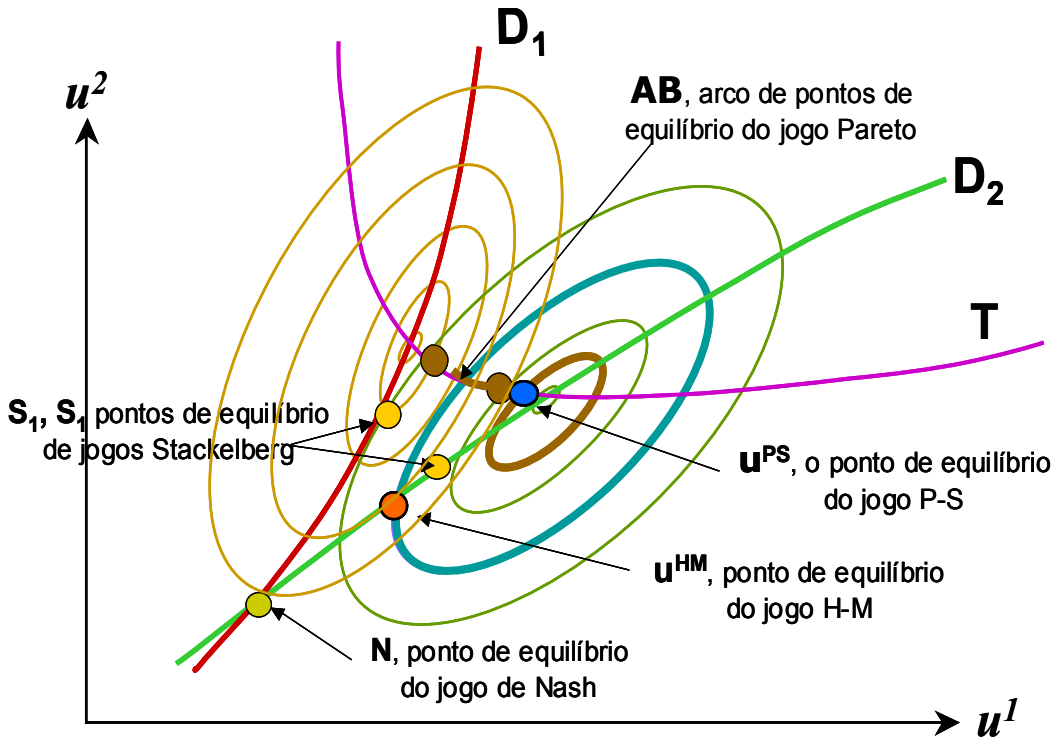
20. Bottura, C. P. & Costa, E. A. *Business strategy formulation modeling via hierarchical dynamic game.* Proceedings of the First International Conference on Complex Systems, Intelligence and Modern Technology Applications – CSIMTA 2004, Cherbourgh, França, 19-22 de Setembro, 2004.

21. Bottura, C. P. & Costa, E. A. *Modelagem de ambiente empresarial competitivo como jogo dinâmico hierárquico estratégico estocástico para capacitação de executivos.* Anais do XVII Congresso Latino-americano de Estratégia, Camboriú, SC, 28-30 de Abril, 2004.

22. Colombo, R. & Costa, E. A. *Jogo estratégico de empresas em sistemas dinâmicos com geração randômica de cenários para capacitação gerencial*. Anais do XVII Congresso Latino-americano de Estratégia, Camboriú, SC, 28-30 de Abril, 2004.

Os pontos de equilíbrio dos cinco jogos de soma-variável da MJE: Nash, Stackelberg, Pareto, Paternalista-Solidário, Hegemônico-Marginal

[Conforme descrito no Capítulo 3]



Capítulo 1

Introdução Geral

Apresentação

Este estudo desenvolve um novo modelo conceitual que busca representar, de forma integrada, as mais diversas situações de conflito de interesses, em particular as dos ambientes empresariais, como uma base para análise e projeto de controle de sistemas hierárquicos multiagentes, e também para o aprimoramento da metodologia de capacitação de executivos para a administração estratégica desses conflitos. O modelo conceitual apresentado fornece um esquema analítico suficientemente abrangente, inspirado na teoria dos jogos, e é usado para explicar, descrever, interpretar e prever os comportamentos dos diversos agentes envolvidos em situações de conflito de interesses e, em certos casos, até para sugerir ou recomendar os comportamentos mais adequados.

A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), proposta no Capitulo 2 e utilizada neste trabalho, estabelece um quadro de referência conceitual mapeando seis diferentes tipos de jogos. Nela, os pressupostos dos modelos clássicos de jogos, tais como Nash, Stackelberg, Pareto, Minimax, e outros em casos-limite, são usados de forma integrada e complementar. São considerados, na MJE, jogos competitivos e cooperativos, jogos equilibrados e não-equilibrados, levando em conta tanto a postura concorrencial de cada jogador como o seu pressuposto de

relação-de-forças. A MJE contempla, de forma inovativa, o tratamento de múltiplos subjogos estratégicos simultâneos entre os agentes envolvidos.

O Capítulo 3 apresenta um tratamento da teoria dos jogos, nos seus aspectos essenciais, porém sem ênfase no rigor. O texto ali apresentado constitui um arcabouço para uma adequada aplicação da matemática aos problemas de modelagem dos jogos estratégicos da MJE. Nele, faz-se uma revisão parcial da matéria, com contribuições de caráter original para os jogos em casos-limite. Nele, são também apresentadas definições dos seis jogos da MJE, bem como a análise dos pontos de equilíbrio para os seis jogos da matriz em configurações bem comportadas. São apresentadas definições dos jogos, bem como a análise dos pontos de equilíbrio para os seis jogos da matriz em configurações bem comportadas.

A formulação da MJE permite viabilizar a realização dos objetivos principais deste estudo, ao contribuir para a modelagem de sistemas hierárquicos com múltiplos agentes e sua aplicação em análise e projeto desses sistemas em situações de conflito de interesses, bem como para a elaboração de experimentos de propósito pedagógico através de jogos de empresa via computador.

Um outro resultado deste estudo é apresentado no Capítulo 4. Nele os conceitos da MJE são utilizados para modelagem de sistemas de controle – hierárquicos ou não – com múltiplos agentes inteligentes em situações de conflitos de interesses, através de múltiplos subjogos estratégicos que devem ser jogados simultaneamente. Três aplicações desta metodologia são também apresentadas, sendo uma para controle de sistemas hierárquicos de regulação de recursos hídricos, outra para formulação de estratégias competitivas e cooperativas para empresas de um *cluster* produtivo de têxteis e de confecções, e outra para um estudo de caso de estratégias competitivas e cooperativas de empresas que compõem um

pólo produtivo de micro-computadores pessoais (PCs). O Capítulo 5 apresenta e aplica uma proposta de metodologia de formação de executivos na qual os jogadores participantes do experimento são expostos a seis ambientes de jogos diferentes, todos derivados da MJE, ampliando assim o seu repertório de atuação em diferentes situações de conflito de interesse. Embora haja restrições válidas ao uso de estudantes como *proxy* para testar metodologias para formação de executivos (Keyes & Wolfe [158]), este foi o recurso utilizado, por seus aspectos práticos e de disponibilidade. Os experimentos exploratórios, com propósitos pedagógicos, usando a MJE em jogos de empresas via computador, como uma parte importante deste estudo, indicam que os participantes ampliam sua percepção para compreender os diversos jogos a jogar, e sua habilidade para atuar adequadamente em cada um deles. Este uso da MJE através de jogos de empresas leva cada participante a analisar cada situação de conflito de interesses e a melhor escolher suas decisões estratégicas. Através de um processo dinâmico interativo de tentativa e erro, eles acabam aprendendo a fazer melhores escolhas levando em conta as possíveis decisões dos demais agentes envolvidos bem como suas avaliações das possíveis conseqüências de suas escolhas.

Alguns comentários, conclusões e recomendações para desenvolvimentos futuros deste trabalho são apresentados no Capítulo 6.

Os Apêndices A e B também fazem parte integrante do Capítulo 4 como contribuições relevantes para o problema de controle multiagente usando a MJE.

1.1 Motivações da Pesquisa

A análise de situações de conflito de interesses – a difícil escolha do 'jogo a jogar' – e a escolha e implementação de decisões estratégicas em

ambientes competitivos e cooperativos são as questões cruciais no contexto empresarial, aqui tratadas como nosso problema de pesquisa.

De fato, além da aleatoriedade própria dos ambientes externos e internos das empresas, os fatores de incerteza associados a este tipo de decisão podem depender, na maioria das vezes, das decisões, desconhecidas *a priori*, que estarão sendo tomadas pelos demais agentes envolvidos.

O tratamento do problema de formulação de decisões em complexos inter-relacionamentos de agentes inteligentes nessas situações de conflito de interesses demanda uma abordagem interdisciplinar (Anderson, Sweeney & Williams [9], Andrews [11], Arrow & Intriligator [21], Schelling [233], Williams [276]).

O trabalho desenvolvido se beneficia, em certa dose, de contribuições, tanto de áreas como teoria dos jogos, teoria dos jogos de empresas, controle de sistemas, otimização de sistemas, simulação de sistemas dinâmicos, análise estatística de dados, como de gestão de empresas, economia da empresa, economia de mercado, gestão de conflitos, negociação, e até do relacionamento interpessoal.

Os currículos clássicos e os métodos de ensino até agora utilizados para formação gerencial, tanto nos cursos regulares de graduação e pós-graduação como nos programas internos das empresas, podem se enriquecer com novas abordagens para preparação dos quadros profissionais das empresas. Este esforço se faz necessário para o bom enfrentamento de situações de conflitos de interesses nos ambientes fortemente competitivos derivados da liberalização dos mercados e da integração das economias setoriais, regionais, nacionais e globais.

A motivação inicial para a escolha do tema deste trabalho tem origem em um permanente interesse do autor por atividades educacionais, para

formação e aprimoramento de quadros gerenciais com competências diferenciadas em gestão de negócios e, em particular, para planejamento, tomada de decisão e para gestão estratégica.

De fato, a formação de novos empresários, em quantidade e qualidade necessárias, capazes de iniciar e conduzir grandes, médios ou pequenos empreendimentos, levou à busca de novos métodos e processos pedagógicos mais interessantes, estimulantes e eficientes, através de ambientes-laboratório, criando novos jogos de empresas, cooperativos e competitivos, simulando as diversas situações-problema da forma mais realista possível.

Com este trabalho, pretendemos contribuir para a análise e síntese de arquiteturas de controle sistemas hierárquicos multiagentes, levando em conta seus possíveis conflitos de interesses, bem como para o aprimoramento profissional de executivos que devem conduzir as decisões estratégicas de suas empresas.

1.2 Objetivos da Pesquisa

Este estudo teve por objetivo inicial o desenvolvimento de um modelo conceitual suficientemente abrangente, como base para uma proposta de aprofundamento da metodologia de capacitação de executivos na gestão de conflitos nos diversos ambientes empresariais.

O desenvolvimento desta pesquisa, entretanto, acarretou uma ampliação do escopo original para levar em conta, também, as possíveis aplicações da teoria dos jogos a controle de sistemas hierárquicos multiagentes via MJE.

Desta forma, o objetivo principal desta pesquisa passou a ser:

(a) Desenvolver, apresentar, e aplicar um novo arcabouço conceitual

para a adequada aplicação da teoria dos jogos aos problemas de modelagem de jogos estratégicos em situações de conflito de interesses.

E os objetivos secundários da pesquisa foram:

(b) *Ampliar e aplicar estas modelagens baseadas na teoria dos jogos para análise e para projeto de controle de sistemas hierárquicos multiagentes;*

(c) Contribuir para o aprimoramento da formação profissional de executivos e gestores, capacitando-os para melhor entender e interpretar o seu ambiente negocial, enfrentar com racionalidade as diversas situações de conflito de interesses, e tomar decisões estratégicas levando em conta as possíveis ações dos demais agentes envolvidos, por meio de jogos de empresas.

1.3 Bases Vivenciais para a Pesquisa

Os trabalhos desta pesquisa resultaram, em certa medida, da integração de vários campos de experiência profissional com os quais o autor se envolveu, em sua carreira. Eles contemplam tanto uma vivência acadêmica (Instituto de Pesquisa da Marinha, UNICAMP)[1], uma vivência didática (UFES, UNICAMP, UNIFESP), e uma vivência empresarial (CVRD, Promon).

Esta diversidade de experiências forneceu as bases conceituais, metodológicas e motivacionais para este trabalho de pesquisa: do lado

[1] Costa, E. A. *Otimização da operação integrada de redes de escoamento envolvendo atividades de produção, transporte, estocagem e distribuição, utilizando decomposição hierárquica multinível com coordenação pelo objetivo*. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, 1979, (Collis & Montgomery [82], Kuhn & Tucker [167], Lasdon [170], Luenberger [180], Sage [229][230], Siljak [240]).

empresarial, um interesse em desenvolvimento de estratégias competitivas e cooperativas no mundo dos negócios; do lado didático, um direcionamento para metodologias de ensino de administradores, gerentes e executivos através de experiências vivenciais e de jogos de empresas; e, do lado acadêmico, um interesse em teoria dos jogos, controle, otimização e simulação de sistemas.

Desta forma, a Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), proposta nesta tese, pode ser vista como tendo sido resultante desta tripla confluência, recebendo contribuições relevantes de cada uma delas.

1.4 Metodologia de Pesquisa

(a) Histórico – O uso de métodos experimentais e vivenciais para educação de indivíduos adultos remonta aos primórdios das civilizações, estando sempre presente, de uma forma ou de outra, em praticamente todas as culturas. A histórica figura do ***aprendiz*** é a daquele iniciante que está ao lado de quem sabe mais, observando-o atentamente e, muitas vezes, encarregado de tarefas mais simples, e que vai crescendo no que se chama modernamente de *on-the-job training* (treinamento em serviço).

Porém, com o crescimento e a estruturação progressiva dos sistemas educacionais, os métodos e práticas experimentais e vivenciais acabaram sendo relegados para um segundo plano, ao se priorizar métodos e mecanismos do ensino regular, formal e acadêmico, cada vez mais valorizados.

A experiência moderna, entretanto, tem mostrado que o ensino formal e a reciclagem dos profissionais que já estão há bastante tempo inseridos no mercado de trabalho – ocupando, às vezes, importantes posições de

comando em empresas privadas, industriais, comerciais ou de serviços – tem uma série de limitações, algumas delas até impeditivas.

De fato, os estudos especializados sobre educação de adultos – também chamados por alguns autores de 'andragogia' [4] –, têm mostrado que os métodos de ensino tradicionais, baseados em apresentações, palestras, leituras e conferências, deixam a desejar, pois não motivam e não envolvem suficientemente os participantes, que estão mais ligados aos seus reais problemas do dia-a-dia (Knowles [161], Linderman [176], Senge [237]).

Por outro lado, as atividades lúdicas, tais como jogos e simulações de empresas em ambiente competitivo e turbulento são métodos que, se bem implementados, podem despertar emulação, entusiasmo e motivação, essenciais para um bom aprendizado. As aplicações pedagógicas modernas para formação e desenvolvimento de gestores e de tomadores de decisão no ambiente empresarial têm se utilizado, cada vez mais, de jogos implementados através de modelos computacionais baseados geralmente em estruturas de planilhas, mas o enfoque destas aplicações tem sido voltado, predominantemente, para a programação operacional de empresas, também chamada de programação tática, cobrindo apenas curtos horizontes de tempo. Acontece que as decisões de cunho estratégico, objeto deste trabalho, exigem um horizonte de tempo bem maior, o necessário para que as conseqüências, no longo prazo – boas ou más – das decisões tomadas pelos jogadores, muitos períodos atrás, possam ser observadas e avaliadas, e cotejadas com as alternativas que poderiam ter sido escolhidas.

---

[4] O campo de estudo dos aspectos relevantes que diferenciam o ensino clássico, de crianças, adolescentes e jovens, do ensino de adultos, é chamado de 'andragogia', em oposição à clássica pedagogia.

(b) Jogos de Empresas – Jogos de empresas têm sido usados há bastante tempo, porém inicialmente de forma incipiente, com recursos muito limitados, e sua aplicação dependia de muito empenho e disciplina dos jogadores. Foi nas últimas décadas que eles tiveram grande crescimento, com a adaptação, para o ambiente empresarial, de conceitos, resultados e metodologia dos jogos de guerra, já usados há tempos na área militar (Keyes & Wolfe [158], Faria [114]).

Computadores cada vez mais potentes e *softwares* mais amigáveis permitiram a construção de modelos mais elaborados, com alto grau de representatividade. Mais recentemente, com os modernos recursos de redes locais e de ambientes *web*, está sendo possível tornar esses jogos mais interativos e interessantes, generalizando-se sua aplicação como um eficiente instrumento complementar para a formação de quadros gerenciais e administrativos, inclusive a distância.

Jogos de empresas para uso didático, implementados em algoritmos numéricos, são o resultado de uma modelagem matemática simplificada do ambiente empresarial onde as variáveis descrevem a evolução dos parâmetros operacionais, comerciais, financeiros, patrimoniais, administrativos, e estratégicos do negócio, e os lances dos jogadores emulam, num certo sentido, as decisões que os dirigentes de empresa precisam tomar no dia-a-dia de suas atividades empresariais.

Os participantes do jogo – atuando de preferência em equipes competindo e/ou cooperando entre si –, agem como se estivessem, cada um deles, administrando uma empresa hipotética e, através de um processo interativo coordenado, tomam suas decisões operacionais, comerciais, administrativas e estratégicas. Ao longo do jogo, eles recebem informações sobre alguns parâmetros de desempenho que os orientam para a tomada de decisões para os próximos estágios. Ao final da partida, resultados do jogo permitem avaliar a ‘qualidade’ das decisões tomadas.

Assim, através de acertos e erros, após várias rodadas e tentativas, os próprios participantes vão se auto-avaliando, melhorando e apurando a qualidade de suas decisões, desenvolvendo, assim, uma percepção abrangente das possíveis conseqüências de suas escolhas.

A experiência tem demonstrado que os participantes acabam atuando com grande entusiasmo e motivação, ampliando sua capacitação, inclusive, para o uso de ferramentas mais quantitativas. Jogos bem formulados são capazes de integrar conhecimentos e conceitos estanques em várias áreas ou disciplinas, facilitando assim a formação de uma visão global da empresa e de seu mercado como um todo.

O processo interativo de decisão em equipe facilita também o desenvolvimento de habilidades interpessoais, envolvendo a capacidade de ouvir ativamente os companheiros de equipe e de comunicar-se claramente com eles; incentiva a procura por dados objetivos, a capacidade de busca de consenso e de soluções de compromisso. Habilidades de liderança, de clareza e de assertividade para dar e para receber *feedback* são também realçadas. As atitudes pessoais de cooperação entre os responsáveis pelos vários departamentos ou funções da empresa são desenvolvidas e incentivadas.

Por outro lado, a competição entre equipes de várias empresas desenvolve a capacidade para tomar decisões em ambiente de conflito de interesses, de pressão e de incerteza, em clima de tensão, de premência de tempo, de negociação interna, de busca de soluções de consenso ou de compromisso, e em situações de competição externa acirrada.

(c) Metodologia de Ensino – A metodologia de ensino atualmente utilizada, embora satisfatória nos estágios introdutórios de ensino, precisa de um enriquecimento para que se possa levar os educandos mais graduados a enfrentar situações mais realistas de conflito de interesses entre múltiplos agentes e em confrontos com desequilíbrio de forças. Além

disso, os jogos disponíveis no mercado têm sido quase sempre implementados como jogos competitivos, sem oportunidade para o exercício da cooperação. No mundo dos negócios, entretanto, cada vez mais se apresentam situações onde é a cooperação que deveria comandar o relacionamento entre os múltiplos agentes envolvidos, pelo menos como a primeira opção a ser examinada.

A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), proposta e utilizada neste trabalho, cria um quadro de referência conceitual que permite a formulação de vários tipos de jogos, competitivos e cooperativos, equilibrados e não-equilibrados, jogos esses que são aplicados ao treinamento de executivos através de jogos de empresas. A MJE leva em conta tanto as posturas competitivas dos jogadores como os pressupostos de relação-de-forças entre eles, como se descreve no Capítulo 2.

Na metodologia aqui proposta, os jogadores são expostos a ambientes de jogos diferentes, todos derivados da MJE, ampliando, assim, o seu repertório de atuação para diferentes situações de conflito de interesses.

1.5 Os Experimentos

Alguns acadêmicos e pesquisadores questionam o uso da palavra “experimento” para descrever o exercício prático por nós desenvolvido com alunos de administração de empresas, pelo fato de que o evento criado não pode ser replicado por terceiros, com os mesmos resultados.

De fato, a impossibilidade de “controlar” todas as variáveis envolvidas num complexo experimento, envolvendo 52 alunos em uma sala de laboratório de informática, torna único este o experimento.

Alguns autores preferem chamá-lo de “quase-experimento”, por se tratar de pesquisa na área de ciências sociais onde é praticamente

impossível controlar as variáveis, não se garantindo, assim, a replicação dos resultados em repetições do exercício

Apesar disso, chamaremos este “exercício piloto” de “experimento”, como um exercício prático para testar a exeqüibilidade do recurso pedagógico de jogo de empresas.

Assim, para avaliarmos, em caráter exploratório, a aplicabilidade dos conceitos da MJE na formulação de jogos competitivos e cooperativos, utilizamos um laboratório-virtual de empresas, simulando, através de um *software* com acesso via *web* [5], (Bernard Sistemas Ltda. [38] [39]). Este *software* foi devidamente adaptado pela Bernard, no escopo desta pesquisa, para tratar todos os seis jogos da MJE, em situações competitivas e/ou cooperativas, equilibradas e não-equilibradas.

No primeiro experimento, que podemos chamar de “piloto”, trabalhamos com 55 alunos de pós-graduação que se voluntariaram para isto, e, no segundo, com 52 estudantes de graduação, estudantes do curso de administração de empresas da USF.

Em ambos os experimentos, os estudantes foram alocados em 12 equipes, participando de 12 sessões de jogos, sendo seis deles nas formas chamadas ‘canônicas’ e outros seis jogos nas formas ‘não-canônicas’, conforme descritos nos tópicos 5.1 a 5.4 do Capítulo 5.

A alocação dos jogadores, tanto no primeiro como no segundo experimentos, atendeu a critérios de avaliação de suas posições competitivas preferenciais, e de seus pressupostos de relação-de-forças preferenciais, avaliados através das respostas a questionários preparados no escopo deste trabalho, e transcritos nos Anexos 1, 2, 3 e 4.

[5] Para a simulação de jogos de empresas, com várias indústrias em mercados competitivos, utilizamos o software Bernard®, SIND 4.0, através do recurso Websimulador®, gentilmente cedidos pela Bernard Sistemas Ltda.

1.6 Resultados dos Experimentos

Os resultados dos experimentos estão descritos no tópico 5.6 do Capítulo 5 e nos Anexos 8, 9, 10, 11 e 12.

O primeiro experimento exploratório operou exclusivamente a distância, via *web*, teve um bom começo, mas enfrentou dificuldades para completar os períodos programados. De fato, os jogadores, tiveram dificuldade para dedicar tempo ao exercício, para entender e estudar o manual do sistema, e para tomar decisões dentro do cronograma semanal proposto. Assim, o primeiro experimento completou apenas os três primeiros períodos, chegando a esse ponto com um grupo remanescente de apenas onze jogadores. Com base nos erros e acertos do primeiro experimento, preparamos o segundo, tentando evitar algumas armadilhas do primeiro. Embora este primeiro experimento tenha tido seus percalços, ele foi considerado como um piloto, que serviu para calibrar a estrutura de coleta de dados, para *debugging* da nova versão do software, e para teste da condução do jogo e administração do experimento como um todo.

No segundo experimento, agora contando com estudantes de graduação, dentro do conteúdo programático de um curso, com disciplina e freqüência obrigatória, os alunos participaram dos jogos também via *web*, mas em laboratórios presenciais semanais. Esses estudantes completaram todos os sete períodos programados, e, segundo os questionários iniciais e finais a que foram submetidos, apresentaram ampliação de sua habilidade para atuar em diversos tipos de jogos. Os resultados das análises estatísticas, apesar do pequeno tamanho da amostra, forneceram indicações de que a metodologia proposta pode ser usada, mais extensivamente, mediante ajustes, para formação de futuros dirigentes e executivos e para reciclagem dos atuais.

O segundo experimento mostrou também que os seis jogos derivados da MJE representam, tipicamente, os seis tipos de jogos que os jogadores acabam jogando, embora de forma intuitiva, nas diversas situações de conflito de interesses que enfrentam no mundo dos negócios.

1.7 Limitações e Implicações da Pesquisa

Dado o caráter exploratório deste estudo – e de certa forma pioneiro e original –, e considerando as limitações de tempo e de recursos, esta pesquisa apresenta várias limitações e implicações, descritas a seguir. Algumas delas podem ser contornadas, como explicado no texto. Outras, entretanto, vão depender de novas pesquisas e desenvolvimentos, que são deixadas como propostas para trabalhos futuros. São elas:

a) Jogos diádicos - Por uma questão de simplificação conceitual e metodológica, os jogos representados na MJE são supostos 'diádicos', ou seja, jogos entre apenas dois participantes (ou dois tipos de participantes). Acontece que, na vida real, e nos experimentos dos jogos de empresas aplicados, os jogos podem envolver três, quatro ou mais jogadores (ou tipos de jogadores).

Nossas aplicações nos experimentos, todas com mais de dois jogadores, foram tratadas da seguinte forma: Os vários jogadores foram agrupados em dois subconjuntos, sendo que, em cada um deles, as posições competitivas dos jogadores, na MJE, foram supostas semelhantes. Desta forma, os dois grupos de jogadores foram alocados à MJE como se fossem apenas dois 'jogadores'.

Nos casos mais gerais, onde este procedimento pode não ser possível, esta limitação poderia ser contornada trabalhando-se com os conceitos de metajogos e subjogos: Sistemas complexos, com múltiplos jogadores,

tratados como metajogos, são decompostos em subjogos, cada um deles como jogos 'diádicos', como descritos acima, suscetíveis, portanto, de serem também analisados à luz da MJE;

b) Jogos estáticos - Os jogos representados na MJE são supostos 'estáticos', em princípio, ou seja, os dois jogadores devem tomar decisões num determinado instante de tempo. Acontece que nos casos reais, inclusive nos experimentos, os jogos de empresas ocorrem em vários lances em períodos sucessivos, caracterizando jogos dinâmicos discretos no tempo, onde, dependendo da duração do jogo, as posições competitivas dos jogadores poderiam ir se alterando ao longo do tempo.

Os experimentos conduzidos neste trabalho, entretanto, por sua curta duração, supõem que o desenrolar da partida não leva a mudanças significativas nas posições competitivas dos jogadores. No caso de jogos de longa duração, entretanto, trabalha-se com uma migração progressiva das posições dos jogadores pelas células da MJE, ao longo do jogo, conforme descrito nos tópicos 2.6 e 2.7.

c) Jogos em situações 'intermediárias' - As hipóteses de posição competitiva e de pressupostos de relação de forças adotadas na MJE, utilizam, por uma questão de simplicidade, apenas três níveis cada uma.

No entanto, há situações no mundo real onde o melhor jogo a jogar poderia estar em uma posição intermediária entre duas alternativas da MJE, tanto no eixo horizontal como no vertical. A opção por uma das alternativas deve ser objeto de análise criteriosa, e deve levar em conta os riscos envolvidos em eventuais 'escolhas erradas' do jogo a jogar e os benefícios esperados das 'escolhas acertadas';

d) Tamanho da amostra - As conclusões da pesquisa são meramente indicativas, um dos motivos para isto é o fato de termos trabalhado com

um volume amostral limitado. Isto nos privou de apresentar conclusões estatisticamente significativas. Desta forma, os resultados obtidos têm pequena validade externa, ou seja, não permitem generalizações para outras situações, mesmo que sejam semelhantes à utilizada. Trabalhos futuros poderão retomar esse problema de forma a dar maior confiabilidade à análise dos resultados;

e) Perfil da população amostral utilizada - Os experimentos descritos foram conduzidos utilizando uma pequena amostra constituída por um grupo de estudantes de pós-graduação e de graduação interessados em assuntos de administração de empresas. Embora haja restrições ao uso de estudantes como *proxy* para testar metodologias de formação de executivos, este foi o recurso utilizado por seus aspectos práticos e de disponibilidade para a pesquisa em questão. Desta forma, as conclusões a que chegamos podem não se repetir no mesmo grau em experimentos com amostras significativas e trabalhando com dirigentes de empresa e com profissionais executivos já em plena atividade;

f) Modelos matemáticos para obtenção de estratégias de equilíbrio – Os modelos matemáticos e suas representações gráficas foram úteis para o entendimento das condições de existência e dos processos de obtenção dos pontos de equilíbrio dos jogos da MJE.

Entretanto, considerando a intenção pedagógica desta proposta, onde as decisões heurísticas, erradas ou certas, são tomadas por jogadores humanos – e não por máquinas ou robôs –, aqueles pontos que poderiam ser obtidos pelos modelos da teoria dos jogos passam a ser meramente indicativos para as decisões desses jogadores.

Como mostrado no Capítulo 4, a aplicação dos conceitos da MJE para a formulação de estratégias de controle para complexos sistemas hierárquicos, com múltiplos agentes inteligentes em situações de conflitos de interesses, pode beneficiar as atividades de análise e projeto de

sistemas, facilitando a busca de novos métodos computacionais a serem desenvolvidos via algoritmos de otimização, heurísticos, ou outros.

1.8 Conseqüências Práticas e Contribuições deste Estudo

Algumas conseqüências práticas deste estudo podem ser destacadas:

a) Analistas estratégicos, consultores de empresa e executivos passam a dispor de um modelo conceitual mais abrangente e realista para analisar, entender, identificar, sugerir ou recomendar estratégias competitivas em situações de conflito de interesse, conforme mostrado no Capítulo 2.

b) Os modelos clássicos da teoria dos jogos, tais como Nash, Stackelberg, Pareto, Minimax, 'Dilema do Prisioneiro', 'Caça-e-Presa', hierárquicos ou não-hierárquicos, cooperativos, não-cooperativos ou competitivos, podem ser utilizados tratados de forma integrada e complementar, conforme mostrado no Capítulo 2.

c) Professores e instrutores em cursos de engenharia de produção, de planejamento empresarial, de administração de empresas, de negociação, de gestão de conflitos, tanto em graduação como em pós-graduação, passam a dispor de uma esquema conceitual claro e de fácil entendimento, utilizando explicações intuitivas, para tratar de estratégias de equilíbrio competitivas e cooperativas, hierárquicas e não-hierárquicas, conforme ilustrado graficamente no Capítulo 3;

d) Projetistas de sistemas de controle passam a dispor de uma metodologia que poderá ajudá-los a configurar novas arquiteturas de controle para sistemas com múltiplos controladores inteligentes, em situações de conflitos de interesses, com base na teoria dos jogos, conforme mostrado no Capítulo 4;

e) Formuladores de estratégias empresariais passam a dispor de uma nova metodologia para melhor entender, interpretar, formular e implementar estratégias corretas, e melhor decidir sobre a questão de 'que jogo jogar', como mostrado no Capítulo 4;

f) Os seis jogos da MJE podem ser utilizados para treinamento em ambientes acadêmicos, bem como para treinamento de executivos, visando, com isto, ampliar suas respostas e atitudes concorrenciais, expandindo assim o seu repertório de respostas estratégicas às diversas situações de conflito de interesse em que se envolvam, conforme mostrado no Capítulo 5;

g) O software de simulação de empresas, utilizado tentativamente em caráter exploratório no experimento, em uso corrente para finalidades pedagógicas no seu modo tipicamente competitivo e na opção de equilíbrio de forças, passa a dispor de uma nova versão, ainda em caráter experimental, que poderá vir a ser usada comercialmente para treinamento avançado de executivos nos seis jogos da MJE, em vários tipos de mercados, como os cooperativos, monopolistas, oligopolistas, hierárquicos, cartelizados, 'clusterizados', e em complexas redes de suprimento, com a estruturação fornecida pela MJE, conforme mostrado, também no Capítulo 5.

Os próximos capítulos tratam, seqüencialmente, da nossa proposta, a Matriz de Jogos Estratégicos, de um resumo conceitual dos principais resultados da teoria dos jogos aplicados à MJE, do uso da MJE para estruturação de sistemas hierárquicos de controle com múltiplos agentes autônomos inteligentes, do delineamento e condução dos experimentos desta pesquisa.

Capítulo 2

A Matriz de Jogos Estratégicos - MJE

Apresentação

Novas utilizações de alguns conceitos da teoria dos jogos para formulação de estratégias cooperativas e competitivas em gestão empresarial são elaboradas e apresentadas neste Capítulo, tendo como base a Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), aqui proposta.

Aplicam-se, neste Capítulo, os conceitos e resultados da MJE para análise e formulação de estratégias empresariais, como instrumento de apoio à gestão estratégica em complexas estruturas empresariais – hierárquicas ou não –, tanto competitivas como cooperativas (Boaventura & Fischmann [48][49], Chandler [68], Lyneis [182], Stevenson [254], Treacy & Wiersema [260], Werther & Kerr [274], Wikipédia [275])

É proposta uma nova tipologia para jogos estratégicos empresariais, derivada da análise e interpretação da MJE: Quatro jogos estratégicos clássicos da teoria dos jogos – Nash, Minimax, e Pareto, como jogos não-hierárquicos, e Stackelberg, como jogo hierárquico – são interpretados e aplicados a situações de conflito de interesses competitivas e cooperativas; dois novos jogos estratégicos hierárquicos aplicáveis a situações em casos-limite, também derivados da análise da MJE – Hegemônico-Marginal e Paternalista-Solidário –, são também descritos e aplicados.

Uma nova metodologia para análise e formulação de estratégias competitivas e cooperativas para gestão estratégica em complexas estruturas hierárquicas, construída com base na MJE, é apresentada e aplicada a jogos hierárquicos em três níveis ou mais.

Os conceitos de 'jogos-de-cena' estratégicos e de dinâmica de posicionamento estratégico são também introduzidos e ilustrados neste Capítulo.

2.1 Introdução

Nos processos de planejamento e de gestão, a formulação de estratégias empresariais constitui, desde há muito, um dos principais desafios para executivos, especialistas, acadêmicos e consultores de empresa (Ansoff [13]. Ansoff, Declerc and Hayes [16], Allison [5], Ansoff [14][15], Cavalcanti [67], Costa [93], Hax & Majluf [142], Henderson [143][144][145], Hofer & Schendel [146], Hunger & Whellen [148], Hunger [149], Hussey [150], Johnson & Scholes [154], Learned, Christensen, Andrews and Guth [173], Lorange & Vancil [178], Mintzberg, Ahlstrand and Lampel [194], Zaccarelli [280]).

De fato, a diversidade de situações no mundo dos negócios tem mostrado que uma estratégia que se mostra bem sucedida para um caso pode não servir para outro, pedindo estratégias diferenciadas (Kanter [155], Kaplan & Norton [156], Newman [204], Rhenman [225], Slack [245][246][247], Wernerfelt [271][272][273]).

Alguns autores chegam a dizer que não há um 'padrão' ou mesmo 'padrões' de estratégias, pela não-repetitividade das situações de enfrentamento competitivo e, conseqüentemente, das prescrições e recomendações sobre quais os melhores caminhos ou decisões a tomar

em cada caso (Bain and Company [26][27], Barker [31], Barna [32][33], Barney [34], Campbell, Goold and Alexander [63], Coulter [100], Drucker [110], Miles & Snow [192], Mintzberg, Ahlstrand and Lampel [194], Ohmae [205], Oliveira [207], Parkhe [209], Peteraf [211], Pfeffer [212], Porter [216][217], Prahalad & Hamel [221], Quinn [222], Steiner & Miner [250], Steiner [251], Tiffany & Peterson [258], Vernon-Wortzel & Wortzel [264], Wright, Kroll and Parnell [279]).

Muitos esforços têm sido feitos para criar categorias suficientemente amplas e gerais para classificação e categorização das estratégias empresariais. Slack, em Administração da Produção (Slack [246]), propôs, para indústrias, uma classificação de estratégias em três níveis:

(a) ***Estratégias corporativas*** – que tratam das grandes decisões da organização em questão, como crescimento, diversificação, alianças e expansão;

(b) ***Estratégias competitivas, ou de negócios*** – que devem estabelecer as formas de competir em cada unidade de negócio e em cada um de seus mercados;

(c) ***Estratégias funcionais*** – que cuidam das formas de se obter e manter os recursos estratégicos necessários à implantação das demais estratégias, tais como recursos humanos, finanças, matéria prima e tecnologia.

Embora todas estas três classes de estratégias sejam essenciais ao sucesso de qualquer negócio, são as estratégias competitivas as que costumam absorver o grande esforço nas formulações estratégicas das organizações. Por esta razão, fazemos, neste trabalho, uma aplicação de alguns resultados da teoria dos jogos a ambientes empresariais cooperativos e competitivos, como suporte à formulação das suas estratégias (Bethlem [43], Carvalho [64], Christensen, Andrews & Bower [70], Kotler [165], Laudon & Laudon [171], Montgomery & Porter [196],

Morecroft [198], Ross, Westerfield and Jordan [227], Rumelt [228]). [1]

As referências bibliográficas sobre aplicações de conceitos e resultados da teoria dos jogos para formulação e modelagem das decisões estratégicas em situações de conflitos de interesses são freqüentes e tratadas por vários autores. Embora o conceito de conflito de interesses possa ser aplicado a quase todas as atividades humanas – coletivas ou individuais – tais como políticas, militares, geopolíticas, sociais, diplomáticas, familiares, (Axelrod [23][24], Fisher, Ury and Patton [116], Fraser & Hipel [123], Kraus [166], Leritz [174], Lewicki, Hiam and Olander [175], Sobenius [236], Thompson [257]) nós nos concentramos, neste Capítulo, em aplicações no mundo dos negócios, como em Brandenburger & Nalebuff [56], Ghemawat [126], Hämäläinen [136], Intriligator [153], Lampel [169], Porter [214][218], Schelling [233], von Neumann & Morgenstern [266]). Uma referência teórica para as estratégias de jogos dinâmicos não-cooperativos pode ser encontrada em Başar & Olsder [35].

Em *Strategy Safari*, Mintzberg et al [194] fazem um levantamento geral do panorama histórico das grandes linhas de pensamento e ação na área estratégica nas últimas quatro décadas, identificando dez escolas que, segundo eles, dominaram o pensamento e as formulações estratégicas, sendo três de caráter prescritivo – Escola de Projeto, de Planejamento e de Posicionamento –, seis de caráter descritivo – Escola de Empreendimento, Cognitiva, de Aprendizagem, de Poder, Cultural e Ambiental –, e uma de caráter integrativo – Escola de Configuração. Destas dez escolas, a Escola de Posicionamento mereceu deles uma

---

[1] As estratégias corporativas e as estratégias funcionais referidas devem ser objeto de outros tratamentos e encaminhamentos. Wright, Kroll & Partner [279], por exemplo, em *Administração Estratégica*, consolidam metodologias para desenvolvimento de cada uma dessas linhas de formulação estratégica das empresas.

referência a possíveis aplicações da teoria dos jogos para modelagem de algumas situações competitivas entre empresas, particularmente sob condições de manobras táticas ou estratégicas e de movimentações competitivas.

Neste estudo, abordaremos este tema sob o ponto de vista da teoria dos jogos, utilizando o conceito de Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), procurando responder à questão "*Que tipo de jogo devo eu jogar agora*?"

2.2 As Bases Conceituais da Matriz de Jogos Estratégicos - MJE

2.2.1 O uso da teoria dos jogos para a formulação de estratégias

Algumas tentativas de aplicação da teoria dos jogos em ambientes de negócios foram reportadas por autores tais como Porter, Dixit, Lampel, Smit e Ankun, Ghemawat, e Zaccarelli, e são resumidas a seguir.

Tanto Porter como Dixit descrevem, cada um a seu modo, os movimentos competitivos das empresas, como lances de um jogo competitivo num tabuleiro, e fazem considerações sobre as possíveis reações dos concorrentes ao tomarem conhecimento de possíveis movimentações de seus adversários (Dixit & Nalebuff [107][108], Porter [215]). Em trabalho posterior, Porter menciona a aplicação das teorias clássicas de estratégias de equilíbrio da teoria dos jogos para interpretar situações de confronto estratégico e as escolhas das movimentações de cada competidor (Porter [218]). Lampel faz uma análise do uso da teoria dos jogos para formulação de estratégias competitivas, e menciona jogos do tipo perde-perde, perde-ganha e ganha-ganha (Lampel [169]), e as estratégias aplicáveis em cada caso. Smit e Ankun descrevem a aplicação

da teoria dos jogos para tomada de decisões em estratégias de investimentos sob condições competitivas (Smit & Ankun [248]).

Ghemawat [126] cita várias situações de competição entre empresas para as quais a teoria dos jogos pode ser muito útil para análise e decisão entre as várias estratégias competitivas disponíveis. No entanto, ele alerta que, muitas vezes, os tomadores de decisão não andam pelos 'caminhos da racionalidade', pois freqüentemente empresários fazem suas escolhas baseadas muito mais em motivações psicológicas, políticas ou diplomáticas, como, por exemplo, a necessidade de se justificar por decisões passadas, ou uma percepção seletiva da realidade, ou hostilidade gratuita, ou, simplesmente, 'palpites intuitivos', e cita alguns casos conhecidos da literatura para ilustrar este fenômeno.

Zaccarelli [280] também explora conceitos da teoria dos jogos para o entendimento das estratégias competitivas, principalmente no que se refere às possíveis reações dos concorrentes aos lances escolhidos. Faz ele uma conveniente distinção entre 'decisões lógicas' e 'decisões estratégicas' [2]; estas últimas são as tratadas neste trabalho.

Alguns resultados da teoria de jogos dinâmicos (Başar & Olsder [35]) abrem novas possibilidades e têm sido aproveitados como plataforma conceitual para modelagem de estratégias competitivas e cooperativas (Costa Filho [77], Bottura & Costa [51][52], Costa & Bottura [80][81][82][84]).

---

[2] Para Zaccarelli [280], as decisões lógicas são aquelas tomadas em situações que podem ser modeladas de forma a que os resultados para a empresa não dependam da contra-reação ou das ações retaliatórias ou cooperativas de outros concorrentes. Já as decisões estratégicas no mundo dos negócios dependem de escolhas sob condições de risco que envolvem decisões de terceiros, desconhecidas *a priori* pelo jogador, e fora do seu controle.

2.2.2 Jogos clássicos usados para conceituação e construção da MJE

A literatura descreve situações cooperativas e competitivas clássicas da teoria dos jogos e indica formas de obter estratégias de equilíbrio nesses tipos de jogos (Costa Filho [77], Başar & Olsder [35]). Entre elas, escolhemos as seguintes, para servirem de paradigmas para este estudo, como discutido na Seção 2.3:

(a) ***Jogos de soma-zero***, onde se aplica, tipicamente, a estratégia de equilíbrio Minimax, na busca de um ponto-de-sela;

(b) ***Jogos de soma variável***, não-cooperativos, onde se aplica, tipicamente, a estratégia de equilíbrio de Nash;

(c) ***Jogos de soma variável***, cooperativos, onde se aplica, tipicamente, a estratégia de equilíbrio de Pareto;

(d) ***Jogos hierárquicos***, onde o jogador mais forte faz seu lance e o anuncia aos demais jogadores, para os quais se aplica, tipicamente, a estratégia de equilíbrio de Stackelberg – Líder, para o jogador mais forte, e a de Stackelberg – Seguidor, para o jogador mais fraco.

2.2.3 Identificação das dimensões relevantes de diferenciação estratégica

Várias dimensões relevantes poderiam ser utilizadas para um mapeamento conceitual dos diversos posicionamentos estratégicos que um jogador pode assumir em situações de conflitos de interesses. Para o mundo dos negócios poderíamos escolher, por exemplo, o porte relativo da empresa, as suas forças competitivas, a situação e as perspectivas de crescimento e de expansão do mercado, o estágio no ciclo de vida da empresa, o estágio no ciclo de vida do mercado, ou o grau de vulnerabilidade e de turbulência dos negócios.

Para a aplicação em vista neste trabalho, um jogador [3] pode ser visto como um tomador de decisão que, individualmente ou em equipe, considerando os riscos e oportunidades envolvidas, toma suas decisões e as implementa, mesmo sabendo que elas implicam em riscos pelo fato de que os resultados de sua ação podem influenciar e serem influenciados, positiva ou negativamente, por decisões autônomas e imprevisíveis de outros tomadores de decisão, que têm outros interesses em jogo [4].

O método de investigação utilizado neste trabalho para identificação dessas dimensões partiu da análise comparativa dos condicionantes característicos subjacentes nos jogos clássicos – Nash, Stackelberg, Pareto, e Minimax – buscando-se, entre eles, o que eles tinham em comum e o que os fazia distintos entre si. Deste questionamento, foram identificadas diferentes dimensões que possibilitaram a construção de uma matriz para representar, de forma integrada, esses quatro jogos clássicos, e, posteriormente, mais dois outros jogos possíveis.

Assim, observamos inicialmente que, nos jogos de Minimax, Nash e Pareto, os jogadores são supostos estar com relações-de-forças equivalentes, sem predominância prévia explícita de nenhum deles; por outro lado, o que diferencia esses três tipos de jogos é exatamente a dimensão de postura concorrencial dos jogadores em cada um deles.

Por outro lado, no jogo de Stackelberg foi observada uma assimetria entre os jogadores, estabelecendo certa hierarquia de ação entre eles. Esta diferenciação sugere que um pressuposto de relação-de-forças é a

---

[3] Usaremos aqui a palavra 'jogador' para simbolizar uma entidade – uma empresa, um agente, uma pessoa ou grupo de pessoas ou de empresas – que atua autonomamente, dentro das limitações impostas pelas regras do jogo, procurando otimizar seus interesses.

[4] Na teoria de controle de sistemas, cada jogador pode ser interpretado como se fosse um 'controlador' em um sistema complexo, com múltiplos controladores.

outra dimensão relevante para a diferenciação dos jogos.

Assim, analisando as diferentes situações de conflito de interesses observadas entre jogadores no mundo dos negócios, escolhemos esses dois condicionantes, que serão usados para descrever, caracterizar e diferenciar as estratégias nos jogos clássicos citados. Resumindo, são eles, a forma ou a atitude competitiva do jogador, em confronto com seus concorrentes, e a relação-de-forças – real ou percebida – entre o jogador em questão e o seu oponente contra o qual ele entende haver um conflito de interesses.

Para um mapeamento do posicionamento de um jogador em uma particular situação de conflito de interesses, escolhemos tais condicionantes, que são representados nas duas dimensões, horizontal e vertical, da Matriz de Jogos Estratégicos descrita a seguir.

2.2.4 A dimensão do confronto concorrencial nos jogos estratégicos

Uma questão básica que envolve situações de conflitos de interesses entre jogadores é a maneira pela qual um jogador específico encara seu oponente. Por uma questão de simplicidade do modelo, adotamos, para este tipo de atitude e de comportamento, apenas três alternativas, mutuamente exclusivas, que sintetizamos em três distintas assertivas, implícitas em qualquer confronto:

(1) **Rival** – "Se for possível, eu quero destruir o(s) meu(s) oponente(s); se não for possível, quero enfraquecê-lo(s) ao máximo, de forma que ele(s) não me ofereça(m) quaisquer ameaças no futuro".

(2) **Individualista** – "Meu(s) oponente(s) existe(m) e está(ão) aí, mas há oportunidades para todos; embora eu reconheça que haverá sempre conflitos de interesses entre nós, vou agir de forma a conquistar e manter meu espaço vital para sobreviver e crescer".

(3) **Associativa** – "Eu preciso sobreviver, mas meu(s) oponente(s) também precisa(m); assim, deve ser possível encontrar alguma maneira coordenada de agir, de forma a que se possa achar uma solução conciliatória que seja a melhor para o todo".

Psicólogos, administradores, psicanalistas, sociólogos, cientistas políticos e filósofos continuam investigando as verdadeiras motivações pelas quais os jogadores tomam suas decisões, optando, consciente ou inconscientemente, por (1), ou por (2), ou por (3), acima. Para efeito desta análise, entretanto, basta reconhecer que estas três alternativas existem de fato, e que elas condicionam a análise dos posicionamentos estratégicos possíveis e das ações a tomar em cada situação de conflito.

Os pressupostos de *postura competitiva* dos jogadores acima caracterizados são designados pelos termos *Rival*, *Individualista* e *Associativa*, respectivamente, e estão apresentados na Tabela 2.1, que ilustra situações típicas em que são aplicáveis, resultados desejados pelos jogadores, pressupostos éticos, e frases-lema típicas de cada um deles.

Tabela 2.1 – Pressupostos de Posturas Concorrenciais dos Jogadores

Pressupostos para postura dos jogadores	**Rival**	**Individualista**	**Associativa**
Situações típicas	Concorrência predatória	Concorrência leal	Alianças, consórcios e parcerias
Resultados desejados	Eliminar ou reduzir os concorrentes	Vencer e sobreviver	O melhor possível para o todo
Pressupostos éticos	"Vale tudo para sobreviver"	"Vencer, sim, mas com dignidade"	"Estamos todos no mesmo barco"
Frases-lema típicas	"Todos são contra mim!"	"Cada qual pra si, e que vença o melhor"	"Um por todos e todos por um"

Neste trabalho, não se questiona se esta escolha é uma questão meramente subjetiva, ou se é uma matéria objetiva que pode ser explicável por uma motivação basicamente econômica, ou de sobrevivência da empresa. Para efeito deste modelo, observamos que estão sempre presentes nas situações de conflitos de interesses, sem associar, a cada uma delas, qualquer juízo de valor sobre a escolha feita.

2.2.5 A dimensão de relação-de-forças entre jogadores

Em uma segunda dimensão, procura-se representar a postura típica que um jogador específico assume em relação ao(s) seu(s) principal(ais) oponente(s).

Por uma questão de simplicidade, três posições típicas mutuamente exclusivas,são aqui tratadas, caracterizadas pelas seguintes assertivas:

(1) **Forte** – "Sou o mais forte e tenho condições de impor os meus interesses ao(s) meu(s) oponente(s)".

(2) **Equilibrado** – "Estou no páreo, sou como ele(s); tenho força equivalente à(s) do(s) meu(s) oponente(s)".

(3) **Fraco** – "Sou o (um dos) mais fraco(s); não consigo fazer meu(s) oponente(s) agir(em) de acordo com os meus interesses. Preciso esperar para saber quais as decisões dele(s), para então tomar a minha".

Os pressupostos de relação-de-forças entre os jogadores são aqui designados pelos termos *Forte* (ou seja, mais forte) [5], *Equilibrado* e *Fraco* (ou seja, mais fraco), respectivamente, e apresentados na Tabela 2.2, que ilustra situações típicas em que esses pressupostos são aplicáveis,

[5] Em trabalhos anteriores (Costa & Bottura [80][83][86]), este pressuposto foi chamado de "Hegemônico", termo este que ficou reservado para ser usado em outro contexto.

resultados desejados pelo jogador, pressupostos éticos e frases-lema típicas para cada um deles.

Tabela 2.2 – Pressupostos de Relação-de-forças entre os Jogadores

Pressupostos de relação-de-forças	**Fraco** *(mais fraco)*	**Equilibrado**	**Forte** *(mais forte)*
Situações típicas	Iniciante, ou terminal	Livre mercado	Monopólio, controle, ou regulamentação
Resultados desejados	Sobreviver	Vencer	Manter a posição de soberania
Pressupostos éticos	"Vale tudo para sobreviver"	"Vencer, sim, mas de acordo com as regras"	"Eu é que faço as regras, e ganho com elas"
Frases-lema típicas	"Eu sou muito pequeno!"	"Eu sou um deles"	"Eu sou o mais forte"

Para efeito dessas análises, não entramos na questão objetiva da real relação-de-forças entre o jogador e seu oponente direto. Basta reconhecer que estes três pressupostos alternativos estão sempre presentes, em graus distintos, nas situações de conflitos de interesses, sem associar , a cada uma delas, qualquer conotação que envolva juízo de valor sobre a posição assumida pelo jogador naquele confronto específico.

2.2.6 A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE)

Utilizando os conceitos apresentados em 2.2.2, 2.2.4 e 2.2.5, construímos uma matriz três por três, combinando no eixo horizontal a dimensão dos pressupostos alternativos para posturas concorrenciais dos jogadores e, no eixo vertical, as três alternativas dos pressupostos de relação-de-forças entre os jogadores, como mostrado na Figura 2.1.

As nove células da Matriz de Jogos Estratégicos indicam os

posicionamentos estratégicos possíveis neste modelo, que são chamados, pela ordem, *Hegemônico, Líder, Paternalista, Retaliatório, Competitivo, Cooperativo, Marginal, Seguidor,* e *Solidário,* como descreveremos a seguir, através dos respectivos jogos.

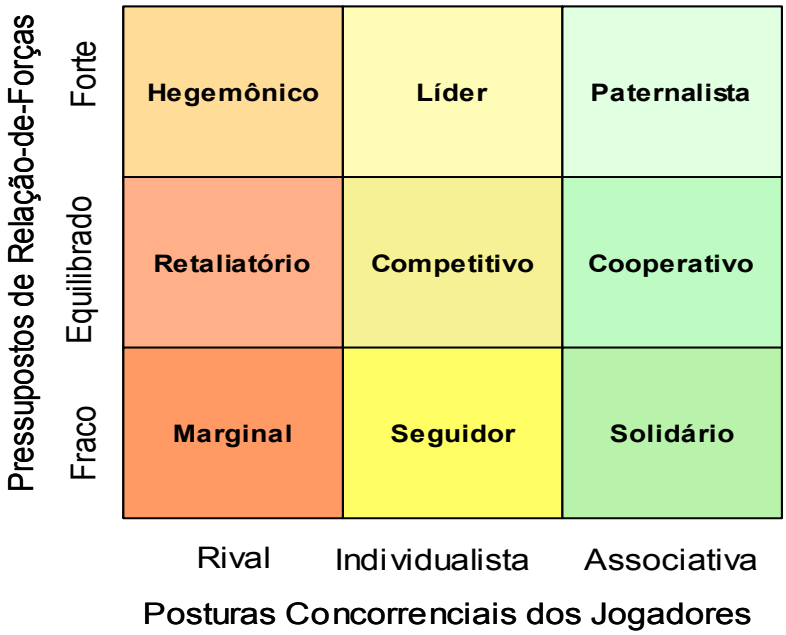


Figura 2.1: A Matriz de Jogos Estratégicos [6]

2.3 Uma Tipologia para os Jogos Estratégicos com Base na MJE

Apresentamos neste tópico as estratégias de equilíbrio clássicas da teoria dos jogos, referidas em 2.2.2, aplicáveis aos seis jogos descritos a seguir, e mapeadas nas nove posições estratégicas mostradas na Figura 2.2.

A aplicação de uma ou outra estratégia de equilíbrio em cada caso vai

[6] Em trabalhos anteriores (Costa & Bottura [80], por exemplo), esta matriz foi chamada “Matriz de Posicionamento Estratégico”, posteriormente rebatizada de Matriz de Jogos Estratégicos.

depender, dentre outros, da estrutura do jogo, do número de participantes, da atitude associativa, individualista ou rival, dos participantes, da estrutura de informação disponível aos jogadores e da existência ou não de algum jogador 'privilegiado' em condições de impor a sua estratégia aos demais jogadores.

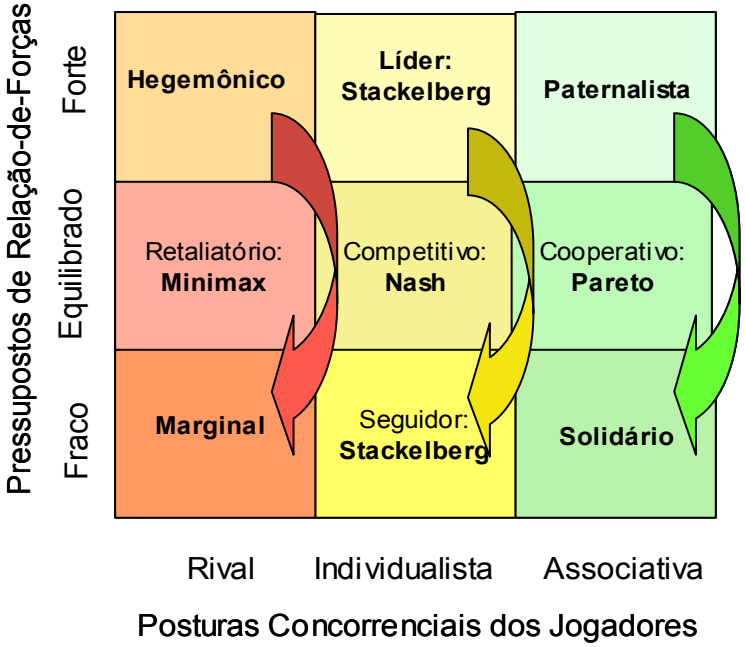


Figura 2.2: Os Seis Jogos Estratégicos Mapeados na MJE

A seguir, apresentamos as estruturas de equilíbrio clássicas da teoria dos jogos para as cinco células centrais da Matriz de Jogos Estratégico, ilustradas na Figura 2.2. [7]

2.3.1 Jogo Estratégico Competitivo – Equilíbrio de Nash

O primeiro dos jogos estratégicos aqui descritos, é o chamado "competitivo", que se aplica, por exemplo, a situações ditas de

[7] Uma apresentação formal, gráfica e matemática, dos seis jogos aqui descritos está mostrada no Capítulo 3.

'concorrência perfeita' ou de 'livre mercado', com muitos fornecedores, sem que nenhum deles tenha condições de dominar os demais concorrentes. Ele é representado na célula central da MJE.

Nos jogos não-cooperativos de soma variável, onde o jogador decide assumir um posicionamento estratégico competitivo, ele busca a otimização de sua função-critério. Se esta solução existir, ela será caracterizada pela situação onde nenhum dos jogadores consegue melhorar seus resultados particulares alterando unilateralmente a sua decisão. Tal conjunto de decisões é chamado de ponto de equilíbrio de Nash. Um tratamento formal deste jogo é apresentado no tópico 3.4.1, e complementado em 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3.

2.3.2 Jogo Estratégico Cooperativo – Equilíbrio de Pareto

Nos jogos de soma variável, a cooperação entre jogadores poderá levar a resultados – para ambos os jogadores – melhores do que os que eles obteriam se tentassem otimizar sua função-critério não levando em conta, *a priori*, a decisão do outro.

Com o surgimento de muitas oportunidades para parcerias, alianças, coalizões, cartéis e blocos, esses tipos de jogos estão se tornando cada vez mais relevantes. Assim, quando os jogadores decidem compartilhar informações sobre as respectivas condições e interesses, alternativas de ação e suas funções-critério, é possível que encontrem um ponto de equilíbrio chamado 'ótimo de Pareto', que é a melhor solução de compromisso para ambos os jogadores.

Este ponto, se existir, se caracteriza pelo fato de que nenhum dos jogadores pode melhorar seu resultado sem o que, com esta ação,

prejudique o resultado dos demais. São os chamados, no mundo dos negócios, de jogos "ganha-ganha". [8]

O ambiente dos jogos cooperativos implica, porém, que haja um acordo tácito ou explícito entre os jogadores de forma que não exacerbem seus interesses individuais em prejuízo do outro – ou dos outros. Este tipo de jogo, para ser efetivo, exige boa fé e lealdade entre os participantes. Um tratamento deste jogo, gráfica e matematicamente, é apresentado no tópico 3.4.5.

2.3.3 Jogo Estratégico Retaliatório – Equilíbrio de Ponto-de-Sela

Este tipo de jogo estratégico se aplica situações do tipo perde-ganha, ou perde-perde, onde os jogadores assumem, explícita ou implicitamente, que o ganho para um implica em perda para os demais, que é o que caracteriza o posicionamento retaliatório, conforme representado na célula central esquerda da MJE.

Chama-se ponto-de-sela a um ponto de equilíbrio em um jogo de soma zero, se ele existir. Ele é a solução deste jogo, para a qual cada um dos jogadores atua na direção que entende ser a mais favorável para otimizar sua função-critério, ignorando o que o outro pretende fazer. O ponto-de-sela tem a característica peculiar de que qualquer desvio em torno dele, por qualquer dos jogadores, faz com que o seu resultado piore em relação a sua função-critério.

---

[8] Em concorrências públicas, por exemplo, onde a decisão é feita pelo menor preço, esses arranjos "*a la Pareto*" podem ser ilegais, e implicam em anulação da concorrência e até em crime contra a ordem econômica. Em algumas alianças e parcerias onde a fusão de empresas implique em domínio e controle do mercado, esses arranjos também podem ser impugnados pelas autoridades governamentais, tal a vantagem que podem trazer para o negócio delas como um todo, embora em eventual prejuízo dos interesses da sociedade.

Uma das estratégias que leva a um ponto-de-sela é a chamada Minimax. O cálculo do ponto-de-sela para um dado jogador depende exclusivamente da sua função-critério; isto acontece porque, nesta estratégia, cada jogador não leva em conta as funções-critério dos demais jogadores, pois não pode confiar nem contar com a 'racionalidade' deles. [9]

Esta estratégia se aplica também a situações reais na qual um jogador pode imaginar que outro jogador possa ter comportamentos não-racionais ou aleatórios, ou até retaliatórios, isto é, em que algum adversário pode fazer jogadas para 'prejudicar' os seus objetivos, mesmo que, com isto, esteja prejudicando até os seus próprios interesses! A estratégia, neste caso, deve implicar numa ação 'defensiva': Como cada jogador não confia na boa fé nem na racionalidade de seus adversários, esta estratégia procura simplesmente minimizar os seus resultados desfavoráveis, limitando suas perdas. Um tratamento gráfico e matemático deste jogo é apresentado no tópico 3.4.8.

2.3.4 Jogo Estratégico Tipo Líder-Seguidor – Equilíbrio de Stackelberg

Tomemos um jogo hierárquico simplificado entre um jogador L, chamado Líder, e um jogador S, chamado Seguidor.

Suponhamos que, pela estrutura e pelas regras do jogo, o jogador Líder, o mais forte na relação, conhecendo a função-critério do Seguidor, seleciona primeiramente a sua decisão e, em seguida, o jogador Seguidor

---

[9] A estratégia Minimax descrita para se encontrar o ponto-de-sela é chamada de estratégia pura. Entretanto, também é possível calcular uma solução de equilíbrio pela estratégia Minimax em jogos para os quais não existe ponto-de-sela. Neste caso, será necessário aplicar o conceito de estratégias mistas, pelo qual os jogadores tomam decisões aleatoriamente sorteadas, com base em distribuições de probabilidades calculadas *a priori* de forma a otimizar a esperança matemática de sua função-critério (Başar & Olsder [35]).

seleciona a sua decisão, conhecendo, de antemão, a decisão do Líder. O jogo assim estruturado, chamado jogo de Stackelberg, está representado nas células central superior e central inferior da MJE.

Para se obter um ponto de equilíbrio de Stackelberg, é necessário que o seguidor seja racional, tomando sempre decisões ótimas dentro de suas condições de contorno. Para esta estrutura de jogo, pode-se determinar uma estratégia de Stackelberg, conforme apresentado no tópico 3.4.2. Este par de estratégias – para Líder e para Seguidor – se aplica, tipicamente, a situações de conflito de interesses entre um jogador muito forte e outro muito fraco, ambos com pressupostos concorrenciais *Individualistas*.

2.4 Jogos Estratégicos em Casos-Limite

Da análise da matriz de posicionamento estratégico como aqui construída, observamos que existem quatro células especiais, nos vértices da MJE, que caracterizam situações-limite de enfrentamento competitivo, para as quais podemos propor novas estratégias de equilíbrio, ainda não contempladas na teoria dos jogos, e que são apresentadas a seguir:

2.4.1 Jogo Estratégico Paternalista-Solidário

Este jogo hierárquico caracteriza-se pela existência de dois tipos de jogadores, em posições antagônicas na Matriz, um na posição Paternalista, na célula superior direita da MJE, e outro (ou outros) na posição Solidária, na célula inferior direita da MJE:

(a) ***Jogador na posição estratégica Paternalista*****:** A posição estratégica localizada na célula superior direita ocorre quando um jogador numa situação hierárquica superior, mais forte, por sua decisão autônoma,

delineia suas ações e as dos demais jogadores no nível inferior, procurando otimizar o desempenho do sistema como um todo.

Um ponto de equilíbrio para o jogador na posição Paternalista pode ser achado como a solução de um problema de otimização multicritério onde a nova função-critério pode ser, por exemplo, uma combinação convexa de todas as funções-critério dos jogadores – incluindo aí, claro, a do próprio jogador Paternalista –, com pesos adequadamente escolhidos. Outro tratamento para este ponto de equilíbrio é dado em 3.4.6.

(b) ***Jogador na posição estratégica Solidária***: Em contraposição ao posicionamento Paternalista, descrito acima, está a posição Solidária, localizada na célula inferior direita da MJE, que representa a situação de jogadores com relação-de-forças mais fraca, porém com uma postura Associativa. Tais jogadores, sem condições de impor seus interesses sobre o jogador Paternalista, devem seguir as regras estabelecidas por aquele, procurando tirar da situação, a maior vantagem individual possível.

Caso isto não lhes seja conveniente, considerando seus objetivos e suas alternativas, eles podem decidir 'sair do jogo', e atuar por conta própria, (ou até participar de outro jogo!). É assim que se comportam, por exemplo, os membros de uma organização cooperativa: Eles precisam decidir se lhes convêm permanecer associados ao 'coletivo', imposto pelo jogador no posicionamento Paternalista – no caso a Diretoria da Cooperativa – ou, alternativamente, se eles devem atuar solitários, por sua própria conta e risco – ou até participar de outra cooperativa, se isto lhes for possível, ou mais conveniente –.

Uma estratégia de equilíbrio para um jogador numa posição Solidária pode ser obtida pela solução de um problema de árvore de decisão com dois ramos, representando as decisões alternativas de 'juntar-se (ou manter-se) solidariamente ao coletivo', ou, alternativamente, abandonar o grupo e 'atuar sozinho'. Esse jogador, na posição Solidária, tem somente

uma decisão a tomar, com apenas duas alternativas: 'ficar' ou 'sair'. Um tratamento gráfico e matemático deste jogo é apresentado no tópico 3.4.6.

2.4.2 Jogo estratégico tipo Hegemônico-Marginal

Este jogo hierárquico é também caracterizado pela existência de duas posições estratégicas antagônicas na MJE, uma na célula superior esquerda da MJE, Hegemônica [10], e outro na célula inferior esquerda da MJE, Marginal, descritas a seguir:

(a) ***Jogador na posição estratégica Hegemônica:*** A célula superior esquerda da MJE caracteriza a situação de um jogador com posicionamento Hegemônico, que assume ter a força, a intenção e condições de dominar os seus competidores. Esta postura pode ser de intimidação, de chantagem, de guerra de preços, ou de outros expedientes similares, com a intenção de, se possível, 'quebrar os menores'.

Um ponto de equilíbrio para a posição Hegemônica pode ser obtido ignorando-se as funções-critério dos demais jogadores e poderia ser encontrado mediante a solução de um problema de otimização monocritério. O jogador nesta posição pode também tratar as possíveis ações dos seus concorrentes mais fracos simplesmente como uma 'perturbação', ou um 'ruído aleatório'. Outro tratamento é dado em 3.4.7.

(b) ***Jogador na posição estratégica Marginal:*** Em contraposição ao posicionamento Hegemônico, está a posição Marginal, na célula inferior esquerda, caracterizando a posição de um jogador mais fraco no conflito de interesses, porém com postura Rival. Ele faz tudo que entende ser necessário para sobreviver, tentando, tanto quanto possível, obter alguma

---

[10] Em trabalhos anteriores (Costa & Bottura [80], entre outros) esta posição da MJE foi chamada de "Dominante". Em trabalhos mais recentes esta palavra foi substituída por Hegemônica para evitar conflito com o já consagrado conceito de "estratégia dominante".

vantagem e até, se possível, causar perdas, pequenas ou grandes, ao jogador na posição Hegemônica. 'Produtores-piratas' ou informais, por exemplo, podem adotar esta estratégia, enquanto são de pequeno porte.

Um ponto de equilíbrio para um jogador na posição Marginal pode ser obtido através da solução de um problema de otimização de sua função-critério dentro das restrições impostas pelo jogador na posição Hegemônica, ou, até, ele pode tentar maximizar (*sic*) a função-critério de seu competidor mais forte, tentando infligir-lhe o máximo prejuízo possível, ignorando até sua própria função-critério. Esta última postura pode parecer um comportamento 'patológico', incompreensível ou irracional, como os "homens-bomba", por exemplo, mas, esses casos reais existem na prática, no mundo dos negócios, e este modelo procura descrever, também, essas situações-limite. Um tratamento gráfico e matemático deste tipo de jogo é apresentado no tópico 3.4.7.

2.5 Formalização do Conceito de Matriz de Jogos Estratégicos

Uma apresentação formal da Matriz de Jogos Estratégicos (MJE) proposta neste trabalho, descrita nos tópicos anteriores, é apresentada a seguir, sob a forma de postulados e definições, como segue:

> ***Postulado 1 –*** *O poder de barganha de cada um dos jogadores em um dado jogo, representado pelo pressuposto de relação-de-forças de cada jogador, combinado com suas posturas concorrenciais, são as duas distintas dimensões que, individualmente e em conjunto, condicionam e determinam os diferentes tipos de jogos a jogar.*

Ao se observar, analisar e modelar qualquer situação de jogo, representando condições de conflito de interesses entre agentes decisores autônomos, com dois ou mais participantes, mais importante que a estrutura do jogo em si, é entender e descrever o posicionamento estratégico que cada um dos agentes assume no confronto.

Cada jogador escolherá sua estratégia de ação, de curto, médio ou de longo prazo, consciente ou inconscientemente, em função dessas duas dimensões. Este modelo simplificado da realidade tem sido suficiente para explicar a maioria das situações de conflito de interesses diádicas observadas no mundo dos negócios.

> ***Postulado 1a*** *– Há ao menos três tipos relevantes, distintos, e mutuamente exclusivos, para se descrever as posturas concorrenciais que um jogador genérico pode assumir em relação aos demais jogadores, em situações de conflito de interesses: Rival, Individualista e Associativa.*

É claro que, nesta dimensão, as posturas dos jogadores podem ser mapeadas em um eixo contínuo, variando desde a extrema rivalidade, quase paranóica, de um lado, até as posturas extremamente colaborativas e associativas e altruístas, do outro.

Para nosso propósito, entretanto, adotamos apenas três posturas típicas, que são suficientes para descrever, caracterizar e modelar as principais situações de conflito de interesse observadas no mundo dos negócios, e também as assumidas, explicita ou implicitamente, nos quatro jogos clássicos já citados.

> ***Postulado 1b*** *– Há ao menos dois tipos de pressupostos de relação-de-forças que jogadores*

> *podem assumir em um jogo qualquer, em situações de conflito de interesses: Relação-de-forças Balanceada e Relação-de-forças Desbalanceada, que servem para caracterizar os tipos de jogos a jogar.*

Quando dois ou mais jogadores se confrontam, numa situação de conflito de interesses, um dos fatores-chave para explicar a escolha de suas respectivas estratégias de enfrentamento é a relação-de-forças assumida por eles. Cada um dos jogadores faz suas avaliações e, explicita ou implicitamente, assume que ele está num jogo equilibrado – ou balanceado – onde todos os jogadores têm basicamente as mesmas chances de vencer, ou está num jogo desbalanceado, onde um ou alguns jogadores têm superioridade de forças em relação aos demais. Este postulado estabelece esta distinção.

> ***Postulado 1c** – Os jogos com pressupostos de relação-de-forças Desbalanceada são sempre jogados por dois tipos de jogadores em posições antagônicas: um tipo de jogador com pressuposto de relação-de-forças Forte, ou seja, o mais forte na relação, e outro com pressuposto de relação-de-forças Fraco, o mais fraco na relação.*

Nesta dimensão, também, os pressupostos de relação-de-forças podem ser mapeados em um eixo contínuo, variando desde a força extrema, dominadora, de um lado, até os pressupostos de extrema fraqueza em relação aos demais jogadores, do outro.

Para nosso propósito, entretanto, adotamos apenas três pressupostos típicos de relações-de-forças, que são suficientes para

descrever, caracterizar e modelar as principais situações de conflito de interesse observadas no mundo dos negócios, e também as assumidas, explicita ou implicitamente, nos quatro jogos clássicos já citados.

> ***Definição 1*** *– A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE) é uma matriz quadrada de duas dimensões onde, na dimensão horizontal, representam-se os três tipos de postura concorrencial dos jogadores, Rival, Individualista e Associativa e, na dimensão vertical, os três pressupostos de relação-de-forças dos jogadores, Fraco, Equilibrado e Forte.*

Esta é a definição central de todo este trabalho: de que os jogos diádicos mais freqüentes, balanceados ou desbalanceados, com diferentes posturas concorrências, com rivalidade ou com cooperação entre os jogadores, podem ser representados em uma matriz quadrada de nove células, definidas a seguir:

> ***Definição 2*** *– As nove células da Matriz de Jogos Estratégicos, designadas, respectivamente, por Hegemônico, Líder, Paternalista, Retaliatório, Competitivo, Cooperativo, Marginal, Seguidor, e Solidário, representam os nove posicionamentos alternativos que os jogadores podem assumir em qualquer situação de conflito de interesses.*

Os nomes atribuídos às nove células da matriz são palavras meramente ilustrativas. Para terem um sentido formal, e para assumirem um significado prático, entretanto, esses termos precisam ser definidos como posições estratégicas dos jogadores, caso a caso, o que é tratado nos

postulados que se seguem.

> ***Postulado 2*** *– Os três tipos de postura concorrencial mencionados no Postulado 1a, combinados com os dois tipos de relação-de-forças mencionados no Postulado 1b, representados na MJE, identificam seis diferentes tipos de jogos que jogadores podem jogar.*

Este postulado assume que as duas dimensões do postulado 1 e, consequentemente, as suas respectivas qualificações, nos postulados 1a, 1b e 1c, são independentes entre si. Os seis jogos mencionados a seguir decorrem da combinação das qualificações nas duas dimensões escolhidas para a construção da MJE, e serão definidos nos postulados que se seguem, com base nas nove células da MJE.

> ***Postulado 2a*** *– Um jogo onde as posturas concorrenciais dos jogadores são Individualistas, e onde os seus pressupostos de relação-de-forças são Equilibrados, pode ser explicado pela estratégia de equilíbrio do Jogo de Nash.*
>
> ***Postulado 2b*** *– Um jogo onde as posturas concorrenciais dos jogadores são Associativas, e onde os seus pressupostos de relação-de-forças são Equilibrados, pode ser explicado pela estratégia de equilíbrio do Jogo de Pareto.*
>
> ***Postulado 2c*** *– Um jogo onde as posturas concorrenciais são Rivais e onde os pressupostos de*

relação-de-forças são Equilibrados pode ser explicado pelos jogos do tipo Ponto-de-Sela, com estratégia de equilíbrio Minimax.

***Postulado 2d** – Um jogo onde as posturas concorrenciais dos jogadores são Individualistas, e onde os seus pressupostos de relação-de-forças são Desbalanceados, pode ser explicado pelas estratégias de equilíbrio de um jogo tipo Líder e Seguidor, referentes à estratégia de Stackelberg, onde o jogador com o pressuposto Forte assume o papel de Líder e o jogador com pressuposto Fraco o papel de Seguidor.*

***Postulado 2e** – Um jogo onde as posturas concorrenciais dos jogadores são Associativas, e onde os seus pressupostos de relação-de-forças são Desbalanceados, pode ser explicado pelas estratégias de equilíbrio de um jogo tipo Paternalista-Solidário, onde o jogador com pressuposto Forte assume o papel Paternalista e o jogador com pressuposto Fraco o papel Solidário.*

***Postulado 2f** – Um jogo onde as posturas concorrenciais dos jogadores são Rivais, e onde os seus pressupostos de relação-de-forças são Desbalanceados, pode ser explicado pelas estratégias de equilíbrio de um jogo tipo*

> *Hegemônico-Marginal, onde o jogador com pressuposto Forte assume o papel Hegemônico, e o jogador com pressuposto Fraco, o papel Marginal.*

Os postulados acima formalizados podem ser tratados como tendo origem em uma das três fontes alternativas de conhecimento:

(a) Eles poderiam ser considerados como fazendo parte do nosso 'senso comum', desenvolvido a partir de nossas experiências e de nossas observações dos comportamentos dos mais diferentes tipos de jogadores em situações de conflitos de interesses;

(b) Eles poderiam também ser deduzidos formalmente a partir da análise dos pressupostos – explícitos ou implícitos – dos quatro jogos clássicos da teoria dos jogos já mencionados;

(c) Eles poderiam até ser obtidos a partir de medidas experimentais, no campo da psicologia experimental, por experimentos usando questionários, entrevistas e levantamentos, com uma população amostral estatisticamente dimensionada.

Entretanto, dadas as limitações do escopo deste trabalho, nós optamos por tratá-los como postulados, mais alinhados com a opção (b), acima. Para fins deste estudo, eles são suficientes para desenvolver as aplicações da MJE nos jogos de empresa utilizados nos experimentos e nas modelagens da teoria dos jogos que realizamos.

Portanto, para todos os fins, os postulados são tratados aqui como hipóteses de trabalho para a construção das definições da MJE e de suas células, e são utilizados em todas as aplicações, análises, modelagens e experimentos deste estudo.

2.6 'Jogo-de-cena' em Posicionamentos Estratégicos via MJE

Entre suas múltiplas aplicações, a Matriz dos Jogos Estratégicos é também utilizada para analisar e explicitar um conceito aqui chamado de 'jogo-de-cena' estratégico (Hämäläinen [136]).

Este conceito caracteriza os vários posicionamentos estratégicos que podem estar presentes num determinado instante de tempo, em um confronto estratégico complexo entre dois jogadores – ou dois tipos de jogadores –. Ele parte da constatação de que nem sempre a posição estratégica expressa pelas ações e atitudes da empresa ou percebida pelo seu principal concorrente coincide com a real posição estratégica que a empresa tem, presume ter, ou finge ter, naquele momento.

Assim, para efeitos ilustrativos, caracterizamos, num confronto hipotético, cinco posicionamentos possíveis. Essas posições típicas, exemplificadas na Figura 2.3, sob o ponto de vista de um dado jogador, em uma situação competitiva específica, são caracterizadas e definidas pelos seguintes conceitos:

(a) Chama-se ***Posicionamento Estratégico Real (PER)*** à posição correspondente à célula da MJE resultante de uma análise objetiva da verdadeira relação-de-forças e da verdadeira postura concorrencial de um dado jogador.

Nem sempre o posicionamento real é percebido adequadamente pela empresa, pois ela pode ser – ou pode estar – iludida por uma série de motivos, internos ou externos, às vezes por presunção, ou por excesso de humildade, ou por informações enganosas, tanto internas quanto externas, etc. Note-se que, muitas vezes, o PER só é objetivamente avaliado por observadores externos, independentes, sem preferências ou tendências.

(b) Chama-se ***Posicionamento Estratégico Percebido (PEP)*** à posição em que, internamente, a empresa entende estar. Pode ou não coincidir com (PER);

(c) Chama-se ***Posicionamento Estratégico Assumido (PEA)*** à posição que a empresa publicamente expressa para o mercado e para seus concorrentes. Pode ou não coincidir com (PER) ou com (PEP);

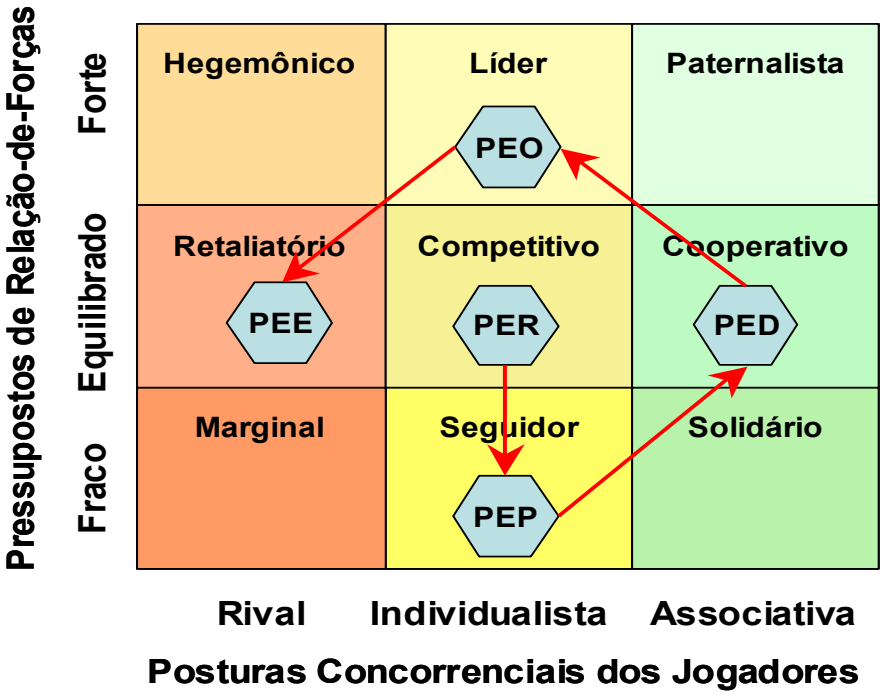
(d) Chama-se ***Posicionamento Estratégico Observado pelos Demais Jogadores*** **(PEO)** à posição da empresa em questão tal como observada e interpretada por seus concorrentes. Nem sempre a 'leitura da posição' pelos concorrentes coincide com a posição assumida publicamente (PEA), pois eles podem achar que a empresa não está falando a 'verdade', ou seja, que ela está simplesmente blefando;

(e) Chama-se ***Posicionamento Estratégico Ecoado pelos Demais Jogadores*** **(PEE)** à posição que os concorrentes demonstram ter 'lido' das manifestações expressas pela empresa em questão. Pode não coincidir com (PEO), pois os competidores também podem estar blefando... e assim por diante...

Como se vê, na Figura 2.3, o mapeamento de várias situações possíveis, através de *jogos-de-cena* estratégicos, utilizando a MJE, pode trazer novas luzes para o entendimento e para o tratamento das reais razões de comportamentos aparentemente estranhos das empresas ou organizações, num dado momento.

Entre blocos econômicos, entre países, empresas multinacionais, partidos políticos, etc., por exemplo, esses 'jogos-de-cena' – ou encenações – costumam ser levados a situações muito complexas, dinâmicas e intrigantes, muitas vezes ininteligíveis aos 'não-iniciados' em

estratégias... Coalizões, alianças, traições, etc. são muito comuns entre os jogadores.



Legenda:
PER – Posicionamento Estratégico **Real** do Jogador
PEP – Posicionamento Estratégico como **Percebido** pelo próprio Jogador
PED – Posicionamento Estratégico **Declarado** pelo Jogador
PEO – Posicionamento Estratégico como **Observado** pelos Demais Jogadores
PEE – Posicionamento Estratégico **Ecoado** pelos Demais Jogadores

Figura 2.3: Exemplo de um Jogo-de-Cena de Posicionamento Estratégico

2.7 A Dinâmica do Posicionamento Estratégico via MJE

A Matriz de Jogos Estratégicos pode também ser utilizada para explicitar o conceito de dinâmica do posicionamento estratégico. Este conceito caracteriza a evolução das várias posições estratégicas presentes em um

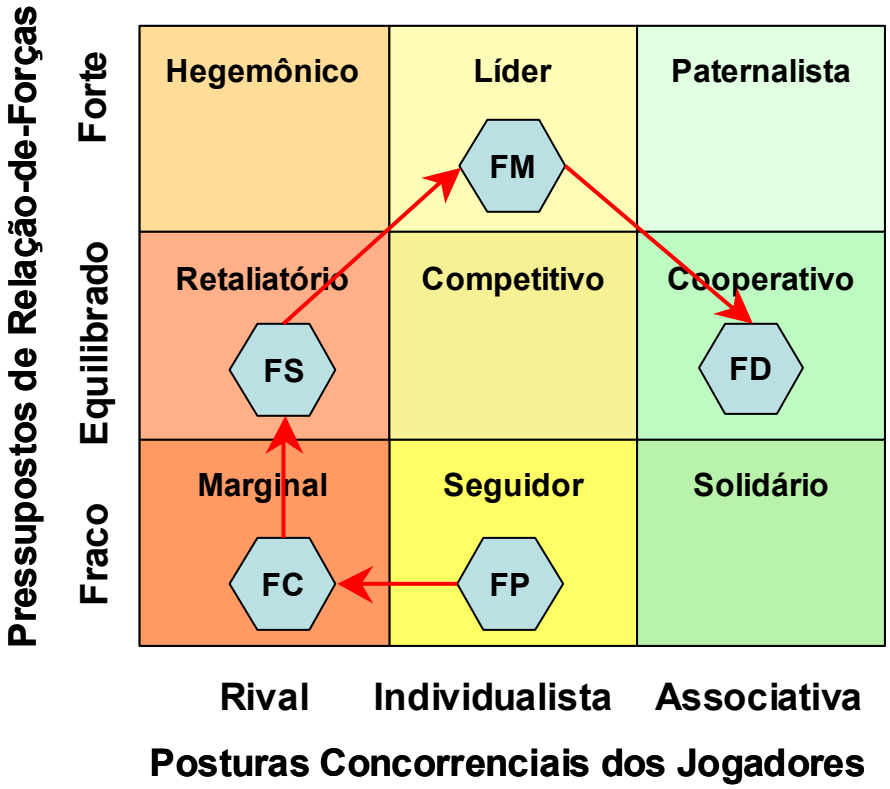
confronto cooperativo ou competitivo de uma dada empresa, ao longo do tempo, também conhecida classicamente como “ciclo de vida” da empresa. Ela parte da constatação de que o posicionamento estratégico das empresas acaba variando lentamente, com os anos, migrando de posição em posição, em função de fatores externos e/ou internos.

Assim, para efeitos ilustrativos, caracterizamos cinco posicionamentos de referência ao longo do tempo. Estas posições, exemplificadas ilustrativamente na Figura 2.4, para uma dada empresa, caracterizam as diversas fases da sua evolução ao longo do seu ciclo de vida.

Por exemplo, na fase pioneira (FP), a empresa pode ter um comportamento de seguidor, tentando se inspirar e imitar algum grande concorrente no mercado, o líder. Com o passar dos anos já na fase de crescimento rápido (FC) e conquista do mercado, ela pode achar que a melhor posição é a de competir ferozmente para tentar sobreviver e crescer, passando de seguidor para marginal. Anos depois, com um crescimento mais lento, na fase de sedimentação (FS), a empresa pode se sentir forte o suficiente pra adotar uma posição Retaliatória, tentando eliminar ou subjugar seus concorrentes para continuar crescendo.

Se ela conseguir crescer o suficiente para dominar o mercado, evoluindo para uma fase de maturidade (FM), poderá, por exemplo, passar para uma posição de líder.

Finalmente, na fase terminal ou de declínio (FD), já um pouco mais fraca, a empresa pode tentar uma posição cooperativa, buscando fazer arranjos com seus competidores, para não perder totalmente sua posição ou domínio do mercado. A história das empresas e organizações no mundo dos negócios está repleta de situações de evolução dinâmica do posicionamento estratégico como as aqui ilustradas. O mesmo tipo de fenômeno pode ocorrer também com pessoas, com organizações políticas, e até no mundo animal!



Legenda:
FP – Pioneirismo - Fase de organização e lançamento da empresa
FC – **Crescimento** - Fase de crescimento acelerado
FS – **Sedimentação** - Fase de crescimento lento
FM – **Maturidade** - Fase de estagnação
FD – **Declínio** - Fase de queda e diminuição de atividades

Figura 2.4: Exemplo de uma Dinâmica de Posicionamento Estratégico

2.8 Conclusões e Recomendações

Este Capítulo mostrou que a Matriz de Jogos Estratégicos pode representar uma ponte conceitual entre a teoria dos jogos e as estratégias competitivas e cooperativas do mundo dos negócios, permitindo aplicar a estas os resultados da primeira e, em contrapartida, enriquecer a teoria

dos jogos com a caracterização e discussão de algumas complexas situações e casos reais dos ambientes cooperativos e competitivos.

Algumas 'patologias estratégicas' também podem ser diagnosticadas, caracterizadas e mapeadas através de disfunções orgânicas nas empresas, provocadas por mau uso do posicionamento estratégico. O uso da MJE pode trazer maior clareza às análises e interpretações de situações reais de risco, prejuízo ou de falta de sucesso empresarial.

Além disso, novos conceitos derivados da utilização da MJE podem ser incorporados aos programas de capacitação gerencial e adicionados ao instrumental analítico da alta e média administração das empresas. Alguns exemplos desses conceitos são apresentados a seguir:

(a) Chama-se ***Manobrabilidade Estratégica*** à capacidade de alguns dirigentes empresariais de sucesso em entender e praticar, de forma eficiente, o 'jogo-de-cena' estratégico mais conveniente para os interesses do longo, médio e curto prazos das suas organizações;

(b) Chama-se ***Flexibilidade Estratégica*** à capacidade empresarial de decidir e implementar, de forma eficiente, mudanças em seu posicionamento estratégico, no momento adequado e dentro da melhor dinâmica estratégica recomendável.

(c) Chama-se ***Polivalência Estratégica*** *à* capacidade empresarial de analisar, especificamente, cada caso particular de conflito de interesses, e de escolher e adotar, de maneira eficiente, para cada um deles, o posicionamento estratégico mais adequado a cada caso específico. Ou seja, "escolher o jogo certo a jogar em cada situação de conflito de interesses".

Neste trabalho, a MJE, construída a partir de alguns conceitos da teoria dos jogos e dos conceitos das estratégias competitivas e cooperativas no

mundo dos negócios, confirma-se como uma ferramenta analítico-descritiva útil para interpretação, análise e formulação de estratégias empresariais e para apoio à gestão estratégica em estruturas hierárquicas competitivas e cooperativas.

Os seis jogos estratégicos, derivados da MJE e aplicados neste trabalho – quatro clássicos e dois em casos-limite –, sendo três não-hierárquicos e três hierárquicos, constituem uma base para uma tipologia que descreve e trata adequadamente uma grande variedade de situações de conflito de interesses presentes em gestão empresarial.

Por outro lado, a metodologia descrita pode ser também aplicada para análise e projeto de estruturas multiagentes e multiníveis, para modelagem de estratégias em complexas estruturas hierárquicas competitivas e cooperativas, como apresentado no Capítulo 4.

Capítulo 3

Teoria dos Jogos: Resumo Conceitual e Aplicações aos Jogos da MJE

Apresentação

Este capítulo utiliza, de forma sumária e conceitual, os principais tópicos extraídos da literatura disponível sobre teoria dos jogos, e de suas aplicações voltadas para a utilização pretendida no propósito desta tese (Binmore [46], Castañón, Pachter and Chandler [66], Corden [76], Sauaia & Kallás [232]), com algumas contribuições originais, principalmente para os jogos em situações-limite.

Utilizando uma interpretação gráfica de um jogo diádico, estático, infinito, com funções-critério bem comportadas, são apresentados e caracterizados, gráfica e matematicamente, os pontos de equilíbrio dos jogos clássicos da teoria dos jogos, bem como dos dois novos jogos em casos-limite, propostos no Capítulo 2.

O objetivo deste texto é caracterizar, matemática e graficamente, os conceitos dos seis jogos da Matriz de Jogos Estratégicos e dos seus respectivos pontos de equilíbrio.

A literatura consultada apresenta uma grande diversidade de aplicações da teoria dos jogos, indo desde as aplicações de lazer, como xadrez, damas, e gamão, tipicamente determinísticas, passando pelas de cartas, de dados e de roletas, tipicamente aleatórias, indo até os jogos de empresas, de negociações diplomáticas, e os jogos de guerra. Entretanto, nós concentraremos nosso foco de interesse sobre os jogos de empresas, no mundo dos negócios, embora algumas generalizações sejam sugeridas.

3.1 Fundamentação Conceitual

3.1.1 Esboço histórico

Descrições e relatos sobre estratégias e táticas aplicadas a situações de conflitos de interesses entre reinos, países e povos remontam à antiguidade, estando presentes em praticamente todas as grandes civilizações, como as dos relatos bíblicos, dos escritos épicos gregos, árabes e das técnicas de guerra dos chineses (Tzu [261]).

Entretanto, as investigações descritivas e prescritivas mais antigas sobre os conceitos de conflito de interesses entre agentes autônomos racionais e inteligentes, com alguma base de tratamento matemático, tomaram forma mais recentemente, em escritos dos séculos XVIII e XIX.

A primeira discussão conhecida sobre a teoria dos jogos surgiu em uma carta escrita por James Waldegrave a Nicolas Bernoulli, em 1713. [1]

Inicialmente, reflexões sobre economia e riqueza das nações e os

[1] Waldegrave apresenta uma análise do jogo de cartas *Le Her*, para o qual propõe uma solução estratégica. Waldegrave, porém, não se aprofunda em uma análise teórica mais geral de suas conclusões. [em von Neumann & Morgenstern [266], e também citado em Simões, P. H. C. *O teorema de equilíbrio de Nash*, PUC-Rio, 2007, conforme arquivo disponível em http://www.mat.puc-rio.br/~flavio/ProjetoPedroHenriquePIBIC.doc]

conflitos econômicos ou militares entre elas (von Clausewitz [265], 1832), foram sendo colocadas, progressivamente, em formulações algébricas e/ou geométricas, com maior ou menor rigor.

Já de há muito se procuram soluções de equilíbrio para esses problemas, onde interesses, decisões e resultados para cada agente envolvido são tratados e determinados de alguma forma.

Um registro curioso dessas investigações envolve a questão da existência de equilíbrio em duopólios, primeiramente descrito por Cournot em 1838 (Cournot [101]), que propôs o que ficou conhecido como o 'equilíbrio de Cournot', no qual duas empresas concorrem num mesmo mercado, tomando decisões sobre que quantidades devem vender para maximizar seus lucros (Flåm & Zaccour [117]).

Mais tarde, em 1881, Francis Edgeworth (Edgeworth [111]) usou as idéias de Cournot para desenvolver sua teoria de 'competição perfeita'.

Em 1883, Bertrand [42] propôs um modelo alternativo ao de Cournot, chamado posteriormente 'equilíbrio de Bertrand', no qual duas empresas concorrem num mesmo mercado, porém tomando decisões sobre os preços que deveriam cobrar para maximizar seus lucros.

Em 1928, von Neumann [267] demonstrou sua 'teoria minimax', para jogos com soma-zero, de dois participantes, e, em 1937, ele descobriu a existência de conexão entre o problema minimax, da sua teoria dos jogos, e o problema de ponto-de-sela, como um ponto de equilíbrio na teoria econômica.

Hotelling [147], em 1929, foi um dos pioneiros na investigação sobre estabilidade e competição; von Stackelberg [268], em 1934, trabalhou num problema peculiar de equilíbrio: Um jogo diádico onde uma das empresas, a Líder, antecipa e anuncia sua decisão, depois seguida pela decisão de uma outra empresa, a Seguidora.

Mas, foram von Neumann e Morgenstern [266] que, em 1944, aprofundaram os muitos trabalhos esparsos anteriores, de outros pesquisadores e deles próprios, produzindo a mais abrangente obra sobre a teoria dos jogos até então, e aplicando esses conceitos sobre o comportamento de agentes econômicos.

Posteriormente, em 1950, John Nash, em quatro trabalhos (Nash [200][201][202][203]), deu um tratamento rigoroso para a solução do problema da obtenção de pontos de equilíbrio em duopólios e oligopólios, não-cooperativos e cooperativos, em jogos de soma-variável. O trabalho de Nash continua sendo de fundamental importância até hoje, para a teoria dos jogos, e o Ponto de Equilíbrio de Nash é ensinado e muito utilizado, inclusive, neste trabalho.

Em 1957, Luce & Raiffa [179] publicaram o livro *Games and Decisions*, que se tornou uma referência clássica no assunto. Este livro retoma os conceitos apresentados por von Neumann & Morgenstern [266] e os coloca em uma linguagem mais fácil de compreender, sendo utilizado, até hoje, como texto introdutório à teoria dos jogos para estudantes de economia e de negócios.

Em 1960, Schelling publicou o clássico *The Strategy of Conflict* [233] que apresenta aplicações muito práticas para a Teoria dos Jogos, em situações de conflito de interesses, tais como negociação, guerra e ameaças de guerra, extorsão, prevenção do crime; a antiga instituição do seqüestro e a moderna estratégia de terror também foram tratadas por ele.

Uma década mais tarde, em 1971, Intriligator [153] produziu a obra *Mathematical Optimization and Economic Theory,* no qual ele deu um enfoque de otimização matemática para a busca dos pontos de equilíbrio na teoria econômica, integrando três campos distintos de investigação: otimização de sistemas, teoria dos jogos, e teoria econômica.

Simaan & Cruz Jr. concentraram seus esforços nas estratégias de Stackelberg, para jogos de soma-variável, inclusive para os jogos hierárquicos em dois níveis, como em Simaan & Cruz Jr. [241][242], Simaan [243] e Cruz Jr. [104]. Em sua tese de doutorado, Baptistella [30], em 1980, retomou os trabalhos de Simaan & Cruz Jr. e sumarizou os conceitos de ponto de equilíbrio dos jogos clássicos, interpretando-os graficamente para um jogo diádico estático.

Em 1982, Başar & Olsder [35] publicaram um alentado tratado sobre jogos dinâmicos não-cooperativos, que serviu de base a muitos outros pesquisadores e estudiosos na área, inclusive para este trabalho.

Nas décadas seguintes, as aplicações 'práticas' da teoria dos jogos se multiplicaram. Entretanto, dois documentos históricos merecem registro especial: Binmore & Dasgupta [45] e Schmidt [234], que fazem extensos levantamentos históricos, e apresentam boas avaliações e críticas sobre aplicabilidade da teoria dos jogos aos vários campos do conhecimento humano, inclusive alertando sobre alguns problemas e dificuldades que já anteviam nas possíveis aplicações.

Na área de utilização da teoria dos jogos em microeconomia, Varian [263], Luenberger [181], Pindyck & Rubinfeld [213] são boas referências. Em aplicações da teoria dos jogos na formulação de estratégia de negócios, vale registrar, como referências dignas de destaque, os seguintes autores e trabalhos: Oster [208], Dixit & Nalebuff [107], Dixit & Skeath [109], e Williams [276].

Uma contribuição efetiva para a computação assíncrona paralela e distribuída de estruturas especiais de jogos dinâmicos foi apresentada, em 1991, por Costa Filho & Bottura [79] e, em 1992, por Costa Filho [77], em sua tese de doutorado.

Entretanto, merecem menção especial, para o propósito desta

pesquisa, os trabalhos de Brandenburger & Nalebuff [56][57], de 1995 e 1996. No segundo trabalho, esses autores introduzem o conceito de 'co-opetição', procurando mostrar e ilustrar, com casos reais, que tanto a cooperação como a competição são atitudes típicas que jogadores podem assumir em situações de conflito de interesses. Segundo eles, ambas devem ser incorporadas ao repertório das competências gerenciais de dirigentes de empresas e gestores em geral.

Os trabalhos desta tese, em certo sentido, propõem uma extensão do conceito de 'co-opetição' acima mencionado, ao incluir, explicitamente, o conceito de 'relação de forças' entre os jogadores, como uma nova dimensão de análise das situações de conflito de interesses. Este estudo recebeu também, contribuições, de Thomas [256], Corden [76] e de Mourão Vieira [199], entre muitos outros.

3.1.2 Conceituação de um jogo

O conceito de 'jogo' varia bastante de autor para autor, dependendo do tipo de jogo e do contexto que cada um deles tem em mente; porém todos eles têm, explicita ou implicitamente, alguns elementos em comum, que destacamos a seguir:

(a) É dado um ambiente, delimitado no espaço, no tempo, que chamaremos 'sistema', onde ações ou decisões são tomadas por agentes – ou jogadores – e, como conseqüência, podem gerar resultados que afetam, positiva ou negativamente, os interesses dos agentes envolvidos;

(b) A evolução do sistema ao longo do tempo pode ser descrita por uma seqüência de valores de 'variáveis de estado' do sistema;

(c) Um conjunto de agentes autônomos, ou jogadores, que interagem de alguma forma nesse sistema;

(d) Cada um dos jogadores tem, em momentos apropriados, à sua livre

escolha, uma ou mais decisões alternativas a tomar e a implementar;

(e) As ações tomadas pelos jogadores podem afetar os estados futuros do sistema bem como os resultados que cada jogador aufere pelas decisões e ações tomadas por ele e por todos os demais;

(f) No caso geral, os interesses e preferências de todos os jogadores não são plenamente atendidos pelas decisões que todos tomam: Há conflitos de interesses entre os jogadores, pois a 'melhora' dos resultados para um jogador pode implicar em prejuízos para os demais, o que leva à necessidade de avaliações e ponderações sobre qual a melhor decisão que cada um pode e deve tomar;

(g) Há 'regras do jogo', que devem especificar, pelo menos:

- Como o 'estado' do jogo se altera, ao longo do tempo, pelas decisões tomadas pelos jogadores e, eventualmente, por outros fatores intervenientes;
- Como, quando, e em que seqüência, as decisões devem ser tomadas pelos jogadores;
- Como e quais informações sobre o jogo são reveladas a cada um dos jogadores, em que medida eles trocam informações entre si, e em que grau cada jogador toma conhecimento dos interesses dos demais jogadores.

3.1.3 Conceituação de agente-jogador

Para efeito deste trabalho, um 'jogador' [2] é um agente que toma decisões sobre certo sistema, num contexto de conflito de interesses, e as

[2] As palavras 'jogador' e 'agente' são usadas, neste trabalho, como sinônimas, escolhendo-se uma ou outra conforme o contexto em que aparecem, sendo que a palavra 'jogador' é mais aplicada ao ambiente de jogos, e de 'agente' nas formulações na área de controle e robótica.

implementa, assumindo, consciente ou inconscientemente, as conseqüências de suas decisões, para si próprio e para os demais jogadores, sejam eles parceiros ou adversários.

Os agentes-jogadores podem ser agrupados em quatro grandes categorias ou famílias:

(a) Agentes humanos

Um agente humano pode ser representado, por exemplo, por um empresário, um negociador, um gerente, um coordenador, um político, um comandante, ou um formulador de políticas públicas, atuando sozinho, ou em equipes integradas.

Seres humanos são agentes muito complexos, na busca de soluções para suas situações de conflito de interesses, mesmo quando atuando em comportamentos supostamente racionais. De fato, emoções, iras, sentimentos de vingança, ou de gratidão, ciúmes, crenças, preconceitos, paradigmas, bloqueios de percepção, otimismo, ou pessimismo, incertezas, indecisões, paranóias, ou outros fatores de ordem psicosocial criam obstáculos à pura racionalidade na tomada das decisões.

Apesar destes aspectos complicadores, neste trabalho consideramos, por simplicidade, que os jogadores humanos são decisores racionais, para todos os efeitos práticos.

(b) Agentes não-humanos

Um agente não-humano pode ser representado, por exemplo, por um módulo de software, que calcula e 'toma e implementa decisões', um robô autônomo, um veículo não-tripulado, que calcula as melhores alternativas e assume essas decisões mediante condições pré-especificadas, e as implementa também de forma autônoma.

Espera-se, destes agentes, alta percepção de seu ambiente, algum

nível de previsão do futuro, alguma forma de racionalidade nas decisões, processamento de informações, com decisões e implementações rápidas. As áreas de conhecimento que tratam desses tipos de agentes costumam ser chamadas de 'inteligência artificial' ou de 'robótica', conforme o enfoque de trabalho escolhido.

(c) Agentes-organizações

Um agente-organização pode ser representado por uma empresa, um país, um bloco econômico, um cartel de consumidores, um cartel de produtores, uma organização não-governamental, um partido político, um 'movimento social', ou uma organização multinacional, com ou sem fins lucrativos.

As organizações também são agentes muito complexos e, como elas são administradas por pessoas, muitas vezes em equipes, com uso de recursos computacionais avançados, podem ter uma complexa combinação de características de agentes humanos e de agentes não-humanos já descritos.

(d) Agentes no mundo animal

Num caso mais geral, um agente pode ser representado, por exemplo, por um animal, em seu habitat natural, onde as situações de conflito de interesses – basicamente ligadas à sobrevivência própria ou do bando, como caça e fuga, ou à procriação e à defesa da prole – estão sempre presentes. O relacionamento entre Predadores e Presas é tratado como jogo entre agentes animais, muito estudado na literatura.

Apesar de tal diversidade de tipos de agentes e das possíveis aplicações, neste trabalho nós nos concentraremos basicamente nos agentes descritos em (a) e (b), embora extensões dos mesmos conceitos para as demais classes também possam ser desenvolvidas.

Dentro dessas possíveis aplicações, um *agente-jogador*, para ser considerado como tal, deve possuir as seguintes características:

(a) Ele tem ciência de si e do seu ambiente, de suas condições, possibilidades e limitações;
(b) Ele tem ciência da existência de outros agentes no sistema com os quais ele tem algum grau de interação, e de potenciais conflitos de interesse; ele conhece, ou pelo menos avalia as potencialidades e as forças relativas dos demais agentes, seus interesses e possíveis ações;
(c) Ele é capaz de escolher e assumir uma das diversas posições competitivas e/ou cooperativas em relação aos seus oponentes, dependendo das particulares situações de conflito de interesses envolvidas;
(d) Ele é capaz de avaliar a relação de forças entre si e os demais agentes, e de adotar uma posição de confronto ou de cooperação em relação a eles, levando isto em conta;
(e) Ele tem condições de fazer avaliações e considerações sobre o futuro, e leva em conta as possíveis conseqüências de suas decisões;
(f) Ele toma decisões racionais, buscando o que entende ser o melhor para os resultados futuros, considerandos os seus interesses;
(g) Ele leva em conta os possíveis resultados, sobre seus interesses, das decisões que possam ser tomadas pelos demais agentes envolvidos, em função dos interesses de cada um deles;
(h) Ele é capaz de aprender, com o tempo, como tomar melhores decisões, considerando os resultados positivos ou negativos de suas decisões passadas em situações similares.

Para os agentes humanos, há que se levar em conta que eles podem acabar tomando decisões, muitas vezes, com base em outros 'argumentos', explícitos ou não, conscientes ou não, afastando-se, com

certa freqüência, da esperada 'racionalidade' mencionadas em (f).

É preciso levar em conta, também, as considerações sobre o que o jogador pensa de si próprio, e dos demais agentes, do sistema sobre o qual ele deve atuar, qual seu nível de compreensão da situação que está vivendo, quais as informações que ele tem, no que ele crê, o que ele teme, em quem ele confia, de que ele gosta, quais os valores que ele cultiva, o que ele pensa que o outro sabe, o que ele pensa que o outro pensa que ele sabe..., o que ele pensa que o outro vai fazer, etc.

Essas considerações, de fato, acabam nos afastando, na prática, daquele modelo de 'jogador ideal', ou decisor 'racional', levando-nos para considerações de natureza psicosocial que, embora relevantes num caso mais geral, não serão tratadas, pois fogem ao escopo deste trabalho.

Assim, supomos aqui ao menos certo nível de racionalidade para os agentes com os quais trabalhamos. Algumas vezes, entretanto, não há como fugir de fazer algumas conjecturas para decisores 'de carne e osso', com toda a sua carga emocional, cultural, psicosocial, muito além, às vezes, das considerações puramente racionais, tais como as de natureza econômica, por exemplo.

3.1.4 Uma tipologia geral para jogos

Muitas tipologias têm sido propostas para classificar os jogos e famílias de jogos, algumas mais gerais, outras mais detalhadas. Schelling [233], por exemplo, sugere que os jogos poderiam ser classificados em três grandes tipos ou categorias:

(a) Jogos cujos resultados dependem da habilidade dos jogadores (*games of skill*),

(b) Jogos cujos resultados dependem do acaso (*games of chance*)

(c) Jogos cujos resultados dependem de ações tomadas pelo próprio

jogador e também pelos demais jogadores (*games of strategy*). É neste último tipo que centraremos nosso foco de pesquisa.

Quando se fala de 'jogos estratégicos' ou 'jogos de estratégia', na realidade, está se falando de um conceito muito rico e variado, para o qual algum tipo de classificação pode ajudar.

Assim, para efeito metodológico, os jogos podem ser classificados segundo alguns critérios diferenciadores, como aqui exposto:

(i) Quanto ao número de participantes, os jogos podem ser classificados em *diádicos*, quanto têm apenas dois jogadores, *triádicos* com três jogadores, ou podem ter mais de três jogadores;

(ii) Nos jogos ditos *finitos*, os jogadores têm um conjunto finito enumerável de opções; nos jogos *infinitos*, as decisões são tomadas sobre variáveis contínuas;

(iii) Nos jogos *escalares*, as decisões tomadas pelos jogadores se resumem a um valor particular de uma variável unidimensional, um escalar; nos *vetoriais*, os jogadores tomam decisões sobre vetores de mais de uma dimensão;

(iv) Nos jogos *estáticos*, a variável tempo não é levada em conta: as decisões são tomadas uma única vez; já nos jogos *dinâmicos*, supõe-se que o sistema esteja evoluindo com o tempo e, consequentemente, as decisões e os resultados delas decorrentes ocorrem 'ao longo do tempo';

(v) Nos jogos dinâmicos, duas possibilidades estão presentes: Nos jogos dinâmicos *discretos*, a variável tempo assume um conjunto de valores discretos, finito ou infinito enumerável; nos jogos *diferenciais*, a variável tempo é tratada como contínua;

(vi) A função-critério é uma forma de associar, matematicamente, o resultado de um jogo aos interesses de cada um dos jogadores

envolvidos. Quando a soma dos valores das funções-critério de todos os jogadores envolvidos for sempre constante, quaisquer que sejam as decisões tomadas por eles, diz-se que temos um jogo de *soma-zero*; caso contrário, os jogos são chamados *soma-não-zero*, ou *soma-variável*;

(vii) Todos os jogos apresentam, para cada um dos jogadores, elementos de imprevisibilidade, pelo menos os associados às ações que serão tomadas pelos demais jogadores. Quando a imprevisibilidade só depende disto, diz-se que o jogo é *determinístico*. Entretanto, se, além destes, há também outros elementos de imprevisibilidade devido a processos aleatórios presentes e intervenientes no ambiente do sistema, como, por exemplo, as variações climáticas, diz-se que o *jogo é estocástico*;

(viii) Nos jogos ditos *não-hierárquicos*, todos os jogadores estão sujeitos às mesmas condições e eles fazem suas decisões sob a premissa de certo equilíbrio de forças: Cada jogador tem a capacidade de influenciar, positiva ou negativamente, os resultados dos demais, e vice-versa. Por outro lado, os jogos onde um ou mais jogadores têm condições muito superiores para impor aos demais algumas ações, são chamados *jogos hierárquicos, ou multi-níveis*;

(ix) Há jogos, como numa concorrência pública, por exemplo, onde os jogadores são obrigados a revelar suas decisões de forma síncrona: São os jogos com *lances simultâneos*; há outros jogos, como, por exemplo, no xadrez, onde os jogadores devem revelar suas decisões, ou lances, numa certa seqüência, uma de cada vez; são os jogos com *lances seqüenciais*;

(x) Nos jogos com *informações completas*, todos os jogadores têm informações plenas das funções-critério de todos os demais jogadores e de suas opções de escolha; todos sabem quais são as

possíveis conseqüências das decisões que cada um pode tomar. Nos jogos com *informações incompletas*, os jogadores têm apenas informações sobre a parte que lhes toca, desconhecendo, total ou parcialmente, as opções e/ou interesses reais dos demais jogadores, e/ou o estado real do sistema onde atuam;

(xi) Nos jogos *cooperativos*, os jogadores podem (e devem) conversar entre si e procurar, em conjunto, formular as decisões que devam ser tomadas, de tal forma a levar em conta os interesses e limitações de todos os demais; já nos jogos *não-cooperativos* isto não acontece, ou por falta de iniciativa ou de interesse dos próprios jogadores, ou então por limitações das regras do jogo (Arend & Seale [20]);

(xii) Nos jogos em *coalizão*, um subgrupo de jogadores pode decidir que lhes convem combinar suas estratégias entre si, como se formassem um subjogo cooperativo; assim, eles jogam como se fossem um único jogador, atuando contra os demais que não participam da coalizão. Nos jogos *sem coalizão* este tipo de arranjo não é permitido.

Os critérios acima podem ser usados e combinados para classificar cada novo tipo de jogo que seja observado, estudado ou proposto. Apenas como ilustração, um dado jogo pode ser classificado, por exemplo, como um "*jogo diádico, infinito, vetorial, dinâmico, discreto, com soma-variável, determinístico, não-hierárquico, com lances simultâneos, com informações completas, não-cooperativo,* e *sem coalizão".*

Este exemplo serve para mostrar a grande variedade de tipos de jogos que podem ser tratados, combinando-se as doze características alternativas acima descritas. Portanto, qualquer tratamento que se der a um tipo de jogo, não deixará de ser, em maior ou menor grau, um 'caso

particular' de um jogo. [3]

3.1.5 Uma classificação geral para os jogos da MJE

Na literatura da teoria dos jogos, alguns modelos ou tipos de jogos têm sido utilizados, com maior freqüência, para a formulação de estratégias de equilíbrio: Para os *jogos de soma-variável*, destacamos os jogos de *Nash*, de *Stackelberg*, e de *Pareto*, dentre outras possibilidades; para os jogos de *soma-zero*, descreveremos o jogo *Minimax*.

Utilizando os critérios acima, principalmente os descritos em (vi), (viii), (xi), e (xii), construímos uma *árvore de segmentação* para os jogos que são objeto de análise neste trabalho, apresentada na Figura 3.1.

Utilizando, inicialmente, como diferenciadores, os critérios (xi) e (xii), do item 3.1.4, temos, no primeiro nível da árvore, os jogos segmentados em três grandes famílias:

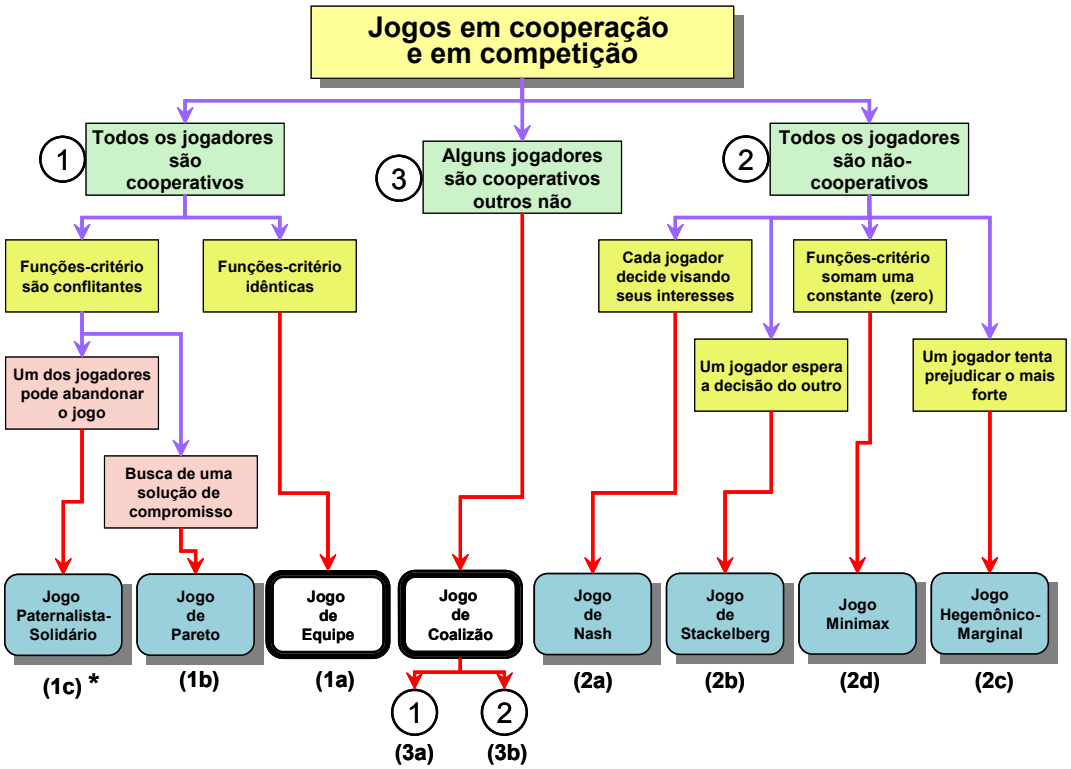
- *Jogos cooperativos*, onde todos os jogadores estão dispostos e interessados em cooperar entre si;
- *Jogos não-cooperativos*, onde os jogadores não estão dispostos a – ou estão impedidos de – cooperar entre si (Hamel & Prahalad [140], Hamel [141]);
- J*ogos parcialmente cooperativos*, onde apenas um subgrupo de jogadores está disposto a cooperar entre si.

Na primeira grande família, destacamos três tipos de jogos:

(1a) Jogo de Equipe: Nestes jogos, chamados *'jogos de equipe',* as funções-critério *são idênticas para todos os jogadores*, e, portanto, eles devem estar dispostos a cooperar entre si para atingir um

[3] Este é um dos motivos pelo quais alguns autores preferem dizer que, na verdade, não existe uma "teoria dos jogos", mas, sim, muitas "teorias de jogos".

objetivo comum. Neste caso, não há quaisquer conflitos de interesses entre os jogadores, pois 'todos almejam os mesmos resultados'. Os jogos de equipe não serão tratados neste trabalho. Nesses jogos, a estratégia a escolher pela equipe resulta da solução de um problema de otimização para a função-critério comum;



*** Estas indicações mostram os respectivos tópicos do item 3.1.5**

Figura 3.1: Árvore de segmentação para os jogos da MJE

(1b) Jogo de Pareto: Nestes jogos, chamados '*jogos de Pareto'*, os jogadores reconhecem que têm conflitos de interesses, mas estão dispostos a cooperar, à procura de uma solução de compromisso entre suas respectivas funções-critério;

(1c) Jogo Paternalista-Solidário: Nestes jogos, chamados Paternalista-

Solidário, os jogadores reconhecem que têm conflitos de interesses, e estão dispostos a cooperar. Entretanto, apesar disto, um dos jogadores, chamado o Solidário, pode decidir por abandonar o jogo caso não lhe seja assegurado, pelo jogador Paternalista, um dado resultado mínimo para sua função-critério.

Na segunda família de jogos, distinguimos três tipos de jogos:

(2a) Jogo de Nash: Nestes jogos, os jogadores reconhecem que têm conflitos de interesses, mas não estão dispostos a cooperar, e preferem assumir uma atitude individualista, (também chamada de egoísta), procurando otimizar, por conta própria e isoladamente, seus próprios resultados, independentemente das decisões dos demais;

(2b) Jogo de Stackelberg: Nestes jogos, os jogadores reconhecem que têm conflitos de interesses, não estão dispostos a cooperar, porém um deles prefere esperar, passivamente, pela decisão do outro e, só então, fazer sua escolha. O jogador que decide primeiro é chamado de Líder e o(s) outro(s) de Seguidor(es) (Aiyoshi & Shimizyu [3], Chang & Ho [69]);

(2c) Jogo Hegemônico-Marginal: Neste jogo, chamado Hegemônico-Marginal, os jogadores reconhecem que têm conflitos de interesses, e não estão dispostos a cooperar. Além disso, um deles, chamado o Marginal, tem um comportamento pessimista e predatório, procurando infringir ao seu oponente mais forte, chamado Hegemônico, o máximo prejuízo possível, mesmo admitindo que, com isto, possa estar prejudicando seus próprios interesses;

(2d) Jogo MiniMax: Se os jogadores reconhecem que têm conflitos de interesses, não estão dispostos a cooperar, e, além disso, assumem que qualquer ganho para um implica num prejuízo de igual valor para o outro, tem-se um jogo tipo *soma-zero.* Para este tipo de jogo,

buscarão uma estratégia de equilíbrio, chamada estratégia Minimax, razão pela qual este jogo é chamado de *jogo Minimax*.

Jogos de coalizão: A terceira família de jogos implica na formação de uma coalizão de um subgrupo de jogadores, que decidem cooperar entre si, buscando o melhor resultado possível para eles. Este tipo de jogo, mais complexo, pode ser tratado, por decomposição, como se fosse formado por dois subjogos: [4]

(3a) Subjogo cooperativo: Um subjogo cooperativo entre os membros da coalizão, que pode ser, por sua vez, um jogo de Pareto, ou Paternalista-Solidário, no caso de busca de um compromisso, ou de equipe, se as funções-critério dos membros da coalizão forem idênticas. Para este jogo, a coalizão funciona como se fosse um único jogador;

(3b) Subjogo não-cooperativo: Um subjogo entre o novo 'jogador', a coalizão, e o os demais participantes do jogo que não fazem parte dela. Neste caso, o novo jogo poderá ser, por sua vez, um jogo de Nash, de Stackelberg, Hegemônico-Marginal, ou Minimax, conforme o caso.

Os jogos desta terceira família não serão considerados neste trabalho, mas apenas os seus subjogos, nos respectivos tipos já descritos anteriormente.

---

[4] Chama-se **'subjogo'** a uma particular situação de conflito de interesses entre um subconjunto próprio dos jogadores de um jogo. Em jogos muito complexos, com muitos jogadores em diferentes composições de conflito de interesses, é útil identificar os seus subjogos, compondo-os adequadamente para representar o jogo como um todo. Para cada subjogo poder-se-á aplicar a análise da MJE.

3.2 Modelo de um Jogo Dinâmico Discreto

Para apresentar uma plataforma conceitual para os jogos de empresas que utilizamos neste trabalho, vamos partir dos conceitos e formulações da teoria dos jogos dinâmicos.

Para isto trabalharemos, inicialmente, com *jogos vetoriais, discretos, em decisões tomadas em múltiplos estágios, com soma-variável, determinísticos, não-hierárquicos, com lances simultâneos, com informações parciais, sem coalizão, e com* N *jogadores*.

Assim, num sentido suficientemente geral para o propósito destas aplicações, pode-se conceituar um *jogo dinâmico* [5] *determinístico* [6], na sua forma extensiva, com vários jogadores, como sendo um problema de otimização de sistemas dinâmicos, com decisões descentralizadas e autônomas. Sob o ponto de vista da teoria de controle de sistemas, este jogo pode ser associado a um problema particular de controle ótimo determinístico com múltiplos controladores, onde as funções-critério estão associadas também ao estado final do sistema.

Neste tipo de jogo, cada um dos N participantes, de posse de informações que lhe são reveladas progressivamente pela estrutura do jogo, toma uma série de decisões, estágio-a-estágio, buscando otimizar a sua função-critério – chamada também de desempenho, função-objetivo, ou função-custo –, obedecendo às restrições do jogo.

---

[5] Esta forma extensiva de jogos dinâmicos discretos se aplica tanto a jogos não-cooperativos como para jogos cooperativos, diferenciando-os apenas pela possibilidade ou não de comunicação e de acordo entre os jogadores.

[6] Trabalharemos, inicialmente, apenas com jogos determinísticos; posteriormente, faremos uma extensão para contemplar também jogos estocásticos.

3.2.1 Apresentação formal de um jogo dinâmico

Para uma apresentação formal de um jogo dinâmico como um problema de controle, adotaremos a seguinte notação, que é derivada da terminologia consagrada na teoria de sistemas (Başar & Olsder [35], Costa Filho [77], Mira [195], Tomlin, Pappas and Sastry [259], Zagare [281]).

Sejam:

- i o índice que representa cada um dos P_i jogadores, onde $i \in \{1, ..., N\}$;
- k o índice que representa cada um dos sucessivos estágios do jogo, onde $k \in \{1, ..., K+1\}$;
- x_k o vetor que representa o estado do jogo no estágio k;
- y_k^i uma observação (medida) do estado x_k pelo jogador P_i no estágio k;
- η_k^i a informação disponível para o jogador P_i no estágio k;
- u_k^i a ação-decisão tomada pelo jogador P_i no estágio k.

Usando a notação acima, definimos um *jogo dinâmico* determinístico, infinito, discreto no tempo, com N jogadores, – cooperativos ou não-cooperativos – com duração pré-especificada, como sendo um problema de controle com múltiplos agentes autônomos inteligentes em um sistema estruturado, e composto pelos seguintes elementos:

(i) Um conjunto de N jogadores – ou agentes, ou controladores – , P_i , com $i \in N = \{1, ..., N\}$.

Esses jogadores, também chamados de ***agentes de decisão,*** são

os elementos que formam o conjunto de participantes do jogo. Deles se espera que tenham atitudes racionais, indutivamente coerentes, produzindo decisões ***viáveis*** – no sentido de respeitarem as regras do jogo – e ***ótimas*** – no sentido de otimizarem alguma função-critério pré-especificada –;

(ii) Uma seqüência de K estágios do jogo, designados por $k \in \mathbf{K}$, sendo $\mathbf{K} = \{1, ..., K+1\}$, onde K é o número máximo de lances permitidos no jogo;

Como o jogo é dinâmico e *discreto no tempo*, assume-se que o sistema seja observável em instantes pré-determinados, $t_1, t_2, ..., t_k, ..., t_K, t_{K+1}$, estabelecendo-se, assim, os K estágios do jogo;

(iii) Um conjunto infinito X, com alguma estrutura topológica, chamado o *espaço de estados* do jogo, ao qual pertence o vetor de estado do jogo, x_k, onde $k \in \{1,2,...,K,(K+1)\}$;

A cada novo estágio, o estado do sistema é alterado, e a seqüência $\{x_k\}$ descreve a evolução do estado do sistema ao longo do tempo;

(iv) Um conjunto infinito U_k^i com alguma estrutura topológica, definido para cada $k \in \mathbf{K}$ e $i \in N$, que é chamado o *conjunto-ação* de P_i no estágio k. Seus elementos, $u_k^i \in U_k^i$, são as ações permissíveis de P_i no estágio k.

As seqüências de decisões tomadas por P_i ao longo do jogo são as chamadas decisões estratégicas do jogo, designadas pela

seqüência $[u_1^i, u_2^i, ..., u_k^i, ..., u_K^i]$, para todo $i \in N$;

(v) Uma função

$$f_k : (X \times U_k^1 \times ... \times U_k^i \times ... \times U_k^N) \to X$$

definida para cada $k \in K$ tal que

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k^1, \ldots, u_k^i, \ldots, u_k^N), \forall k \in K$$

dado um estado inicial do jogo, $x_1 \in X$;

Esta equação é chamada *equação de estado* do jogo dinâmico, e representa a evolução do processo do jogo, que é descrita pela seqüência $[x_1, x_2, ..., x_k, ..., x_K, x_{K+1}]$, onde x_1 é o estado inicial, dado, e x_{K+1} é o estado final ou terminal;

(vi) Um conjunto Y_k^i com alguma estrutura topológica, definido para cada $k \in K$ e $i \in N$, chamado o *conjunto observação* de x_k por P_i no estágio k, ao qual pertencem as observações y_k^i para P_i no estágio k, ou seja, $y_k^i \in Y_k^i$;

(vii) Uma função $h_k^i : X \to Y_k^i$, definida para cada $k \in K$ e $i \in N$, tal que $y_k^i = h_k^i(x_k)$, $k \in K$, $i \in N$, a equação de medida – ou observação – de estado para o jogador P_i relativamente ao valor de x_k. Neste modelo mais geral, supõe-se que o real valor da

variável de estado x_k não seja diretamente observável ou conhecido por $\boldsymbol{P}_i$;

(viii) Um conjunto finito η_k^i definido para cada $k \in K$ e $i \in N$, como um subconjunto de

$$\{y_1^1,\ldots, y_k^1;\ldots; y_1^N,\ldots, y_k^N; u_1^1,\ldots, u_{k-1}^1;\ldots; u_1^N,\ldots, u_{k-1}^N\},$$

que determina a informação recebida e memorizada ou armazenada por $\boldsymbol{P}_i$ no estágio $\boldsymbol{k}$ do jogo.

A especificação de η_k^i para todo $k \in K$ caracteriza a estrutura de informação de $\boldsymbol{P}_i$, e a coleção, sobre $i \in N$, dessas estruturas, é chamada a *estrutura de informação do jogo*;[7]

(ix) Um conjunto N_k^i definido para cada $k \in K$ e $i \in N$, como sendo um subconjunto apropriado de

$$\{(Y_1^1\times\ldots\times Y_k^1)\times\ldots\times(Y_1^N\times\ldots\times Y_k^N)\times(U_1^1\times\ldots\times U_{k-1}^1)\times\ldots\times(U_1^N\times\ldots\times U_{k-1}^N)\}$$

compatível com η_k^i.

---

[7] Nos jogos com informações em *malha aberta*, cada jogador $\boldsymbol{i}$, no estágio $\boldsymbol{k}$, relembra apenas o estado inicial, $\boldsymbol{x_1}$. Alternativamente, nos jogos com informação em *malha fechada*, cada jogador $\boldsymbol{i}$ relembra todos os valores do caminho, desde $\boldsymbol{x_1}$ até $\boldsymbol{x_{k-1}}$, e conhece também o estado corrente, $\boldsymbol{x_k}$. Estes tipos de estrutura de informação incorporam a possibilidade de *memória*. Entretanto, num jogo em *malha fechada sem memória*, cada jogador $\boldsymbol{i}$ relembra o estado inicial, $\boldsymbol{x_1}$, e conhece também o estado corrente, $\boldsymbol{x_k}$; finalmente, num jogo em *malha aberta sem memória*, cada jogador $\boldsymbol{i}$ conhece apenas o estado corrente, $\boldsymbol{x_k}$. (Başar & Olsder [35]).

N_k^i é chamado o *espaço de informação* de $\boldsymbol{P_i}$ no estágio $\boldsymbol{k}$ induzido por sua informação η_k^i.

Cada jogador tem acesso a alguma informação sobre o jogo para formular o seu próximo lance estratégico.

O subconjunto η_k^i é o resultado da aplicação de uma 'máscara' sobre os dados observados, que filtra apenas as informações consideradas disponíveis para $\boldsymbol{P}_\mathrm{i}$ jogar;

(x) Uma classe pré-especificada Γ_k^i de mapeamentos $\gamma_k^i : \mathrm{N}_k^i \to U_k^i$, que são as estratégias permissíveis de $\boldsymbol{P}_\mathrm{i}$ no estágio $\boldsymbol{k}$;

O mapeamento agregado $\gamma^i = \{\gamma_1^i, \gamma_2^i, \ldots, \gamma_k^i\}$ é a estratégia para $\boldsymbol{P}_\mathrm{i}$ no jogo e a classe Γ^i de todos esses mapeamentos, γ^i, tal que $\gamma_k^i \in \Gamma_k^i$, é o *conjunto das estratégias* de $\boldsymbol{P}_\mathrm{i}$.

Os jogadores escolhem – autonomamente ou de forma combinada – as suas estratégias e, de acordo com elas, tomam suas decisões, aqui chamadas de '*decisões estratégicas'*, como função das informações de que dispõem sobre o jogo. As funções que transformam informações em decisões são as funções $\gamma_k^i(.)$ de tal forma que a decisão u_k^i pode ser obtida como sendo $u_k^i = \gamma_k^i(\eta_k^i)$, com $k \in K$ e $i \in N$, e são as chamadas <u>*funções estratégicas*</u> do jogo.

(xi) Um funcional [8],

$$\boldsymbol{L}^{i} : (\boldsymbol{X} \times \boldsymbol{U}_{1}^{1} \times \ldots \times \boldsymbol{U}_{1}^{N}) \times (\boldsymbol{X} \times \boldsymbol{U}_{2}^{1} \times \ldots \\ \ldots \times \boldsymbol{U}_{2}^{N}) \times \ldots \times (\boldsymbol{X} \times \boldsymbol{U}_{K}^{1} \times \ldots \times \boldsymbol{U}_{K}^{N}) \rightarrow \boldsymbol{R}$$

definido para cada $i \in N$, chamado de funcional de custo de $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$.

O *funcional de custo*, ou *função-critério* de cada jogador $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$ descreve o critério pelo qual o desempenho de $\boldsymbol{P_i}$ deve ser aferido. No caso em questão, admite-se que o critério pode ser mapeado num escalar $z_i \in R$, a ser minimizado [9].

Assim, $z_i = J_i(x_1, \ldots, x_{K+1}, u_1^1, \ldots, u_{k1}^i, \ldots, u_K^N), \forall i \in N$

é a função-critério do jogador $\boldsymbol{P_i}$.

Poder-se-ia argumentar que a definição de jogo acima não é suficientemente geral, pois ela supõe: (1) que a duração do jogo é fixa, (2) que o tempo é discreto por estágios e (3) que as funções e equações são determinísticas.

Num caso mais geral, porém, estas três restrições poderiam ser relaxadas, mas, para o uso desta aplicação, as restrições (1) e (2) não prejudicam a estrutura dos jogos que serão tratados, e só a terceira será considerada, no tópico 3.2.3.

---

8 *Funcional* é uma operação que efetua um mapeamento de funções de um espaço vetorial sobre o conjunto dos números reais.

9 Para efeito da função-critério, utilizaremos sempre, neste trabalho, quando não especificado ao contrário, o conceito de que os jogadores têm como alvo *minimizar* alguma variável resultado. A questão alternativa, de *maximização*, pode também ser tratada com a mesma formulação, bastando multiplicar a função-critério dada por (-1).

3.2.2 Descrição da dinâmica do jogo

Uma representação esquemática do jogo descrito em 3.2.1 é apresentada na Figura 3.2.

Uma seqüência típica do jogo ocorre como indicado na figura, e é constituída pelas seguintes etapas ou passos:

(i) O jogo começa com um procedimento de ***inicialização***, fazendo-se $k=1$ e x_1= algum valor, dado como estado inicial do jogo. Chamemos este valor de $x_k := x_1$, dado;

(ii) Com o valor de x_k, calcula-se $y_k^i = h_k^i(x_k)$;

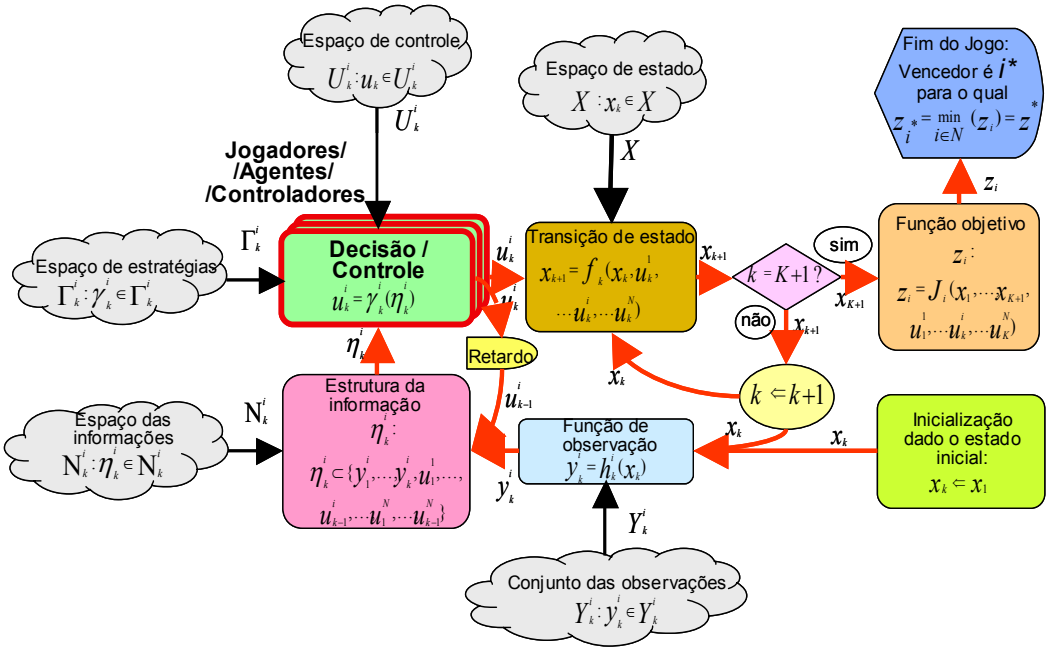


Figura 3.2: Representação de um jogo dinâmico determinístico em sua forma extensiva, como um problema de controle de sistemas

(iii) Com η_k^i obtém-se $u_k^i = \gamma_k^i(\eta_k^i)$;

No caso em que cada jogador é uma pessoa, um gestor, ou decisor, esta etapa resulta de um processo de formulação de decisão estratégica, e é, de fato, a aplicação – explícita ou implícita – da função $\gamma_k^i(.)$, embora esta decisão possa ser, muitas vezes, o resultado de um processo heurístico; [10]

(v) Com as decisões u_k^i, e o estado x_k, calcula-se

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k^1, \ldots, u_k^N);$$

(vi) Calculado o novo estado do jogo, incrementa-se o estágio, fazendo-se $k := k+1;$

(vii) Faz-se, a seguir, o seguinte teste:

(a) Se $k < K+1$, retorna-se ao passo (ii) e prossegue-se o jogo;

(b) Se $k = K+1$, o jogo se encerra [11], calculando-se a função objetivo para cada um dos jogadores, através da equação:

$$z_i = J_i(x_1, \ldots, x_k, \ldots, x_{K+1}, u_1^1, \ldots, u_k^i, \ldots, u_K^N) \;;$$

(viii) Como 'vencedor do jogo', poderá ser declarado, por exemplo, o jogador i^* para o qual

$$z_i^* = \min_{i \in N}(z_i) = z^* .$$

---

[10] Se o jogo for cooperativo, os jogadores trocam informações entre si e coordenam suas decisões buscando uma solução de compromisso; caso o jogo seja não-cooperativo, eles tomam suas decisões isoladamente.

[11] Outros critérios de parada poderiam ser utilizados, por exemplo, pelo atingimento de um estado final especificado, ou de um valor especificado para a função-critério de um dos jogadores.

3.2.3 Jogos dinâmicos estocásticos

O jogo descrito em 3.2.1 e 3.2.2, embora suficientemente geral, carece de representatividade para alguns ambientes empresariais específicos, por não contemplar a possibilidade de interferência de fatores aleatórios ao processo.

De fato, o mundo dos negócios é cheio de surpresas provocadas por fenômenos ligados ao cenário externo, como a entrada de novos concorrentes, variações cambiais imprevistas, variações bruscas de preços, encolhimento do mercado, mudanças de políticas governamentais, acordos comerciais regionais ou nacionais, intempéries e fenômenos da natureza. Internamente, também há surpresas, como quebra de equipamentos, dificuldades trabalhistas, problemas com qualidade, etc.

Uma extensão do jogo anterior para cobrir eventualidades estocásticas pode ser feita com ligeiras alterações formais em alguns dos elementos já descritos.

Uma forma simples de entender e modelar o caráter aleatório do ambiente do jogo é adicionar, ao modelo, um novo 'jogador', o $(N+1)^{\text{ésimo}}$, que chamaremos de 'natureza', S, cujas 'decisões' e 'ações', influenciam a evolução do estado do jogo e o cálculo do valor final da função-critério.

Sob o ponto de vista da teoria de controle de sistemas, os jogos dinâmicos estocásticos podem ser associados a um problema de controle ótimo estocástico com múltiplos controladores.

A ação do 'jogador' natureza, S, é, de fato, para todos os efeitos, uma ação aleatória que obedece a uma lei de probabilidades suposta conhecida *a priori*, e, daí, o que substitui a equação de estado anterior, é uma função de transição de estado com distribuição de probabilidade

condicional, dadas as ações passadas dos jogadores e os valores de estado passados.

Pode-se dizer que isto é equivalente a afirmar que existe uma função

$$F_k : X \times U_k^1 \times ... \times U_k^N \times \Theta \rightarrow X$$

definida para cada $k \in K$ tal que

$$x_{k+1} = F_k(x_k, u_k^1, \ldots, u_k^N, \theta_k), \forall k \in K$$

onde θ_k é a ação do novo jogador, a natureza, ***S***, no estágio ***k***, tomando valores em Θ .

Uma formulação mais rigorosa pode ser expressa como descrita a seguir:

Um *jogo dinâmico estocástico*, infinito e discreto no tempo, com ***N*** jogadores, com duração fixa pré-especificada, pode ser caracterizado pelos seguintes elementos:

Valem todos os tópicos do jogo dinâmico determinístico, já descrito em 3.2.1, exceto quanto aos itens (v) e (xi), que passam a ter novas redações:

(a) Adicione-se um 12º elemento, com a seguinte redação:

(xii) Um conjunto finito ou infinito Θ , com alguma estrutura topológica, que denota o conjunto das ações do ***(N+1)*** ***ésimo*** jogador, a natureza, ***S***. Qualquer ação permissível θ_k de ***S***, no estágio ***k***, é um elemento de Θ , onde $\theta_k \in \Theta$;

(b) O item (v) passa a ter nova redação:

Uma função $F_k : X \times U_k^1 \times ... \times U_k^N \times \Theta \rightarrow X$

definida para cada $k \in K$ tal que

$$x_{k+1} = F_k(x_k, u_k^1, \ldots, u_k^N, \theta_k), \forall k \in K$$

onde $x_1 \in X$ é também uma variável aleatória e onde a função de distribuição conjunta de probabilidade de $\{x_1, \theta_1, ..., \theta_k\}$ é especificada;

(c) O item (xi) passa a ter uma nova formulação:

Um funcional

$$L^i : (X \times U_1^1 \times ... \times U_1^N \times \Theta) \times (X \times U_2^1 \times ... \times U_2^N \times \Theta) \times ... \times (X \times U_K^1 \times ... \times U_K^N \times \Theta) \rightarrow R$$

definido para cada $i \in N$, chamado de funcional de custo de $\boldsymbol{P}_i$.

Analogamente à formulação anterior, cada função-critério passa agora a ser uma variável aleatória calculada como

$$z_i = J_i(x_1, ..., x_{K+1}, u_1^1, ..., u_{k1}^i, ..., u_K^N, \theta_1, ..., \theta_k, ..., \theta_K), \forall i \in N$$

Para este tipo de jogo, o que cada jogador deve procurar minimizar é a esperança matemática de z_i, ou seja, $E\{z_i\}$.

A representação esquemática e a seqüência típica de um jogo dinâmico estocástico são similares às do jogo determinístico, conforme apresentado em 3.2.1 e 3.2.2, acrescentando-se, apenas, mais um jogador, a natureza, $\boldsymbol{S}$, e substituindo-se o caráter determinístico pelo aleatório de algumas variáveis.

Dado o grau de suficiente generalidade dos jogos dinâmicos estocásticos, eles são usados, no Capítulo 5, como a plataforma conceitual de referência para os jogos de empresas usados no experimento deste trabalho.

3.2.4 Jogos dinâmicos com estruturas hierárquicas

Partindo agora dos jogos dinâmicos até aqui descritos, damos mais um passo de particularização da estrutura do jogo, para chegar a uma estrutura formal mais adequada à implementação de jogos hierárquicos de empresas, propostos neste trabalho.

Numa conceituação bem simples, os jogos de empresas formam, para cada um dos ambientes empresariais representados, um subsistema empresa, com suas próprias regras operativas, de transição, de informação, de decisão e de função-critério. Observe-se que, se o jogo for não-cooperativo, os jogadores, competindo que estão, não trocam informações entre si.

As empresas disputam, primordialmente, a preferência dos seus clientes – é a eterna luta pela conquista e pela manutenção do mercado. Por outro lado, elas disputam também, em outros mercados, recursos e insumos necessários às suas operações, tais como matérias primas, mão de obra de produção e especializada, recursos gerenciais, recursos financeiros, e tecnologia.

Como representar, matematicamente, esta disputa no ambiente externo às empresas? Afinal, o mercado, num sentido amplo, também atua no jogo, lidando com valores e preços transacionados entre os N competidores. Uma forma de representar a ação do mercado é criar um novo jogador, o $(N+2)^{\text{ésimo}}$, que chamamos 'o mercado', simbolizado por

$\boldsymbol{Q}$, cuja função-critério deriva da busca de um equilíbrio entre a demanda agregada e a oferta agregada tanto de insumos como de produtos [12].

O subsistema 'mercado' também tem suas próprias regras operativas, de transição, de informação, de decisão e até uma 'função-critério' específica. Seu objetivo será, por exemplo, o de minimizar o desvio, para mais ou para menos, entre oferta agregada e demanda agregada [13].

Portanto, um modelo mais realista desta configuração do jogo é aquele apresentado na Figura 3.3. Observe-se que, neste modelo, há uma estrutura hierárquica, em dois níveis onde, no nível 'inferior', estão os subsistemas de cada empresa concorrente, $\boldsymbol{P}_i$, e, no nível 'superior'**,** está um subsistema de coordenação de mercado, representado pelo jogador $\boldsymbol{Q}$.

Os jogos dinâmicos que puderem ser estruturados como acima são chamados de *jogos dinâmicos hierárquicos*, ou, simplesmente, *jogos hierárquicos*.

Uma formalização do modelo de jogos hierárquicos pode ser obtida por um processo sistemático de partição – ou segmentação – dos modelos apresentados em 3.2.1, ou em 3.2.3. São segmentados o espaço de estado, o vetor de estado, a equação de transição, as observações de estado, as informações de estado, o espaço de decisões, as variáveis de decisão, a *função estratégica*, as funções-critério, as variáveis aleatórias, e os demais componentes dos jogos dinâmicos não-hierárquicos, como descritos a seguir:

---

[12] Por uma questão de simplicidade de notação, omitimos, neste item, o jogador $\boldsymbol{S}$, representando a ação da natureza.

[13] Uma função-critério quadrática, por exemplo, que minimiza o quadrado do desvio, se ajusta bem a este propósito.

(i) Nos jogos dinâmicos hierárquicos, o espaço de estado X é decomposto em ***(N+1)*** subconjuntos disjuntos, chamados de $X^1,\ldots,X^i,\ldots,X^N,M$, tais que $X=(\bigcup_{i\in N} X^i)\cup M$, onde M é o espaço de estado para o mercado.

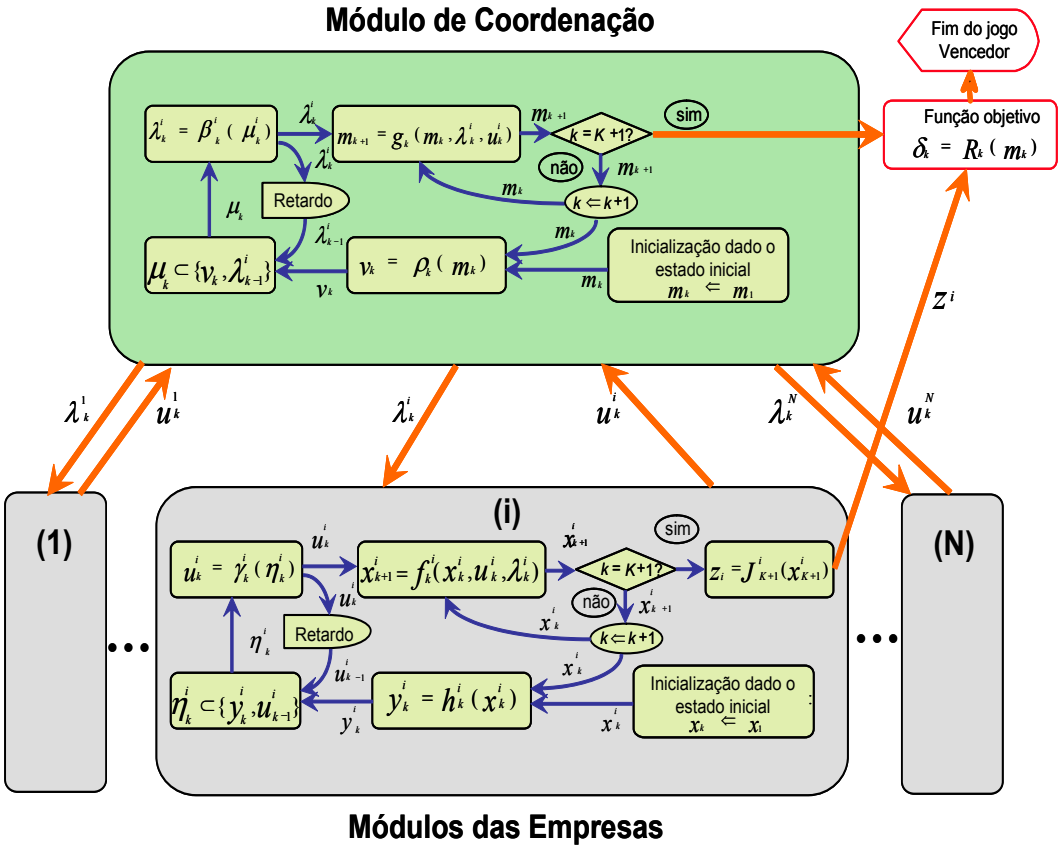


Figura 3.3: Representação de um jogo determinístico como um problema de controle de sistemas hierárquicos em dois níveis

Assim, o vetor de estado x_k é também decomposto em subvetores $x^1_k,\ldots,x^i_k,\ldots,x^N_k,m_k$ tais que o vetor de estado passa a ser escrito

como $x_k = [(x_k^1)', \ldots, (x_k^i)', (x_k^N)', (m_k)' \ ]'$, onde:

(a) $x_k^i \in X^i$, para todo $k \in K$, $i \in N$ e

(b) $m_k \in M$, para todo $k \in K$.

Portanto, cada subsistema empresa tem seu próprio subespaço de estado, X^i e sua própria variável de estado, x_k^i. Por outro lado, o subsistema coordenador de mercado tem também o seu subespaço de estado, M e sua variável de estado, m_k.

(ii) Nos jogos hierárquicos, as equações de estado também são agrupadas por subsistema, em ***N+1*** grupos,

$f_k^1(\ldots), \ldots, f_k^i(\ldots), \ldots, f_k^N(\ldots), g_k(\ldots)$, tais que:

(a) $x_{k+1}^i = f_k^i(x_k^i, u_k^i, \lambda_k^i), \forall k \in K, \forall i \in N$

onde u_k^i representa a decisão tomada pelo jogador $\boldsymbol{P}_i$, no $i^{\underline{\text{ésimo}}}$ subsistema empresa, no estágio $\boldsymbol{k}$,

(b) λ_k^i é a decisão tomada pelo mercado $\boldsymbol{Q}$, no subsistema coordenador de mercado, e

(c) $$m_{k+1} = g_k(m_k, \lambda_k^1, \ldots, \lambda_k^i, \ldots, \lambda_k^N, u_k^1, \ldots, u_k^i, \ldots, u_k^N), \quad \forall k \in K, \forall i \in N$$

(iii) De igual forma, como executado com x_k, as variáveis y_k^i e a

função $h_k(.)$ também são decompostas, de forma a que se possa escrever que:

(a) $y_k^i = h_k^i(x_k^i)$ para $k \in K$ e $i \in N$, nos subsistemas empresa, e

(b) $v_k = \rho_k(m_k)$, para $k \in K$, para o subsistema coordenador de mercado.

(iv) Também o subconjunto de informações η_k^i é decomposto de forma a que ele possa ser escrito como um subconjunto $\eta_k^i \subset \{y_k^i, u_k^i\}$, $k \in K$ e $i \in N$ para os subsistemas empresa e o subconjunto de informações do subsistema coordenador de mercado, μ_k possa ser escrito como segue: $\mu_k \subset \{v_k, \lambda_k\}$, $k \in K$ para o subsistema mercado.

(v) O espaço das variáveis de decisão, U_k^i, é também segmentado em dois subespaços de decisão, chamando-se agora U_k^i o subespaço das variáveis de decisão de $\boldsymbol{P}_i$, e introduzindo-se um novo subespaço, L_k^i, $k \in K$ e $i \in N$, para as variáveis de decisão do jogador $\boldsymbol{Q}$.

(vi) A variável de decisão, u_k^i, é também segmentada em $u_k = (u_k^1, \ldots, u_k^i, \ldots, u_k^N, u_k^i)$, onde $u_k^i \in U_k^i$ é a variável de

decisão de $\boldsymbol{P}_{\mathbf{i}}$, e $\lambda_k^i \in L_k^i$ é a variável de decisão para $\boldsymbol{Q}$ relativamente aos subsistemas empresa.

(vii) A função estratégia, γ_k^i é decomposta de tal forma que se possa escrever:

(a) $u_k^i = \gamma_k^i(\eta_k^i)$, para $k \in K$ e $i \in N$, para os subsistemas empresa, e

(b) $\lambda_k^i = \beta_k^i(\mu_k^i)$, para $k \in K$ e $i \in N$, para subsistema coordenador de mercado.

(viii) A função-critério do jogo estratégico é segmentada em duas classes de funções:

(a) $z_i = J_{K+1}^i(x_{K+1})$ para os subsistemas empresa, calculada também no estado final, e

(b) $\delta_k = R_k(m_k)$ para o subsistema mercado, calculada para todo período k.

(ix) É bom lembrar que, embora tenhamos omitido, acima, as variáveis aleatórias θ_k, elas estão sempre presentes e, no caso de jogos hierárquicos estocásticos, elas também são segmentadas, como segue:

(a) $\theta_k^i \in \Theta$, para $k \in K$ e $i \in N$, para os subsistemas empresa, e

(b) $\varphi_k^i \in \Psi$, para $k \in K$ e $i \in N$, para o subsistema coordenador de mercado.

Concluído o processo de segmentação e partição, obtemos a estrutura formal dos dois tipos de subsistemas:

(x) Subsistema empresa

O modelo matemático dos Subsistemas Empresariais, válido para $k \in K$ e $i \in N$, é:

(a) $x_{k+1}^i = f_k^i(x_k^i, u_k^i, \lambda_k^i)$

dado x_1^i , estado inicial para cada subsistema empresa,

(b) $y_k^i = h_k^i(x_k^i)$, $\eta_k^i \subset \{y_k^i, u_{k-1}^i\}$, $u_k^i = \gamma_k^i(\eta_k^i)$ e $z_i = J_{K+1}^i(x_{K+1}^i)$

(xi) Subsistema Coordenador de Mercado

Analogamente, o modelo matemático do Subsistema Coordenador de Mercado, válido para $k \in K$ e $i \in N$, é:

(a) $m_{k+1} = g_k(m_k, \lambda_k^1, \ldots, \lambda_k^i, \ldots, \lambda_k^N, u_k^1, \ldots, u_k^i, \ldots, u_k^N)$,

(b) $v_k = \rho_k(m_k)$, $\mu_k = \{v_k, \lambda_{k-1}\}$, $\lambda_k^i = \beta_k^i(\mu_k^i)$ e $\delta_k = R_k(m_k)$

A Figura 3.3 mostra uma estrutura esquemática de um jogo dinâmico hierárquico, como descrito acima. Pela figura, vê-se que os Módulos-Empresa não trocam informações entre si, mas apenas com o Módulo

Coordenador de Mercado, estágio a estágio:

O Subsistema Coordenador de Mercado informa, a cada Módulo-Empresa, o seu respectivo parâmetro de decisão, λ_k^i, no início de cada estágio k, e, por sua vez, os Módulos-Empresa informam ao Coordenador de Mercado suas decisões u_k^i. Essas comunicações são interativas, e ocorrem ao início de cada novo estágio.

3.2.5 Sistemáticas de coordenação em jogos hierárquicos

A implementação das estruturas de coordenação multinível, precisa tratar convenientemente a seguinte questão:

Como conseguir que vários jogadores, atuando independentemente no mercado, buscando otimizar, cada um, sua função-critério, acabem tomando decisões que respeitem quantitativamente, na medida do possível, os volumes e limitações dos mercados, tanto no mercado de insumos como no de produtos?

Dois mecanismos clássicos de coordenação hierárquica têm sido propostos: a *coordenação por quota*s (ou por quantidades) e a *coordenação por preços*, descritas a seguir.

(a) Sistemática de Coordenação por Quotas

Nesta opção, o Subsistema Coordenador de Mercado reparte quotas de insumos e quotas do mercado de produtos a cada Subsistema-Empresa, procurando respeitar os limites quantitativos de disponibilidade, informando-lhes esses valores (decisões), λ_k^i. Neste caso, a repartição é exata, não havendo nem faltas nem sobras.

Cada Subsistema-Empresa por sua vez, utiliza os insumos que lhe foram atribuídos, procurando atender à fatia de mercado que lhe foi destinada, tentando otimizar a sua particular função-critério.

Este mecanismo de coordenação funciona como se cada jogador $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$ adquirisse insumos de um vendedor virtual, $\boldsymbol{Q}$, que simboliza o mercado, e vendesse seus produtos a um comprador virtual, o mesmo $\boldsymbol{Q}$. Assim, os preços de compra de insumos e de venda de produtos são 'arbitrados' pelos jogadores $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$ e as 'quantidades' são fixadas pelo jogador $\boldsymbol{Q}$.

Esses preços, aqui designados por u_k^i, funcionam como num verdadeiro 'leilão', onde quem oferecer maiores preços pelos insumos que precisa comprar consegue levar maior quantidade no estágio seguinte. Por outro lado, quem oferecer, ao mercado, produtos a preços mais baixos, consegue vender maior quantidade no próximo estágio.

Deste modo, a função-critério para o jogador $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$, em princípio, será a de otimizar, na medida do possível, no longo prazo, o resultado de suas operações de compra de insumos e de venda de produtos; para o jogador $\boldsymbol{Q}$, sua função-critério será a de otimizar o retorno das suas 'operações' de venda de insumos e de compra de produtos dos jogadores $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$.

Assim, é como se o 'leilão' ocorresse no âmbito do mercado, usando as limitações quantitativas de insumos e de mercado como restrições a obedecer. Os jogadores $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$ oferecem preços ao jogador $\boldsymbol{Q}$ – isto é, fazem seus 'lances' –, e ele 'decide' qual quantidade de insumo vai vender e qual quantidade de produto vai comprar de cada jogador $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$ ao preço oferecido.

A Figura 3.4 ilustra este mecanismo, onde os valores u_k^i representam os preços oferecidos, pelo jogador $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$, tanto para comprar os insumos de

que necessita, como para vender a sua produção; os valores λ_k^i representam as quantidades alocadas pelo jogador $\boldsymbol{Q}$, – o mercado – a cada um dos jogadores $\boldsymbol{P}_i$ envolvidos no processo.

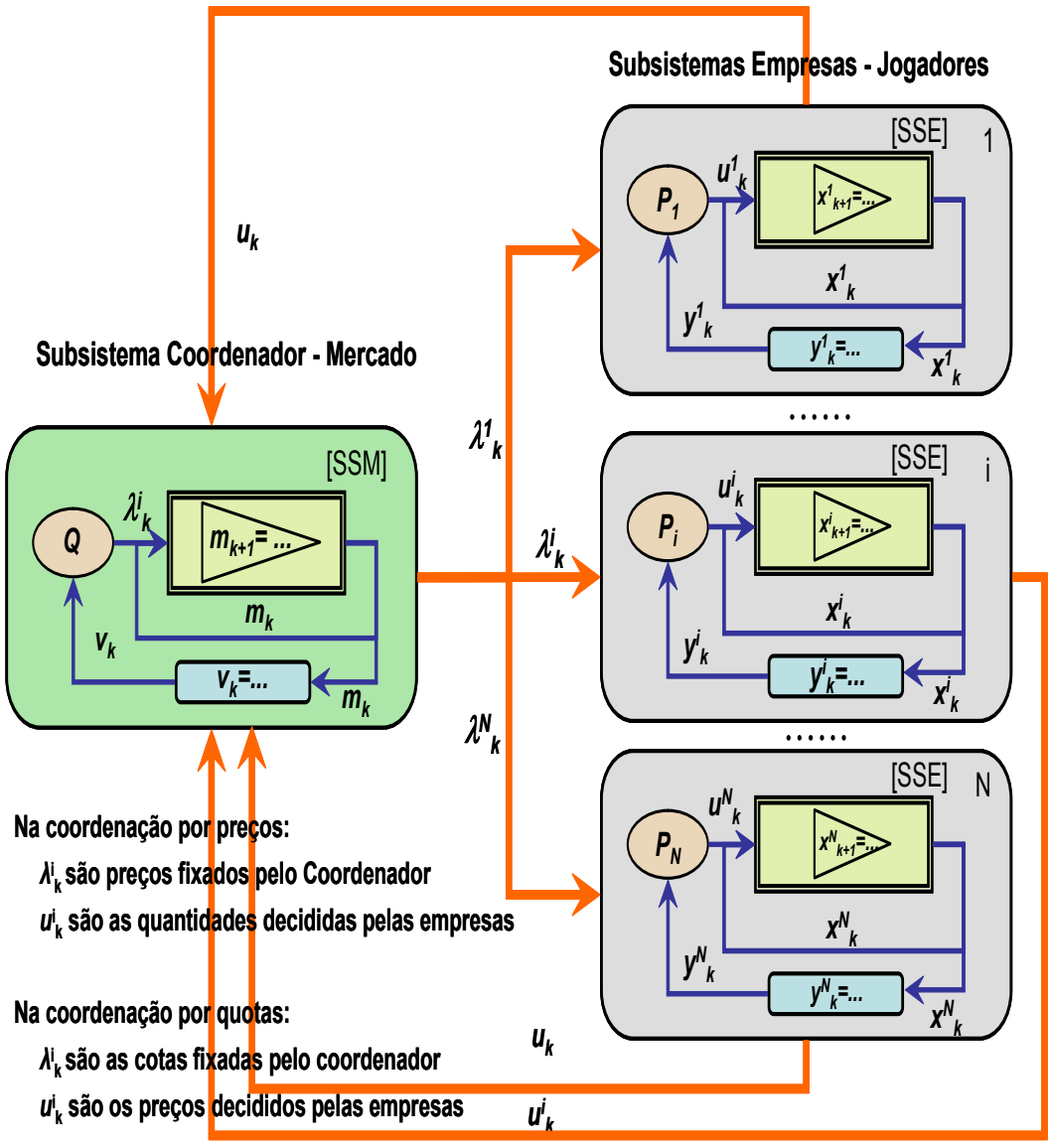


Figura 3.4: Representação dos mecanismos de coordenação e controle

em um jogo dinâmico hierárquico

(b) Sistemática de coordenação por preços

Existe outra maneira mais adequada de se obter o mesmo resultado final, porém invertendo-se os papéis entre os jogadores $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$ e $\boldsymbol{Q}$: Nesta segunda opção, os conceitos de coordenação se mantêm, mas os papéis se modificam: O jogador $\boldsymbol{Q}$ agora é quem estabelece os preços de mercado, λ_k^i , tanto para os insumos como para os produtos finais, e os jogadores $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$, em vista de seus interesses específicos, retornam suas decisões u_k^i , com as quantidades de insumos que querem comprar de $\boldsymbol{Q}$ e de produtos que querem vender a $\boldsymbol{Q}$**.**

Todos os demais raciocínios se aplicam aqui, com a seguinte inversão: Agora, o 'leilão' ocorre no âmbito das empresas, pois o jogador $\boldsymbol{Q}$ oferece preços – isto é, faz seus 'lances' – a cada jogador $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$, e estes decidem qual quantidade de insumo querem comprar e de produtos querem vender aos preços oferecidos.

A mesma Figura 3.4 representa também este mecanismo de coordenação, onde agora, λ_k^i representa os preços oferecidos por $\boldsymbol{Q}$**,** e u_k^i representa as quantidades transacionadas, decididas por $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$.

Neste trabalho, optamos pela coordenação por preços, que é a que mais se assemelha à situação vigente no mercado de livre concorrência, com muitos fornecedores e muitos compradores, sem nenhum deles 'regulando' quantitativamente o mercado. Nessas condições, os preços,

tanto de insumos como de produtos, flutuam livremente, ao sabor da escassez ou da abundância de insumos e de produtos.

Vale dizer que, no mecanismo por coordenação por preços, adotado neste trabalho, não se garante um ajuste exato entre a totalidade disponível no mercado e a totalidade demandada pelas empresas concorrentes. De fato, há um atraso de tempo $\Delta_k = t_{k+1} - t_k$, entre o início de dois estágios sucessivos, que vai desde a fixação de preços pelo jogador $\boldsymbol{Q}$ às decisões quantitativas dos jogadores $\boldsymbol{P}_{\mathrm{i}}$.

Mesmo assim, havendo pequenas sobras ou faltas, no mercado, elas tenderão a ser compensadas nos estágios subseqüentes. Entretanto, essas sobras ou faltas não prejudicam o exercício feito nesta tese. Aliás, é isto o que ocorre na prática do livre mercado, dando origem a um 'mercado marginal', chamado '*on the spot'*, onde essas pequenas sobras e faltas são compensadas, praticamente em tempo real, a preços diferentes dos preços praticados em compras e vendas planejadas.

3.2.6 Controle ótimo aplicado a jogos dinâmicos hierárquicos

Vale enfatizar, neste ponto, uma ligeira diferenciação de terminologia, entre a '*estratégia de jogos*' e a '*estratégia de negócios*', embora, até este ponto, tenhamos usado esses conceitos de forma indiferenciada:

- Na terminologia da teoria dos jogos, a expressão '*estratégia do jogo*' se aplica a qualquer regra de decisão que os jogadores adotem no decurso do jogo. Assim, usa-se a expressão '*estratégia ótima'* para designar a regra de decisão que otimize o valor da função-critério do jogo, seja ela qual for.
- No mundo dos negócios, as decisões chamadas *estratégias de negócios* são aquelas que têm conseqüências duradouras para a

empresa, no longo prazo, tais como investimentos, novas tecnologias, novos mercados, novos produtos, expansão, diversificação, capacitação de pessoal, alianças e parcerias, etc. As demais decisões, de conseqüências somente no curto prazo, são chamadas *decisões táticas*, *operacionais* ou *administrativas*.

No contexto deste trabalho, entretanto, as duas acepções se harmonizam e se complementam, ao se aplicar conceitos da teoria dos jogos aos jogos de empresas, e vice-versa; para isto, basta escolher, para os jogos, uma função-critério que dependa fortemente *do estado final ou terminal*.

Ao se formular um jogo dinâmico hierárquico competitivo como aqui descrito, pode-se investigar quais as estratégias mais adequadas para o jogador 'mercado', $\boldsymbol{Q}$, e para cada um dos jogadores – dirigentes empresariais –, $\boldsymbol{P}_i$, para otimizar as suas funções-critério, num horizonte de $\boldsymbol{K}$ estágios do jogo.

Comecemos com os problemas de otimização dos Subsistemas-Empresa.

Como estamos tratando de um jogo 'estratégico', no sentido de que o que interessa, de fato, para a avaliação da performance dos $\boldsymbol{P}_i$, é a otimização de uma função exclusiva do desvio – ou do quadrado do desvio – entre o estado final atingido, x^{i}_{K+1}, e o estado final alvo, x^{*}_{K+1}, que chamaremos de $(\Delta x)^{i} = x^{i}_{K+1} - x^{*}_{K+1}$, algumas simplificações podem ser admitidas.

Devemos lembrar entretanto que, no caso real da aplicação em vista, as decisões estratégicas de $\boldsymbol{P}_i$ são tomadas por indivíduos, e não por

algoritmos matemáticos implantados em computador.

As pessoas, participantes de um jogo de empresas, deverão envidar seus melhores esforços – usando o seu 'bom senso' – na procura de um caminho ótimo até o estado final alvo.[14]

No caso de um jogo dinâmico hierárquico, o que se busca é uma seqüência de decisões, para cada jogador, que leve às trajetórias de estado, em busca de um estado final desejado – ou o mais próximo possível dele –. Pode-se mostrar que este problema pode ser tratado como um problema clássico de controle ótimo com múltiplos controladores. No entanto, esses algoritmos de otimização e de controle estão fora do escopo deste trabalho.

3.2.7 Estratégias de equilíbrio para os jogos clássicos

A seguir, vamos descrever algumas *estratégias de equilíbrio* para os jogos clássicos, cuja adoção depende da *estrutura do jogo*, do número de participantes, da atitude de colaboração ou de competição entre os participantes, e da eventual existência de algum jogador 'privilegiado' em condições de impor sua estratégia de jogo aos demais jogadores.

Mas, antes, vamos introduzir os conceitos de *estratégias de equilíbrio* e de *ponto de equilibro* para um jogo genérico.

Chama-se '*estratégia de equilíbrio'* para um dado jogador, em um dado jogo, a um conjunto de estratégias de decisões $\overline{\gamma}^{i}_{k}, \overline{\beta}^{i}_{k}$ que levam a ações $\overline{u}^{i}_{k}, \overline{\lambda}^{i}_{k}$, chamadas *pontos de equilíbrio*, para os quais cada um

[14] Considere-se, ainda, que os jogadores, agora pessoas, como agentes autônomos inteligentes, irão aprendendo a jogar melhor, com a repetição de acertos e erros, que funciona como um excelente exercício pedagógico.

dos jogadores entende ter encontrado o melhor possível para sua função-critério, dentro das limitações do próprio jogo e das alternativas dos demais jogadores. Nesse sentido, uma estratégia de equilíbrio é uma 'solução' para o problema do jogo, ou seja, a sucessão de decisões que cada jogador deve tomar para otimizar a sua função-critério ao final do período $K+1$.

A seguir, descrevemos algumas estratégias de equilíbrio para alguns problemas clássicos de jogos, como apresentado em 3.1.5 e ilustrados na Figura 3.1. Para tanto, e por simplicidade notacional, trabalhamos apenas com *jogos estáticos determinísticos*.

(a) Estratégia de Equilíbrio de Nash

Nos jogos de Nash os jogadores reconhecem que há conflitos de interesses entre eles, a cooperação não é possível – ou não lhes é permitida, pelas regras do jogo. Jogos de Nash são jogos não-cooperativos de soma-variável com lances simultâneos.

Nestes casos, cada jogador busca otimizar sua função-critério. Se este ponto de equilíbrio existir, ele será caracterizado pela situação onde nenhum dos jogadores consegue melhorar seus resultados individuais alterando, unilateralmente, a sua decisão. São os chamados 'pontos de equilíbrio de Nash'.

Matematicamente, um ***ponto de equilíbrio de Nash***, se existir, para um jogo estático não-cooperativo $(K=1)$ de soma-variável, com N jogadores, obedece às seguintes condições:

Um ponto $\overline{u}^* = (\overline{u}^1,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N) \in U$ é um ponto de equilíbrio de Nash se, $\forall u^i \in U^i$ e $\forall i \in N$, valem as seguintes desigualdades**:**

$$J_1(\overline{u}^1,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N) \le J_1(u^1,\overline{u}^2,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N)$$

$$J_2(\overline{u}^1,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N) \le J_2(\overline{u}^1,u^2,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N)$$

$$\cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots$$

$$J_i(\overline{u}^1,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N) \le J_i(\overline{u}^1,\overline{u}^2,...,u^i,...,\overline{u}^N)$$

$$\cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots$$

$$J_N(\overline{u}^1,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N) \le J_N(\overline{u}^1,\overline{u}^2,...,\overline{u}^i,...,u^N)$$

(b) Estratégia de Equilíbrio de Stackelberg

Tomemos um jogo diádico entre um jogador ***L***, chamado *Líder*, e um jogador ***S***, chamado *Seguidor,* cujas decisões estratégicas sejam λ e u, respectivamente.

Sejam $R(\lambda, u)$ e $J(\lambda, u)$ as funções-critério dos jogadores ***L*** e ***S***, respectivamente, a serem minimizadas. Por uma questão de simplicidade, trabalhemos com um jogo em um único lance, onde K=*1*.

Suponhamos, também que, pela estrutura das regras do jogo, o jogador ***L***, o Líder, seleciona, primeiro, a sua estratégia λ e, em seguida, o outro jogador, ***S***, o Seguidor, seleciona a sua estratégia u, conhecendo, de antemão, a decisão de ***L***.

Este tipo de jogo caracteriza uma situação apropriada para a aplicação da *estratégia de Stackelberg*.

Definindo formalmente, um par $(\overline{\lambda}, \overline{u}) \in (L, U)$ é um *ponto de*

equilíbrio de Stackelberg se houver uma relação de transformação $T : L \rightarrow U$ tal que, para qualquer $\lambda \in L$ fixado,

$$J(\lambda, T\lambda) \leq J(\lambda, u), \forall u \in U$$

e, se existir um $\bar{\lambda} \in L$ tal que

$$R(\bar{\lambda}, T\bar{\lambda}) \leq R(\lambda, T\lambda), \forall \lambda \in L$$

onde $\bar{u} = T\bar{\lambda}$

(c) Estratégia de Equilíbrio de Pareto

Nos jogos de soma variável, a cooperação entre jogadores poderá levar a resultados, para ambos os jogadores, melhores do que os que eles obteriam se cada um tentasse otimizar sua função-critério ignorando a decisão do outro. Aliás, os jogos de soma variável constituem a grande maioria das situações do mundo empresarial. Daí o surgimento de muitas oportunidades de parcerias, alianças, coalizões, cartéis, etc., que são formas de operacionalizar essas otimizações cooperativas.

Quando jogadores decidem – se podem e querem – trocar informações sobre as respectivas condições, alternativas de ação e função-critério, é possível que encontrem um ponto de equilíbrio, chamado 'ótimo de Pareto', que é 'o melhor', para ambos os jogadores. Este ponto, se existir, se caracteriza pelo fato de que nenhum dos jogadores pode melhorar seu resultado sem que, com esta ação, prejudique o resultado do outro.

O ambiente dos jogos cooperativos implica, portanto, que haja um acordo tácito ou explícito entre os jogadores de forma a que não exacerbem seus interesses individuais em prejuízo do outro (ou dos outros). Este tipo de jogo, portanto, *exige boa fé e confiança mútua entre*

os participantes.

Matematicamente, para um jogo estático ***(K=1)*** cooperativo, de soma-variável, com ***N*** jogadores, um ponto $\overline{u}^* = (\overline{u}^1,...,\overline{u}^i,...,\overline{u}^N) \in U$ é um *ótimo de Pareto* se não existir nenhum outro ponto $u = (u^1,\ldots,u^i,\ldots,u^N) \in U$

tal que $J_i(u^i) \leq J_i(\overline{u}^i), \forall i \in N$

significando que $J_i(u^i) \leq J_i(\overline{u}^i), \forall i \in N$

somente se $J_i(u^i) = J_i(\overline{u}^i), \forall i \in N$

com desigualdade estrita para pelo menos um $i \in N$.

Este ponto é conhecido também como *solução não inferior global.*

(d) Estratégia de equilíbrio Minimax

Antes de falarmos sobre o ponto de sela, precisamos introduzir o conceito de jogo de *soma-zero*.

Utilizando nomenclatura e notação já apresentadas, define-se um *jogo de soma-zero* como um jogo para o qual

$$\sum_{i \in N} (z_i) = \sum_{i \in N} J_i(x_1,\ldots,x_{K+1},u_1^1,\ldots,u_{k1}^i,\ldots,u_K^N) \equiv 0$$

Sem perda de generalidade, pode-se aplicar o mesmo conceito para o caso de soma constante, o qual, por simples translação da função critério, pode também ser transformado em um jogo de soma-zero.

Suponhamos, portanto, um jogo estático simples ***(K=1)***, de dois jogadores ***(N=2)*** não-cooperativos, com soma-zero.

Chama-se 'ponto de sela' a uma solução para o jogo (se ela existir) para a qual cada um dos jogadores atua na direção que entende ser a mais favorável para otimizar sua função-critério. Este ponto tem a característica peculiar de que qualquer desvio em torno dele, por qualquer dos jogadores, faz com que o seu próprio resultado piore em relação a sua função-critério.

Em um jogo diádico, sejam $\overline{u}^1$ e $\overline{u}^2$ as coordenadas do ponto de sela.

Então $(\overline{u}^1, \overline{u}^2)$ será um ponto de sela se satisfizer às seguintes desigualdades: [15]

$$J_1(\overline{u}^1, u^2) \leq J_1(\overline{u}^1, \overline{u}^2) \leq J_1(u^1, \overline{u}^2),$$
$$\forall u^1 \in U^1, \forall u^2 \in U^2$$

Generalizando-se para ***N*** jogadores, uma decisão estratégica $\overline{u}^i \in U^i$ de um jogador P_i é uma solução de equilíbrio Minimax se, para todo conjunto admissível $\{u^1, \ldots, u^i, \ldots, u^N\} \in U$ e $\forall i \in N$, valem as seguintes relações:

---

[15] Mostra-se, neste caso que, como $J_1(u^1,u^2) + J_2(u^1,u^2) = 0$, substituindo-se $J_1(u^1,u^2)$, na relação acima, por $-J_2(u^1,u^2)$, teremos uma nova condição,

$$J_2(\overline{u}^1, u^2) \geq J_2(\overline{u}^1, \overline{u}^2) \geq J_2(u^1, \overline{u}^2), \forall u^1 \in U^1, \forall u^2 \in U^2$$

$$\max_{u^1,\ldots,u^{i-1},u^{i+1},\ldots,u^N} J_i(u^1,\ldots,u^{i-1},\overline{u}^i,u^{i+1},\ldots,u^N) \leq$$

$$\leq \min_{u^1,\ldots,u^{i-1},u^{i+1},\ldots,u^N} J_i(u^1,\ldots,u^N)$$

Observemos que, para se calcular o ponto de equilíbrio da estratégia Minimax para o jogador $\boldsymbol{P}_i$, apenas a função-critério de $\boldsymbol{P}_i$, é levada em consideração; isto acontece porque, nesta estratégia, o jogador $\boldsymbol{P}_i$, pode ignorar as decisões dos demais jogadores, para tomar a sua.

(e) Comentários sobre os pontos de equilíbrio dos jogos clássicos

Como vimos, um ponto de equilíbrio para um jogo, se ele existir, é o resultado de um conjunto de decisões a serem tomadas por todos os jogadores que resulte, para cada um deles, a convicção de que tenha feito a 'melhor escolha possível', dentro das limitações do jogo e dentro dos interesses de todos os jogadores envolvidos.

Quando o ponto de equilíbrio existe, diz-se que se trata de uma 'estratégia pura'. Entretanto, há estruturas de jogo onde este ponto pode não existir. Neste caso, pode-se encontrar uma 'estratégia mista', onde, em jogos repetitivos, os jogadores escolhem suas estratégias de acordo com certa distribuição de probabilidades que minimiza a esperança matemática dos resultados de sua função-critério. Assim, tem-se um ponto de equilíbrio 'em média', ou seja, após um grande número de repetições para esta estratégia mista, têm-se resultados que, 'em média', equivalem a um 'ponto de equilíbrio' estatístico. Desta forma, a estratégia mista é o resultado de um cálculo que minimiza a esperança matemática da função-critério de cada jogador, após um grande número de lances repetidos (Başar & Olsder [35:23-28]).

Os esforços que se desenvolvem na teoria dos jogos são no sentido de

identificar e descrever, matematicamente, jogos que representem, o melhor possível, situações reais de conflito de interesses entre jogadores. Para eles, deve-se desenvolver as respectivas estratégias de equilíbrio, que, em tese, poderiam ser implementadas através de algoritmos computacionais, de técnicas de otimização, ou mesmo de soluções heurísticas.

Em nosso caso, os experimentos pressupõem soluções sempre heurísticas, por meio de um processo de aprendizado, através de tentativas e erros.

3.3 Estratégias de Equilíbrio para Jogos Diádicos

3.3.1 Pontos de equilíbrio e estratégias de equilíbrio

Para fazermos, neste estudo, descrições simples, e, sempre que possível, gráficas, optamos por trabalhar com jogos 'bem comportados'.

As oportunidades de enriquecer e variar essas possibilidades são praticamente infinitas. Porém, para o que se tem em vista neste trabalho, eles são considerados suficientemente abrangentes.

Para isto tratamos, neste tópico, por simplicidade notacional e gráfica, com *jogos diádicos, infinitos, estáticos, determinísticos*, onde a função-critério de cada jogador é contínua, convexa[16] e duplamente diferenciável. Primeiramente, consideramos os jogos de soma não-zero; posteriormente, utilizamos os jogos de soma-zero, apenas para tratar os jogos tipo Minimax.

[16] Exceto para o item 3.4.8.

Assim, seja G um jogo genérico, diádico, escalar, estático, infinito, determinístico, do qual participam apenas dois jogadores P_1 e P_2, que devem tomar decisões $u^1 \in R$ e $u^2 \in R$, respectivamente, de que resultam valores ótimos para as suas funções-critério, aqui supostas como 'funções de custos', sendo $J_1 (u^1, u^2)$ para P_1, e $J_2 (u^1, u^2)$ para P_2.

As funções-critério $J_1 (u^1, u^2)$ e $J_2 (u^1, u^2)$ são supostas funções convexas e duplamente diferenciáveis que devem ser minimizadas pelos jogadores P_1 e P_2, dentro das limitações impostas pelas regras do jogo.

Vamos ilustrar graficamente, os casos particulares deste jogo G, e caracterizar a seguir, gráfica e matematicamente, os seus pontos de equilíbrio, onde e quando existentes.

Construamos um gráfico com os eixos u^1 e u^2, onde u^1 é a decisão a ser tomada pelo jogador P_1 e u^2 pelo jogador P_2, supostas escalares.

Façamos $J_1 (u^1, u^2)$ = constante = α, para vários valores de α, chamados de $\alpha_0, \alpha_1, \ldots, \alpha_j, \ldots \alpha_n \ldots$, onde $\alpha_0 < \alpha_1 < \ldots < \alpha_j < \ldots < \alpha_n < \ldots$, e construamos uma família de curvas de isocusto[17] para o jogador P_1, e outra família para P_2, como mostrado na Figura 3.5.

Nesta simbologia, α_0 é o <u>menor</u> valor possível para $J_1 (u^1, u^2)$, tal que $J_1 = (\bar{u}^1, \bar{u}^2) = \alpha_0$, e onde $\bar{u}^1 = (\bar{u}^1, \bar{u}^2)$ é o ponto de ótimo para P_1.

Qualquer outro ponto $u = (u^1, u^2)$ diferente de $\bar{u}^1 = (\bar{u}^1, \bar{u}^2)$ levará

[17] As curvas de isocritério, ou de isocusto, são também chamadas de *curvas de indiferença* para um dado jogador, pois, ao longo dos pontos destas curvas tal jogador se sente <u>igualmente</u> afetado, não lhe restando preferência por nenhum ponto em particular ao longo desta curva.

a um custo α para P_1 não inferior ao mínimo possível, α_0.

Repetindo o mesmo procedimento para $J_2(u^1, u^2)$ = constante = β, constrói-se também uma outra família de curvas de isocusto para o jogador P_2, e dela se obtém o ponto com o menor valor para $J_2 = (\tilde{u}^1, \tilde{u}^2) = \beta_0$, onde $\tilde{u}^2 = (\tilde{u}^1, \tilde{u}^2)$ é o ponto de ótimo para P_2.

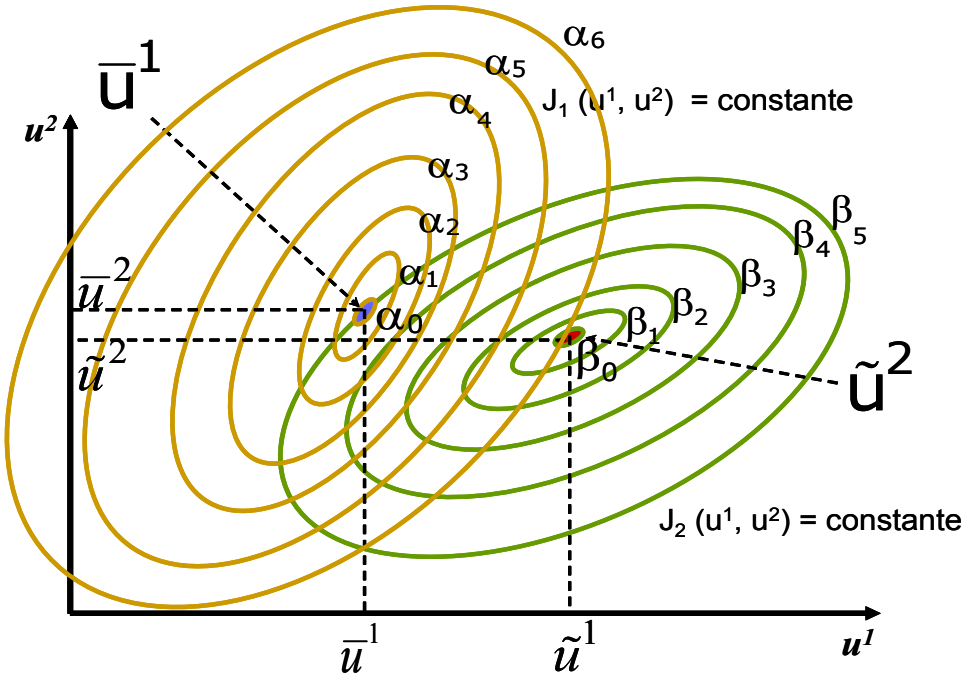


Figura 3.5: Sobreposição de duas famílias de curvas isocritério para os Jogadores P_1 e P_2,

Igualmente, qualquer ponto $u = (u^1, u^2)$ diferente de $\tilde{u}^2 = (\tilde{u}^1, \tilde{u}^2)$ levará a um custo β para P_2 não inferior ao mínimo possível, β_0.

Os pontos $\bar{u}^1 = (\bar{u}^1, \bar{u}^2)$ e $\tilde{u}^2 = (\tilde{u}^1, \tilde{u}^2)$ são chamados de *pontos ideais*, ou *pontos utópicos*, para P_1 e para P_2, respectivamente.

Como se observa, na Figura 3.5, o conflito de interesses entre P_1 e P_2 para o jogo G é inerente a este tipo de configuração de suas funções-critério pelo fato de $\bar{u}^1$ ser diferente de $\tilde{u}^2$ e, conseqüentemente, de que a curva de isocusto de P_2 que passa por $\bar{u}^1$ está associada a um $\beta_j > \beta_0$, e de que a curva de isocusto de P_1 que passa por $\tilde{u}^2$ está associada a um $\alpha_j > \alpha_0$.

Assim, se escolhermos a solução $\bar{u}^1$, que otimiza a função-critério para P_1, isto acarretará um acréscimo de custo $(\beta_j - \beta_0)$ para P_2; por outro lado, escolhendo-se a solução $\tilde{u}^2$, que otimiza a função-critério para P_2, gera-se um acréscimo de custo de $(\alpha_j - \alpha_0)$ para P_1.

Um consenso entre P_1 e P_2 não é fácil de obter, neste tipo de jogo G, pois os conflitos de interesses – aumentos inevitáveis de custo para P_1, ou para P_2, ou para ambos – estão sempre presentes. Portanto, a busca da solução para este tipo de jogo vai depender dos pressupostos e atitudes dos jogadores no jogo, associados aos vários aspectos e às considerações condicionantes já indicados na Figura 3.5 e já mostrados na Figura 3.1.

3.3.2 As curvas de reação

Inicialmente, investiguemos o ponto de equilíbrio dos jogos não-cooperativos, conforme caracterizados e descritos na Figura 3.5.

O primeiro passo para a busca de estratégias de equilíbrio é a

construção das *curvas de reação* para os jogadores P_1 e P_2.

Para esta construção, precisamos nos colocar, inicialmente, na posição de um dos jogadores, P_1, por exemplo, e racionar com ele: "Qual seria a minha melhor decisão $\hat{u}^1$, se eu soubesse que o jogador P_2 estivesse disposto a escolher uma dada decisão $\hat{u}^2$?"

Para tanto, tomemos, no eixo u^2, a decisão $\hat{u}^2$ por P_2, e tracemos, por este ponto, uma reta horizontal para a qual $u^2 = \hat{u}^2$. A partir daí, encontremos a curva de isocusto de P_1 que tangencia esta reta, cujo custo será $\hat{\alpha}$. O ponto de tangência encontrado terá coordenadas $(\hat{u}^1, \hat{u}^2)$. Observe-se que qualquer outro ponto desta reta acarreta custos maiores para P_1, pois ela seria cortada por outras curvas isocusto com valores de α maiores que o da isocusto tangente.

Repetindo-se este raciocínio para todos os pontos possíveis de u^2, encontramos uma coleção de pontos que têm esta propriedade. Eles são pontos de tangência das curvas de isocusto de P_1 a retas horizontais, no gráfico. A Figura 3.6 ilustra as condições destas decisões.

Chama-se *curva de reação* [18] de P_1 à curva formada pelo lugar geométrico de todos os pontos que têm a propriedade acima descrita, e é designada no gráfico, por D_1. Ela ilustra as posições de reação racional de P_1 que minimizam os seus custos, nas condições dadas, para todas as

[18] O conceito de 'curva de reação' foi proposto inicialmente por Cournot [101], que foi seguido depois por Edgeworth [111], Bertrand [42], e, praticamente, por todos aqueles que os seguiram na formalização dos processos de busca de pontos de equilíbrio em jogos cooperativos e não-cooperativos, inclusive neste trabalho.

possíveis decisões de P_2.

Revertendo-se o raciocínio entre os jogadores, busquemos os pontos de tangência de retas verticais (para as quais $u^1 = \breve{u}^1$) às curvas de isocusto do jogador P_2, encontrando-se uma família de pontos $(\breve{u}^1, \breve{u}^2)$ com esta propriedade.

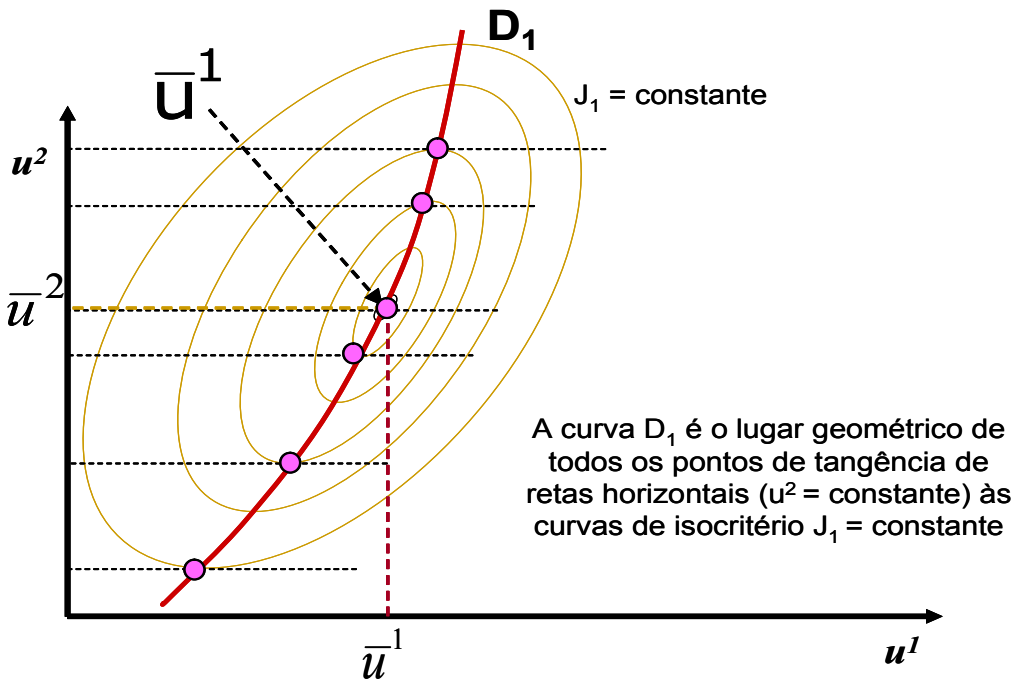


Figura 3.6: Curva de reação $\mathbf{D_1}$ para o Jogador P_1.

Este procedimento permite criar também a *curva de reação* do jogador P_2, designada no gráfico por $\mathbf{D_2}$, conforme mostrado na Figura 3.7. Com as duas curvas de reação, $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ assim construídas, poderemos prosseguir na obtenção dos pontos de equilíbrio de Nash e de Stackelberg. O tópico 3.5.4 retoma o conceito de curvas de reação com

um tratamento mais formal.

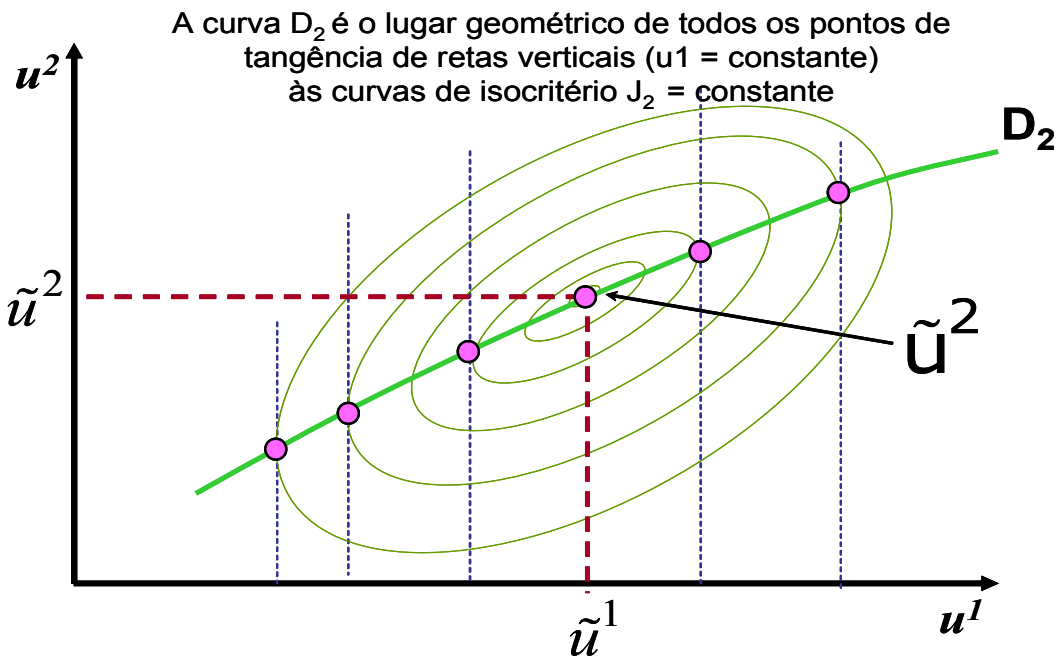


Figura 3.7: Curva de reação **D2** para o Jogador P_2.

3.4 Aplicação das Estratégias de Equilíbrio aos Jogos da MJE

3.4.1 Ponto de equilíbrio de Nash

Um jogo de Nash é um jogo não-cooperativo onde cada um dos jogadores P_1 e P_2 busca, isoladamente, tomar decisões que minimizem sua função-critério para qualquer decisão que venha a ser tomada pelo outro jogador (Freiling, Jank and Abou-Kandil [124]).

Ilustramos o conceito de ponto de equilíbrio de um jogo de Nash usando o mesmo jogo G, descrito anteriormente.

Como as decisões são 'simultâneas', nenhum dos jogadores terá a vantagem de saber, de antemão, a decisão que o outro vai tomar. Ora,

sob este ponto de vista, cada jogador ficará na sua posição 'reativa', procurando jogar em cima de sua curva de reação: O jogador P_1 procurará jogar sobre $\mathbf{D_1}$ e o jogador P_2 sobre $\mathbf{D_2}$. Assim, se as curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ tiverem um ponto em comum, este ponto, designado por **N**, com as coordenadas **N** = $(u^{1,N}, u^{2,N})$ será o ponto de equilíbrio de Nash para este jogo, conforme ilustrado na Figura 3.8. As curvas de isocusto de P_1 e P_2 que passam pelo ponto **N** têm valores α^N e β^N, respectivamente.

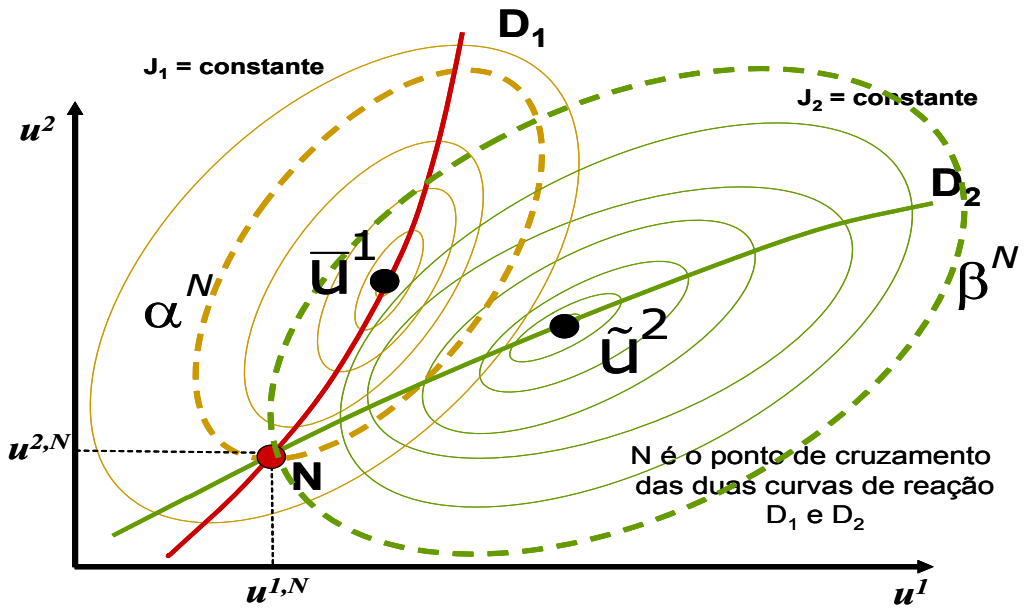


Figura 3.8: Ponto de Equilíbrio de Nash, **N** = $(u^{1,N}, u^{2,N})$, no cruzamento das curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$.

Neste ponto assim construído, cada um dos jogadores, conservadoramente, entende ter feito a 'melhor decisão', ou, pelo menos, a 'menos pior', procurando minimizar sua função-critério dentro das condições e regras operativas estabelecidas para este tipo de jogo.

Algumas considerações sobre a existência e estabilidade deste ponto são discutidas em Başar & Olsder [35]. Na citada obra, são apresentadas

situações onde as curvas de reação podem não ter ponto de cruzamento, onde não há equilíbrio de Nash possível, ou onde elas têm mais de um ponto de cruzamento.

Generalizações para obtenção do ponto de equilíbrio para mais de dois jogadores estão disponíveis na literatura. De nossa parte, retornaremos à questão da estabilidade do ponto de equilíbrio de Nash no tópico 3.5.1.

3.4.2 Pontos de equilíbrio de Stackelberg

Diferentemente do jogo de Nash, onde os jogadores fazem seus lances 'simultaneamente', no jogo proposto por Stackelberg um dos jogadores, o Líder, enuncia sua estratégia e, a partir daí, o segundo jogador, o Seguidor, faz a sua escolha. Portanto, as curvas de reação têm um papel fundamental também para a determinação dos pontos de equilíbrio de Stackelberg (Anandalingam & White [8], Mallozzi & Morgan [185], Shao, Xie, Yu and Wang [238], Shi, Wang and Chu [239]).

Ilustramos o conceito de ponto de equilíbrio de um jogo de Stackelberg usando o mesmo jogo $\boldsymbol{G}$, descrito anteriormente.

Suponhamos, inicialmente, que $\boldsymbol{P_1}$ seja o jogador Líder, e $\boldsymbol{P_2}$ o Seguidor. Ora, $\boldsymbol{P_2}$ terá sua preferência sobre $\mathbf{D_2}$, sua curva de reação, qualquer que seja a decisão anunciada por $\boldsymbol{P_1}$.

Como, supostamente, $\boldsymbol{P_1}$ conhece $\mathbf{D_2}$, curva de reação de $\boldsymbol{P_2}$, seu raciocínio será: "Qual deveria ser minha decisão para minimizar meus custos, sabendo que $\boldsymbol{P_2}$ tomará sua decisão após a minha, e o fará preferencialmente em algum ponto da sua curva $\mathbf{D_2}$?"

A solução gráfica para este problema é obtida por meio do ponto de tangência de uma curva de isocusto de $\boldsymbol{P_1}$ à curva $\mathbf{D_2}$. Ao ponto de

tangência assim encontrado chamamos de ponto de equilíbrio de Stackelberg, indicado na Figura 3.9 como $\mathbf{S_1} = (u^{S1,1}, u^{S1,2})$, e as curvas de isocusto de P_1 e de P_2 que passam por $\mathbf{S_1}$ têm os valores α^{S1} e β^{S1}, respectivamente.

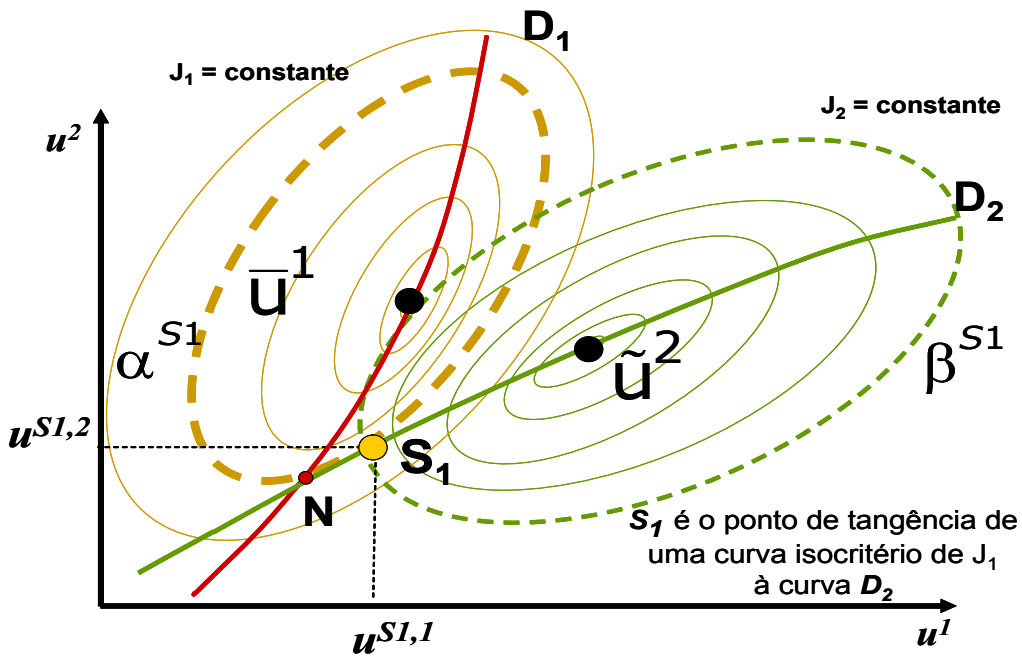


Figura 3.9: Ponto de equilíbrio de Stackelberg, S_1, com P_1 como Líder e P_2 como Seguidor.

Invertendo os papéis entre P_1 e P_2, tendo agora P_2 como Líder e P_1 como Seguidor, o raciocínio se repete, e pode-se encontrar o ponto de tangência de uma curva de isocusto de P_2 com a curva de reação $\mathbf{D_1}$ de P_1. O ponto de tangência assim encontrado, conforme mostrado na Figura 3.10,

chamado $\mathbf{S_2} = (u^{S2,1}, u^{S2,2})$ é o ponto de equilíbrio de Stackelberg nestas novas condições. As curvas de isocusto de P_1 e P_2 que passam por $\mathbf{S_2}$ têm valores α^{S2} e β^{S2}, respectivamente.

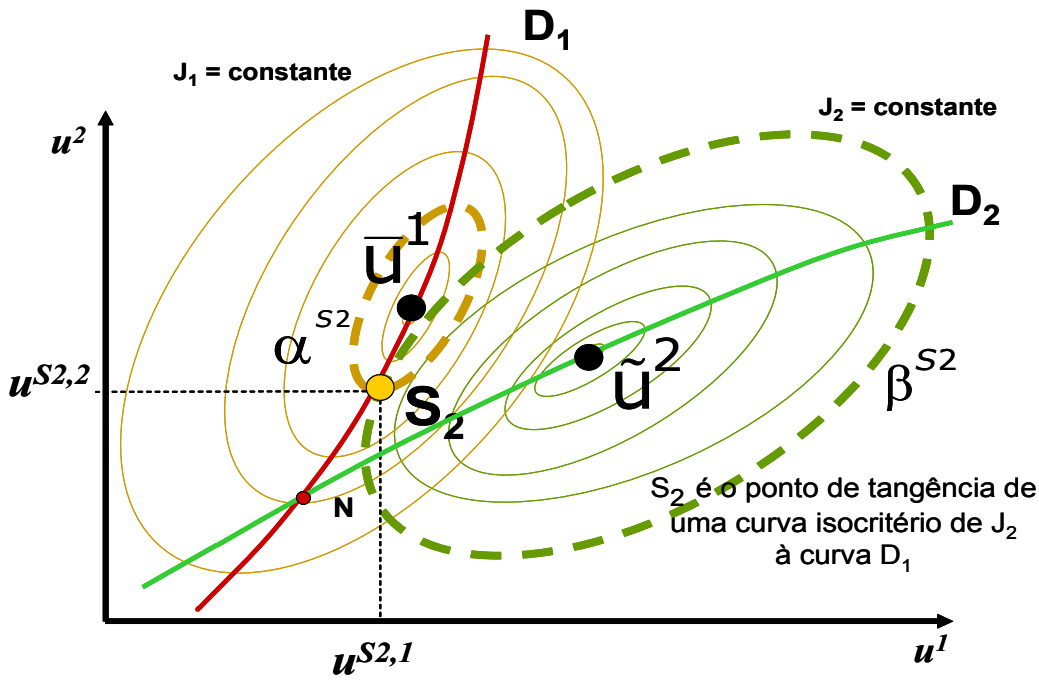


Figura 3.10: Ponto de equilíbrio de Stackelberg, S_2, com P_2 como Líder e P_1 como Seguidor

Assim, os pontos de equilíbrio de Stackelberg $\mathbf{S_1}$ e $\mathbf{S_2}$ são, respectivamente, as soluções onde cada jogador faz a 'melhor decisão' para minimizar seus custos, dentro das condições estabelecidas pelas regras deste tipo de jogo. Se P_1 é o Líder e P_2 o Seguidor, o ponto de equilíbrio de Stackelberg é $\mathbf{S_1}$, e se P_2 é o Líder e P_1 o Seguidor, o ponto de equilíbrio é $\mathbf{S_2}$.

3.4.3 Curva das soluções-não-inferiores

Tomemos agora os jogos cooperativos, para o qual cada um dos jogadores P_1 e P_2 têm condições, e têm disposição, de revelar ao seu oponente suas respectivas funções-critério e combinar com ele alguma estratégia que seja considerada boa para ambos.

Ilustremos o conceito de curva de soluções-não-inferiores usando o mesmo jogo G, descrito anteriormente.

Se houver boa vontade entre os jogadores, e se houver confiança mútua de que as estratégias combinadas serão fielmente executadas por ambos, eles caminharão para a busca de algum tipo de 'solução de compromisso', visto que os ótimos individuais, os pontos ideais, continuam sendo distintos.

Assim, se o jogador P_1 por exemplo, se der por satisfeito com um resultado $J_1(u^1, u^2) = \hat{\alpha}$, ele aceitará trabalhar em qualquer ponto da sua curva de isocusto de valor constante $\hat{\alpha}$.

Sabendo disto, qual seria a melhor decisão 'de compromisso' para P_2 que minimizasse seus custos com esta limitação estabelecida por P_1? É fácil mostrar que este ponto é obtido ao se encontrar uma curva de isocusto de P_2, $J_2(u^1, u^2)$ = constante = $\hat{\beta}$ que seja tangente à citada curva de isocusto de P_1.

Repetindo-se este procedimento para todos os possíveis valores de $\hat{\alpha}$ encontra-se uma família de pontos que são os pontos de tangência das curvas de isocusto de P_1 e de P_2, conforme se mostra na Figura 3.11. O lugar geométrico dos pontos que têm essa propriedade forma uma

curva, aqui chamada de *Curva das Tangentes*, **T.**

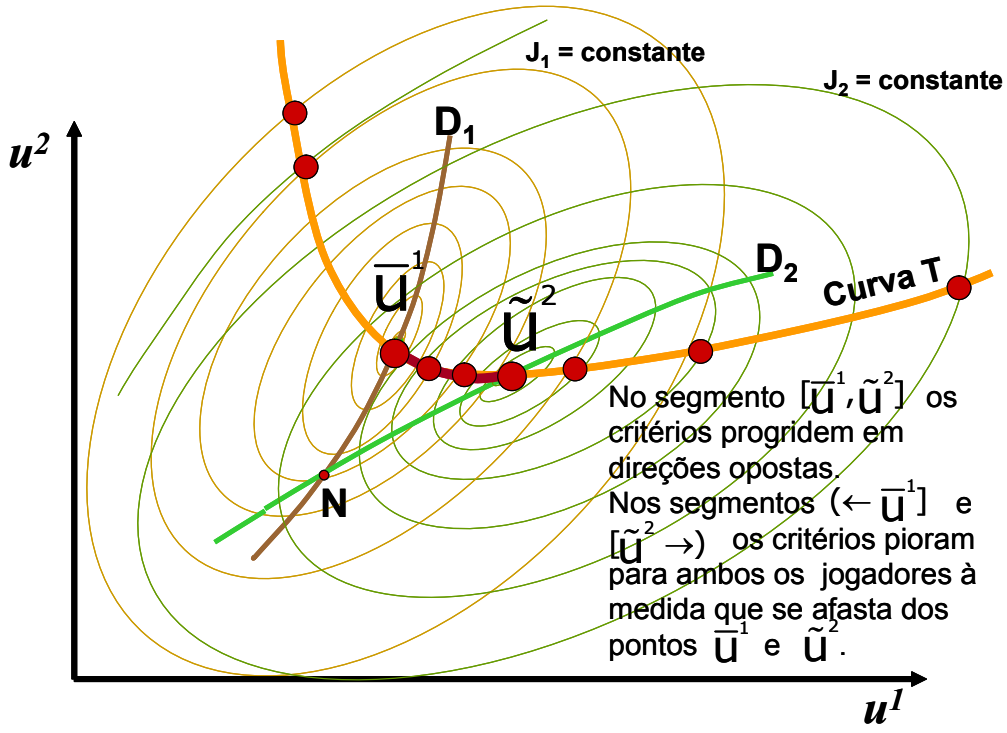


Figura 3.11: Curva **T** como lugar geométrico dos pontos de tangência entre as curvas de isocritério de P_1 e de P_2.

É importante que se diga que, se invertêssemos o raciocínio construtivo, arbitrando-se vários valores para $\hat{\beta}$ aceitáveis para P_2, a curva dos pontos tangentes resultante deste processo seria exatamente a mesma curva **T.** É fácil demonstrar que esta curva **T** passa obrigatoriamente pelos *pontos ideais* de P_1, $\bar{u}^1 = (\bar{u}^1, \bar{u}^2)$ e de P_2 , $\tilde{u}^2 = (\tilde{u}^1, \tilde{u}^2)$, respectivamente.

Observe-se, entretanto, que esta construção gera uma dupla determinação para os pontos de tangência entre as curvas isocusto de P_1 e P_2, pois, dado uma curva de isocusto $\hat{\alpha}$ para P_1, existem duas curvas de isocusto de P_2 tangentes à curva dada, com valores $\hat{\beta}$ diferentes. Com isto em mente, nota-se que os pontos $\bar{u}^1$ e $\tilde{u}^2$ subdividem a curva $\mathbf{T}$ em três segmentos, um fechado e dois abertos, com as seguintes propriedades:

(a) No segmento fechado da curva $\mathbf{T}$ definido por $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$, qualquer deslocamento Δx sobre a curva $\mathbf{T}$ tem a propriedade de reduzir o valor de custo para um jogador em detrimento de um aumento de custo para o outro. Se o deslocamento for feito na direção de $\bar{u}^1$, afastando-se de $\tilde{u}^2$, o custo de P_1 cai e o de P_2 sobe. A recíproca ocorrerá na direção oposta.

(b) No ramo aberto da curva $\mathbf{T}$ externo ao segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$, afastando-se de $\bar{u}^1$ na direção oposta a $\tilde{u}^2$, chamado $(\leftarrow \bar{u}^1]$, um deslocamento Δx nesta direção aumenta os custos para ambos os jogadores;

(c) O mesmo acontece no outro ramo aberto da curva $\mathbf{T}$, agora se afastando de $\tilde{u}^2$ na direção oposta a $\bar{u}^1$, chamado $[\tilde{u}^2 \rightarrow)$.

3.4.4 Regiões de negociação

Partindo das considerações anteriores, constata-se que o segmento da curva $\mathbf{T}$ dado por $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$ contém, em princípio, a *zona de negociação*

entre P_1 e P_2, pois é nos pontos deste segmento que esses jogadores devem procurar uma solução cooperativa de compromisso em cima da curva **T.** Por isso este segmento é também chamado '*conjunto de soluções-não-inferiores'* para o jogo G.

É nele que se encontram as *soluções preferíveis*, para cada um dos jogadores. Qualquer ponto fora deste segmento implica em que pelo menos um dos jogadores terá os seus resultados inferiores àqueles que lhe seriam possíveis obter se permanecesse sobre o segmento.

Entretanto, na hora da negociação, nem todos os ponto do segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$ são igualmente aceitáveis por ambos os jogadores, senão vejamos:

Tomemos S_1 o ponto de equilíbrio de Stackelberg quando P_1 é o Líder e P_2 é o Seguidor, como já vimos no tópico 3.4.2. O resultado para P_1, naquele jogo, era o valor da curva de isocusto α^{S1} para P_1. Ora, P_1 não estaria disposto a aceitar qualquer solução que lhe acarretasse um valor de custo superior a α^{S1}, que ele receberia agindo como Líder num jogo de Stackelberg, sem necessidade de qualquer negociação com P_2. Portanto, para descartar as soluções do jogo que levem a custos para P_1 superiores a α^{S1}, basta encontrar o ponto de cruzamento do segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$ da curva **T**, com a curva de isocusto de P_1 associada ao valor α^{S1}.

Seja **A** o ponto onde a isocusto referida se encontre com a curva **T**. Desta forma, o segmento **(A,** $\tilde{u}^2$**]** da curva **T** deve ser descartado por

P_1, pois nele P_1 teria custos superiores aos que já teria obtido pela solução de Stackelberg, tendo P_1 como Líder. Nesta hipótese, P_1 preferiria abandonar a mesa de negociação e arbitraria sua decisão baseada na estratégia de Stackelberg agindo como Líder.

Analogamente, repetindo o raciocínio, e invertendo os papéis entre P_1 e P_2, concluímos que P_2 não estaria disposto a aceitar qualquer solução que o levasse a um custo maior que β^{S2}, que é o que ele já teria se atuasse como Líder em um jogo de Stackelberg. Buscando o ponto de cruzamento da curva de isocusto de P_2 com valor β^{S2}, com o segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$, encontramos o ponto **B** sobre **T**.

De modo análogo, os pontos do segmento entre **B** e $\bar{u}^1$ não seriam aceitáveis por P_2, pois eles levariam a custos superiores aos que ele já teria garantido na posição de Líder num jogo de Stackelberg, sem necessidade de negociação. Portanto, a *região de negociação* plausível, aceitável por ambos, entre P_1 e P_2 é o segmento [**A, B**] sobre **T,** conforme se mostra na Figura 3.12.

3.4.5 Ótimo de Pareto

Como vimos, qualquer ponto do segmento **[A, B]** sobre **T** é uma solução não inferior para ambos os jogadores: Qualquer desvio para fora deste segmento, tanto na direção de $\bar{u}^1$ como na direção de $\tilde{u}^2$, ou em qualquer outra direção, geraria um aumento inaceitável de custos para pelo menos um dos jogadores!

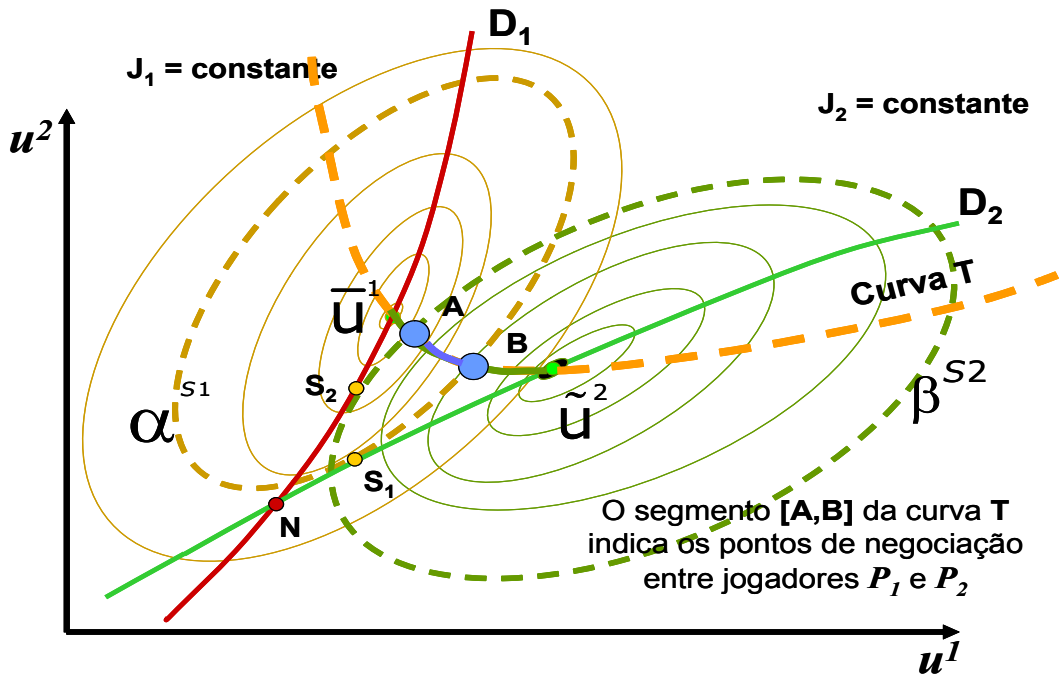


Figura 3.12: Região de negociação entre P_1 e P_2, no segmento [**A, B**] da curva **T**.

Portanto, os pontos do segmento **[A, B]** sobre a curva **T** são chamados *ótimos cooperativos* ou de *ótimos de Pareto*. Mas, ainda permanece a dúvida: qual dos pontos, no segmento **[A, B]** seria o resultante de uma negociação cooperativa entre jogadores racionais?

Para encaminhar uma solução para este problema, escolhamos agora um novo eixo, ***x***, que está associado aos pontos sobre a curva **T**, e construamos um gráfico com as funções $J_1\,(u^1, u^2)$ e $J_2\,(u^1, u^2)$ onde os pontos (u^1, u^2) seguem os pontos de **T** projetados sobre um novo eixo, ***x***, conforme mostrado na Figura 3.13.

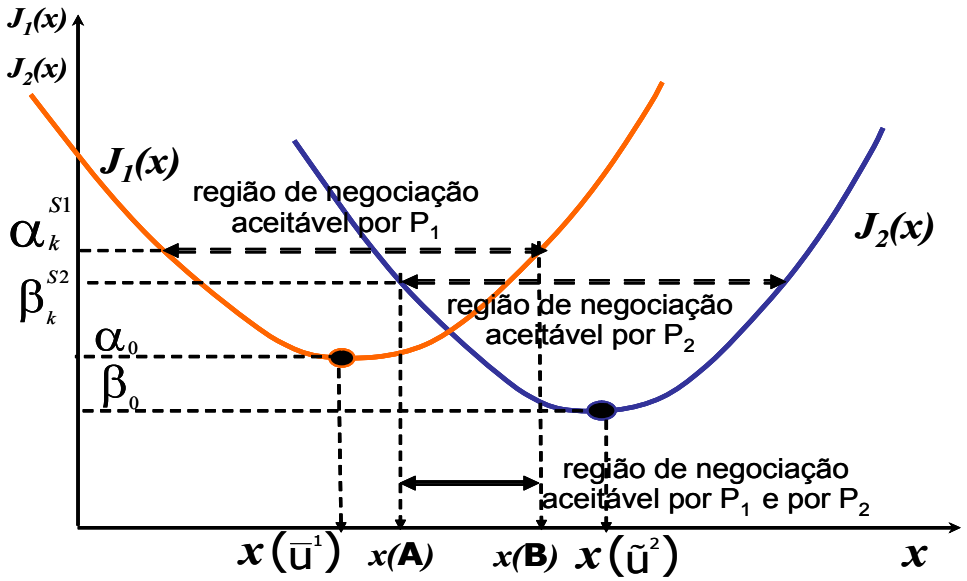


Figura 3.13: Região de negociação [x**(A)**, x**(B)]** sobre a curva ***T*** para determinação de um ótimo de Pareto

Esta mudança de espaço dará maior visibilidade e tratamento mais fácil para os próximos passos, pois, agora, só nos interessam os pontos ***(u^1, u^2)*** sobre a curva **T**.

Marquemos, em um eixo horizontal, x, os pontos conhecidos, pela ordem: $x(\bar{u}^1)$ → x**(A)** → x**(B)** → $x(\tilde{u}^2)$**.** No eixo vertical, representemos os valores de $J_1(u^1, u^2)$ e $J_2(u^1, u^2)$ já conhecidos, agora mapeados nas funções $J_1(x)$ e $J_2(x)$**,** respectivamente.

Observemos as indicações dos níveis de custos α^{S1} e β^{S2} que são os *'limiares de desistência'* de cooperação de P_1 e de P_2, associadas aos custos que se obteriam nas soluções de Stackelberg para P_1 e para P_2, respectivamente.

Se P_1 e P_2 decidirem, cooperar, eles deverão procurar um ponto de compromisso, no segmento **[A, B],** ou seja, **[*x*(A), *x*(B)]** que satisfaça a ambos, na medida do possível. Se eles decidirem adotar o conceito de mínimo global de custos, basta que adicionem $J_1(x)$ e $J_2(x)$, por exemplo, e achem uma nova função de custo global,

$$J(x) = J_1(x) + J_2(x)$$

O valor de x que minimiza $J(x)$, denotado por x^P, é uma possível solução racional para este problema.

Tendo-se x^P, encontra-se facilmente o ponto $U^P = (u^{P,1}, u^{P,2})$, que será uma possível *'solução de Pareto'* para o jogo. Há que se cuidar, entretanto, que $J(x)$ tenha apenas um ponto de mínimo, o que ocorre se as funções $J_1(u^1, u^2)$ e $J_2(u^1, u^2)$ forem, por exemplo, ambas, convexas.

Casos particulares surgem se o ponto de mínimo achado ficar localizado fora do segmento **[A, B]**: Se ele cair no segmento externo em relação a **A**, chamado **($\leftarrow$A],** o ótimo de Pareto neste caso será, naturalmente, o ponto **A**; se, por outro lado, cair no outro segmento externo em relação a ***B*,** chamado **[B$\rightarrow$),** este ótimo de Pareto será o ponto **B**.

Esta solução supõe que os jogadores P_1 e P_2 negociem 'com pesos idênticos'. Porém, no caso mais geral, os pesos podem ser diferentes! Suponhamos um peso **μ**, para o jogador P_1, com $0 \leq \mu \leq 1$, e um peso $(1-\mu)$ para P_2, conforme se mostra na Figura 3.14.

Uma nova função de custo global aditiva ponderada poderá ser construída fazendo-se: $J(x,\mu) = \mu J_1(x) + (1-\mu) J_2(x)$.

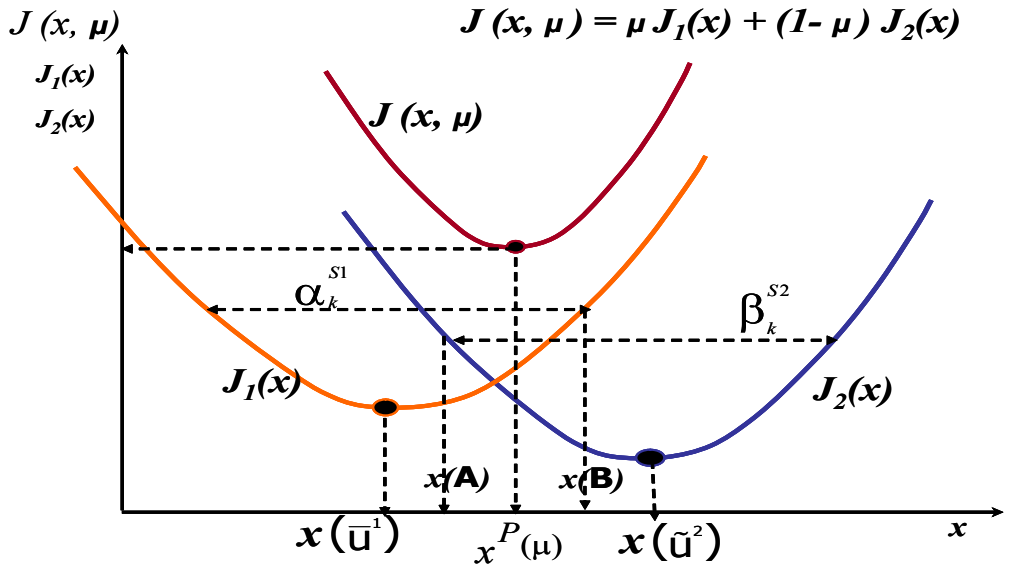


Figura 3.14: Ponto de equilíbrio $x^P(\mu)$ como uma possível solução negociada para um jogo de Pareto

Repetindo-se o mesmo raciocínio de otimização para o custo total ponderado, pode-se encontrar um ótimo de Pareto para esta condição, $x^P(\mu)$. Mostra-se que, quando μ tende para 1, então $x^P(\mu)$ tende para $x(\bar{u}^1)$ e quando μ tende para 0, $x^P(\mu)$ tende para $x(\tilde{u}^2)$.

Desta forma, é possível encontrar um ponto $x^P(\mu)$ como o resultado sugerido para uma negociação racional entre os jogadores P_1 e P_2, função do peso μ, obtido por negociação – e acordo – entre as partes, e este será um *ótimo de Pareto* para o jogo.

Entretanto, outras soluções engenhosas de negociação e busca de acordos cooperativos têm sido propostas e aplicadas. Numa delas, por exemplo, supondo que o jogador P_1, avaliando que tenha muito a perder por aumento no valor de sua função-critério provocados por pequenos deslocamentos no eixo x, decide propor *pagamentos compensatórios* a P_2

para que aceite deslocamentos na direção de $\bar{u}^1$.

Seja, por exemplo, um jogo onde, $\frac{\Delta J_1(x)}{\Delta x} >> \frac{\Delta J_2(x)}{\Delta x}$

Neste caso, P_1 pode propor a P_2 um pagamento compensatório ***pc***, desde que $\Delta J_1(x) > pc > \Delta J_2(x)$.

Para que a proposta seja aceitável para ambas as partes, o valor de ***pc*** deverá ser *maior* que o acréscimo de custos para P_2, porém *menor* que a redução de custos para P_1. A margem de negociação, neste caso, será de um ganho de $\delta_1 = (\Delta J_1(x) - pc)$, para P_1, e um ganho $\delta_2 = (pc - \Delta J_2(x))$, para P_2.

Observemos também que esta manobra compensatória poderia gerar soluções de Pareto aceitáveis para ambos os jogadores até para pontos fora do segmento **[A, B]**, desde que dentro do segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$. Raciocínio análogo poder-se-ia também fazer invertendo-se os papéis de P_1 e P_2. [19]

3.4.6 Jogo Paternalista-Solidário

O jogo Paternalista-Solidário é também um jogo cooperativo, como o jogo de Pareto, mas tipicamente assimétrico: Há um jogador, P_1, que assume o papel Paternalista, protetor, e outro, P_2, que tem um comportamento

[19] Em particular, as soluções aqui apresentadas são casos particulares de jogos onde as funções de utilidade são aditivas. Outras soluções poderiam ser propostas para coordenar a negociação entre os jogadores. Por exemplo, se uma função de utilidade global puder ser construída, como função de u^1 e u^2, pode-se buscar um ponto que maximize a utilidade global, como em Von Neumann & Morgenstern [266], Luce & Raiffa [179], e Varian [263], por exemplo.

Solidário a P_1. Assim, P_1 procura desenvolver uma estratégia que seja 'a melhor para todos', sem ignorar, contudo, seus próprios interesses. P_2, por sua vez, concorda em permanecer jogando enquanto seus interesses estejam sendo minimamente atendidos. Fora disto, ele preferirá 'sair do jogo' e, a partir daí, atuar *solitariamente*.

Vamos ilustrar o ponto de equilíbrio de um jogo Paternalista-Solidário usando o mesmo jogo G, descrito anteriormente.

Como já vimos no jogo de Pareto, sendo este também um jogo cooperativo, a solução 'inteligente' para ambos deveria estar sobre a curva T, e no segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$. Assim, seja β_D o valor do custo máximo tolerável para P_2, acima do qual ele prefere desistir de jogar com P_1.

O lugar geométrico dos pontos-limite aceitáveis por P_2 é definido pela curva de isocusto de P_2 que tenha o valor β_D, conforme mostrado na Figura 3.15, e a região sombreada é a região aceitável para P_2.

Em vista disto, pergunta-se, qual seria a decisão limite para P_1, o jogador Paternalista, para assegurar que o jogador P_2, o Solidário, não 'desista' do jogo, evitando assim que ele passe a atuar *solitariamente*?

A 'melhor' decisão de P_1, ainda aceitável por P_2, nesta situação limite, denotada como u^{PS} encontra-se num ponto de tangência entre uma curva de isocusto de P_1 e a curva de isocusto de P_2 com valor β_D, já mencionada. Mas, por construção, estes pontos de tangência das curvas isocusto encontram-se, todos, sobre a curva T e, em particular, no segmento $[\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$, pois, nos ramos externos da curva T, qualquer deslocamento afastando-se de $\bar{u}^1$ e de $\tilde{u}^2$ aumentará o custo para ambos

os jogadores.

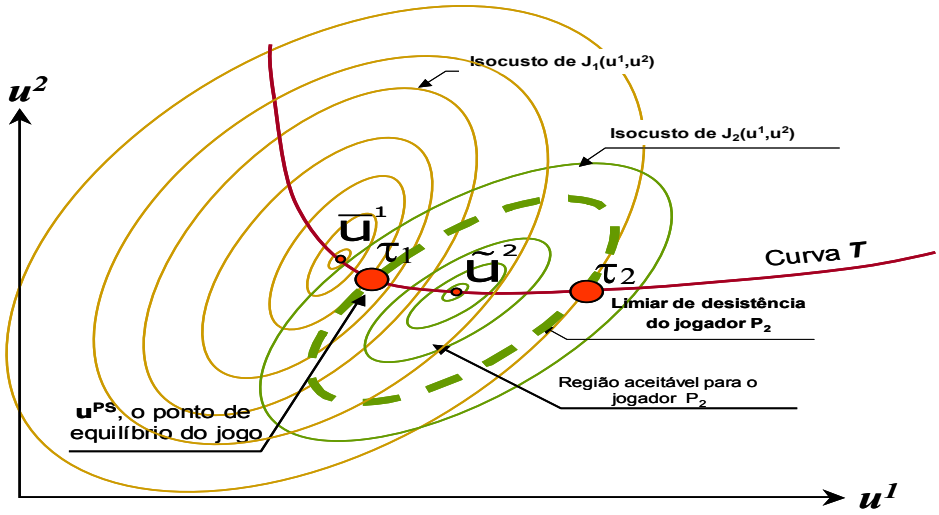


Figura 3.15: Ponto de equilíbrio u^{PS} de um jogo Paternalista-Solidário, para o qual $\tau_1 \in [\overline{u}^1, \tilde{u}^2]$

Como há dois pontos de tangência τ_1 e τ_2 sobre a curva **T** que satisfazem a esta condição, deve-se escolher aquele que resulte em menor valor de custo para P_1. No caso ilustrado na Figura 3.15, o ponto de equilíbrio u^{PS} é τ_1.

Entretanto, caso a 'tolerância' de P_2 seja bem maior, é possível que ambos os pontos de tangência ocorram em ramos externos ao segmento $[\overline{u}^1, \tilde{u}^2]$, na curva **T**, conforme ilustrado na Figura 3.16. Neste caso, a solução ótima para P_1 ainda aceitável por P_2, é o ponto u^{PS}, que

coincide com o ponto $\bar{u}^1$ [20]

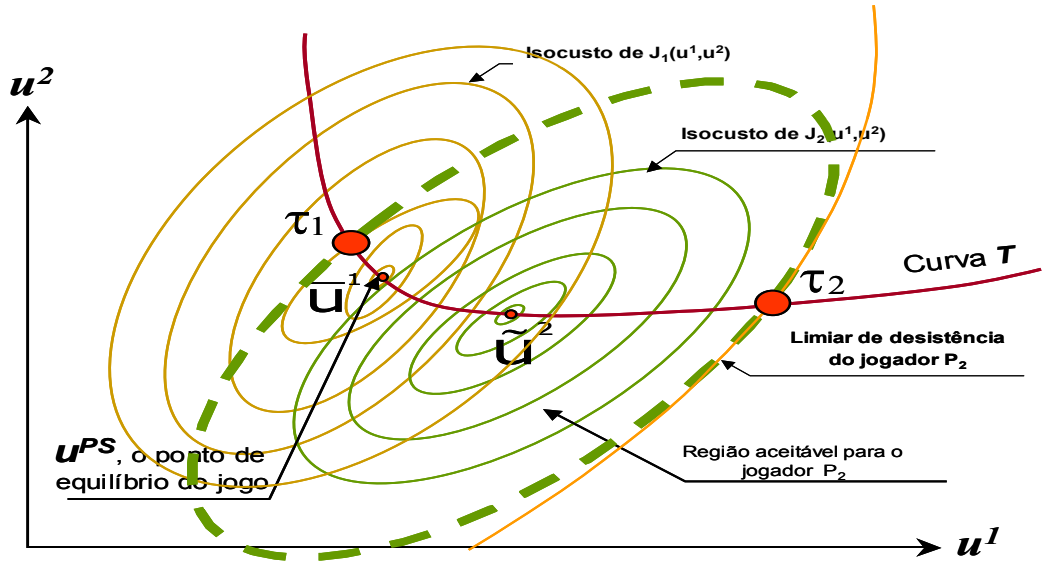


Figura 3.16: Ponto de equilíbrio u^{PS} de um jogo Paternalista-Solidário para o qual $\tau_1 \notin [\bar{u}^1, \tilde{u}^2]$

3.4.7 Jogo Hegemônico-Marginal

O jogo Hegemônico-Marginal é um jogo não-cooperativo entre P_1, designado como o Hegemônico, e P_2, designado como o Marginal. Neste tipo de jogo, o jogador Marginal não tem condições de enfrentar 'de igual para igual' seu adversário, P_1, Hegemônico, supostamente muito mais forte que ele. Assim, ele pode decidir por uma estratégia retaliatória, para prejudicar ao máximo que lhe for possível os interesses do jogador

[20] Um jogo Paternalista-Solidário pode ser também interpretado como um caso particular e peculiar de um jogo de Pareto, onde a relação entre os jogadores é assimétrica, ou não-balanceada.

Hegemônico, mesmo que, ao fazer isto, possa estar prejudicando o seu próprio interesse, que seria, inicialmente, o de minimizar a sua função custo.

Mas, pergunta-se, qual o limite da ação predatória que o jogador Marginal estaria disposto a jogar, no seu intento de prejudicar o Hegemônico? Ora, o limite da ação é o limite da sua própria sobrevivência, pois, além disso, o jogo cessa por falta de um dos jogadores. Sendo assim, seja β_M o valor máximo de custo para o jogador Marginal acima do qual sua sobrevivência não estará garantida, como o seu *'limiar de sobrevivência*'. Vamos ilustrar estes conceitos usando o mesmo jogo $\boldsymbol{G}$, descrito anteriormente, como mostrado na Figura 3.17.

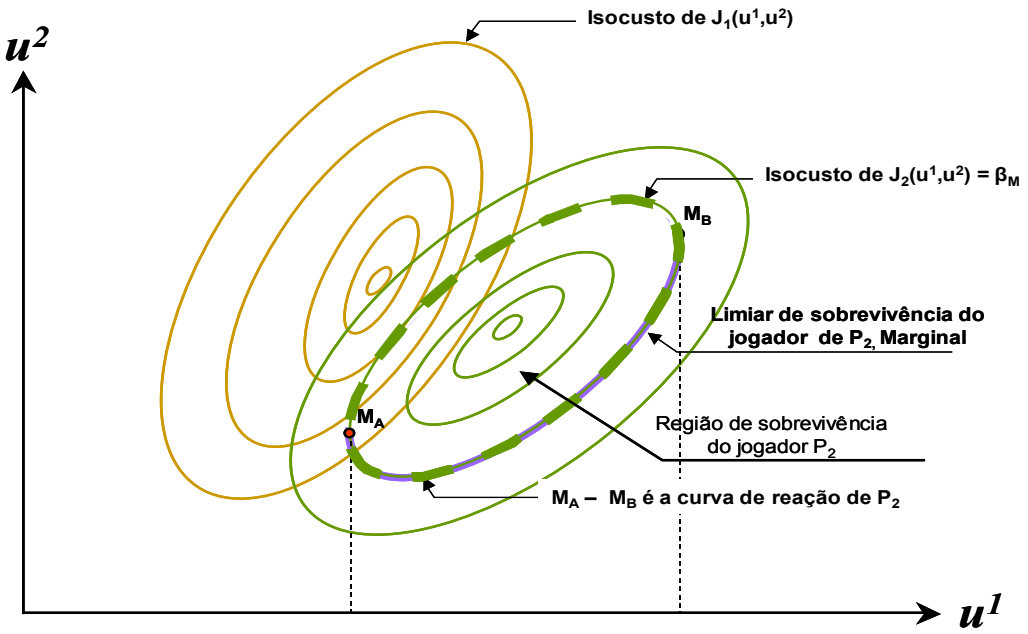


Figura 3.17: Curva de reação do jogador $\boldsymbol{P_2}$, em um jogo Hegemônico-Marginal, onde $\boldsymbol{P_1}$ é o jogador Hegemônico e $\boldsymbol{P_2}$ o jogador Marginal

Para encontrar o ponto de equilíbrio deste jogo, construamos, passo a passo, alternadamente, as curvas de reação dos dois jogadores $\boldsymbol{P_1}$ e $\boldsymbol{P_2}$.

Sejam os pontos $\mathbf{M_A}$ e $\mathbf{M_B}$ os dois pontos de tangência de retas verticais à curva de isocusto β_M de $\boldsymbol{P_2}$.

Se o jogador Hegemônico, $\boldsymbol{P_1}$, jogasse antes do jogador Marginal, $\boldsymbol{P_2}$, a *curva de reação* do jogador Marginal seria o segmento de arco, sobre a curva de isocusto de valor β_M, de $\boldsymbol{P_2}$, como mostrado na Figura 3.17.

Analogamente, sejam agora os pontos $\mathbf{D_A}$ e $\mathbf{D_B}$ os pontos de tangência de retas horizontais à curva de isocusto de valor β_M, como mostrado na Figura 3.18.

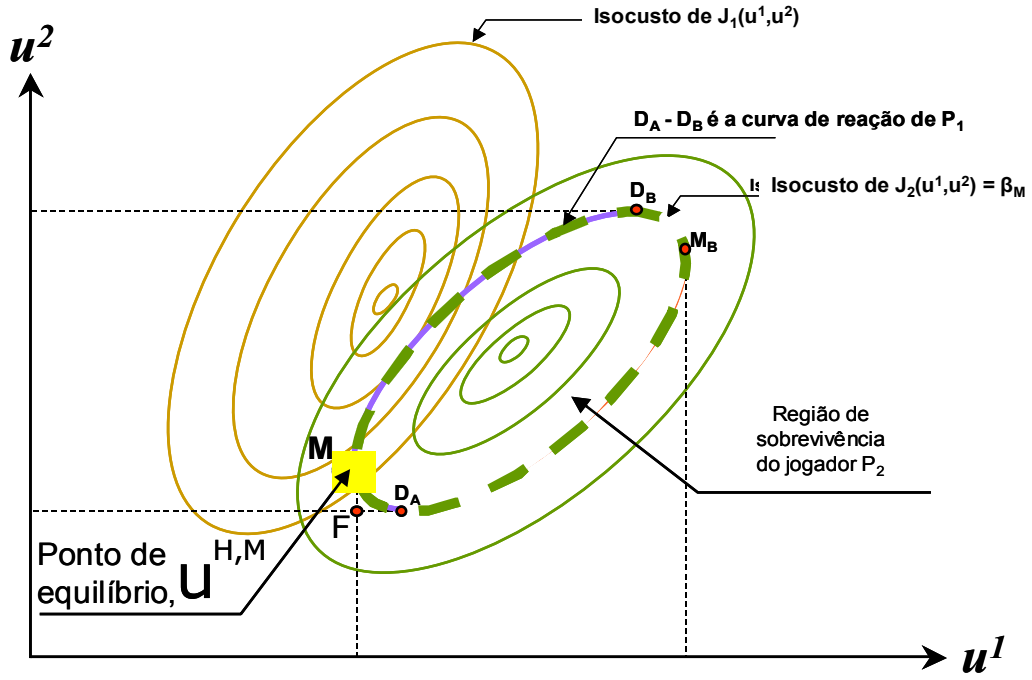


Figura 3.18: Ponto de equilíbrio $\mathbf{u^{HM}}$ de um jogo Hegemônico-Marginal, onde $\boldsymbol{P_1}$ é o jogador Hegemônico e $\boldsymbol{P_2}$ o jogador Marginal

Analogamente, se o jogador Marginal, $\boldsymbol{P_2}$, jogasse antes do jogador Hegemônico, $\boldsymbol{P_1}$, a *curva de reação* do jogador Hegemônico seria o

segmento, sobre a curva de isocusto de valor β_M de P_2, que liga os pontos D_A e D_B.

Supondo, agora, que os lances serão simultâneos, a intercessão das curvas de reação dos jogadores Hegemônico e Marginal é o segmento de arco $D_A - M_A$,[21] como mostrado na Figura 3.18. Assim, em tese, qualquer dos pontos deste segmento poderia ser uma solução do jogo.

Ao jogador Hegemônico, interessam os pontos mais próximos a M_A, pois a sua curva de isocusto passando por este ponto leva a custos menores do que os do ponto D_A. Ao jogador Marginal, interessam os pontos mais próximos a D_A pois, no ponto D_A, ele infringe maior acréscimo de custos ao seu adversário, o jogador Hegemônico.

Porém, se o jogador Hegemônico procurar atingir o ponto M_A, sua preferência, e o Marginal preferir atingir o ponto D_A, sua preferência, o ponto resultante será o ponto **F**, uma solução fora da região da sobrevivência do jogador Marginal, o que certamente não interessa ao jogador Marginal, como se vê na Figura 3.18.

Sendo assim, como os dois jogadores são supostos igualmente racionais, dentro de suas limitações impostas pelas condições do jogo, a solução para a qual tenderão será a do ponto M_A., que é chamado, na figura, de u^{HM}, o ponto de equilíbrio deste jogo.

---

[21] Supõe-se, aqui, que o jogador Hegemônico, P_1, não pretenda, ou não tenha permissão de aniquilar o jogador Marginal, P_2, por outras imposições da regra do jogo, pois, para isto, bastaria que ele fizesse um lance minimamente acima de D_B, ou abaixo de D_A, e o jogador Marginal estaria fora de sua região de sobrevivência!

3.4.8 Visão integrada dos cinco jogos de soma-variável da MJE

A Figura 3.19, a seguir, apresenta uma visão integrada dos pontos de equilíbrio para os cinco jogos de soma-variável, descritos em 3.4.1 a 3.4.7.

Nela mostra-se que, para uma mesma estrutura de jogo, G, pode-se representar os diversos possíveis pontos de equilíbrio, decorrentes da aplicação das diversas regras operativas, das posturas competitivas dos jogadores e dos pressupostos de relação-de-forças por eles assumidos.

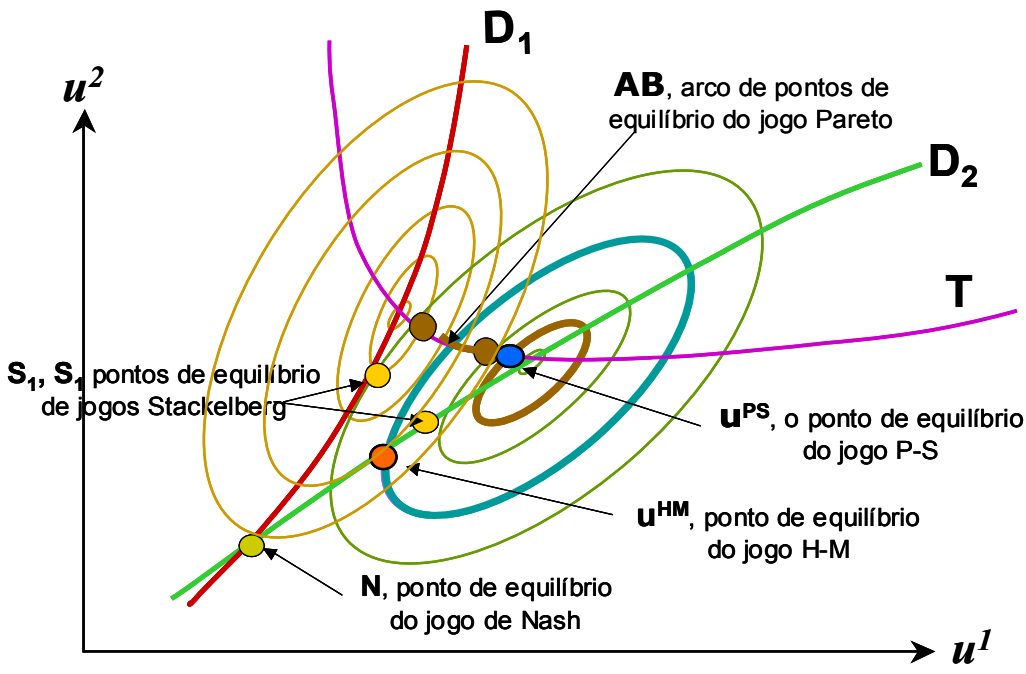


Figura 3.19: Visão gráfica integrada dos pontos de equilíbrio para os cinco jogos de soma-variável da MJE

3.4.9 Jogo Minimax

O jogo Minimax é um jogo não-cooperativo no qual o ganho para um

jogador P_1, em termos de redução de seus custos, implica em igual acréscimo de custos para o jogador P_2, e vice-versa.

Esta hipótese leva a conclusão de que $J_1(u^1, u^2) + J_2(u^1, u^2) =$ constante. Entretanto, som perda de generalidade, podemos fazer a constante igual a zero.

O propósito deste jogo é achar um ponto $U^M = (u^{M,1}, u^{M,2})$ para o qual $J_1(u^1, u^2)$, função critério de P_1, seja o mínimo possível, e que $J_2(u^1, u^2)$, função-critério de P_2, seja também o mínimo possível.

Mas como, neste tipo de jogo, $J_2(u^1, u^2) = -J_1(u^1, u^2)$, o problema de minimizar $J_2(u^1, u^2)$ implica em maximizar $J_1(u^1, u^2)$.

Ou seja, P_1 deve *minimizar* $J_1(u^1, u^2)$, mas P_2 deve *maximizar* a mesma função $J_1(u^1, u^2)$, o que resulta, em tese, um problema com objetivos conflitantes.

A solução para este problema só será possível se $J_1(u^1, u^2)$ tiver uma propriedade especial:

$J_1(u^1, u^2)$ precisa ser uma função estritamente convexa na dimensão u^1, para todo u^2 dado, e precisa ser, ao mesmo tempo, uma função estritamente côncava na dimensão u^2, para todo u^1 dado [22] (Başar & Olsder [35]).

A Figura 3.20 mostra o formato de uma função $J_1(u^1, u^2)$ que tem a propriedade acima descrita.

---

[22] Pode-se inverter os papéis entre u^1 e u^2 sem perda de generalidade.

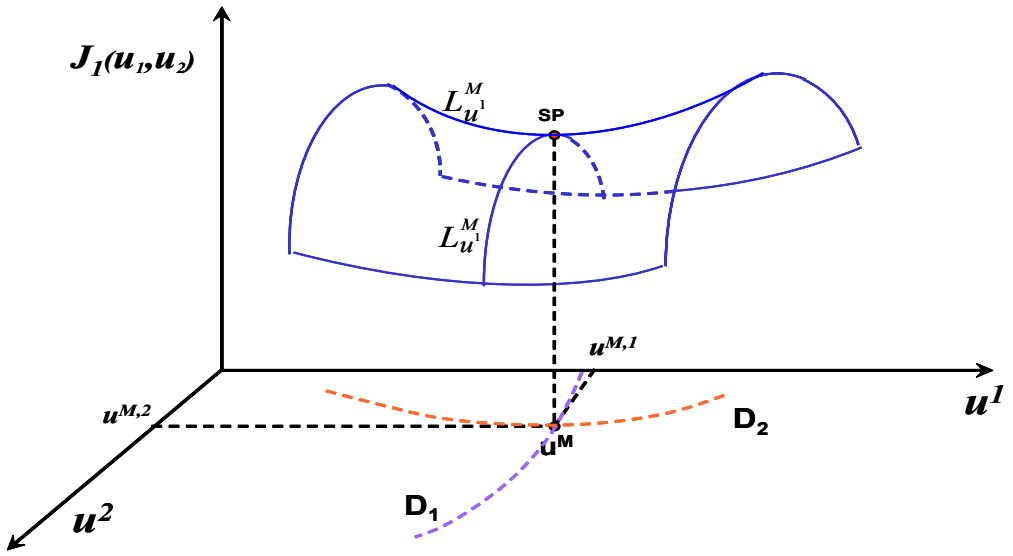


Figura 3.20: Ponto de equilíbrio $\mathbf{u}^M$ de um jogo Minimax, de soma-zero, como solução em ponto de sela, SP

O ponto de equilíbrio **SP,** na figura, é encontrado no cruzamento de duas curvas $L^M_{u^1}$ e $L^M_{u^2}$. De fato, $\boldsymbol{J_1(u^1, u^2)}$ deve ter um valor <u>mínimo</u> ao longo de $L^M_{u^1}$, para todo u^2 dado, e $\boldsymbol{J_1(u^1, u^2)}$ deve ter um valor <u>máximo</u> ao longo de $L^M_{u^2}$, para todo u^1 dado. O ponto **SP**, também chamado '*ponto-de-sela*' ("*saddle-point*") tem este nome em razão de que o formato da superfície $\boldsymbol{J_1(u^1, u^2)}$ é semelhante a uma sela de montaria.

A projeção do ponto **SP** no plano (u^1,u^2) é o ponto procurado, $\mathbf{u}^M = (u^{M,1}, u^{M,2})$, o qual, se existir, é o ponto de equilíbrio deste jogo.

As curvas de isocusto referentes a esta função peculiar estão representadas na Figura 3.21.

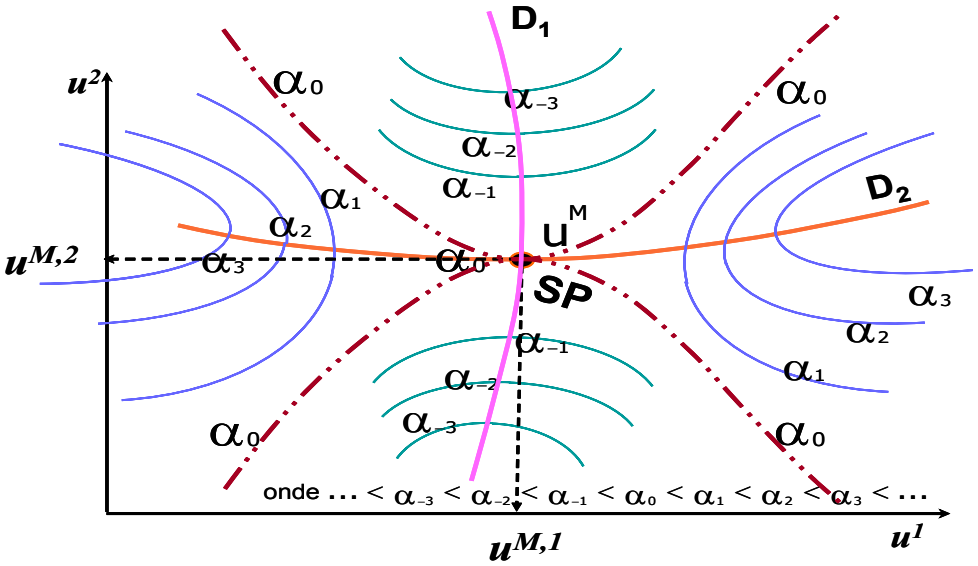


Figura 3.21: Ponto de equilíbrio, $\mathbf{u}^M$ de um jogo Minimax, de soma-zero, no cruzamento das duas curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$

Mostra-se, ilustrativamente, uma família de curvas de isocusto de $J_1(u^1, u^2)$, com valores crescentes de α:

$$\ldots, \quad \alpha_{-3} < \alpha_{-2} < \alpha_{-1} < \alpha_0 < \alpha_{+1} < \alpha_{+2} < \alpha_{+3} < \ldots,$$

onde α_0 é o valor da função-critério $J_1(u^1, u^2)$ no ponto de sela, **SP**.

A Figura 3.21 mostra, também, $\mathbf{D_1}$, a curva de reação de P_1, projeção de $L^M_{u^1}$ no plano (u^1, u^2), e $\mathbf{D_2}$, a curva de reação de P_2, projeção de $L^M_{u^2}$ no plano (u^1, u^2). O ponto de cruzamento das duas curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ de reação é o ponto de equilíbrio, $\mathbf{u}^M$ para este jogo.

A estabilidade – ou não – do ponto de equilíbrio do jogo no *Ponto de Sela* vai depender das inclinações das tangentes às curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$, para as quais se aplica, igualmente, o teorema de Koenigs, como será mostrado em 3.5.2.

A existência de **SP** implica que se encontrou uma solução de equilíbrio do jogo onde cada jogador entende ter feito a 'melhor' decisão possível, pois qualquer desvio que qualquer um deles faça em qualquer direção implicará em aumentos de custos para P_1 ou, alternativamente, para P_2. Esta solução é chamada 'estratégia pura' para os jogadores.

A não existência deste *ponto-de-sela* poderá implicar na introdução de estratégias mistas – não discutidas no contexto deste documento – onde os jogadores fazem escolhas aleatórias em um rol de valores, com probabilidades pré-determinadas, calculadas de forma a otimizar a esperança matemática da função-critério de cada jogador, como comentado em 3.2.7, tópicos (d) e (e).

3.5 Discussões

3.5.1 Estabilidade do equilíbrio de Nash

A questão da estabilidade dos pontos de equilíbrio sempre desafiou os pesquisadores. Pode-se dizer que o ponto de equilíbrio é este ou aquele, mas a questão que permanece é: Ele é estável ou instável? Vamos ilustrar este conceito sobre o conceito de ponto de equilíbrio de Nash. Raciocínio análogo pode se aplicar aos demais tipos de jogos, com as devidas adaptações.

Como foi dito no tópico 3.4.1, o ponto de equilíbrio de Nash se encontra no ponto **N**, que é o cruzamento das curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$

dos dois jogadores P_1 e P_2, respectivamente.

A pergunta que fica é: quão estável é este ponto? Se, por qualquer motivo, um dos jogadores, P_1, por exemplo, fizer uma decisão ligeiramente diferente daquela que passa exatamente pelo ponto **N**, qual seria a próxima jogada de reação do jogador P_2? E, a partir daí, qual seria, então, a jogada de P_1? E assim, sucessivamente. Será que esta seqüência hipotética tenderia para **N**? Ou se afastaria indefinidamente de **N**?

As Figuras 3.22 e 3.23 mostram dois casos simples com seqüências de decisões reativas sucessivas alternadas: Na primeira, a seqüência caminha para o ponto **N**, indicando, portanto, uma estabilidade deste ponto; já na segunda, a seqüência se afasta indefinidamente do ponto **N**, indicando uma situação de não-estabilidade do ponto **N**. Repare-se que a única diferença entre estabilidade e não-estabilidade, nestas figuras, está dada pela inclinação relativa das tangentes $\mathbf{q_1}$ e $\mathbf{q_2}$ às curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$. As Figuras 3.24 e 3.25 mostram dois outros casos de seqüências de decisões reativas sucessivas: Em um deles se aproximando progressivamente de **N** e, no outro, afastando-se.

Observe-se, portanto, nestes quatro simples exemplos gráficos, que a existência ou não da estabilidade de um ponto de Nash qualquer vai depender das configurações geométricas das curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ (Başar & Olsder [35], Costa Filho [77]).

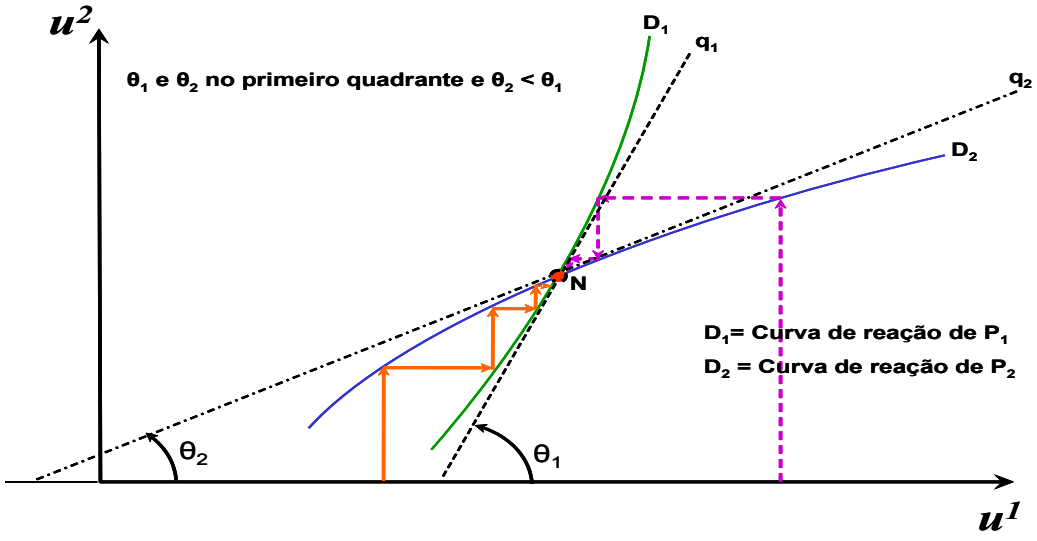


Figura 3.22: Ponto de equilíbrio **N** estável, em um jogo de Nash, com θ_1 e θ_2 no 1º quadrante

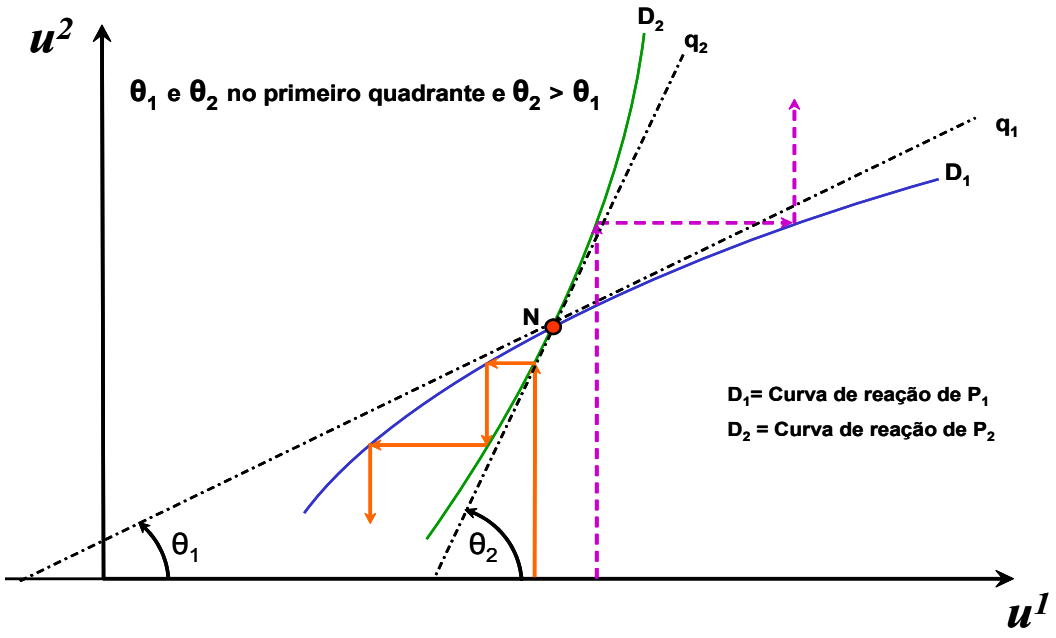


Figura 3.23: Ponto de equilíbrio **N** não-estável, em um jogo de Nash, com θ_1 e θ_2 no 1º quadrante

Para se determinar geometricamente se um ponto de equilíbrio de Nash é estável ou não [23], tracemos as tangentes $\mathbf{q_1}$ e $\mathbf{q_2}$ às curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ no ponto **N**, respectivamente, e encontremos os ângulos de inclinação θ_1 e θ_2 das tangentes $\mathbf{q_1}$ e $\mathbf{q_2}$ em relação ao eixo horizontal do plano (u_1, u_2), tomando apenas as determinações nos 1º e 2º quadrantes.

Quatro casos podem ser enumerados em relação aos ângulos θ_1 e θ_2, descritos a seguir:

(a) Se θ_1 e θ_2 estiverem ambos no 1º quadrante:

O ponto de Nash será estável se $\theta_2 < \theta_1$, como se ilustra na Figura 3.22, e será não-estável se $\theta_2 > \theta_1$, como se ilustra na Figura 3.23.

Caso $\theta_2 = \theta_1$, as curvas D_1 e D_2 são tangentes entre si no ponto **N**.

Neste caso, a questão da estabilidade ou não-estabilidade do ponto **N** vai depender das diferenças entre as *curvaturas* de $\mathbf{D_1}$ e de $\mathbf{D_2}$ nas vizinhanças à esquerda e à direita do ponto **N**, dependendo, portanto, de derivadas de mais alta ordem de cada uma delas no ponto **N.** Neste caso muito particular, mostra-se ilustrativamente na Figura 3.26, que, caso $\mathbf{D_1}$ seja tangente a $\mathbf{D_2}$ no ponto **N,** o ponto **N** será estável, se:

- A curvatura de $\mathbf{D_2}$ na vizinhança à direita de **N** for maior que a curvatura de $\mathbf{D_1}$ na mesma região, e se

[23] Neste capítulo, tratamos apenas de estabilidade local. A questão da existência da *estabilidade global* não será discutida no escopo deste trabalho.

- A curvatura de $\mathbf{D_1}$ na vizinhança à esquerda de **N** for maior que a curvatura de $\mathbf{D_2}$ na mesma região.

(b) Se θ_1 e θ_2 estiverem ambos no 2º quadrante:

O ponto de Nash será estável se $\theta_2 > \theta_1$, e não-estável se $\theta_2 < \theta_1$.

Se $\theta_2 = \theta_1$, este caso poderá ser tratado analogamente ao caso anterior.

(c) Se θ_1 estiver no 1º quadrante e θ_2 no 2º quadrante:

O ponto de Nash será estável se $\theta_1 + \theta_2 > \pi$, e não-estável se $\theta_1 + \theta_2 < \pi$.

Caso $\theta_1 + \theta_2 = \pi$, qualquer desvio em relação ao ponto de Nash por qualquer dos jogadores resultará em uma seqüência recorrente de lances que nem converge para **N** nem diverge de **N**, formando um *ciclo-limite*, que pode ser estacionário ou não.

(b) Se θ_1 estiver no 2º quadrante e θ_2 no 1º quadrante:

O ponto de Nash será estável se $\theta_1 + \theta_2 < \pi$, como se ilustra na Figura 3.23, e não-estável se $\theta_1 + \theta_2 > \pi$, como se ilustra na Figura 3.24.

Igualmente, o caso onde $\theta_1 + \theta_2 = \pi$, teria um tratamento

semelhante ao caso anterior.

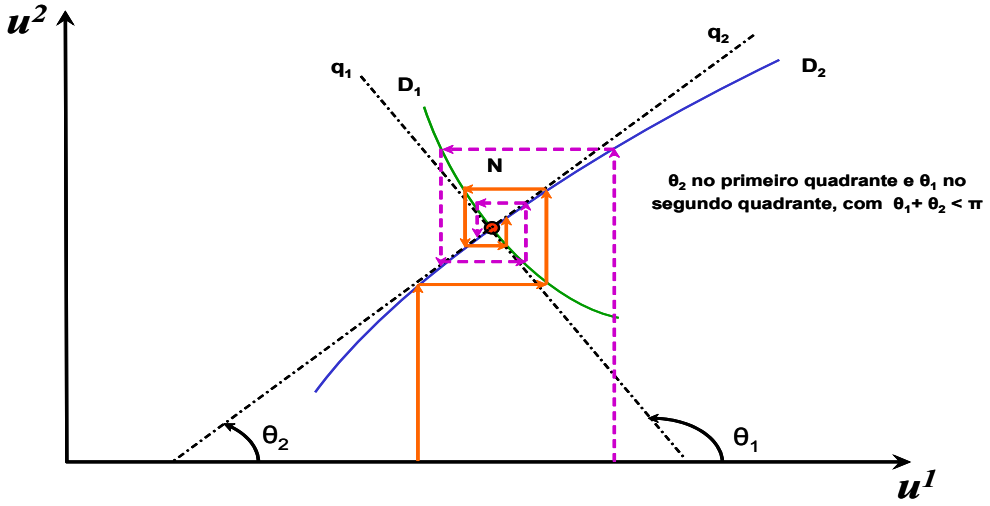


Figura 3.24: Ponto de equilíbrio **N**, estável, em um jogo de Nash com θ_1 no 2º quadrante e θ_2 no 1º quadrante

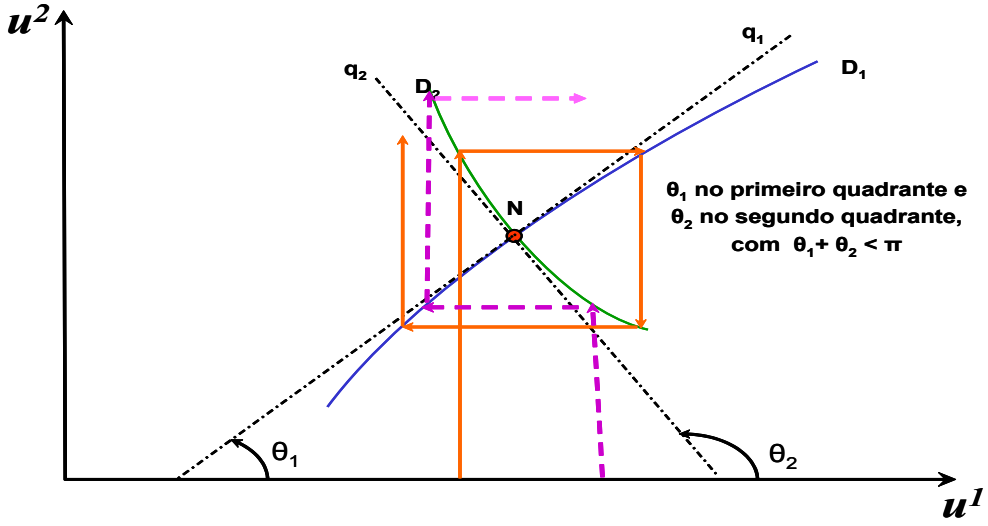


Figura 3.25: Ponto de equilíbrio **N,** não-estável, em um jogo de Nash, com θ_1 no 1º quadrante e θ_2 no 2º quadrante

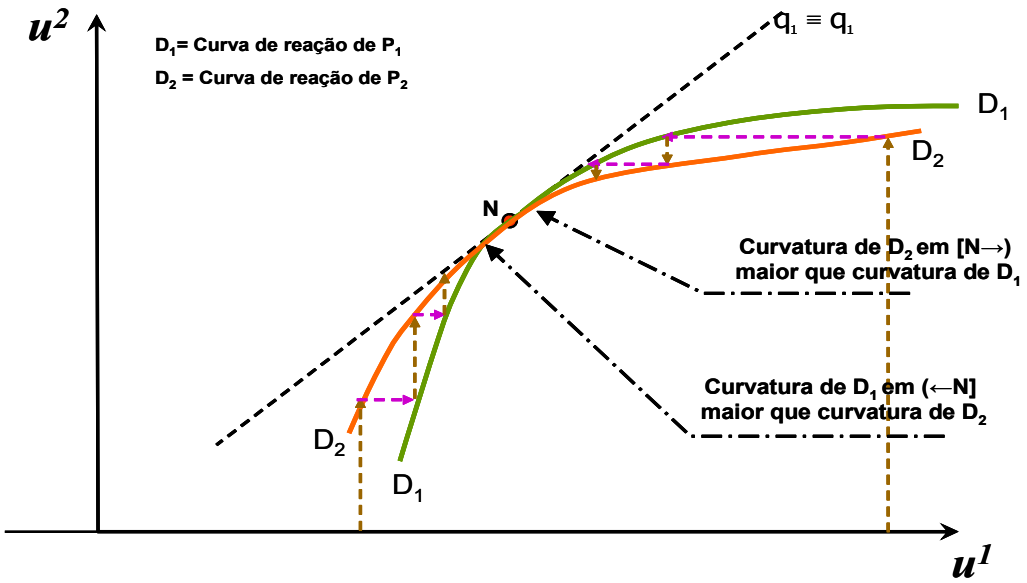


Figura 3.26: Ponto de equilíbrio **N,** estável, em um jogo de Nash, com $\theta_1 = \theta_2$

3.5.2 Teorema de Koenigs aplicado à estabilidade do equilíbrio de Nash

Aqui fazemos um tratamento mais rigoroso e formal da questão da estabilidade do ponto de equilíbrio pela aplicação do teorema de Koenigs (Andronov, Vitt, Khaikin [12], Bottura [54], Koenigs [162][163]), pelo qual, a condição de estabilidade do ponto de Nash é dada por

$$\left|\frac{dX_{m+1}}{dX_m}\right| < 1$$

onde $\{X_m\}$ é uma seqüência de valores de uma variável discreta em ***m*** associada ao processo iterativo cuja estabilidade se pretende avaliar.

Seja um jogo de Nash como descrito anteriormente, com as curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ para os jogadores P_1 e P_2, respectivamente, que se cruzam no ponto **N**, que é o ponto de equilíbrio de Nash, como já

mostrado.

Sejam $\mathbf{q_1}$ e $\mathbf{q_2}$, as duas tangentes às curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ no ponto **N**, respectivamente.

Chamemos X_m a $m^{\underline{ésima}}$ decisão interativa do jogador P_1, numa hipotética seqüência de decisões reativas alternadas entre P_1 e P_2, como descrito anteriormente.

Sem perda de generalidade, poderemos tomar as tangentes $\mathbf{q_1}$ e $\mathbf{q_2}$ como boas aproximações lineares das curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$, respectivamente, nas vizinhanças do ponto **N** para o qual estamos investigando as condições de estabilidade, conforme ilustrado na Figura 3.27.

Partindo de uma decisão X_m qualquer, de P_1, nas vizinhanças de $u^{N,1}$, coordenada de **N** no eixo u^1, calcula-se $X_{m+1} = f(X_m)$ que é a lei de recorrência de X_m, e, a partir daí, calcula-se $\left|\frac{dX_{m+1}}{dX_m}\right|$, valor sobre o qual se pode aplicar a condição estabelecida pelo teorema de Koenigs.

Chamemos Y_m à decisão u^2 do jogador P_2, como a reação a uma decisão X_m de P_1. Pela aproximação linear assumida, a decisão Y_m pode ser calculada como um ponto da reta tangente $\mathbf{q_2}$.

Seja X_{m+1} a decisão que o jogador P_1 tomaria como reação a uma decisão W_m do jogador P_2, também calculada, por aproximação linear, sobre a tangente $\mathbf{q_1}$.

Sejam $$Y_m = bX_m + K_2 \qquad (3.1)$$

a equação da reta tangente $\mathbf{q_2}$, e

$$W_m = a X_{m+1} + K_1 \qquad (3.2)$$

a equação da reta tangente **q_1**.

Portanto:

(a) Partindo de uma decisão X_m genérica, como a $m^{\text{ésima}}$ decisão de P_1, neste processo iterativo de reações em seqüência, calculemos Y_m, a decisão de P_2, usando a equação (3.1);

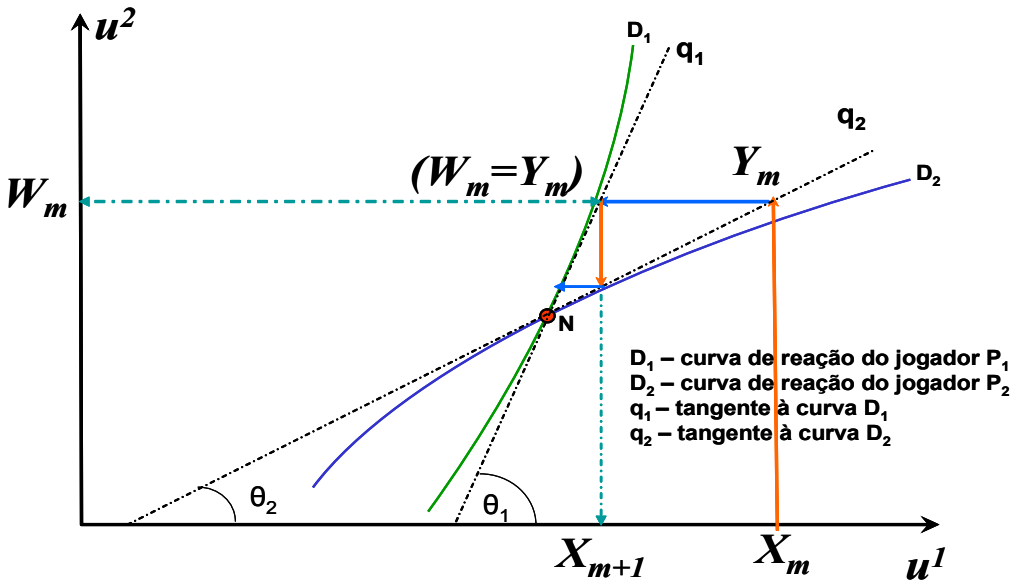


Figura 3.27: Construção de uma seqüência de decisões reativas alternadas recorrentes em um jogo de Nash, sobre as tangentes **q_1** e **q_2** para aplicação do Teorema de Koenigs

(b) Façamos agora o jogador P_2 tomar a decisão $W_m = Y_m$ e, a partir daí, calculemos X_{m+1}:

(c) Ora, partindo-se da equação (3.2), obtém-se

$$X_{m+1} = \frac{W_m - K_1}{a} \qquad (3.3)$$

(d) Substituindo-se W_m por Y_m, em (3.3), teremos:

$$X_{m+1} = \frac{Y_m - K_1}{a} = \frac{(bX_m + K_2) - K_1}{a} = \frac{b}{a}X_m + \frac{K_2 - K_1}{a}$$

(e) Derivando-se X_{m+1} em relação a X_m, obtemos:

$$\frac{dX_{m+1}}{dX_m} = \frac{b}{a}$$

(f) Daí, a condição de estabilidade pelo Teorema de Koenigs, para o ponto **N** é dada por:

$$\left|\frac{dX_{m+1}}{dX_m}\right| = \left|\frac{b}{a}\right| < 1$$

Como a é a inclinação da tangente $\mathbf{q_1}$, com ângulo de tangência θ_1 em relação ao eixo u^1, e b é a inclinação da tangente $\mathbf{q_2}$, com ângulo de tangência θ_2, teremos que a condição de estabilidade para o ponto de equilíbrio de Nash, N, é dada por

$$\left|\frac{tg\theta_2}{tg\theta_1}\right| < 1$$

É fácil verificar que as quatro condições estabelecidas no início deste tópico, considerando-se as posições dos ângulos θ_1 e θ_2 em relação aos 1º e 2º quadrantes, podem ser, todas elas, substituídas pela relação acima, mais geral (e mais simples).

Utilizemos agora os elementos da Figura 3.27 para estudar o caso limite para o qual $\left|\frac{tg\theta_2}{tg\theta_1}\right| = 1$

A Figura 3.27 ilustra uma situação onde $\theta_1 = (\pi - \theta_2)$, na qual a condição acima é satisfeita.

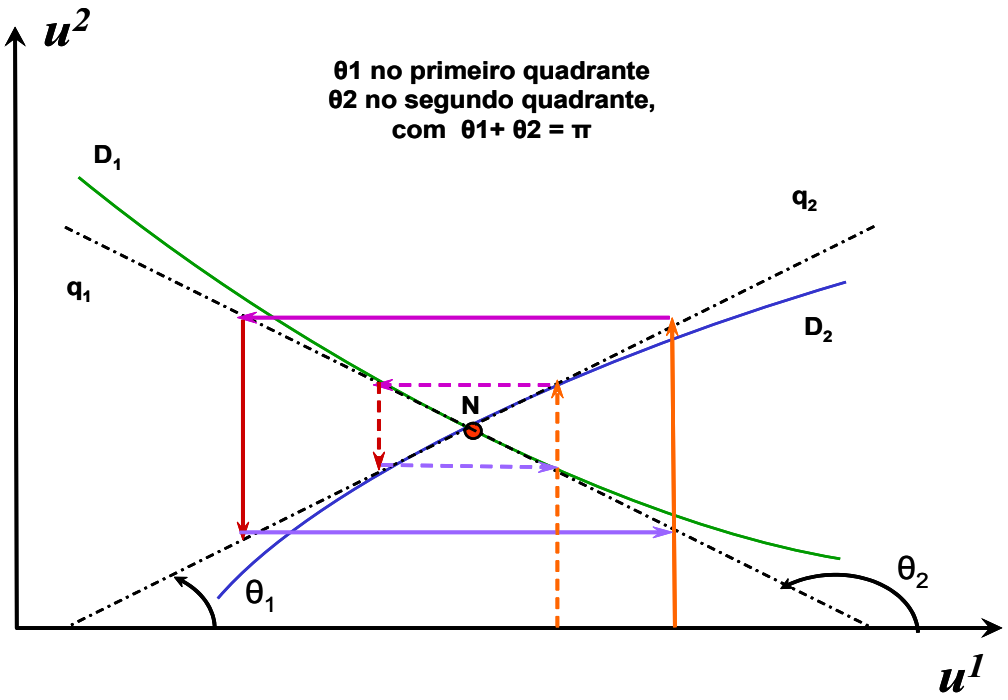


Figura 3.28: Ponto de equilíbrio **N** estável, em um jogo de Nash, como um caso-limite com a formação de *ciclo-limite*

Neste caso, a seqüência de decisões alternadas recorrentes se repete sempre, com os mesmos valores usados ao início de cada ciclo, resultando no que se chama um *ciclo-limite*. Nestas situações, pode-se dizer que tal jogo, não é estável, pois seus ciclos não convergem para **N**; por outro lado, o mesmo jogo não é instável, pois seus ciclos não

divergem de **N**. Tais ciclos, nessas condições, são chamados de ciclos-limite.

3.5.3 Ciclos-limite estacionários para jogos de Nash

Para a construção dos ciclos-limites da Figura 3.28, utilizamos, por simplicidade, como uma hipótese de aproximação linear, as reações dos jogadores pelas tangentes $\mathbf{q_1}$ e $\mathbf{q_2}$, em vez das reais curvas de reação $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$. Entretanto, como no caso geral $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ são curvas, e não retas, ciclos-limite estacionários também poderão ocorrer nestas situações, como descrito a seguir:

Tomemos um jogo de Nash com curvas de reação peculiares, $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$, com formatos específicos, como mostrado na Figura 3.28.

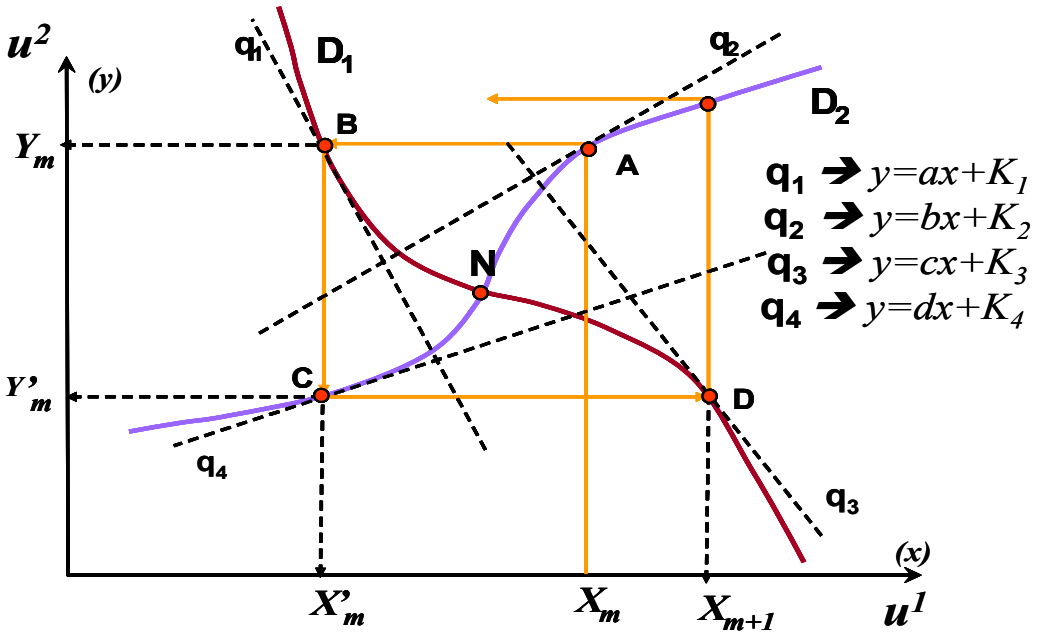


Figura 3.29: Construção de uma seqüência de decisões reativas alternadas, em um jogo de Nash, sobre as tangentes $\mathbf{q_1}$, $\mathbf{q_2}$, $\mathbf{q_3}$, $\mathbf{q_4}$, para aplicação do Teorema de Koenigs

Investiguemos, agora, as condições necessárias para a existência de *ciclos-limite estacionários*.

Diz-se que um ciclo-limite é estacionário se perturbações tomadas para pontos no seu interior geram ciclos *divergentes* de **N**, e se perturbações tomadas para pontos no seu exterior geram ciclos *convergentes* a **N**.

A aplicação do teorema de Koenigs para determinação de *ciclo-limite* é obtida através da construção de uma seqüência

$$\{..., X_m, Y_m, X'_m, Y'_m, X_{m+1}, ...\}$$

onde $X_m, X'_m, X_{m+1}, ...$ são decisões reativas tomadas pelo jogador P_1 sobre a curva de reação $\mathbf{D_1}$, e Y_m e Y'_m , … são decisões reativas tomadas pelo jogador P_2, sobre a curva de reação $\mathbf{D_2}$, conforme mostrado na Figura 3.29.

O que se busca é construir uma relação $X_{m+1} = f(X_m)$ para o cálculo da derivada de X_{m+1} em relação a X_m.

Tomemos a seqüência de pontos **A**, **B**, **C**, **D**, **...** com as seguintes coordenadas:

A = (X_m, Y_m) **,** **B =** (X'_m, Y_m) **,** **C =** (X'_m, Y'_m) **,** **D=** (X_{m+1}, Y'_m)

As equações das retas $\mathbf{q_1}$, $\mathbf{q_3}$ tangentes a $\mathbf{D_1}$ nos pontos **B** e **D**, respectivamente, e as retas $\mathbf{q_2}$ e $\mathbf{q_4}$ tangentes a $\mathbf{D_2}$ nos pontos **A** e **C**, respectivamente, são:

A reta $\mathbf{q_2}$ tangente a $\mathbf{D_2}$ no ponto **A** é dada por:

$$y = bx + K_2 \rightarrow \quad Y_m = bX_m + K_2$$

A reta $\mathbf{q_1}$ tangente a $\mathbf{D_1}$ no ponto **B** é dada por:

$$y = ax + K_1 \rightarrow \quad Y_m = aX'_m + K_1$$

A reta $\mathbf{q_4}$ tangente a $\mathbf{D_2}$ no ponto **C** é dada por:

$$y = dx + K_4 \rightarrow \quad Y'_m = dX'_m + K_4$$

A reta $\mathbf{q_3}$ tangente a $\mathbf{D_1}$ no ponto **D** é dada por:

$$y = cx + K_3 \rightarrow \quad Y'_m = cX_{m+1} + K_3$$

Desenvolvendo-se essas quatro equações a partir de X_{m+1}, obtém-se:

$$X_{m+1} = \frac{Y'_m - K_3}{c} = \frac{(dX'_m + K_4) - K_3}{c} = \ldots = \ldots$$

$$\therefore \quad X_{m+1} = \frac{bd}{ac} X_m + \frac{d(K_2 - K_1)}{ac} + \frac{(K_4 - K_3)}{c}$$

Derivando-se X_{m+1} em relação a X_m, temos:

$$\frac{dX_{m+1}}{dX_m} = \frac{bd}{ac} = \frac{tg\theta_2 . tg\theta_4}{tg\theta_1 . tg\theta_3}$$

onde $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ são, respectivamente, os ângulos de inclinação das tangentes $\mathbf{q_1}$, $\mathbf{q_2}$, $\mathbf{q_3}$, $\mathbf{q_4}$ em relação ao eixo u^1.

Aplicando-se o teorema de Koenigs, temos três condições possíveis:

(a) Se $\left| \frac{tg\theta_2 . tg\theta_4}{tg\theta_1 . tg\theta_3} \right| = 1$,

os pontos **A**, **B**, **C**, **D** constituem um ciclo limite, ***CL***;

(b) Se $\left| \frac{tg\theta_2 . tg\theta_4}{tg\theta_1 . tg\theta_3} \right| < 1$,

os pontos **A**, **B**, **C**, **D** descrevem uma seqüência convergente a **N**.

(c) Se $\left|\frac{tg\theta_2.tg\theta_4}{tg\theta_1.tg\theta_3}\right| > 1$,

os pontos **A**, **B**, **C**, **D** descrevem uma seqüência divergente de **N**.

Então, o ciclo-limite ***CL*** será um *ciclo-limite estacionário*, como mostrado na Figura 3.30, se as duas condições abaixo forem verificadas:

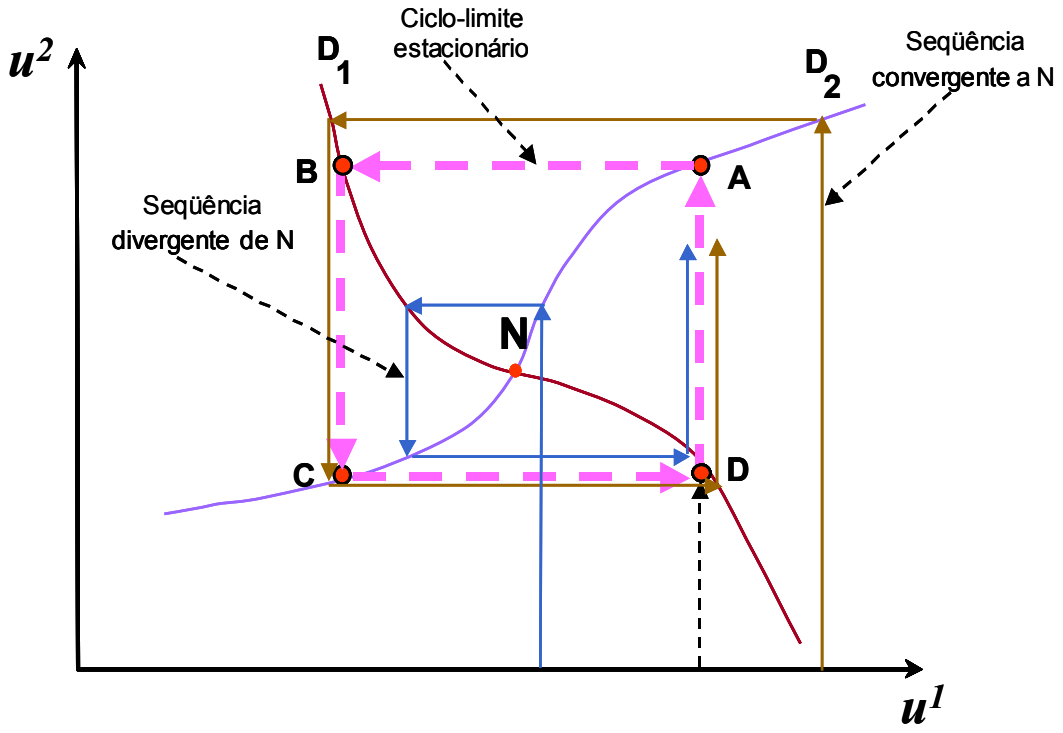


Figura 3:30: C*iclo-limite estacionário,* no retângulo **ABCD**, para seqüências de decisões recorrentes reativas alternadas, em um jogo de Nash

(a) Para todos os pontos das curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ internos ao ciclo ***CL***,

$$\left|\frac{tg\theta_2.tg\theta_4}{tg\theta_1.tg\theta_3}\right| > 1$$

(b) Para todos os pontos das curvas $\mathbf{D_1}$ e $\mathbf{D_2}$ externos ao ciclo ***CL***,

$$\left|\frac{tg\theta_2.tg\theta_4}{tg\theta_1.tg\theta_3}\right| < 1$$

Entretanto, caso o *ciclo-limite* exista, mas a condição (a) e/ou a condição (b) não se sustentem, teremos um *ciclo-limite não-estacionário*. Neste caso, poderemos ter dois tipos de "atratores" para a seqüência de jogo interativo: Um deles é o próprio ponto N, para qualquer ponto partindo do interior do retângulo **ABCD**, e um outro será uma condição de ponto impróprio, afastando-se indefinidamente do retângulo **ABCD**, para qualquer ponto partindo do exterior do retângulo **ABCD**.

3.5.4 Curvas de reação e ponto de equilíbrio em um duopólio de Cournot

Seja um jogo não-cooperativo com dois únicos jogadores, $\boldsymbol{P_1}$ e $\boldsymbol{P_2}$, representados por dois dirigentes de duas empresas industriais que disputam o mesmo mercado para uma mesma *commodity*, oferecendo, ambas, um mesmo produto, indiferenciado. Neste tipo de mercado, chamado *duopólio*, cada empresa deveria levar em conta, em suas decisões, as possíveis decisões do seu concorrente, para decidir seu nível de produção. [25]

[25] Este jogo proposto e resolvido de forma pioneira por Cournot [101], em 1838, pode ser considerado um caso particular de um jogo de Nash.

Se a empresa P_1 produz uma quantidade u^1 e a empresa P_2 produz u^2, é razoável supor que o preço resultante p seja função da quantidade total ofertada, $(u^1 + u^2)$ (Cournot [101]). De fato, pela lei da oferta e da procura, aumentando-se a oferta total, $(u^1 + u^2)$, é de se esperar que o preço p tenda a cair. Seja, portanto, $p = p(u^1 + u^2)$ a função do preço com a quantidade total oferecida.

Suponhamos, também, que as funções custo de cada empresa sejam dadas por $c_1(u^1)$, para P_1, e $c_2(u^2)$, para P_2.

O lucro de cada empresa será dado por:

$$l_i = l_i(u^1, u^2) = u^i p(u^1+u^2) - c_i(u^i), \quad \text{para } i=1,2$$

E a condição de maximização de lucro para cada empresa é dada por:

$$\frac{\partial l_i}{\partial u^i} = u^i \frac{\partial p}{\partial u^i}(u^1+u^2) + p(u^1+u^2) - \frac{\partial c_i}{\partial u^i}(u^i) = 0$$

Porém, esta condição, para uma empresa, depende do nível de produção da outra empresa, desconhecido, por hipótese, pela empresa em questão.

O modelo de Cournot baseia-se na hipótese de que cada empresa P_i seleciona o seu nível de produção u^i visando maximizar seu próprio lucro, usando alguma estimativa do nível de produção de sua competidora.

Cournot definiu uma *função de reação* para cada empresa P_i como sendo a solução explícita para u^i em termos das condições de ótimo de primeira ordem das equações acima.

Supondo que cada empresa P_i calcule o seu nível de produção através de uma estimativa do nível de produção de sua competidora, e, que à falta de outra informação, utilize, para tal, o nível de produção de tal competidora no período anterior, ter-se-ia a seguinte seqüência de

decisões:

Se $\overline{u}_0^2 = u_0^2$, então a decisão escolhida pela empresa P_1 seria

$$\overline{u}_1^1 = u_1^1(u_0^2) = u_1^1$$

A empresa P_2, por sua vez, reagiria a isto escolhendo

$$u_1^2 = \overline{u}_1^2(u_1^1) = u_1^2 \text{, e assim sucessivamente.}$$

O que se investiga, neste problema, é achar sob que condições este processo convergiria para a solução simultânea das duas equações acima. Este ponto, se existir, é 'o *ponto de equilíbrio de Cournot*'.

Para tanto, façamos um exemplo numérico ilustrativo:

(a) Sejam p_k o preço do produto no estágio k, e d_k a demanda total no estágio k, dados, respectivamente, por:

$$d_k = 200 - 2p_k \quad \text{e}$$

$$p_k = 100 - \frac{1}{2}(u_k^1 + u_k^2)$$

(b) Sejam c_k^1 e c_k^2 os custos para P_1 e P_2, dados, respectivamente, por:

$$c_k^1 = 5(u_k^1)$$

$$c_k^2 = \frac{1}{2}(u_k^2).$$

Suponhamos, ainda, que as duas empresas conheçam a curva de demanda total, mas que cada uma conheça apenas a sua própria curva de custo.

Pelo modelo de Cournot, cada empresa vai selecionar sua quantidade de produção para maximizar seu próprio lucro usando alguma estimativa da produção de sua competidora. Supondo que cada empresa estime a produção de sua competidora usando a quantidade por ela produzida no estágio imediatamente anterior, obteremos as curvas de reação de cada jogador através do seguinte desenvolvimento:

Sejam l_k^1 e l_k^2 os lucros das empresas P_1 e P_2, no estágio k, respectivamente. Como o lucro é obtido pelo resultado da subtração dos custos da receita, teremos:

$$l_k^1 = (u_k^1 p_k) - 5(u_k^1) = u_k^1(100 - \frac{u_k^1 + \hat{u}_k^2}{2}) - 5(u_k^1) =$$

$$= 9(u_k^1 - \frac{(u_k^1)^2 - u_k^1 \hat{u}_k^2}{2})$$

Derivando e igualando a zero, teremos:

$$\frac{\partial l_k^1}{\partial u_k^1} = 95 - u_k^1 - \frac{\hat{u}_k^2}{2} = 0$$

Substituindo-se $\hat{u}_k^2$ por u_{k-1}^2, temos $u_k^1 = 95 - \frac{u_{k-1}^2}{2}$ e

substituindo-se k por $k+1$, chegamos a $u_{k+1}^1 = 95 - \frac{u_k^2}{2}$

Repetindo-se o mesmo procedimento para l_k^2,

Obtemos $u_k^2 = 50 - \frac{u_{k-1}^1}{4}$,

E, trocando ***k*** por ***k+1***, chegamos a $u^2_{k+1} = 50 - \frac{u^1_k}{4}$

Para se obter o ponto de equilíbrio, ou o ponto fixo desta recorrência, resolve-se este sistema de duas equações a duas incógnitas, encontrando-se:

$$u^{C,1} = 80\,; \quad u^{C,2} = 30\,,$$

que são as coordenadas $\boldsymbol{u^1}$ e $\boldsymbol{u^2}$ do ponto de equilíbrio de Cournot.

Pelo teorema de Koenigs, este jogo terá um ponto de equilíbrio estável se $\left|\frac{dX_{m+1}}{dX_m}\right| < 1$

Construindo-se a lei de recorrência em função de $\boldsymbol{u^1}$, temos:

$$u^1_{k+1} = 95 - \frac{1}{2}u^2_k = 95 - \frac{1}{2}(50 - \frac{1}{4}u^1_k) = 70 + \frac{1}{8}u^1_k$$

Derivando-se u^1_{k+1} em relação a u^1_k, temos $\frac{du^1_{k+1}}{du^1_k} = \frac{1}{8}$

Como $\left|\frac{du^1_{k+1}}{du^1_k}\right| = \left|\frac{1}{8}\right| < 1$,

este ponto de equilíbrio de Cournot é estável.

A Figura 3.31 ilustra a solução numérica para o problema dado. Ela mostra também a existência do ponto de equilíbrio de Cournot que, neste caso, é um ponto de equilíbrio estável, pois as decisões recorrentes sequênciais convergem para ele.

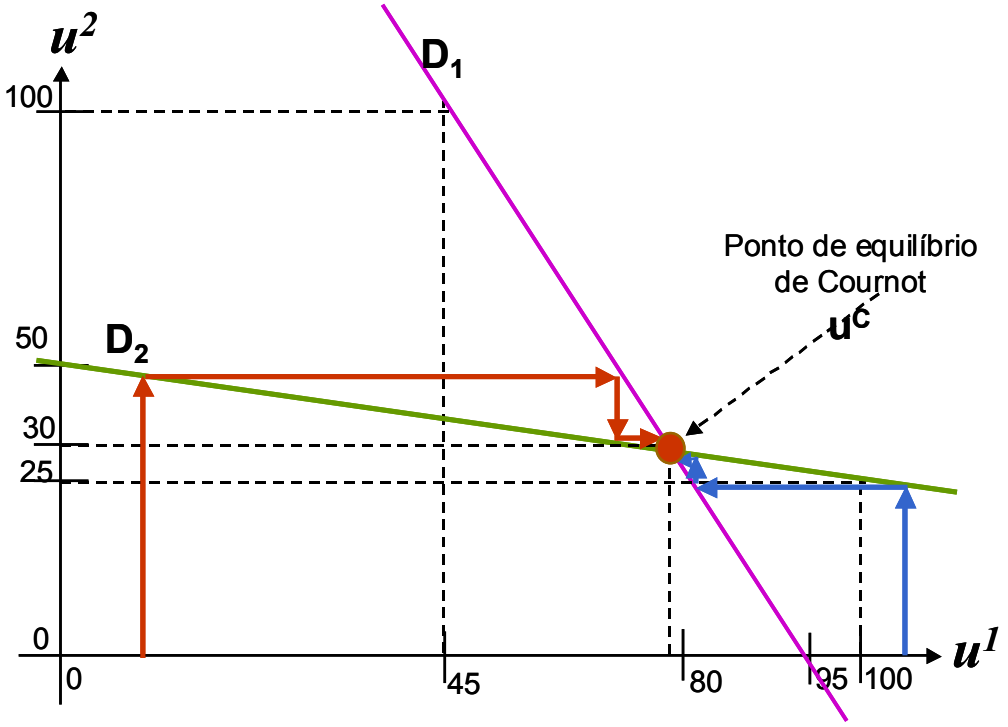


Figura 3.31: Ponto de equilíbrio u^C, estável, para um jogo de Cournot

3.5.5 A solução de Nash pode ser 'melhor' que a de Stackelberg?

Se aos dois jogadores fosse dada a oportunidade de escolher entre jogar pela estratégia de Nash, de Stackelberg como Líder, ou Stackelberg como Seguidor, que estratégias eles deveriam preferir? Quais seriam as opções que gerariam menores custos para cada um deles?

Nossas figuras podem dar a entender que jogar Stackelberg é melhor, tanto para o Líder como para o Seguidor, do que o jogo de Nash. No entanto, no caso mais geral, não há clara evidência de que os resultados de um jogo sejam sempre melhores que os do outro, ou que uma posição de Líder ou de Seguidor seja melhor que a outra.

Para tomarem tais decisões, se lhes for permitido, seria preciso que o

jogador $\boldsymbol{P_1}$ comparasse α^N, α^{S1}, e α^{S2}, e o jogador $\boldsymbol{P_2}$ comparasse β^N, β^{S1}, e β^{S2}, à busca dos menores custos para cada um deles.

Entretanto, se ambos os jogadores preferirem jogar Stackelberg como Seguidor, eles acabarão jogando Nash.

Por outro lado, se ambos preferirem jogar Stackelberg como Líder, haverá conflito de posições, e aquele que for mais rápido na tomada de decisões acabará conduzindo o jogo, colocando o outro na posição de Seguidor.

3.5.6. A solução de Pareto é sempre 'melhor' que as de Stackelberg ou de Nash?

A resposta a esta pergunta é dada pelo próprio método construtivo dos pontos de Pareto, pois já descartamos, tanto para $\boldsymbol{P_1}$ como para $\boldsymbol{P_2}$, as soluções que levem, para cada um deles, a resultados 'piores' que os que obteriam com a solução de Stackelberg na posição de Líder, obtidas sobre as respectivas curvas de reação.

Portanto, a solução de Pareto é sempre melhor ou igual à de Stackelberg.

Por outro lado, como o ponto de equilíbrio de Nash fica sobre as curvas de reação de cada um dos jogadores, ao descartarmos as soluções de Stackelberg para os dois casos, estaremos também descartando a solução de Nash em favor das de Pareto.

Assim, sempre que for possível a ambos os jogadores $\boldsymbol{P_1}$ e $\boldsymbol{P_2}$ entrarem em um acordo para procurarem, por negociação, uma solução de Pareto, eles obterão resultados melhores, ou pelo menos não inferiores, aos que teriam caso jogassem de forma não-cooperativa, tanto Nash como Stackelberg, muito menos com Minimax.

3.5.7 Considerações finais

Este capítulo forneceu uma visão introdutória geral dos seis jogos da MJE e seus respectivos pontos de equilíbrio. Ele apresentou um tratamento formal da teoria dos jogos, nos seus aspectos essenciais, sem muita ênfase no rigor matemático.

O texto aqui apresentado constitui um arcabouço para uma adequada aplicação da matemática aos problemas de modelagem dos jogos estratégicos da MJE. Nele, faz-se uma revisão parcial da matéria, com contribuições de caráter original para os jogos em casos-limite. Nele são também apresentadas definições dos seis jogos da MJE, bem como a análise dos pontos de equilíbrio para os seis jogos da matriz em *'configurações bem comportadas'.*

Tal estudo da MJE permite viabilizar a realização dos objetivos principais desta tese, ao contribuir para a modelagem de sistemas hierárquicos com múltiplos agentes controladores e sua aplicação em análise e projeto desses sistemas em situações de conflito de interesses, como mostrado no Capitulo 4.

Serve também como base conceitual para a elaboração de experimentos de propósito pedagógico através de jogos de empresa via computador, como descrito no Capítulo 5.

Capítulo 4

Controle em Sistemas Hierárquicos Multiagentes via MJE

Apresentação

Este capítulo apresenta um arcabouço para modelagem de controle de sistemas com múltiplos agentes, inspirado na teoria dos jogos, onde cada agente autônomo opera como um jogador em situações de conflitos de interesses.

Jogos hierárquicos compõem uma grande família de jogos dinâmicos complexos, onde vários subjogos são combinados de forma a estruturar um 'metajogo', [1] representando um problema de controle multiagente e multinível (Ackoff [1], Billard & Lakshmivarahan [44], Sandberg [231], Simon [244], Weiss [270], Wooldridge [278], Zhou, Billard and Lakshmivarahan [282]).

A análise de problemas de controle de sistemas com múltiplos agentes, bem como o projeto de soluções para esses problemas, estão recebendo

[1] Entende-se como 'metajogo' uma coleção estruturada de subjogos inter-relacionados onde cada um deles representa uma situação de conflito de interesses entre dois jogadores (ou dois tipos de jogadores), atuando como agentes autônomos em sistemas complexos.

atenção crescente.

As aplicações típicas de controle multiagente incluem: coordenação e controle de robôs móveis, *clusters* de satélites, rodovias automatizadas, veículos aéreos não tripulados (UAV – *unmanned aerial vehicles*) inteligência artificial distribuída, e planejamento estratégico de forma geral, entre outros.

Uma grande diversidade de problemas de coordenação e de controle multiagente tem sido tratados recentemente (Albus & Barbera [4], Gonzaga [130]). Entre eles, podemos citar: coordenação e controle de movimento de múltiplos agentes móveis (Shi, Wang, Shu [[239]), controle de congestionamento de tráfego (Alpcan & Başar [6]), controle de múltiplos robôs móveis (Shao, Xie, Yu, Wang [238]), controle de navegação para evitar colisão (Dimarogonas & Kyriakopoulus [106]), roteamento seguro em redes de comunicação (Bohacek, Hespanha and Obraczka [50]), estratégias ótimas para leilão no mercado de energia elétrica (Rahimi-Kian, Tabarraei, Sadeghi [223]), planejamento e execução de tarefas para times de UAV (Souza, Simsek, Varaiya [249]), coordenação e controle de times de autômatas (Liu, Galati, Simaan [177]), estratégias de ataque de despistamento (Castañón, Pachter, Chandler [66]), detecção de intrusão em sistemas de controle de acesso (Alpcan & Başar [7]), problemas de motivação de agentes individualistas em programas de bem estar social (Maheswaran & Başar [184]).

As formulações matemáticas usadas nesses trabalhos tratam os problemas de controle com múltiplos agentes autônomos como jogos de Nash, ou de Pareto, ou de Stackelberg, ou Minimax, ou alguma variação deles, em uma forma isolada.

Uma combinação estruturada de todas essas formulações possíveis em um mesmo arcabouço hierárquico deveria ser concebida, formulada, e sua utilidade deveria ser evidenciada. Neste capítulo é apresentado um

arcabouço integrado, considerando todos esses jogos clássicos em uma mesma estrutura analítica, avançando um passo na metodologia tradicional usada, por exemplo, nos trabalhos acima mencionados.

Nossa proposta permite construir uma nova visão de arquiteturas hierárquicas – ou não – como uma coleção estruturada de subjogos mutuamente inter-relacionados, devidamente mapeados na MJE. Cada subjogo assim estruturado descreve situações específicas de conflitos de interesses entre os agentes autônomos interativos em uma perspectiva integrada através da MJE. Desta forma, um sistema multinível com múltiplos controladores pode ser encarado como um conjunto de problemas de conflitos de interesses, devidamente representados ou representáveis na MJE.

Apresentamos também neste capítulo, de forma ilustrativa, três aplicações dos conceitos acima citados, uma voltada para a regulação de recursos hídricos, outra para a formulação de estratégias em um *cluster* de empresas em um pólo têxtil e de confecções, e outra referente a um complexo industrial formado por uma rede de empresas associadas para produção de PCs (computadores pessoais), envolvendo questões cooperativas e competitivas.

Fazem parte integrante deste capítulo os trabalhos apresentados nos Apêndices A [2] e B [3] deste documento.

---

[2] Costa, E. A. & Bottura, C. P. *A game-inspired modeling framework for multiple intelligent agents control systems – A water resources regulation problem application.* Proceedings of the 22nd IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC), Singapura, 1-3 de Outubro, 2007.

[3] Costa, E. A. & Bottura, C. P. *The Strategic Games Matrix as a framework for intelligent autonomous agents hierarchical control strategies modeling.* Proceedings of the 4th ICINCO – International Conference on Informatics in Control Automation and Robotics, Angers, França, 9-12 de Maio, 2007.

Ao final, discute-se o uso da Matriz de Jogos Estratégicos como um instrumento para orientar os jogadores a escolher melhor o jogo a jogar em cada situação de conflito de interesses.

4.1 Sistemas Hierárquicos com Múltiplos Agentes Inteligentes

4.1.1 Estruturação de um jogo hierárquico em três níveis com um coordenador

Por analogia ao tratamento dado, inicialmente, aos jogos dinâmicos hierárquicos, como apresentado em 3.2.4, que modelou um sistema hierárquico em dois níveis através de um processo de segmentação, podemos também criar novos jogos hierárquicos em três ou mais níveis, através de convenientes e sucessivos processos de segmentação dos módulos-empresa e/ou do módulo coordenador, ou outros, como pode ser visto na Figura 4.1, como uma extensão dos modelos apresentados nas Figuras 3.3 e 3.4. Cada empresa pode ser modelada, por exemplo, como composta de Unidades Gerenciais, representando as principais áreas funcionais, gerenciais, ou operacionais da companhia.

Neste sentido, cada unidade gerencial também age como um jogador autônomo, e tem sua equação de transição de estado, estratégias e função objetivo. Cada empresa, por sua vez, têm uma coordenação, no nível da direção geral da empresa, chamada de Subsistema Coordenador da Companhia, que se encarrega de conciliar os conflitos de interesses entre as unidades gerenciais que lhe são subordinadas.

4.1.2 Estruturação de um jogo hierárquico em três níveis com dois coordenadores

De forma análoga, o nível superior do jogo acima pode ser, por sua vez,

segmentado, substituindo-se o único coordenador de mercado, por dois coordenadores com o mesmo nível hierárquico, um como Coordenador do Mercado de Suprimentos, e outro como Coordenador do Mercado de Produtos, como pode ser visto na Figura 4.2.

4.1.3 Uma metodologia para estruturação de sistemas hierárquicos

Seja um sistema hierárquico complexo existente, com múltiplos agentes-gestores – jogadores – para o qual se pretende formular estratégias competitivas e cooperativas.

Uma metodologia aqui apresentada, fundamentada nos princípios e conceitos da MJE, descritos no Capítulo 2 e formalizados no Capítulo 3 (Costa & Bottura [80][81][82][83][84][85]), é descrita e aplicada a seguir. Os passos da metodologia são descritos em quatro estágios:

Primeiro estágio – Análise do sistema como um jogo

Neste primeiro estágio, procura-se entender e descrever o sistema como um todo, seus propósitos e quais são os agentes decisores – os jogadores – envolvidos, através dos seguintes passos:

(a) Descrever os principais interesses envolvidos e os objetivos de cada jogador;

(b) Identificar os principais conflitos de interesses entre jogadores ou grupos de jogadores;

(c) Identificar eventuais situações de supremacia – ou de subordinação – entre os jogadores, o que sugere a possibilidades de estruturas hierárquicas;

(d) Desenhar uma representação esquemática do sistema como um jogo, indicando as linhas de hierarquia, como nas Figuras 4.1 e 4.2.

Segundo estágio – Levantamento dos subjogos

(f) Procurar, identificar e designar os eventuais subgrupos de jogadores que têm algum interesse em comum, ou, alternativamente, que têm algum particular conflito de interesses a ser conciliado de alguma forma;

(g) Procurar, identificar e descrever os subjogos do jogo.

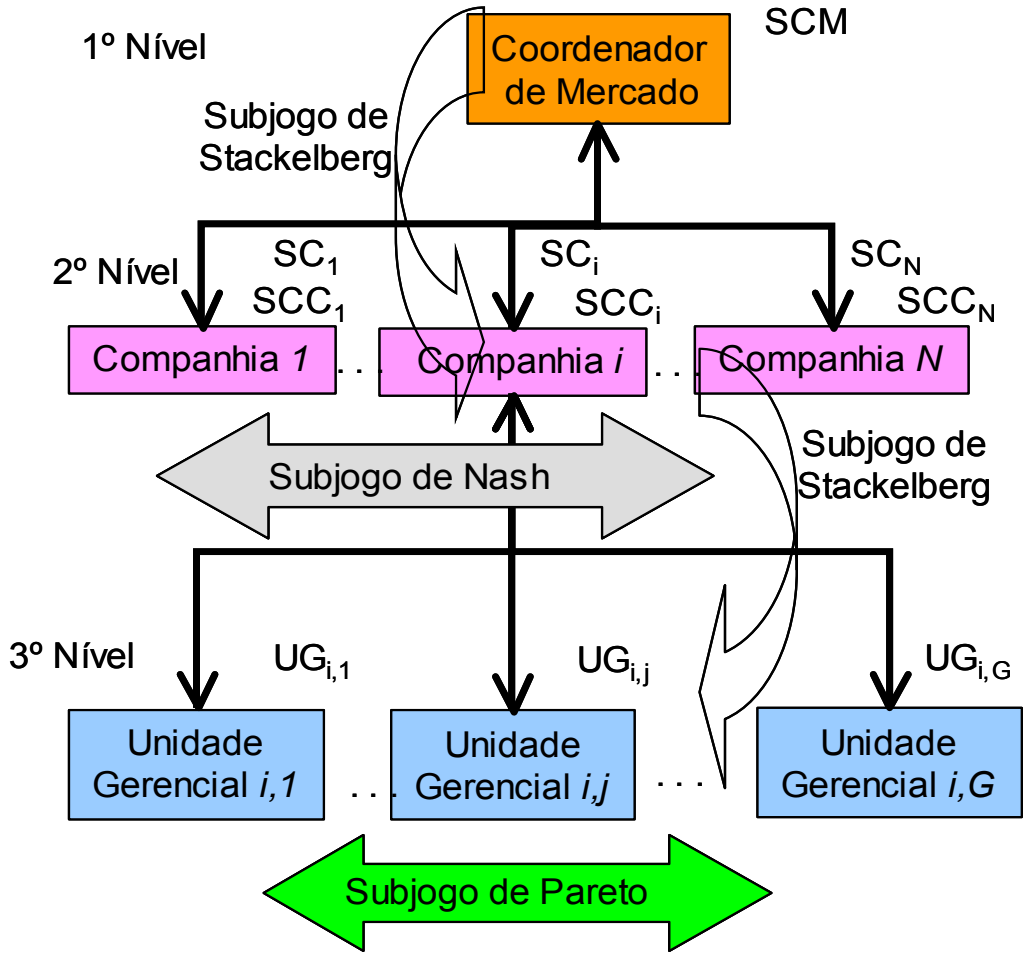


Figura 4.1: Aplicação de jogos clássicos da MJE a uma estrutura hierárquica em três níveis com um Coordenador

Terceiro estágio – Avaliação dos posicionamentos estratégicos

Através de cuidadosa interpretação dos dados e outras fontes de informação disponíveis, avaliar o posicionamento estratégico em cada subjogo:

(h) Classificar as posturas típicas de cada jogador em cada subjogo, como sendo associativa, ou individualista, ou rival;

(i) Idem, para os pressupostos de relação-de-forças, como sendo Forte, ou Equilibrado, ou Fraco;

(j) Com os resultados destas avaliações, identificar a qual das células da MJE mais se ajusta o posicionamento estratégico avaliado para cada jogador;

Quarto estágio – Mapeamento da estrutura do jogo

A análise final resultante é mapeada para apoiar a formulação das estratégias dos jogadores:

(k) Mapear, na representação esquemática mencionada no primeiro estágio, o subjogo estratégico mais indicado para cada jogador, em cada subjogo;

(l) Aplicar, a cada jogador, em cada subjogo, a respectiva estratégia de equilíbrio indicada por (j), conforme tratado extensivamente no Capítulo 3.

É importante notar que, nesse tipo de estrutura complexa, um dado jogador pode estar atuando como um decisor estratégico em vários subjogos, concomitantemente, dependendo da estrutura do jogo. Assim, com muita freqüência, o mesmo jogador pode estar enfrentando conflitos de interesses 'internos', ou seja, entre os vários subjogos dos quais

participa, resultando várias estratégias de equilíbrio – conflitantes entre si – que deveria adotar em cada subjogo.

Caso isto ocorra, este jogador deve resolver um problema de otimização multicritério, considerando o conjunto das várias estratégias envolvidas em cada um dos subjogos dos quais participa, com os respectivos pesos de importância, ou relevância, relativos a cada subjogo.

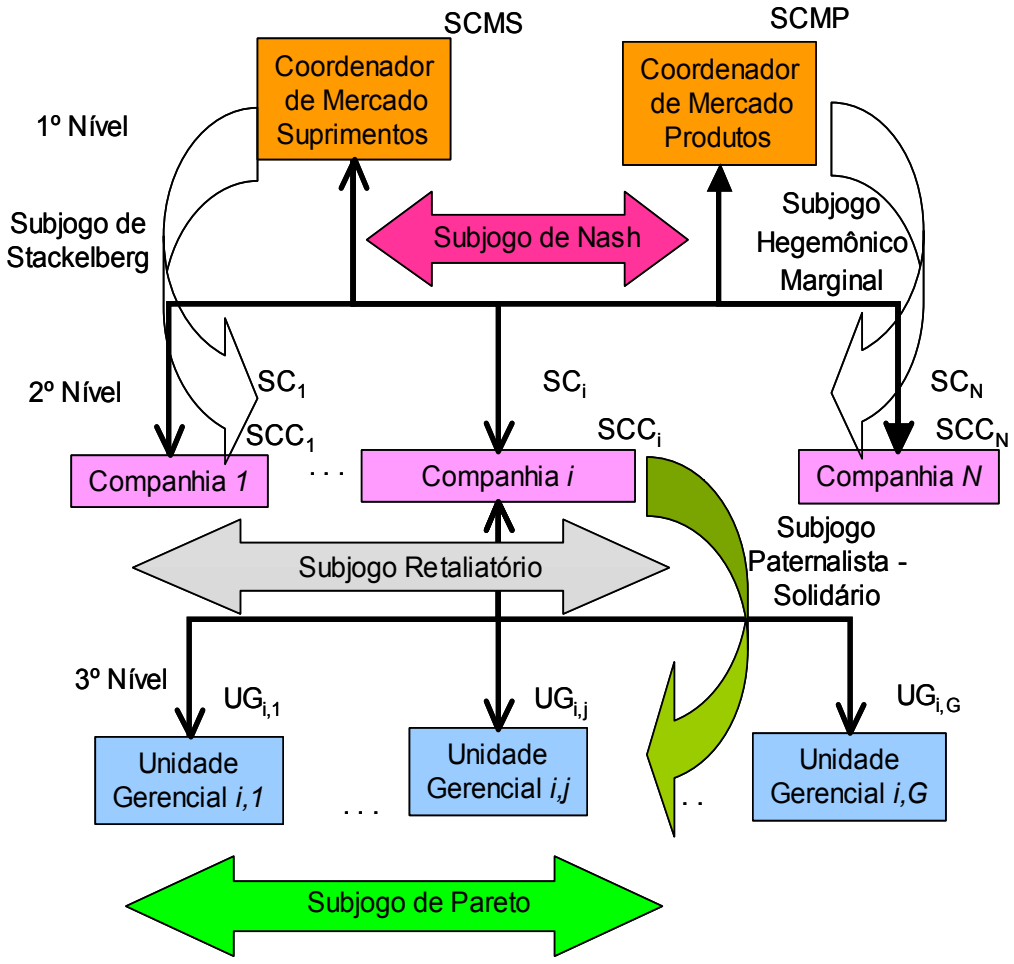


Figura 4.2: Aplicação dos seis jogos da MJE em uma estrutura hierárquica em três níveis, com dois Coordenadores

4.2. Aplicação da Metodologia da MJE para Estruturação de Sistemas

4.2.1 Estruturas hierárquicas em três níveis com um coordenador

Suponhamos um ambiente negocial com múltiplos decisores/jogadores, com uma estrutura hierárquica em três níveis, e com um único coordenador de mercado, como mostrado na Figura 4.1. Aplicando-se a metodologia apresentada no tópico 4.1.3, temos os seguintes resultados:

Primeiro Estágio

Para este estágio, os resultados já estão apresentados na Figura 4.1.

Segundo Estágio

Os quatro subjogos identificados são: $\{SC_1,\ldots, SC_i, \ldots, SC_N\}$ e $\{UG_{i1}, \ldots, UG_{ij},\ldots, UG_{iG}\}$, como dois subjogos – retaliatórios, ou competitivos, ou cooperativos – dependendo do posicionamento estratégico adotado pelos jogadores; e $\{SCM, SC_i\}$ e $\{SCC_i, UG_{ij}\}$ como dois subjogos de coordenação hierárquica – Hegemônico-Marginal, ou Líder-Seguidor, ou Paternalista-Solidário – dependendo da postura competitiva que for adotada pelos jogadores, se Rival, se Individualista, ou se Associativa, respectivamente.

Terceiro Estágio

A aplicação de uma ou outra estratégia de equilíbrio em um subjogo específico depende da particular situação de conflito de interesses e das posturas e pressupostos presentes em cada caso. O exemplo aplicativo que se segue serve para ilustrar os conceitos já apresentados:

(i) O subjogo competitivo entre as companhias SC_i pode ser tratado, por exemplo, como um jogo não-cooperativo de soma-variável onde os

jogadores não buscam articular suas estratégias de forma a que obtenham resultados melhores para todos, o que implica tipicamente numa estratégia de equilíbrio de Nash;

(ii) O subjogo competitivo entre as unidades gerenciais UG_{ij} da mesma empresa SC_i pode ser tratado como um jogo cooperativo de soma-variável, o que implica tipicamente numa estratégia de equilíbrio de Pareto;

(iii) O subjogo entre o Coordenador de Mercado, SCM, e cada companhia SC_i, pode ser interpretado como um jogo de coordenação hierárquica ao qual se aplicam tipicamente as estratégias de equilíbrio de Stackelberg, considerando-se o Coordenador de Mercado como Líder e as companhias como Seguidoras;

(iv) Analogamente, o subjogo entre os coordenadores de cada empresa, SCC_i, e cada uma das suas UG_{ij} pode também ser interpretado tipicamente como um jogo de coordenação hierárquica de Stackelberg, onde SCC_i faz o papel de Líder e os UG_{ij} de Seguidores.

Quarto Estágio

O mapeamento resultante do quarto estágio já está também indicado na própria Figura 4.1.

4.2.2 Encaminhamento da solução do jogo como um problema de otimização dinâmica

Considerando-se uma arquitetura de gestão estratégica, como a do jogo anterior, a melhor estratégia para todos os jogadores envolvidos deveria otimizar, simultaneamente, suas respectivas funções objetivo, de acordo com as estratégias de equilíbrio adotadas e as respectivas condições limitantes impostas pela estrutura do jogo. Para um problema estratégico como este, o objetivo é encontrar uma seqüência de decisões, para cada

jogador, que leve o sistema a um estado final desejado – ou o mais perto possível dele.

Algumas formas de resolver este tipo de problema de otimização dinâmica podem ser, por exemplo, o Princípio do Mínimo de Pontryagin, ou o Cálculo de Variações, ou a Programação Dinâmica, como em Athans & Falb [22], Başar & Olsder [35], Bellman [37], Bitmead, Gevers and Wertz [47], Bottura *et al* [55], Bryson & Ho [60], Costa Filho [77], Costa Filho & Bottura [78], Haimes & Li [132], dependendo do caso. Outras formas de resolver este tipo de problema podem ser as técnicas de computação evolucionária, como os algoritmos genéticos, como tratado em Back, Fogel & Michalevicz [25], Bottura & Fonseca Neto [53], Fonseca Neto [118], Goldberg [129].

4.2.3 Estruturas hierárquicas em três níveis com dois coordenadores

Apresentamos aqui, de forma sumarizada, uma outra aplicação ilustrativa da metodologia proposta, em uma estrutura hierárquica em três níveis agora com dois coordenadores de mercado, como uma extensão do jogo hierárquico descrito em 4.1.2. O resultado do mapeamento estrutural e as estratégias de equilíbrio aplicáveis a cada subjogo estão apresentadas na Figura 4.2. Este exemplo serve também para ilustrar que, numa situação razoavelmente simples, já podem estar presentes todas as nove posições estratégicas referentes aos seis jogos descritos no Capítulo 2.

4.2.4 Estruturas heterárquicas e outras estruturas

A mesma metodologia de análise e de formulação apresentada em 4.1.3 e aplicada 4.2.1 e 4.2.3, pode ser também aplicada a uma larga variedade de arquiteturas de sistemas, inclusive em estruturas organizacionais

heterárquicas, como as tratadas em Talukdar *et al* [255], e em Costa Filho [77], porém essas estruturas estão fora do escopo deste trabalho.

4.3 Aplicação da MJE na Regulação de Recursos Hídricos

4.3.1 Relevância do problema de regulação de recursos hídricos

A crescente escassez de recursos hídricos em vários cenários está assumindo, progressivamente, significância alarmante para formadores de políticas, empresários, líderes comunitários, e pesquisadores de diferentes áreas (Buckles & Rusnak [61], Camdessus, Badré, Chéret & Teniere-Buchot [62], Fukuyama, Kilgour & Hipel [125], Koirala [164], Rajabi, Hipel & Kilgour [224], Schouten, Fonseca & Franceys [231]), considerando-se os conflitos de interesses entre os múltiplos usuários, abrangendo relevantes aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais, envolvendo temas tão amplos e diversificados como consumo humano, irrigação, processos industriais, pesca, hidroeletricidade, turismo, transportes, preservação de flora e fauna, controle de inundação, recreação e lazer, proteção ambiental e controle de poluição (Olenik & Haimes [206]).

Historicamente, esses tipos de conflitos entre os agentes envolvidos têm sido tratados principalmente como objeto de disputas onde os agentes competem ferozmente por este recurso vital; em alguns casos, mais raros, entretanto, os agentes procuram cooperar para achar alguma solução negociável. [4]

Algumas técnicas de modelagem propostas para tratar esses problemas são descritas na literatura (Haimes, Hall & Freedman [133], Hämäläinen

[4] O caso das disputas envolvendo o projeto de transposição das águas do Rio São Francisco, em 2007, é um valioso exemplo brasileiro sempre atual.

[137], Hämäläinen, Kettunen, Marttunen & Ehtamo [139][139], Morais, & Almeida [197]).

A formulação e computação de estratégias competitivas e cooperativas em problemas como este têm se constituído em permanentes desafios para gerentes, consultores de negócios, pesquisadores e acadêmicos (Ansoff [15], Başar & Olsder [35], Brandenburger & Nalebuff [56][57], Costa Filho [77], Cruz Jr. [104], Dixit & Skeath [109], Ghemawat [126][127], Bryson & Ho [160], Lado, Boyd & Hanlon [168], Porter [214][218], Schelling [237], Williams [276], Zaccarelli [280]).

Este trabalho procura contribuir na mesma direção, propondo um quadro de referência abrangente para modelagem de estratégias de gestão multinível de recursos hídricos com múltiplos agentes autônomos, utilizando o conceito da Matriz de Jogos Estratégicos (MJE), aplicando-o a um peculiar problema de regulação do Lago Päijänne (Finlândia), originalmente descrito e tratado por Hämäläinen, Kettunen, Marttunen & Ehtamo [139]. Nossa metodologia descreve a aplicação da MJE para apoiar a formulação das estratégias competitivas e cooperativas, multiníveis e com múltiplos agentes autônomos, para a gestão da regulação da evolução da variação sazonal do nível da água do lago ao longo do ciclo anual.

O Capítulo 2 já descreveu a Matriz de Jogos Estratégicos (MJE) como uma ferramenta analítica (Costa & Bottura [80][84][88], Costa, Bottura, Boaventura & Fischmann [96][97][98][99]) para o tratamento e modelagem de jogos hierárquicos cooperativos e competitivos. A Matriz de Jogos Estratégicos, em tese, serve para descrever adequadamente tanto os jogos balanceados como os desbalanceados, envolvendo uma grande variedade de situações reais. Ela pode ser vista como uma extensão do conceito de “co-opetição” proposto por Brandenburger & Nalebuff [57].

Referências bibliográficas sobre o uso dos conceitos resultantes da teoria dos jogos para formulação e modelagem de decisões estratégicas

em situações de conflitos de interesses são abundantes (Brandenburger & Nalebuff [56], Dixit & Nalebuff [107], Dixit & Skeath [109], Luce & Raiffa [179], Oster [208], Smit & Ankun [248], von Neumann & Morgenstern [266]). Porter [215][218] também faz contribuições significativas para o uso da teoria dos jogos para formulação de estratégias competitivas.

Nossa abordagem deste problema, usando a MJE, fornece uma nova visão para sistemas multiníveis, distribuídos como uma coleção estruturada de subjogos, cada um descrevendo, dentro de uma perspectiva integrada, uma larga variedade de situações de conflitos de interesses entre agentes autônomos. Isto permite a aplicação dos conceitos e modelos da teoria dos jogos como suporte à escolha das melhores estratégias para problemas com múltiplos jogadores e múltiplas situações de conflitos de interesses, dentro de um enfoque integrado.

Desta maneira, um sistema multinível de gestão de recursos hídricos, com múltiplos agentes autônomos, pode também ser modelado como um conjunto de problemas de conflitos de interesses a serem resolvidos.

4.3.2 Um problema da regulação de recursos hídricos

A Finlândia, um dos países da Escandinávia, o sétimo em extensão entre os países europeus, com cerca de cinco milhões de habitantes e uma área de 338.000 km^2, tem 70% de sua superfície cobertos por florestas e 10% por seus 188.000 lagos, represas e rios. O rio Kimijoki, na região sul do país, correndo na direção norte-sul, é o foco desta aplicação, por se constituir em um tema estratégico de grande importância nacional, sob o ponto de vista econômico, social, político e ambiental, e sua gestão representar um problema estratégico nacional.

As principais partes do sistema rio/lagos em questão são: os três lagos, chamados Päijänne, Ruotsalainen, e Konnivesi, e o rio Kimijoki, que

interliga, em seqüência, esses lagos, e que deságua no Mar Báltico, no Golfo da Finlândia.

O Lago Päijänne, o maior deles, situa-se a 78 m acima do nível do mar, tem 140 km de extensão, na direção norte/sul, e 28 km de largura, na direção leste-oeste, com uma área de cerca de 1100 km^2, e seu papel sócio-econômico-ambiental para as cidades e regiões circunvizinhas é muito relevante para o país.

A origem histórica da busca de políticas de regulação para esta bacia hidrográfica foi um esforço para reduzir os prejuízos com inundação, provocada pelo rio e pelos lagos, e para maximizar a geração de energia elétrica rio-abaixo.

As preocupações atuais, entretanto, levam à necessidade de reavaliar a política de regulação sob um ponto de vista mais amplo, com uma perspectiva de múltiplos agentes, considerando o aumento da complexidade e os vários conflitos de interesses entre os agentes envolvidos, muito além das preocupações históricas com o suprimento de água para o consumo humano e para a geração de eletricidade: Outros fatores como irrigação, indústrias de processo, pesca, turismo, transportes hidroviários, preservação da flora e fauna, controle de inundações, recreação e lazer, proteção ambiental, e controle de poluição precisariam ser adicionados às preocupações iniciais.

O clamor público crescente sobre os impactos adversos resultantes da velha política de regulação sobre o ecossistema e outros aspectos sociais relevantes deveriam ser levados em conta em uma nova modelagem. De fato, os níveis de água nos lagos e rios, e o fluxo dos lagos para os rios têm grande variação sazonal, considerando-se o influxo crescente na primavera devido ao derretimento de neve. Em conseqüência disto, o risco de inundações nas margens do rio Kimijoki seria incontrolável se nenhuma regulação fosse aplicada.

O principal propósito de qualquer política de regulação deste sistema hídrico deveria ser, em princípio, o de armazenar nos lagos, durante boa parte do ano, o máximo volume de água possível, e, então, regular o fluxo dos lagos para o rio Kimijoki, onde estão instaladas as hidroelétricas, de tal maneira que os impactos totais para todos os agentes envolvidos fossem os 'menos piores' possíveis. Porém, o armazenamento excessivo de água poderia aumentar demasiadamente o nível das águas, o que poderia causar prejuízos a outras instalações, tanto sociais como econômicas, às margens dos lagos. Uma solução de compromisso teria de ser buscada em qualquer política de regulação.

4.3.3 Abordagem através do método de 'Projeto Evolucionário de Sistemas'

Uma interessante aplicação de conceitos de jogos e de 'projeto evolucionário de sistemas' para este problema complexo de regulação de recursos hídricos foi proposta em Ehtamo, Ruusunen and Hämäläinen [112] e Hämäläinen, Kettunen, Marttunen & Ehtamo [138][139].

Hämäläinen *et al* estudaram este problema de política de regulação para planejamento e administração da evolução dinâmica do nível de água do lago Päijänne ao longo do ciclo anual.

Tais autores aplicaram o jogo de Pareto (Haimes, Hall & Freedman [133]) como uma alternativa para negociação e busca de consenso entre os vários agentes envolvidos, usando o método de direções incrementais. Seu trabalho envolveu experimentos com múltiplos agentes, envolvendo interesses das companhias de energia elétrica, fazendeiros, pescadores, residências de verão, e ambientalistas, em um pressuposto de postura cooperativa. Porém nem sempre é possível contar com cooperação entre todos os agentes envolvidos, como veremos a seguir.

4.3.4 Uma abordagem metodológica com base na MJE

Este trabalho propõe uma nova maneira de tratar problemas de regulação como este, agora olhando o sistema como um todo, incluindo, também, relacionamentos hierárquicos entre os vários agentes, representando todos os interessados que têm alguma significância em aspectos econômicos, financeiros, sociais e ambientais, na regulação do nível de água do lago.

Nossa abordagem usa os conceitos da MJE, do Capítulo 2. É importante mencionar que todos os seis jogos representados na MJE, com os vários tipos e modos de subjogos, hierárquicos ou não, cooperativos, competitivos e outros, estão presentes, em cinco níveis hierárquicos, no esquema aqui proposto para modelagem deste problema multinível de regulação de recursos hídricos com múltiplos agentes autônomos**.**

4.3.5 A estrutura de regulação multinível com múltiplos agentes

Aplicando-se os conceitos e métodos apresentados nos tópicos anteriores a este problema particular, nós agrupamos os diversos agentes autônomos – os jogadores – em três grandes grupos de interesses, com três agentes para representá-los: Agente dos Interesses Econômicos & Financeiros, [EFIS], Agente dos Interesses Sócio-Ambientais [SEIS], e Agente dos Interesses de Proteção Ambiental [EPIS], no 2º nível, todos eles reportando-se a um Coordenador Geral do Lago Päijänne [PLGC], no 1º nível, ou um Comitê Coordenador da Bacia Hidrográfica.

Os agentes Gestores de Hidroeletricidade [HE], de Turismo Aquático [AT], e do Transporte Hidroviário [HT], no 3º nível, são associados ao Agente de Interesses Econômico & Financeiros, no 2º nível. Similarmente, outros agentes são tratados, ou seja: Agentes de Águas e Esgotos, de

Recreação & Lazer, de Proteção da Flora & Fauna, de Preservação do Panorama Rural & Urbano, da Qualidade da Água, e até os eventuais Poluidores Ambientais.

Observando-se as relações hierárquicas e não-hierárquicas resultantes entre os agentes, e identificando-se as distintas situações de conflitos de interesses envolvidas, a postura dos jogadores, os pressupostos de relação-de-forças, de acordo com a metodologia usada no tópico 4.1.3, foi possível identificar os principais subjogos envolvidos, devidamente agrupados nos seis tipos de subjogos da MJE presentes neste problema de regulação, cujos resultados são resumidos a seguir:

(a) Subjogos Cooperativos – Estratégia de Pareto

- Subjogo [TE] x [TH] x [TS]: – Agentes de Eventos Turísticos x Hotéis Turísticos x Passeios Panorâmicos, no 4º nível;
- Subjogo [WS] x [FC] x [RL]: – Agentes de Águas & Esgoto x Controle de Inundações x Recreação & Lazer, no 3º nível;
- Subjogo [FF] x [RUL] x [WQ]: – Flora & Fauna x Panorama Rural & Urbano x Qualidade da Água, no 4º nível.

(b) Subjogo Competitivo – Estratégia de Nash

- Subjogo [HE_1] x [HE_2] x … x [HE_N]: – Agentes dos Hotéis 1 x 2 x … x N, no 5º nível.

(c) Subjogos Retaliatórios – Estratégia Minimax

- Subjogo [EFIS] x [SEIS] x [EPIS]: – Agentes dos Interesses Econômicos & Financeiros x Interesses Sócio & Ambientais x Interesses de Proteção Ambiental, no 2º nível;
- Subjogo [HE] x [AT] x [HT]: – Agentes de Hidroeletricidade x Turismo Aquático x Transporte Hidroviário, no 3º nível;

- Subjogo {FF + RUL + WQ} x [EP]: – {Agentes de Flora & Fauna + Panorama Rural & Urbano + Qualidade da Água, em coalizão} x Agentes da Poluição Ambiental, no 4º Nível.

Neste tipo de subjogos retaliatórios, os agentes [FF], [RUL], [WQ] devem estabelecer, ***a priori***, um 'sub-subjogo' de coalizão, para poderem confrontar, como um único agente múltiplo, os Agentes Poluidores [EP]. O mesmo processo se aplica aos demais subjogos onde a palavra coalizão estiver presente.

(d) Subjogos Hierárquicos Líder-Seguidor – Estratégia de Stackelberg

- Subjogo [PLGC] x [EFIS]: – Coordenador Geral do Lago Päijänne x Agentes dos Interesses Econômicos & Financeiros, no 1º. E 2º. níveis;
- Subjogo [EFIS] x {HE + AT + HT}: – Agente dos Interesses Econômicos & Financeiros x {Agentes de Hidroeletricidade + Turismo Aquático + Transportes Hidroviários, em coalizão}, nos 2º e 3º níveis;
- Subjogo [SEIS] x {WS + FC + RL}: – Agente de Interesses Sócio & Ambientais x {Agentes de Águas e Esgotos + Controle de Inundação + recreação & Lazer, em coalizão}, nos 2º e 3º níveis;
- Subjogo [EPIS] x {FF + RUL + WQ}: – Agentes de Interesses de Proteção Ambiental x {Agentes de Flora & Fauna + Panorama Rural & Urbano + Águas e Esgotos, em coalizão}, nos 2º e 3º níveis.

(e) Subjogos Hierárquicos Paternalista-Solidário

- Subjogo [PLGC] x [SEIS]: – Coordenador Geral do Lago Päijänne x Agente dos Interesses Sócio & Ambientais, nos 1º e 2º níveis;

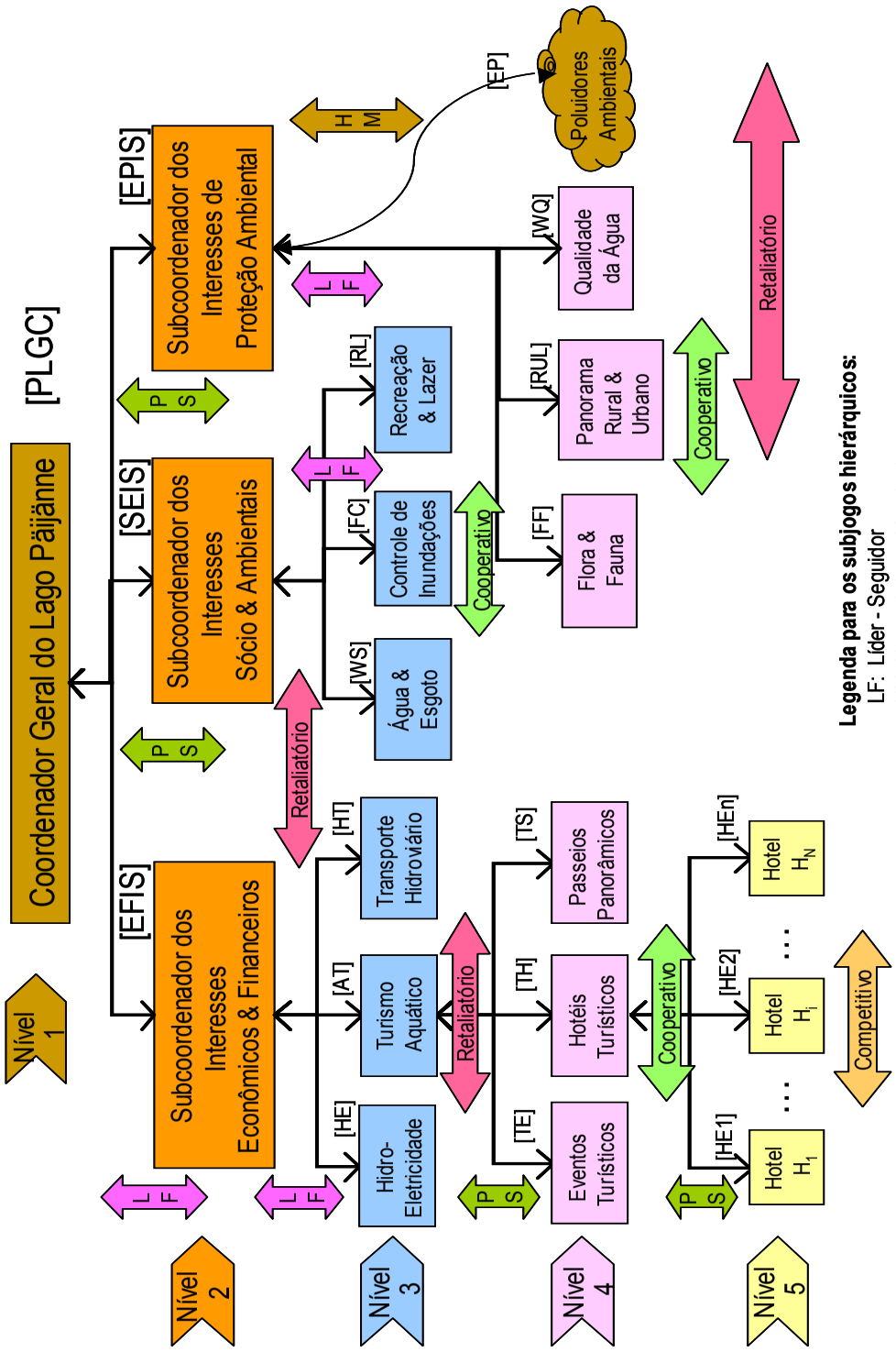


Figura 4.3: Aplicação dos seis jogos da MJE para estruturação de um sistema multinível de gestão de recursos hídricos

- Subjogo [PLGC] X [EPIS]: – Coordenador Geral do Lago Päijänne x Agente dos Interesses de Proteção Ambiental, nos 1º e 2º níveis;
- Subjogo [AT] x {TE + TH + TS}: – Agente de Turismo Aquático x {Agentes de Eventos Turísticos + Hotéis Turísticos + Passeios Panorâmicos, em coalizão}, nos 3º e 4º níveis;
- Subjogo [TH] x $\{HE_1 + HE_2 + \ldots + HE_N\}$: – Agente de Hotéis Turísticos x {Agentes dos Hotéis 1 + 2 + … + N, em coalizão}, nos 4^o e 5^o níveis.

(f) Subjogo Hierárquico Hegemônico-Marginal

- Subjogo [EPIS] x [EP]: – Agentes dos Interesses de Proteção Ambiental x Poluidores Ambientais, nos 2^o e 4^o níveis.

Com os subjogos acima descritos, devidamente mapeados, e representados na Figura 4.3, analistas, projetistas e estrategistas envolvidos com problemas de regulação de sistemas de recursos hídricos podem dar um novo tratamento para este tipo de problema de controle – ou de regulação – levando em conta as várias situações de conflitos de interesses entre os diversos agentes envolvidos.

Podem usar para isto, por exemplo, os modelos e algoritmos em Costa Filho [77], ou mesmo uma extensão do próprio 'projeto evolucionário de sistemas', já mencionado em Hämäläinen *et al* [139]. Como já mencionado, formas clássicas de resolver estes tipos de problemas poderiam ser, por exemplo, o Princípio do Mínimo de Pontryagin, ou o Cálculo de Variações, ou a Programação Dinâmica (Bryson & Ho [160]), dependendo do caso (Uryas'ev & Rubinstein [262]).

Outras maneiras de resolver poderiam ser, por exemplo, a utilização das técnicas de computação evolucionária, tais como os algoritmos genéticos, ou as técnicas de simulação (Bottura & Fonseca Neto [53],

Bottura, Tamariz, Barreto & Fonseca Neto [55], Goldberg [129]).

Entretanto, processos coordenados de negociação direta entre os agentes poderiam ser uma forma alternativa de tratar este problema, principalmente ao se considerar a complexidade dos diversos interesses envolvidos em problemas dessa natureza.

4.3.6 Algumas considerações sobre esta aplicação da MJE

Neste tópico, nós mostramos que a MJE pode ser adequadamente usada como uma ferramenta para fornecer um quadro de referência para modelagem de situações de conflitos de interesses:

- Descrevendo, caracterizando e mapeando, de uma forma integrada, uma grande variedade de situações de conflitos de interesses entre múltiplos agentes interagindo num mesmo ambiente;
- Modelando, analisando e projetando arquiteturas multiníveis de gestão estratégica, com múltiplos agentes autônomos;
- Prescrevendo estratégias mais indicadas em várias situações de múltiplos conflitos de interesses.

Esta aplicação mostra que a MJE é uma útil ferramenta analítico-descritiva para interpretação, análise e formulação de estratégias gerenciais, além de ser útil para apoiar o tratamento de conflitos de interesses, em vários tipos de estruturas, tanto as hierárquicas como as não-hierárquicas.

O modelo aqui desenvolvido para o problema de gestão de recursos hídricos, utilizando os quatro jogos clássicos da teoria dos jogos e os dois novos jogos em casos-limite, descreve e trata, adequadamente, uma grande variedade de complexas situações de conflito de interesses. Finalmente, vale também ressaltar que a adição da dimensão do

pressuposto de relação-de-forças na caracterização dos tipos de jogos resulta em enriquecimento da tipologia das modelagens possíveis, que melhor representam reais situações de conflitos de interesses, como mostrado na Figura 4.3.

Uma forma de verificar a adequação desta estrutura, por exemplo, seria através de um modelo de simulação de sistemas, ou através de experimentação estruturada de negociação entre os agentes envolvidos.

4.4 Aplicação da MJE para Estruturação de Estratégias em um *Cluster*

4.4.1 Importância do Problema de Gestão Estratégica em *Clusters*

Nas últimas décadas, esforços têm sido desenvolvidos, em escala mundial, para a implementação de *clusters* empresariais para quase todas as atividades econômicas, visando o aumento da eficiência e a melhora da competitividade, tanto regional como nacional, a inovação e o desenvolvimento e incorporação de novas tecnologias. Essas iniciativas têm merecido crescente interesse de governos, agências e instituições de desenvolvimento, grupos de empreendedores, pesquisadores, e consultores de empresa. Esta nova onda tem provocado experimentos bem sucedidos em quase todos os continentes, constituindo-se em uma das mais valiosas alternativas para o desenvolvimento econômico e social de regiões ou países mais pobres do mundo (Baptista & Swann [29], Porter [219][220]).

Apesar do conceito clássico, de que os *clusters* empresariais têm uma

característica de "geração espontânea [5], os governos têm incentivado a formação dos "Arranjos Produtivos Locais", que são iniciativas de incentivo à formação de "redes empresariais nas quais, embora se preserve a livre iniciativa das empresas, criam vantagens evidentes às que decidam "aderir" ao arranjo.

Entretanto, o que se tem observado é que, apesar do ambiente de colaboração generalizado necessário para se implementar qualquer *cluster* empresarial bem sucedido, é inevitável que a autonomia decisória e a livre iniciativa entre os empresários façam com que eles acabem buscando, ou até exacerbando, seus próprios interesses, em prejuízo de todos. *Clusters* podem operar como múltiplas e complexas cadeias de suprimento, competindo e/ou cooperando entre si, dando origem, naturalmente, a diversas situações de conflitos de interesses que precisam ser modelados, tratados, conciliados e administrados (Brandenburger & Nalebuff [56][57], Mesquita [190]).

Faz-se necessário, portanto, a elaboração de algum quadro de referência conceitual geral para a modelagem de estratégias competitivas e cooperativas, como a MJE, para tratar adequadamente os conflitos de interesses entre as companhias que formam um *cluster*.

Embora uma vasta bibliografia, cobrindo aspectos descritivos, teóricos, e experimentais sobre o tema *cluster* tenha se tornado disponível, (Bell [36], Brenner [58], Breschi & Malerba [59], Costa [93]:393-397, Forsman & Solitander [120], Ketels [157], Lazzarini [172], Maggioni [183], Maskell [186], Maskell & Klebir [187], Matalobos, Lorenzo & Solis [188], Zaccarelli,

---

[5] Segundo Zaccarelli [280], "um *cluster* não é uma organização formalizada de empresas, na qual elas se inscrevem e ganham uma carteirinha de membro do *cluster*, como se fosse um clube ou associação. O *cluster* existe naturalmente, mesmo que as empresas que dele participam não tenham consciência de sua existência. Nesse sistema, elas acabam agindo como um todo integrado, embora os empresários nunca tenham planejado isso formalmente".

[280]:200), referências ao uso dos conceitos e modelos da teoria dos jogos para tratar da formulação de estratégias para os agentes e empresas clusterizadas são, até agora, raras ou inexistentes, a nosso conhecimento. Este trabalho, portanto, se propõe a fornecer uma contribuição, como uma nova alternativa ao tratamento para este tema.

4.4.2 O Pólo-Tec-Tex de Americana e região (SP)

Em 2002, um grupo de empresários da cidade de Americana e região, no estado de São Paulo, com apoio de autoridades governamentais e de outras instituições de apoio ao desenvolvimento regional, decidiram implementar um *cluster*, o Pólo-Tec-Tex, como um arranjo produtivo local, para reforçar uma cadeia de produção de têxteis e confecções. A cadeia implementada vai desde o algodão, lã, linho, e fibras sintéticas, como suprimentos de matéria prima, passando pela produção de tecidos e fabricação de vestuário, chegando até os atacadistas e varejistas, tanto para o mercado doméstico como para o mercado externo (APL–Arranjo Produtivo Local [17][18], Contador [75], Dias [105], IEL-CNA-Sebrae [151]; Mestre [191], Porter [219][220]).

Esta iniciativa privada foi considerada uma positiva contra-reação empresarial ao processo de abertura econômica promovida pelo Governo Brasileiro, iniciada no começo da década de noventa, que implementou uma nova política de trocas com o exterior que produziu, entre outros impactos, várias crises, desemprego e muitas falências em algumas regiões industriais do Brasil.

O Pólo-Tec-Tex vem experimentando, desde então, um considerável crescimento, e, ao final de 2006, já cobria uma ampla cadeia industrial e comercial, com cerca de uma centena de pequenas e médias companhias associadas, espalhando por cinco municípios vizinhos, em uma cadeia

aberta, onde as companhias negociam livremente, interna e externamente ao *cluster*, seus suprimentos e suas produções. O Pólo emprega, hoje, cerca de quatro mil trabalhadores, e tem uma receita de cerca de duzentos milhões de reais ao ano.

Suas atividades cobrem a qualificação e capacitação de mão de obra, programas de competitividade, desenvolvimento de negócios, programas de responsabilidade social, cooperativa de crédito aos produtores, consórcios de empresas, condomínios industriais e comerciais, atendendo as empresas associadas em temas como vendas ao mercado externo, logística, finanças, capacitação para gestão de negócios, propaganda e marketing, e inovação tecnológica.

Este trabalho propõe a utilização da Matriz de Jogos Estratégicos (MJE) como uma base metodológica para modelagem de estratégias competitivas e cooperativas entre as empresas de um *cluster*, com base nos conceitos da teoria dos jogos (Costa, Bottura, Boaventura, & Fischmann [97][98][99]).

4.4.3 Metodologia para modelagem de estratégias de empresas clusterizadas com base na MJE

Examinando-se o caso em questão à luz da MJE, poderemos formular as estratégias cooperativas e/ou competitivas mais recomendáveis em cada particular situação de conflito de interesses entre as empresas participantes do *cluster*.

Para isto, o *cluster* em questão deve ser modelado como um conjunto estruturado de subjogos, cada um deles representando uma situação particular de conflitos de interesses entre as empresas – os jogadores - (Bottura & Costa [51][52]), seguindo os seguintes quatro estágios:

Primeiro Estágio: Identificar o *cluster* como um todo, seus limites ou fronteiras, os agentes econômicos, governamentais ou institucionais

envolvidos, e os conflitos de interesse entre eles;

Segundo Estágio: Identificar os agentes e empresas clusterizadas, ou grupos de empresas que têm alguns interesse em comum; tratar, como um subjogo, cada subgrupo de agentes em conflitos de interesses – ou com interesses em comum;

Terceiro Estágio: Através de uma cuidadosa interpretação de dados, de entrevistas com os gestores das empresas e entidades, e de outras informações disponíveis, fazer um levantamento das respectivas posturas competitivas de todos os jogadores ou grupos de jogadores: Avaliar as posturas competitivas de cada jogador em cada subjogo; avaliar também seus respectivos pressupostos de relação-de-forças em casa subjogo. Com esses resultados, identificar qual das células da MJE, mais se ajusta às reais atitudes de cada jogador real;

Quarto Estágio: Mapear os resultados prévios nas células da MJE para obter quais as estratégicas indicadas, para cada agente, em cada subjogo identificado. Se jogos com relações hierárquicas forem identificados, (o que ocorre em quase todos os sistemas mais complexos) elaborar um esquema gráfico hierárquico indicando todos os agentes ou grupos de agentes e os subjogos identificados com as respectivas estratégias de equilíbrio mais indicadas.

4.4.4 Uma aplicação da metodologia da MJE na formulação de estratégias para as empresas do Pólo-Tec-Tex

Apresentamos, a seguir, a aplicação da metodologia descrita no tópico 4.4.3, para o Pólo-Tec-Tex, e esquematicamente representado na Figura 4.4 como uma complexa cadeia de companhias clusterizadas, articuladas para produção e vendas de têxteis e confecções.

Desta forma, obtém-se um modelo estruturado, em quatro níveis

hierárquicos, como mostrado na Figura 4.5, indicando os principais agentes, no *cluster*, envolvidos com a operação do Pólo:

- No 1º nível, estão a Coordenação do Pólo-Tec-Tex e a Coordenação dos Governos Locais;
- No 2º nível, os Coordenadores dos Interesses dos Produtores de Fibras, dos Fabricantes de Têxteis, dos Fabricantes de Confecções, e de Atacadistas e Varejistas;
- No 3º nível, os Produtores de Fibras Naturais, e Sintéticas, os Consórcios dos Produtores de Têxteis, de Produtores de Confecções, de Atacadistas, e de Varejistas;
- No 4º nível, os Produtores de Fiação, de Têxteis, de Confecções, os Atacadistas, os Varejistas, e, finalmente, os Produtores/Vendedores "Piratas".

Analisando-se os pressupostos de relação-de-forças dos jogadores ou grupos de jogadores, tanto os jogos balanceados como os não-balanceados, em cada situação de conflitos de interesses entre eles, as suas respectivas posturas competitivas, de acordo com a metodologia apresentada no tópico 4.4.3, é possível identificar os subjogos envolvidos no Pólo-Tec-Tex. Para fins descritivos, eles estão convenientemente grupados nos seis jogos típicos da MJE já mencionados no Capítulo 2, como resumido a seguir:

***(a) Subjogos Cooperativos – Estratégia de Pareto**:*

- Subjogo da Coordenação do Pólo-Tec-Tex x Coordenação dos Governos Locais, no 1º nível;
- Subjogo dos Consórcios de Produtores de Têxteis, subjogo dos Consórcios de Produtores de Confecções, subjogo dos Consórcios de Atacadistas, e subjogo dos Consórcios de Varejistas, no 3º nível;

***(b) Subjogos Competitivos – Estratégia de Nash**:*

- Subjogo da Coordenação dos Interesses dos Produtores de Fibras x Coordenação dos Interesses dos Fabricantes de Têxteis x Coordenação dos Interesses dos Fabricantes de Confecções x Coordenação dos Interesses de Atacadistas e Varejistas, no 2º nível;
- Subjogo dos Produtores de Fibras Naturais, subjogo dos Produtores de Fibras Sintéticas, no 3º nível;
- Subjogo dos Produtores de Fiação, subjogo dos Produtores de Têxteis, subjogo dos Produtores de Confecções, subjogo dos Atacadistas, subjogo dos Varejistas, 4º. Nível;
- Subjogo dos Produtores de Fiação x Produtores de Têxteis x Produtores de Confecções x Atacadistas x Varejistas, no 4º nível.

(c) Subjogo Retaliatório – Estratégia Minimax:

Subjogo {Produtores Têxteis + Produtores de Confecções + Atacadistas + Varejistas, em coalizão} x Produtores/Vendedores "Piratas", no 4º nível. Neste tipo de subjogo retaliatório, os agentes indicados entre colchetes devem formar, *a priori*, uma coalizão, para jogar contra os Produtores/Vendedores "Piratas" como se fosse um único jogador;

(d) Subjogo Hierárquico Líder – Seguidor – Estratégia de Stackelberg:

- Subjogo entre Coordenação do Pólo-Tec-Tex x Coordenação dos Interesses dos Produtores de Fibras, nos 1º e 2º níveis;
- Subjogo entre Coordenação do Pólo-Tec-Tex x Coordenação dos Interesses dos Fabricantes de Têxteis, nos 1º e 2º níveis;
- Subjogo entre Coordenação do Pólo-Tec-Tex x Coordenação de Interesses dos Fabricantes de Confecções, nos 1º e 2º níveis;
- Subjogo entre Coordenação do Pólo-Tec-Tex x Coordenação dos Interesses dos Atacadistas e Varejistas, nos 1º e 2º níveis.

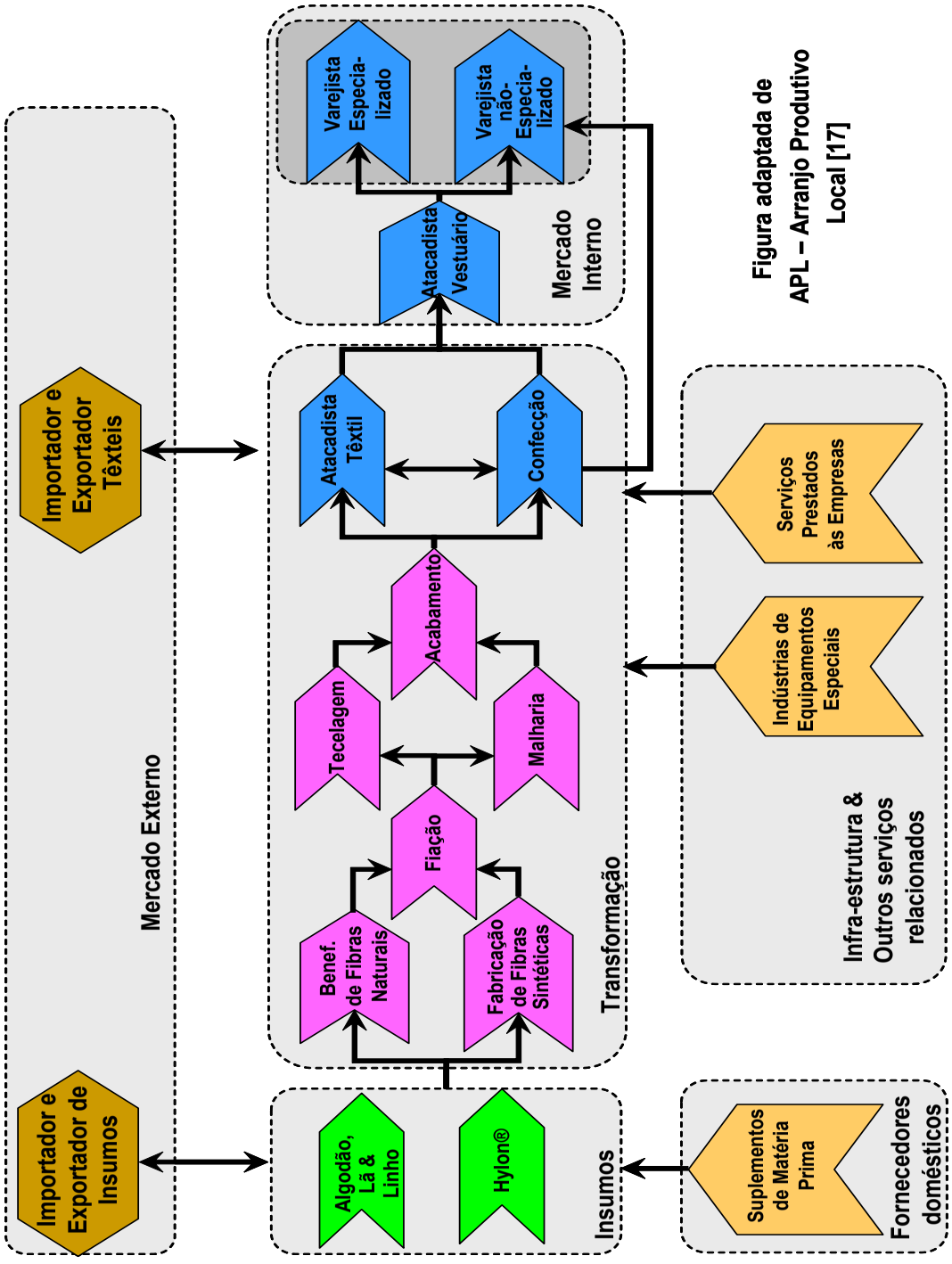


Figura 4.4: Cadeia de Suprimento ➔ Produção ➔ Comercialização ➔ Vendas, no ***Pólo-Tec-Tex*** de Americana e região, SP

(e) Subjogos Hierárquicos Paternalista – Solidário:

- Subjogo entre Coordenação dos Interesses dos Produtores de Fibras x Produtores de Fibras Naturais, e Produtores de Fibras Sintéticas, nos 2o e 3o níveis;
- Subjogo entre Coordenação dos Interesses dos Fabricantes de Têxteis x Consórcios de Produtores de Têxteis, e Produtores de Têxteis, nos 2º, 3º e 4º níveis;
- Subjogo entre Coordenação dos Interesses dos Fabricantes de Confecções x Consórcios de Produtores de Confecções, e Produtores de Confecções, nos 2º, 3º e 4º níveis;
- Subjogo entre da Coordenação dos Interesses de Atacadistas e Varejistas x Consórcios de Atacadistas, Consórcios de Varejistas, Atacadistas, Varejistas, nos 2º, 3º e 4º níveis;
- Subjogo entre Produtores de Fibras Naturais x Produtores de Fiação, no 3º e 4º níveis;
- Subjogo entre Produtores de Fibras Sintéticas x Produtores de Fiação, nos 3º e 4º níveis.

(f) Subjogo Hierárquico Hegemônico-Marginal:

- Subjogo entre Coordenação dos Governos Locais x Produtores/Vendedores “Piratas”, no 1º e 4º níveis.

Com todos os subjogos como acima descritos, devidamente mapeados, como na Figura 4.5, executivos, gerentes, consultores, e demais gestores governamentais e de outras instituições envolvidas no Pólo-Tec-Tex podem dar um novo tratamento a este complexo problema de gestão. Desta forma, podem-se levar em conta, de forma gerencial, os vários conflitos de interesses entre os agentes envolvidos usando, por exemplo, os modelos e algoritmos em Costa Filho [77].

Entretanto, um processo coordenado de negociação entre os agentes, ou grupos de agentes, poderia ser a melhor forma de resolver esses problemas, considerando-se a complexidade desses múltiplos interesses envolvidos entre os agentes do *cluster*.

4.4.5 Comentários sobre a aplicação da MJE a *clusters* empresariais

Neste trabalho a metodologia e o quadro de referências proporcionado pela MJE são usados para modelar estratégias competitivas e cooperativas para empresas clusterizadas, tanto para fins descritivos como prescritivos.

A adição da dimensão dos pressupostos de relação-de-forças entre os jogadores, proporcionada pela MJE, para análise dos vários subjogos estratégicos no relacionamento entre as empresas clusterizadas, resultou em um modelo mais realista, que descreve adequadamente os reais relacionamentos entre os agentes e seus conflitos de interesses neste tipo complexo de sistema econômico.

A aplicação da metodologia da MJE ao caso Pólo-Tec-Tex, mostrou-se como uma útil ferramenta analítica e descritiva, tanto para estruturação, análise e formulação de estratégias gerenciais competitivas e cooperativas com base nos conceitos da teoria dos jogos, como para fornecimento de indicações prescritivas para o tratamento estruturado dos conflitos de interesses entre empresas de um *cluster* qualquer.

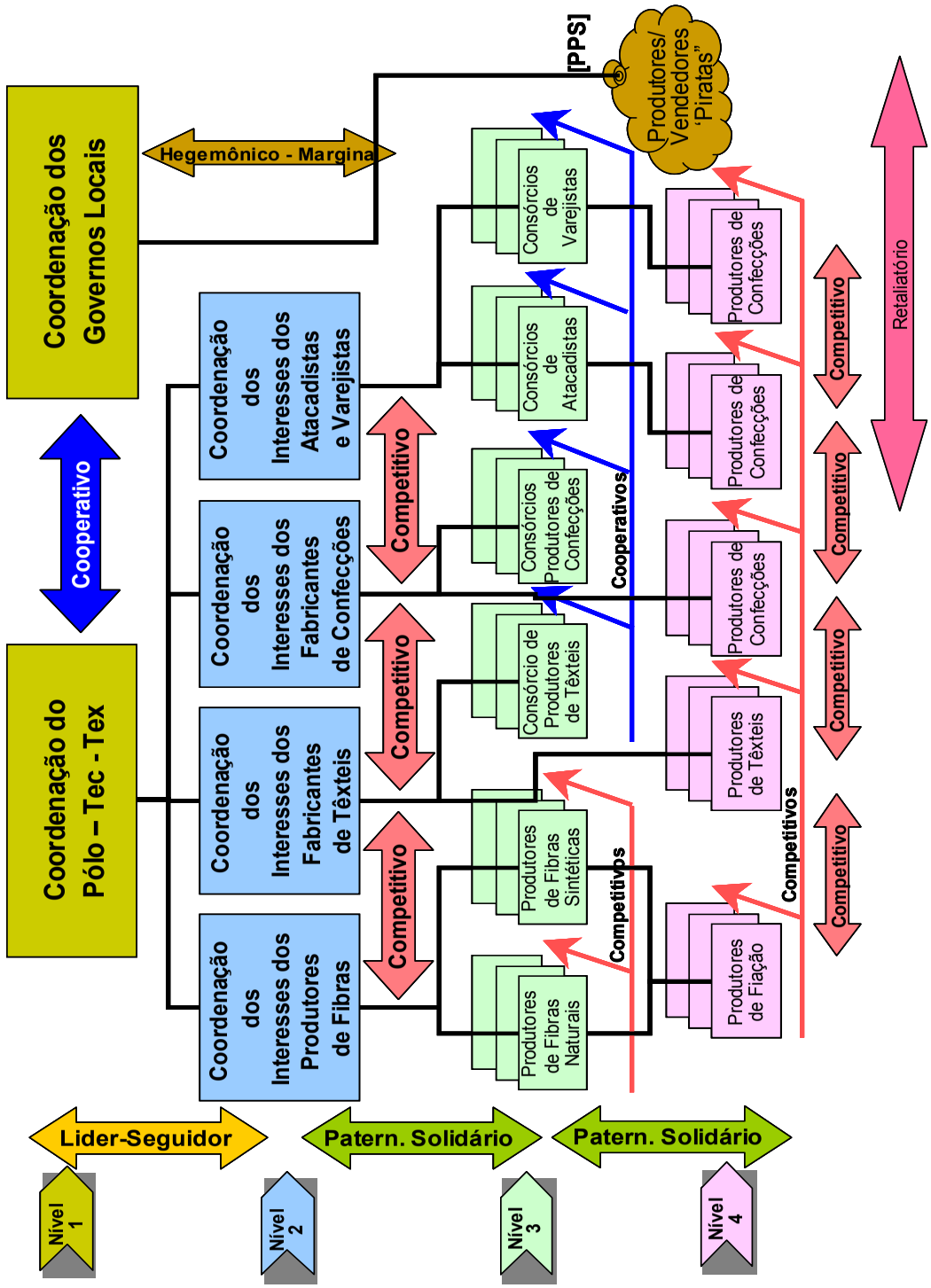


Figura 4.5: Aplicação dos seis jogos da MJE para estruturação das estratégias para as empresas do Pólo-Tec-Tex

4.5 Aplicação da MJE para Rede de Empresas de Produção de PCs – Um Estudo de Caso

Inspirada no conceito de Rede de Valor (Brandenburger; Nalebuff [57]), apresenta-se, neste tópico, uma aplicação da MJE para análise dos jogos estratégicos em um complexo ambiente de negócios na indústria de computadores pessoais (PCs). Para este propósito, utiliza-se o estudo de caso da Intel Corporation (Collins; Pisano [71]) transcrito em Ghemawat [126].

Embora o estudo de caso mencionado cubra um largo período de tempo da história da Intel Corporation (1968-1997), a presente aplicação está focada nas estratégias competitivas de negócios empregadas pela Intel e pelas suas contrapartes, no período de 1990-1997.

O ambiente negócial da Intel Corporation no período analisado envolve uma multiplicidade de tipos de empresas: os fabricantes de PCs – Apple, IBM, Compaq, Toshiba e outros –, os fornecedores de equipamentos de produção, os produtores e fornecedores de software, como Microsoft, para sistemas operacionais e aplicativos genéricos, os licenciados da Intel que produzem microprocessadores com sua tecnologia, os seus principais competidores, como a AMD, e até os produtores de 'clones' de microprocessadores da Intel ou AMD.

Após uma cuidadosa identificação dos jogadores envolvidos, nos vários aspectos e fases da indústria de computadores pessoais (PCs), seu relacionamento, seus conflitos de interesses, suas relações-de-forças, suas funcões objetivo, tendo a Intel Corporation como foco central da análise, como ilustrado na Figura 4.6, duas classes de jogos são claramente caracterizadas neste caso: Três tipos de jogos com relação-de-forças equilibrada, indicados na figura como (1), (2) e (3), e três tipos

de jogos hierárquicos, com jogadores com pressupostos de relação-de-forças Forte/Fraco, indicados como (4), (5) e (6).

Como jogos com relações-de-forças equilibradas, foram identificados os seguintes:

(1) Subjogo competitivo – Estratégia de Nash:

Os jogos estratégicos jogados pelos fabricantes de computadores pessoais (PCs) entre si devem ser jogos não-cooperativos de soma variável, tipicamente jogos de Nash, uma vez que os múltiplos fabricantes estão disputando o mesmo mercado de usuários de PCs, e são igualmente competitivos com seus produtos;

(2) Subjogo cooperativo – Estratégia de Pareto:

O jogo estratégico jogado entre Intel e Microsoft deve ser tipicamente um jogo de Pareto, pois eles precisam trabalhar em estreita cooperação, para adicionar mais valor percebido ao produto final, com hardware e software projetados e adequados entre si para atender às necessidades dos usuários finais;

(3) Subjogo retaliatório – Estratégia Minimax:

O jogo estratégico jogado entre a Intel e a AMD deve ser tipicamente um jogo Minimax, pois ambas competem pela disputa de fatias de mercado (*market share*) em um suposto mercado não-cooperativo de tamanho fixado.

Como jogos hierárquicos, no caso em questão, foram identificados os seguintes:

(4) Subjogo hierárquico Líder-Seguidor – Estratégia de Stackelberg:

O jogo estratégico jogado entre a Intel, numa situação hegemônica, e os vários fornecedores de equipamentos de produção, os mais fracos nesta

relação, deve ser tipicamente um jogo de Stackelberg, onde a Intel atua como Líder e os fornecedores como Seguidores;

(5) Subjogo hierárquico Paternalista-Solidário:

O caso analisado relata que a Intel tinha proposto aos seus clientes, fabricantes de PCs, compradores de seus microprocessadores, a participação em uma campanha intitulada *Intel Inside*, para aumentar a visibilidade da Intel sob o ponto de vista dos compradores finais de PCs e melhorando o mercado para todos.

Alguns aceitaram de pronto, mas outros como a IBM, relutaram bastante, (mas acabaram aceitando mais tarde). O jogo estratégico jogado entre a Intel, neste caso a mais forte, e os fabricantes de PCs, neste caso os mais fracos, principalmente em relação a esta estratégia de marketing da Intel, deve ser interpretada tipicamente como um jogo Paternalista-Solidário, onde a Intel faz o papel Paternalista e, os fabricantes, o papel Solidário.

(6) Subjogo hierárquico Hegemônico-Marginal:

O jogo estratégico jogado entre a Intel, a hegemônica neste caso, e os fabricantes de "clones" de microprocessadores "*Intel-like*", os mais fracos, deve ser interpretada tipicamente como um jogo Hegemônico-Marginal: Sendo impossível, à Intel, destruí-los completamente, ela utilizou estratégias como queda de preços e contínuos avanços da tecnologia, tentando com isto limitar o tamanho e o alcance destes pequenos competidores, de forma a que não ameaçassem o seu predomínio no mercado.

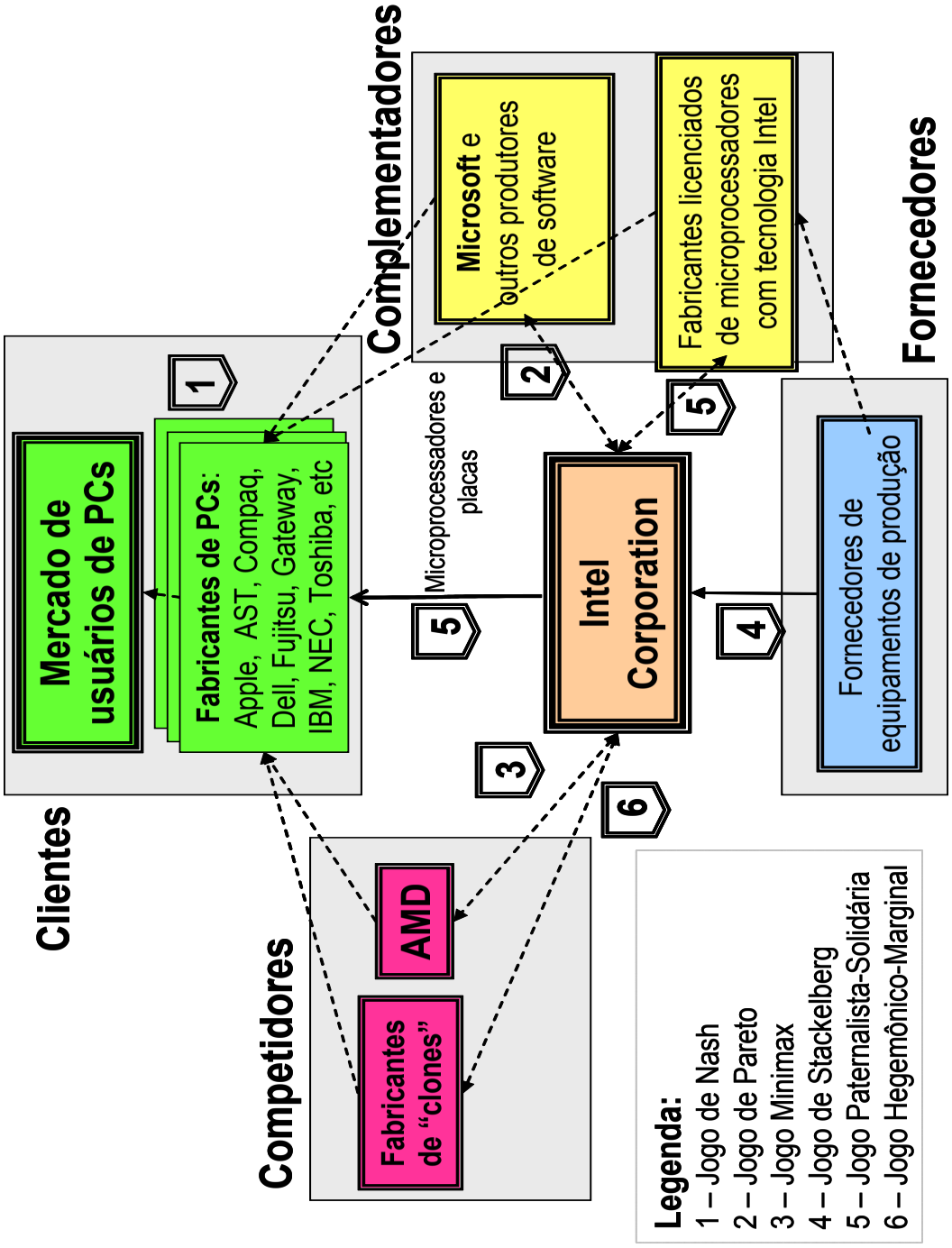


Figura 4.6: Aplicação dos seis jogos da MJE para análise e interpretação dos conflitos de interesses empresariais no caso Intel Corporation

Observe-se que, nesta análise, todos os seis jogos da MJE descritos no Capítulo 2 estão presentes, em um mesmo ambiente de negócios e para um mesmo jogador, no caso, a Intel.

4.6 Como Escolher o Jogo Certo a Jogar e Jogá-lo Corretamente?

As três aplicações descritas anteriormente têm pelo menos uma característica em comum: Cada jogador precisa fazer, basicamente, duas grandes escolhas: "que jogo devo jogar" e "como devo jogar o jogo escolhido". Este tópico procura ressaltar esses dois dilemas através da Matriz de Eficácia Estratégica.

4.6.1 A Matriz da Eficácia Estratégica

A Matriz de Eficácia Estratégica (MEE) proposta neste estudo (Costa [93]) e apresentada na Figura 4.7 procura ilustrar as opções presentes em uma dada problemática estratégica genérica, aqui classificada em duas categorias:

(a) Quanto à escolha correta do jogo a jogar;

(b) Quanto à forma correta de jogar o jogo escolhido.

A combinação dessas duas opções conduz aos quatro quadrantes da Matriz:

- Se a escolha (a), quanto ao jogo a jogar, for correta, e se a (b), quanto à forma de jogar o jogo escolhido, também o for, temos uma indicação de *sucesso* na resolução do conflito de interesses;
- Se a escolha (a) for correta e a (b) for errada, temos uma indicação de insucesso que caracterizamos como de *aprendizagem*. Isso quer dizer

que, embora a forma de jogar esteja errada, com o bom uso de resultados parciais e intermediários pode-se ir aprendendo a maneira correta de jogar o jogo, caminhando, no futuro, para uma indicação de *sucesso*;

- Se a escolha (a) for errada e a (b) for correta, temos uma indicação de possível *frustração*, pois os decisores-jogadores entenderão ter executado corretamente o jogo, mas, apesar disso, não entendem por que os resultados foram insatisfatórios! A frustração dos resultados pode levar os executivos, erradamente, a tentarem experimentar outra forma de executar o jogo, em vez de mudarem o jogo a jogar, caminhando até para uma indicação de fracasso, descrito a seguir;
- Se as escolhas (a) e (b) forem ambas incorretas, teremos, uma indicação de *fracasso*, com menores chances de recuperação.

A conclusão a que se chega, após uma reflexão sobre o significado desta matriz é a de sugerir que o maior esforço dos executivos deve ser dedicado, preferencialmente, à discussão de que jogo jogar, pois as conseqüências de uma escolha errada do jogo a jogar podem ser muito mais graves, no longo prazo, do que a decisões erradas quanto à forma de jogar o jogo escolhido, pois nesse caso ainda há maior oportunidade de aprendizado, e no outro, não.

Muitos empresários, dirigentes e negociadores, entretanto, têm investido mais tempo e recursos envolvendo-se com as decisões referentes a jogar o jogo de forma correta, mas dão pouco ou nenhum destaque ao mais importante, que é exatamente o como escolher o jogo correto a jogar. A MJE pretende ser um bom instrumento para reverter esta deformação estratégica.

4.6.2 Comentários finais

Algumas anomalias geralmente observadas em formulações de estratégias cooperativas e competitivas, em processos de planejamento estratégico, poderiam ser evitadas por meio do bom entendimento e do uso adequado dos conceitos da MJE (Costa, Bottura and Allerigi [94][95]).

Pela identificação de disfunções e inconsistências provocadas pela escolhas inadequadas do posicionamento estratégico, e, conseqüentemente, pela escolha errada do jogo a jogar, é possível obter mais clareza nas análises e interpretações de situações reais de risco, de prejuízos ou de falta de sucesso empresarial.

Assim, os conceitos derivados da utilização da MJE poderiam ser incorporados às metodologias de formulação de estratégias e aos programas de capacitação gerencial nas empresas.

Executivos e gerentes estariam mais bem preparados para enfrentar situações de conflitos de interesses se adicionassem aos seus repertórios de atuação gerencial as seguintes cautelas específicas:

- Ser capaz de reconhecer que cada situação de conflito de interesses é ímpar, e que não existe solução padrão para tratar igualmente a todas;
- Ser capaz de avaliar racionalmente a situação de relação-de-forças em cada caso particular, e de selecionar o pressuposto de relação-de-forças mais aplicável ao caso: se (mais) Forte, se Equilibrado, ou se (mais) Fraco;
- Ser capaz de examinar racionalmente a situação de boa-fé e de fidelidade dos oponentes, e de escolher a postura concorrencial mais adequada: se Rival, se Individualista, ou se Associativa;

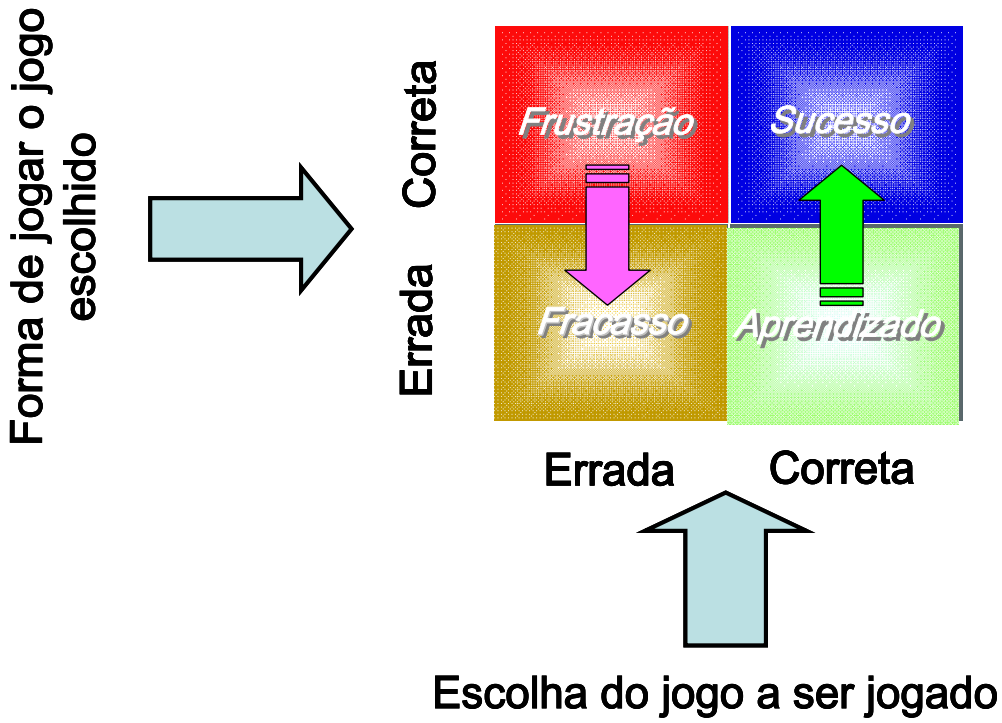


Figura 4.7: Matriz de Eficácia Estratégica (MEE)

- Estar atento ao fato de que os pressupostos de boa-fé e de fidelidade dos oponentes ou adversários são essências para uma eventual adoção de estratégias cooperativas e associativas; caso esses pressupostos não possam ser assegurados, os jogos a jogar deveriam ser os não-cooperativos; o jogador que opte por estratégias cooperativas, em situações de conflito de interesses onde esses pré-condicionantes não estejam garantidos pode incorrer em prejuízos.

Capítulo 5

Delineamento e Condução dos Experimentos do Jogo de Empresas

Apresentação

Este capítulo descreve as condições da realização dos 'experimentos' [1] do Projeto Omega, concebido para testar a viabilidade de jogos estratégicos de empresas descritos na MJE, tanto nos jogos em ambientes competitivos como nos ambientes cooperativos, e tanto nos jogos balanceados – ou equilibrados – como nos jogos desbalanceados – ou desequilibrados, ou hierárquicos –.

Apresentamos, também, o processo de tratamento dos dados do experimento bem como os resultados finais obtidos, jogo a jogo, empresa a empresa (Colombo [74], Colombo & Costa [73], Bottura & Costa [51], Keyes & Wolfe [158][159]).

A equipe de implementação do experimento enfrentou muitas dificuldades de realização, que se transformaram em desafios criativos a serem enfrentados (Affisco & Chanin [2], Anderson & Lawton [10], Faria

[1] Vale aqui também a observação feita no item 1.5, de que uma expressão mais recomendável poderia ser a de 'quase-experimento', em vez de 'experimento', considerando-se as questões de difícil replicação de resultados pela repetição do exercício, mesmo que nas mesmas condições. Apesar disto, continuaremos usando a expressão 'experimento', por ser uma expressão comumente utilizada na literatura, em economia e em administração de empresas.

[114], Goosen, Jensen and Wells [131], Rahimi-Kian, Tabarraei and Sadeghi [223], Washbush & Gosen [269]).

Apesar das limitações de recursos materiais, computacionais e humanos, além da falta de experiência da equipe neste tipo de projeto, contamos com a colaboração e apoio de várias pessoas e instituições, que acreditaram no projeto e não mediram esforços para fazer o experimento acontecer. Os nomes dessas pessoas e instituições estão mencionados no tópico “Agradecimentos”.

5.1 Caracterização e Descrição do Projeto Omega

5.1.1 O que é o Projeto Omega

Os experimentos objeto deste trabalho, chamado Projeto Omega, colocaram, frente a frente, em um ambiente virtual, indivíduos supostos ‘racionais’, no caso estudantes de administração, em situação de conflito de interesses no mundo dos negócios, para testar e avaliar seu comportamento em várias e controladas situações.

O Projeto Omega, foi realizado em duas etapas, e contemplou dois experimentos, o Projeto Omega-1 e o Projeto Omega-2, cada um deles composto de 12 partidas simultâneas, com jogadores diferentes em cada uma delas, e nas duas etapas mencionadas.

As reações e desempenhos dos jogadores foram avaliados, medidos e comparados, para se verificar algumas hipóteses contidas na modelagem da Matriz de Jogos Estratégicos – MJE.

Os indivíduos em teste, aqui chamados simplesmente de ‘jogadores’, foram, cada um deles, o responsável por uma empresa hipotética, que produz bens industriais e os coloca no mercado, disputando com outras

empresas de idêntico propósito, um mercado consumidor de seus produtos e o mercado fornecedor de insumos.

Cada jogador tomou uma seqüência de decisões sobre as variáveis de funcionamento da 'sua empresa', sabendo que, ao fazer isto, poderia estar afetando os resultados das demais empresas, e que, por outro lado, as decisões tomadas pelos demais jogadores, desconhecidas *a priori* por ele, também poderiam afetar os resultados de sua empresa.

As decisões foram tomadas em momentos pré-agendados, simulando assim, por K períodos, o funcionamento das várias empresas e de seus mercados. O número K era conhecido apenas pelo Coordenador do jogo. Os jogadores não o conheceram antecipadamente, para evitar o efeito de lances ousados de último período, o que poderia distorcer muito os resultados finais. Os jogadores só souberam que "o jogo acabou" num dado momento incerto, avisados de surpresa pelo Coordenador do jogo.

Cada jogador, ao final de cada período, recebeu informações sobre os resultados de suas decisões, bem como das decisões de seus concorrentes. Com essas informações, cada um deles analisou os resultados intermediários, elaborou suas estratégias e táticas, e tomou as decisões que considerou as melhores, para o período subseqüente, com vistas ao que foi colocado, pelo administrador do jogo, como função objetivo para sua atuação gerencial. [2]

5.1.2 Motivações para o Experimento

A motivação deste Projeto Omega foi dupla, resultando numa parceria entre dois pesquisadores, Eliezer Arantes da Costa e Joacy Victor Maia Araujo:

---

[2] Algumas sugestões interessantes de métodos de experimentação em jogos foram encontrados em Friedman, D. & Sunders, S. *Experimental methods – A primer for economists*. Cambridge University Press, 1994.

a) Para o primeiro parceiro, este experimento fez parte de seu projeto de Doutorado, na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, da Unicamp, que versa sobre a formulação de estratégias cooperativas e competitivas com base na Matriz de Jogos Estratégicos;

b) Para o segundo parceiro, os resultados e sua metodologia de trabalho foram usados para a seu Trabalho de Graduação (TG), como aluno do curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), que versa sobre a “co-opetição” no mundo dos negócios (Araujo [19]).

5.1.3 Natureza e limitações do Experimento

Este experimento teve uma natureza de investigação exploratória dos postulados descritos em 2.5 e consolidados na MJE, aplicável aos comportamentos, atitudes e decisões dos jogadores, em diversas situações de conflito de interesses em gestão empresarial. Ele teve por finalidade avaliar e testar as atitudes de jogadores frente a situações de conflitos de interesses, conforme o modelo conceitual da Matriz de Jogos Estratégicos referido no Capítulo 2.

Dadas às limitações de tempo e de recursos, os experimentos, nesta fase dos trabalhos, tiveram um caráter “qualitativo exploratório”. Assim, não houve uma massa de dados em grande volume, baseada em grande amostragem, que permitisse a geração de significância estatística suficiente para conclusões generalizáveis.

Além do mais, o público alvo, limitado intencionalmente, em quantidade, faixa etária, e outras características pessoais, não permite generalizações para outros tipos de pessoas para outros tipos de situações de conflito de interesses, principalmente para executivos e profissionais (Keyes & Wolfe [158]).

As manipulações do Coordenador do jogo, por sua vez, se encarregaram de limitar as possibilidades comportamentais dos jogadores, para reduzir as variabilidades indesejáveis dos resultados e comportamentos.

Tivemos, ainda, outras limitações técnicas, próprias ao modelo matemático adotado para a construção do *software* utilizado nas simulações. Entretanto, essas limitações não prejudicaram a construção do clima concorrencial específico que se pretendia estabelecer em cada um das doze partidas dos jogos de cada experimento.

Apesar de todas as limitações citadas para o experimento, a obtenção de resultados indicativos de comportamentos competitivos e/ou cooperativos, nas condições manipuladas para as simulações foi satisfatória.

5.1.4 Modelo Conceitual usado como base para o Experimento

O modelo conceitual para a construção destes experimentos baseou-se em duas vertentes, que se complementam:

Na primeira, vários trabalhos de Eliezer Costa e Celso Bottura, submetidos para apresentação em congressos e para publicação em revistas, sobre a Matriz de Jogos Estratégicos. Como exemplo, citamos o trabalho publicado na Revista Eletrônica Sistemas e Gestão (Costa & Bottura [84]). Tal Matriz de Jogos Estratégicos propõe uma nova tipologia para a classificação dos vários tipos de jogos que podem ser jogados entre jogadores – empresários e dirigentes - em situações de conflito de interesses no mundo dos negócios. Um extrato desta teoria está descrita no Capítulo 2.

Na segunda vertente, O livro *"Co-opetition",* de Brandenburger & Nalebuff [57] que descreve o conceito de co-opetição como um neologismo por eles criado para designar o modo operativo bivalente de empresas: cooperativo com certos jogadores e/ou em certos momentos ou situações, e competitivo com outros jogadores e/ou em outros momentos ou situações (Costa [90][91][92]).

5.1.5 Questões-problema colocadas para o Projeto Omega

Os pressupostos básicos utilizados neste experimento, em relação aos conceitos de cooperação, de competição, de jogos hierárquicos e de jogos balanceados, representados pela Matriz de Jogos Estratégicos, estão apresentados no capítulo 2.

5.1.6 Descrição das Etapas do Projeto

O Projeto Omega foi desenvolvido em doze fases, como segue:

Fase 1 – Preparação do Experimento

a) Elaboração dos Questionários para Avaliação dos candidatos:

- Questionários preenchidos antes e depois dos jogos: Cadastramento dos candidatos, Avaliação da Postura Concorrencial, Avaliação dos Pressupostos de Relação-de-Forças, Avaliação da Motivação para Jogar, Avaliação da Predisposição para Mudar
- Questionários preenchidos somente após os jogos: Avaliação dos Resultados dos Jogos, e Avaliação da Satisfação com o Jogo

Fase 2 – Seleção da metodologia e *software* para Análise de Dados

Fase 3 – Cadastramento do público-alvo

Fase 4 – Qualificação do público-alvo

Fase 5 – Criação dos Ambientes de Jogo

Fase 6 – Montagem das Equipes de Jogadores para cada partida
Fase 7 – O Jogo Propriamente Dito
Fase 8 – Coleta de Dados sobre o Desempenho dos Jogadores
Fase 9 – Questionário de Avaliação Final
Fase 10 – Tabulação e Entrada de Dados
Fase 11 – Análise e Interpretação dos Dados
Fase 12 – Conclusões e recomendações

As Fases 3 a 12 foram realizadas duas vezes, uma para o Projeto Omega-1 e outra para o Omega-2, porém em forma ligeiramente diferente no Omega-2, como resultante do aprendizado havido no Omega-1.

5.1.7 Equipe de Trabalho

A equipe de trabalho para condução do Projeto foi constituída por Eliezer Arantes da Costa, Roberto Colombo, J. Victor Maia Araujo, Claudia Fonseca Rosès, e Moises Pacheco. Os orientadores foram o Prof. Celso Pascoli Bottura, como orientador de Eliezer e Prof. José Virgilio Guedes de Avelar, IEAv/ITA, como orientador de Victor Maia. O Prof. Ricardo Bernard coordenou as adaptações no *software* necessárias para contemplar os jogos desbalanceados.

5.1.8 Locais de realização dos trabalhos

Os trabalhos foram realizados em Campinas, São José dos Campos, Bragança Paulista e Florianópolis, além dos locais de trabalho onde estavam os jogadores, consultando resultados e lançando suas decisões via *web*. Os processamentos de dados foram realizados em Florianópolis, nas instalações da Bernard Sistemas, por um especial favor do Prof. Ricardo Bernard, que nos cedeu o *software* Bernard® para este uso

acadêmico, e providenciou as adaptações necessárias para tratar também os jogos não-equilibrados.

5.1.9 Distribuição de Atividades e Responsabilidades

A distribuição das atividades e responsabilidades do Projeto Omega foi a seguinte:

a) Eliezer cuidou da modelagem do experimento, da formulação conceitual, da elaboração dos questionários, da manipulação dos ambientes de jogo, e do apoio à análise estatística dos dados. Fez a coordenação do experimento como um todo.

b) Victor Maia cuidou do recrutamento dos candidatos a jogadores, da aplicação dos questionários aos candidatos, do processamento dos questionários, do acompanhamento da execução das partidas dos jogos, com interação direta com os jogadores, com a equipe da Bernard Sistemas Ltda., e da análise estatística dos dados;

c) A professora Claudia abriu sua classe para que os alunos participassem dos jogos e cuidou da coordenação do Projeto Omega-2, nas instalações da Universidade São Francisco, em Bragança Paulista;

c) O professor Colombo deu apoio na escolha e teste do *software* de análise de dados, na montagem das equipes de jogadores e na interpretação estatística de dados;

d) A Equipe da Bernard, composta por Ricardo Bernard, Paul Bernard, e Moisés Pacheco, fez a adaptação do *software* e os processamentos através do simulador de empresas, conforme combinado, para as doze partidas de jogos no Projeto Omega-1 e no Projeto Omega-2.

e) Os professores Bottura e Avellar deram o suporte para todo o projeto.

5.2 O Laboratório dos Jogos

Os jogos de empresa utilizados no experimento estão baseados no *software* SIND 4.0, gentilmente cedido pela Bernard Sistemas Ltda. [38][39].

5.2.1 Fluxograma de informações e decisões na dinâmica do jogo

O fluxograma da dinâmica dos jogos de empresa utilizada no experimento está representado na Figura 5.1, descrita passo a passo, como segue:

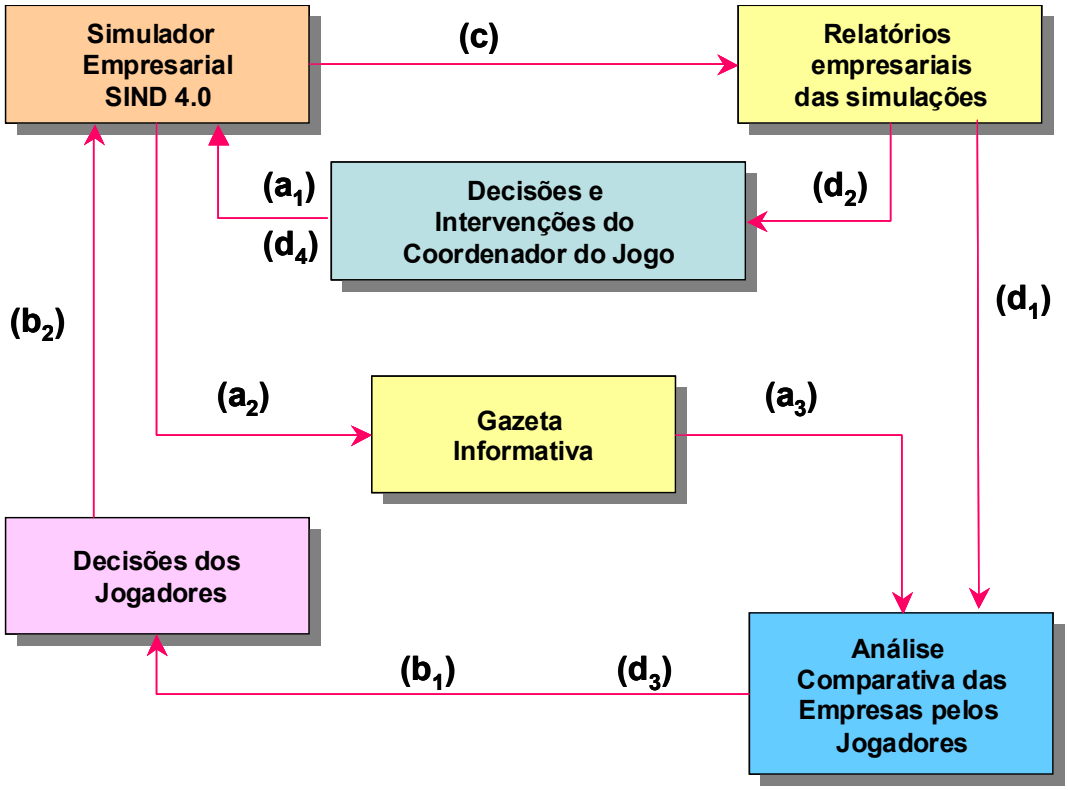
(a) Inicialmente, o Coordenador do jogo informa aos jogadores as condições de funcionamento de cada partida, indicando as funções objetivo para cada um deles. Isto é feito através de um jornal, a Gazeta Informativa. Esta gazeta virtual é oferecida aos jogadores participantes, via *web*, no *site* do jogo, conforme indicado pelas ligações (a_1), (a_2), (a_3), indicadas na Figura 5.1;

(b) Cada participante, mediante as análises que faz dos dados do mercado e da empresa, toma suas decisões e as submete ao simulador empresarial. No caso do experimento, isto foi feito via *web*, conforme mostrado pelas ligações (b_1) e (b_2) indicadas na Figura;

(c) Feitos os cálculos, o simulador gera relatórios e gráficos para os jogadores e para o Coordenador do jogo. Há relatórios individuais, para cada empresa, e relatórios coletivos, que permitem comparar os parâmetros e resultados de todas as empresas no jogo, conforme mostrado pela ligação (c), indicada na Figura;

(d) Essas informações são oferecidas aos jogadores que, mediante suas análises, e informações complementares recebidas via jornal, tomam suas decisões para o período seguinte, e as submetem, também via *web*, ao

simulador. Essas informações também são encaminhadas ao Coordenador do jogo, que poderá decidir sobre novas intervenções ou manipulações do jogo ao longo da partida, conforme mostrado pelas ligações (d_1), (d_2), (d_3), (d_4), indicados na Figura.



Nota: Os significados das ligações (a_1), (a_2), ... (d_4) estão descritos em 5.2.1

Figura 5.1: Fluxograma de informações e decisões na dinâmica do Jogo de Empresas (Adaptado de Costa [93:337]).

Essas atividades se sucedem, período a período, e as informações acumuladas sobre o desempenho passado permanecem à disposição tanto dos jogadores como do Coordenador do jogo.

Os jogadores só tomarão conhecimento de que o "jogo acabou" no momento em que disto forem informados pelo Coordenador do jogo.

De um modo geral, uma seqüência de seis a oito períodos já são suficientes para que os jogadores tenham retirado, do experimento, os ensinamentos necessários ao seu aprofundamento profissional como atuais ou futuros administradores de empresa.

O número de jogadores e, consequentemente, de empresas, envolvidos em cada partida do jogo depende do tipo de jogo que se pretende jogar. No nosso experimento, este número variou de quatro a sete empresas, conforme o caso.

5.2.2 Descrição dos Módulos do Simulador

O Diagrama de Blocos Conceitual do Simulador do Jogo de Empresas implementado no *software* Bernard® utilizado no experimento apresentado na Figura 5.2, é composto pelos seguintes Módulos [5] (Banks, Carson and Nelson [28], Bernard [40], Bernard, Bernard and Bernard [41], Cassandras & Lafortune [65], Coyle [102][103], Feinstein & Cannon [115], Forrester [119][120][121], Kirkwood [160], Meadows, Meadows, Randers and Behrens [189], Roberts [226], Sterman [252], Wolstenholme [277]):

(a) **Módulo de Administração de Vendas**, que processa a política comercial adotada pela empresa. Ele contempla, em seus cálculos, os seguintes elementos: Administração dos Distribuidores, Cálculo da Demanda, Distribuição por Regiões Geográficas, Programas de Propaganda, Tratamento do Preço de Venda, Prazo de Venda, Sazonalidade, Índice de Crescimento Econômico, Política de Importação de Produtos, e Formas de Comercialização;

(b) **Módulo de Administração da Produção**, que processa os dados referentes à fabricação de produtos, e custos de produção. Ele leva em

[5] Informações extraídas do Manual da Empresa, SIND 4.0 – Simulação Industrial, da Bernard Sistemas Ltda. [39].

conta, em seus cálculos, os seguintes elementos: o Programa de Produção, a Produtividade, os Tipos de Máquina e o Parque Produtivo, a Compra e Venda de Máquinas, a Compra de Matérias-Primas, o Sistema de Custeio da Produção, os Gastos com Estocagem, e a Depreciação de Máquinas e Instalações;

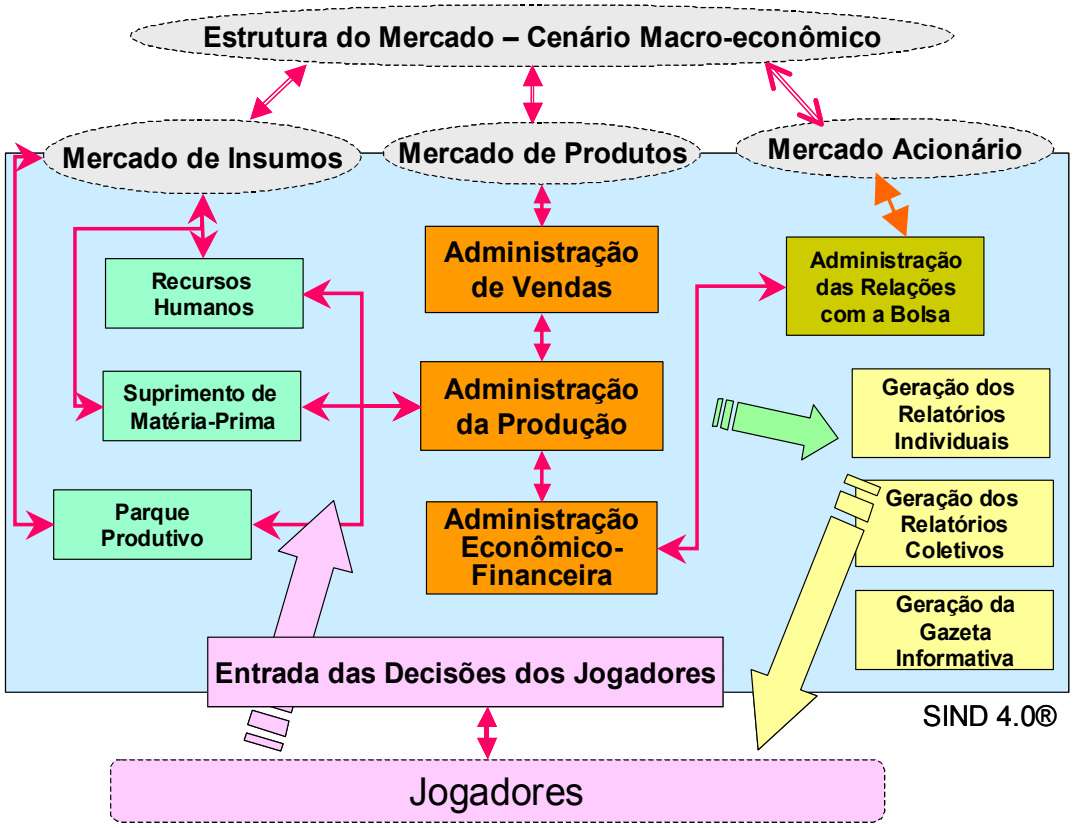


Figura 5.2: Diagrama de Bloco Conceitual do SIND 4.0 ®, (Adaptado de Bernard Sistemas Ltda. [39]).

(c) **Módulo de Administração do Suprimento de Matéria Prima**, que controla os estoques, emite ordens de compra, levando em conta o planejamento de produção para os períodos seguintes;

(d) **Módulo de Administração do Parque de Máquinas**, que gerencia as compras e vendas de máquinas de produção, levando em conta o parque

existente e o planejamento de produção para os períodos seguintes;

(e) **Módulo de Administração de Recursos Humanos**, que trata de contratação, treinamento, demissão, motivação dos empregados da empresa, bem como a possibilidade de greves por insatisfação dos trabalhadores. Ele trata, em seus cálculos: Motivação, Remuneração, Treinamento, Participação nos Lucros, Contratação, Demissão, Greve;

(f) **Módulo de Administração Econômico-Financeira**, que administra todos os valores econômico-financeiros envolvidos na produção e comercialização de produtos, para atendimento do mercado da empresa. Ele leva em conta os Tipos de Empréstimos, Empréstimos Especiais, Empréstimos Programados, Financiamento a Investimentos, Descontos de Duplicatas e Aplicações no Mercado Financeiro, Imposto de Renda, Dividendos, Administração do Contas a Pagar. Ele gera, também, o Demonstrativo de Resultados da Empresa (DRE) e o Balanço Patrimonial (Ativo e Passivo);

(g) **Módulo de Administração das Relações com a Bolsa**, que leva em conta o valor da empresa no mercado acionário. Para cálculo de um "Valor da Ação" simulado para a empresa, o SIND 4.0 leva em conta as seguintes variáveis: Nível de Endividamento, Capital Circulante Líquido, Margem de Lucros, Participação nas Vendas, Patrimônio Líquido e Rentabilidade do Ativo;

(h) **Módulo de Entrada das Decisões dos Jogadores**, que administra a entrada das decisões dos jogadores para o período seguinte. Os dados a serem informados pelas empresas são os seguintes: Preço de Venda por Região Geográfica, Prazo de Recebimento nas Vendas, Nível de Propaganda, Funcionários a Admitir, Funcionários a Demitir, Salários, Treinamento, Participação nos Lucros, Matéria Prima a Comprar, Formas de Pagamento da Matéria Prima, Nível de Atividade da Produção, Compra

e Venda de Máquinas, Empréstimos a Tomar, Duplicatas a Descontar, Aplicações a Fazer, Juros Sobre Vendas a Cobrar.

(i) **Módulo de Geração dos Relatórios Individuais**, que informa dados de Estoque Inicial e Final a cada período, Consumo de Matéria Prima, Vendas de Produto Final, Compras de Matéria Prima, e Valor Unitário Final do Produto Acabado. Ele fornece também os Relatórios de Fluxo de Caixa no Período, os Movimentos Financeiros, a Posição do Contas a Receber, o Parque de Máquinas, o Efetivo de Recursos Humanos, e as Demandas e Vendas por Região;

(j) **Módulo de Geração dos Relatórios Coletivos,** que gera demonstrativos comparativos entre todas as empresas do jogo. São informados o Balanço Patrimonial (Ativo e Passivo) e a Demonstração do Resultado do Exercício (DRE), e Relatório de Mercado, que descreve a Demanda e Venda Total por Região, a Participação de Cada Empresa no Mercado, o Preço de Venda Por Região, a Propaganda Média Ocorrida por Região, os Valores das Ações de Cada Empresa, e os Indicadores Macroeconômicos vigentes para o período.

(k) **Módulo de Produção da Gazeta Informativa**, que é o documento onde o Coordenador do jogo divulga, às empresas, as decisões que tomou para a condução da simulação. Por exemplo, este jornal informa os preços de todos os fornecedores, a Taxa Referencial de Juros, a Estimativa de Importação de Produtos, a Ocorrência de Greves, os Resultados de Negociações Sindicais, etc.

5.2.3 Diagrama de Blocos Causal do Simulador da Estrutura do Mercado

O diagrama de blocos causal do *software* que simula o funcionamento da dinâmica do mercado competitivo utilizado neste experimento, e que é

parte integrante do SIND 4.0®, e de praticamente todos os jogos de empresas onde o mercado é modelado e apresentado, é mostrado na Figura 5.3, a seguir.

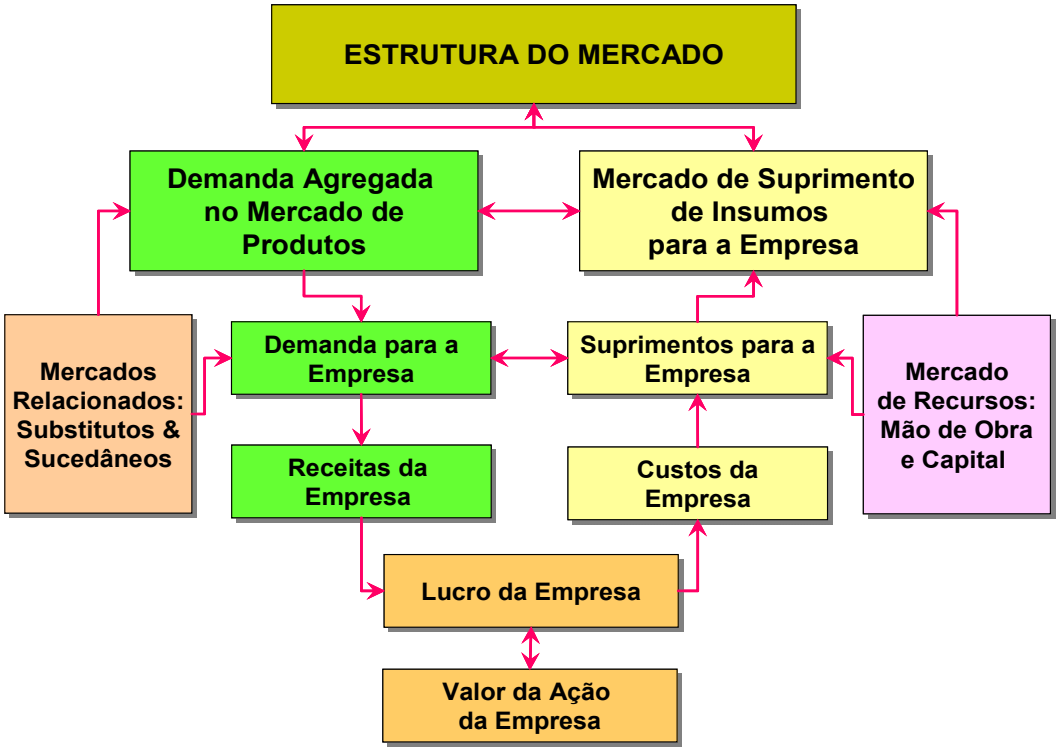


Figura 5.3: Diagrama de Blocos da Estrutura de um Simulador de Mercado Competitivo (Adaptado de Gold [128]).

O diagrama de blocos conceitual descrito na Figura indica, num fluxo causal descendente, a seqüência: Demanda Agregada do Mercado de Produtos ➔ Demanda para a Empresa ➔ Receitas da Empresa ➔ Lucro da Empresa ➔ Valor da Ação da Empresa.

Por outro lado, num fluxo ascendente, a seqüência causal é: Valor da Ação da Empresa ➔ Lucro da Empresa ➔ Custos para a Empresa ➔ Suprimentos para a Empresa ➔ Mercado de Suprimento de Insumos para a Empresa.

Gold [128] apresenta vários sugestões de modelos de equações matemáticas para um simulador de empresas, que variam de simulador para simulador (Penrose [210]).

Entretanto, as equações dos modelos matemáticos usadas, no *software* Bernard®, para calcular demandas, receitas, custos, lucros, suprimentos, valores de ação, etc., são fórmulas protegidas, não estando à disposição dos jogadores nem dos Coordenadores dos jogos.

5.3 Os Doze Tipos de Jogos do Experimento

A preparação das doze partidas de jogos do experimento demandou as seguintes providências metodológicas:

(a) A indução dos comportamentos e atitudes dos jogadores

A preparação do ambiente do jogo e a indução de comportamentos e posturas concorrenciais dos jogadores (se associativa, se individualista, ou se rival) e dos pressupostos de relação de forças (se mais forte, se equilibrado ou se mais fraco), mapeando assim cada uma das nove células da MJE para a qual os jogadores estavam sendo alocados.

Para tal propósito, a manipulação dos parâmetros do jogo foi levada a efeito através dos seguintes mecanismos:

- As mensagens, as funções objetivo e as condições iniciais de cada empresa foram estabelecidas de forma distinta e específica para cada jogador e para cada partida,
- C*hat*, na internet, para conversa entre os jogadores (quando permitido),
- Manipulação dos parâmetros do ambiente macroeconômico.

- As conversas e instruções individuais dos Coordenadores do experimento com cada participante, durante os experimentos, foram todas no sentido de reforçar o comportamento e atitude 'esperada' – e a desejada – para o jogo para os quais o participante estava 'escalado'.

É fato que esta indução surtiu resultados parciais, considerando os jogadores participantes: alguns poucos insistiram em manter o comportamento de seu perfil "*default*", apesar dos esforços dos Coordenadores do jogo para induzir o comportamento indicado para o jogo para o qual eles estavam escalados.

Mas este fato só serviu para reforçar, entre os Coordenadores, a convicção da necessidade deste tipo de experimento pedagógico que, em última instância, visa provocar modificações de comportamentos e atitudes para atuais ou futuros gestores, aumentando sua habilidade e flexibilidade para lidar com as diversificadas situações de conflito de interesse que terão de enfrentar na vida real.

(b) Delineamento dos experimentos

Os dois experimentos, tanto o Projeto Omega-1 como Projeto Omega-2, foram estruturados em 12 tipos de jogos, representando 12 partidas simultâneas. Foram delineadas seis partidas como "jogos de referência" (Jogos 1 a 6), onde os jogadores foram alocados a partidas onde suas posturas competitivas esperadas estavam as mais próximas possíveis de suas Posturas Concorrenciais e dos seus Pressupostos de Relação-de-Forças apuradas nos Questionários de Avaliação do Perfil dos Jogadores, descrito no tópico 5.4. Nas demais seis partidas (Jogos 7 a 12), alguns dos jogadores foram alocados a jogos que pressupunham posturas competitivas bastante diferentes de seus perfis apurados nos ditos

questionários. Descreveremos, a seguir, os 12 tipos de jogos utilizados. Atribuímos, a cada tipo de jogo, o nome de uma cidade, escolhidas aleatoriamente, com o propósito de descaracterizar, para os jogadores, qualquer conotação ou ilação quanto ao tipo do jogo que cada um deveria jogar.

(c) Alocação das equipes de participantes

Os participantes foram alocados aos 12 jogos, sendo que em seis deles os jogadores deveriam estar em uma célula da MJE a mais compatível possível com o seu perfil *default* apurado nos questionários e nos outros seis jogos pelo menos um jogador estava alocado a um jogo que pressupunha uma posição, na célula da MJE bem distante de seu perfil *default.*

(d) Início do jogo

Para início das partidas, os jogadores receberam instruções sobre como jogar, sobre como utilizar o simulador de empresas, e também sobre o Manual de Uso do Sistema [39]. Uma explicação sumária do funcionamento do simulador foi também apresentada.

Os jogadores em princípio não sabiam “qual o tipo do jogo” que estavariam jogando, para evitar algum tido de indução de comportamento indesejável. A primeira jogada foi repetida, para dar uma chance, aos participantes, de aprendizado sobre o funcionamento e a dinâmica do jogo

Descrevemos, a seguir, os doze jogos do experimento, com as condições de manipulação inicial do jogo, as mensagens que foram enviadas a cada jogadores, especificando as condições do jogo a ser jogado, as funções objetivo de cada tipo de jogador, e a existência ou não de condições para comunicação entre os jogadores, aqui chamadas de *chats*. As mudanças dos parâmetros macroeconômicos eram informadas apenas ‘ao longo do

tempo', como elemento surpresa para despertar e aguçar a criatividade e a flexibilidade dos jogadores.

5.3.1 Jogo 1 – LONDRES [6] – Tipo Minimax

(a) Condições de manipulação inicial do jogo – As quatro empresas concorrentes são inicializadas em idênticas condições, tanto econômicas e financeiras, como comerciais, industriais, de recursos humanos, etc.

(b) Mensagem a ser enviada igualmente a todos os jogadores [7]***:***

> *"Você está num jogo de "vida ou morte" contra seus concorrentes!*
>
> *De fato, é possível que poucos sobrevivam, e espero que você seja um deles!*
>
> *Quanto mais concorrentes quebrarem no jogo, melhor pra você.*
>
> *Você não deve conversar com seus concorrentes, pois não há espaço para acordos ou conchavos.*
>
> *O que você perder, os outros ganham. O que você ganhar, os outros perdem.*
>
> *"Vencerá o jogo aquele que tiver o maior market share (fatia de mercado) quando terminar o jogo".*

(c) Intervenções e manipulações ao longo da partida – Ao começo do jogo, são utilizados os parâmetros macroeconômicos *default* do simulador; a partir do 3º período [8], a importação cresce para 15%, reduzindo assim o tamanho do mercado para todas as empresas; a partir

---

[6] Utilizamos, arbitrariamente, nomes de doze cidades européias quaisquer para designar as doze partidas, para evitar qualquer conotação de preferência ou de prioridade entre elas.

[7] Todas as mensagens são repetidas a cada lance da partida, em todos os períodos, em todos os 12 jogos, para reforçar o clima que se quer criar em cada tipo de jogo.

[8] Os períodos utilizados no experimento foram de duração trimestral.

do 5º período, os juros bancários e dos fornecedores aumentam em um ponto percentual para todos, para apertar um pouco mais.

(d) Função objetivo, igual para todos os jogadores:

"Maximizar o market share no último período do jogo"

(e) Chat – Este jogo não tem espaço para *chat* para comunicação entre os jogadores.

5.3.2 Jogo 2 – MADRID – Tipo Nash

(a) Condições de manipulação inicial do jogo – As cinco empresas concorrentes, são iniciadas em condições idênticas.

(b) Mensagem a ser enviada igualmente a todos os jogadores:

> *"Você está operando em um mercado com muitos compradores e muitos vendedores, todos mais ou menos do mesmo porte que você.*
>
> *Você não tem condições de conversar com seus concorrentes, pois não há espaço nem clima para acordos ou 'conchavos'.*
>
> *Você deve procurar "ser o melhor", apesar dos concorrentes e dos problemas conjunturais que venha a encontrar.*
>
> *Seu objetivo é maximizar o valor da ação de sua empresa ao final do jogo."*

(c) Intervenções e manipulações ao longo da partida – são utilizados os parâmetros *default* para começar o jogo; a partir do 3º período, há redução do Índice de Crescimento Econômico, para 0,5% ao trimestre; a partir do 5º período, há aumento dos salários médios em 10% para todas as empresas.

(d) Função objetivo, igual para todos os jogadores:

"Maximizar o valor da ação da empresa no último período do jogo".

(e) Chat – Este jogo não tem espaço para *chat*.

5.3.3 Jogo 3 – PARIS – Tipo Pareto

(a) Condições de manipulação inicial do jogo – As cinco empresas concorrentes, são iniciadas em condições idênticas.

(b) Mensagem a ser enviada igualmente a todos os jogadores:

> *"Você está num mercado de poucos produtores que precisam se proteger mutuamente. Afinal, o conhecido FIVT (Fundo de Investimentos das Velhinhas de Taubaté) tem 30% de cada uma das cinco empresas no mercado e, para os dirigentes do Fundo, que o indicou para administrar essa empresa, não há interesse que nenhuma das cinco empresas venha a passar dificuldades e, eventualmente, que venha a quebrar.*
>
> *Assim, sugerimos que você converse com seus concorrentes, na busca de articulações que produzam melhores resultados para o todo.*
>
> *Você será avaliado, ao final do jogo, por uma combinação de dois parâmetros: 50% pelo valor da ação de sua empresa, mais 50% pela soma dos valores das ações de todas as cinco empresas do mercado.*

(c) Intervenções e manipulações ao longo da partida – São utilizados os parâmetros *default* para começo do jogo; a partir do 3º período há aumento de salários em 10%; a partir do 4º período há aumento da importação para 10% do mercado; a partir do 5º período há aumento de juros em 1 ponto percentual tanto para operações financeiras como pelos fornecedores de máquinas, e o Índice de Crescimento Econômico caiu para 1,0% a.a.

(d) Função objetivo, igual para todos os jogadores:

"Maximizar o seguinte resultado, ao final do jogo: 50% do valor da ação da empresa mais 50% da soma dos valores das ações de todas as cinco concorrentes".

(e) Chat – Há um *chat* à disposição dos jogadores para combinarem o que fazer. Todos os cinco jogadores têm acesso a todas as informações colocadas no *chat*. O *chat* se chama “CLUBE DE PARIS”.

5.3.4 Jogo 4 – VIENA – Tipo Hegemônico-Marginal

(a) Participantes – Há um jogador escalado para a posição Hegemônica e 3 jogadores para a posição Marginal.

(b) Condições de Manipulação – As condições iniciais são assimétricas: As quatro empresas concorrentes, representadas pelos números dos jogadores acima, são iniciadas nas seguintes condições: A empresa na posição Hegemônica tem *market share*, patrimônio líquido, número de empregados equivalentes a cerca de 70% do total das empresas, enquanto que as demais três empresas, na posição Marginal, têm, cada uma, cerca de 10,0 % do total; a empresa na posição Hegemônica tem 3 máquinas de maior porte, e as demais têm, cada uma, 1 máquina de menor porte.

(c) Mensagens, diferentes para os dois tipos de jogadores:

Para a empresa na posição Hegemônica, a mensagem foi:

> *“Você tem grande participação no mercado, mas está incomodado com algumas pequenas empresas, que podem tentar crescer e tomar fatias do “seu” mercado. Portanto, você precisa fazer de tudo para tentar quebrar, limitar ou prejudicar o máximo possível as concorrentes.*
>
> *Você será avaliado pelo seu market share ao final do período e pelo número de empresas que conseguir quebrar ao longo do jogo.”*

E, para as três empresas na posição Marginal, a mensagem foi:

> *“Você é um pequeno fornecedor neste mercado, e concorre com uma empresa muito grande, que está tentando acabar com você.*
>
> *Você precisa fazer de tudo para tentar prejudicar a grande empresa, e tentar crescer, se possível.*

> *Seu objetivo é, naturalmente, sobreviver e, ao final do jogo, obter o maior valor de ação de sua empresa".*

(d) Intervenções e manipulações durante a partida – São utilizados os parâmetros *default* para começar o jogo, com as diferenciações mencionadas acima; a partir do 3º período, os juros caem um ponto percentual para todos; a partir do 5º período, o Índice de Crescimento econômico sube para 5% ao ano.

(e) Funções objetivo diferentes para os tipos de jogadores:

Para a empresa na posição Hegemônica:

> *"Maximizar o market share ao final do jogo e, se possível, provocar a 'quebra' do maior número de empresas concorrentes; cada empresa quebrada representa um acréscimo de 7,5 pontos percentuais em seu índice de avaliação"*

E, para as empresas na posição Marginal:

> *"Seu objetivo é sobreviver, claro, e obter o maior valor de ação possível ao final do jogo".*

(f) Chat – Este jogo não tem *chat*.

5.3.5 Jogo 5 – BERLIM – Tipo Stackelberg

(a) Participantes – Neste jogo, há um jogador escalado para a posição Líder e 3 jogadores para a posição Seguidor.

(b) Condições de manipulação inicial do jogo – As distribuições iniciais foram assimétricas, idênticas às do jogo descrito no tópico 5.3.4.

(c) Mensagens, diferentes para os dois tipos de jogadores:

Para o jogador na posição Líder:

> *"Você tem a maior parte neste mercado, e tem também pequenos competidores. Como você é o maior, você precisa divulgar antecipadamente seus lances no jogo, tomando suas decisões antes deles para que eles se orientem e tomem as decisões deles, levando em conta as suas.*

> *Seu objetivo é manter o seu market share inicial, mas aumentar ao máximo o valor de suas ações."*

E, para os jogadores na posição Seguidor;

> *"Você é um pequeno fornecedor neste mercado, competindo com uma conhecida grande empresa. É bom para você saber, com antecedência, a decisão do grande concorrente, antes de formular suas decisões.*
>
> *Seu objetivo é, naturalmente, sobreviver, e maximizar o valor da ação de sua empresa ao final do jogo".*

(c) Intervenções e manipulações ao longo da partida – Idênticas ao especificado para o jogo descrito em 5.3.4.

(d) Funções objetivo diferentes para os tipos de jogadores:

Para o jogador na posição de Líder:

> *"Maximizar o valor da ação ao final do jogo, sem perder market share (participação percentual no mercado)".*

*E, p*ara as empresas na posição Seguidor:

> *"Maximizar o valor da ação ao final do jogo".*

(e) Timing – Para este jogo, o jogador escalado para a posição Líder precisa fazer suas decisões e divulgá-las ao seu público (isto é, aos concorrentes Seguidores), em um *chat* específico, até a metade do período de uma semana.

(f) Chat – Há um *chat* limitado, à disposição do jogador Líder para que publique suas decisões aos demais jogadores. Os jogadores Seguidores só podem entrar no *chat* para tomar conhecimento da decisão do Jogador Líder, sem poderem colocar nada no *chat*. O *Chat* se chama "CLUBE DE BERLIM".

5.3.6 Jogo 6 – ROMA – Tipo Paternalista-Solidário

(a) Participantes – Neste jogo, há um jogador escalado para a posição Paternalista e 3 jogadores para a posição Solidário.

(b) Condições de manipulação inicial do jogo – As condições iniciais são assimétricas, similares às dos jogos descritos nos tópicos 5.3.4 e 5.3.5, com 70% para a empresa Paternalista e 10% para cada empresa Solidária.

(c) Mensagens diferentes para os dois tipos de jogadores:

Para o jogador Paternalista:

> *"Você controla o mercado e é muito forte. Mas não tem interesse que os menores concorrentes saiam do mercado. Isto poderia lhe criar problemas legais de acusação de monopólio aos órgãos reguladores do governo, etc. Assim, conversar com eles poderá ser uma boa providência para acertar certos pontos táticos ou estratégicos para todos os envolvidos.*
>
> *Seu objetivo é maximizar a soma de 50% do valor da ação de sua empresa com 50% da soma dos valores das ações de todas as empresas fornecedoras ao final do jogo."*

E, para os jogadores Solidários:

> *"Você é um pequeno fornecedor, tentando sobreviver, mas concorre com um grande produtor e também com outras empresas do seu tamanho.*
>
> *O grande produtor parece estar interessado em desenvolver alguns entendimentos para preservar o mercado para todos.*
>
> *Seu objetivo é sobreviver e crescer o valor da ação de sua empresa ao final do jogo."*

(d) Intervenções e manipulações durante a partida:

Idem aos jogos descritos em 5.3.4 e 5.3.5.

(e) Funções objetivo diferentes para cada tipo de jogador:

Para o jogador Paternalista:

"Maximizar a soma de 50% do valor da ação da empresa com 50% da soma dos valores das ações das três empresas menores".

Para as empresas Solidárias:

"Maximizar o valor da ação ao final do jogo".

(f) Chat – Há um *chat* à disposição dos jogadores, para que combinem o que fazer. Eles entram com seu *login* e senha. Todos os quatro jogadores têm acesso a todas as informações. O *chat* se chama "CLUBE DE ROMA".

5.3.7 Jogo 7 – ATENAS – Tipo Minimax

Tudo idêntico ao jogo descrito em 5.3.1, exceto quanto às características da escalação para o jogo: Um ou mais jogadores, agora, estão escalados em posições diferentes da identificada em seu perfil concorrencial.

Este jogo não tem *chat*.

5.3.8 Jogo 8 – LISBOA – Tipo Nash

Tudo idêntico ao jogo descrito em 5.3.2, exceto quanto às características da escalação para o jogo: Um ou mais jogadores, agora, estão escalados em posições diferentes da identificada em seu perfil concorrencial.

(Este jogo não tem *chat*).

5.3.9 Jogo 9 – AMSTERDÃ – Tipo Pareto

Tudo idêntico ao jogo descrito em 5.3.3, exceto quanto às características da escalação para o jogo: Um ou mais jogadores, agora, estão escalados em posições diferentes da identificada em seu perfil concorrencial.

(Este jogo tem *chat* chamado “CLUBE DE AMSTERDÃ”).

5.3.10 Jogo 10 – BRUXELAS – Tipo Hegemônico-Marginal

Tudo idêntico ao jogo descrito em 5.3.4, exceto quanto às características da escalação para o jogo: Um ou mais jogadores, agora, estão escalados em posições diferentes da identificada em seu perfil concorrencial.

(Este jogo não tem *chat*).

5.3.11 Jogo 11 – COPENHAGUE – Tipo Stackelberg

Tudo idêntico ao jogo descrito em 5.3.5, exceto quanto às características da escalação para o jogo: Um ou mais jogadores, agora, estão escalados em posições diferentes da identificada em seu perfil concorrencial.

(Este jogo tem um *chat*, limitado, como no jogo descrito em 5.3.5. O *chat* chama-se CLUBE DE COPENHAGUE).

5.3.12 Jogo 12 – GENEBRA – Tipo Paternalista-Solidário

Tudo idêntico ao jogo descrito em 5.3.6, exceto quanto às características da escalação para o jogo: Um ou mais jogadores, agora, estão escalados em posições diferentes da identificada em seu perfil concorrencial.

(Este jogo tem um *chat*, chamado “CLUBE DE GENEBRA”).

5.4 Avaliação do Perfil e do Desempenho dos Jogadores

5.4.1 Questionários para avaliação do perfil dos jogadores

Inicialmente, a identificação e o cadastramento dos candidatos foram obtidos através do Questionário para Qualificação dos Candidatos, QQD, preenchido antes do jogo, cujo modelo está mostrado no Anexo 1.

A avaliação do perfil concorrencial dos candidatos foi feita através de dois questionários, preenchidos antes e depois do jogo:

- Questionário para Avaliação da Postura Concorrencial, QPC, mostrado no Anexo 2;
- Questionário para Avaliação dos Pressupostos de Relação-de-Forças, QPR, mostrado no Anexo 3.

A prontidão e a motivação para jogar foram avaliadas através dos seguintes questionários, preenchidos também antes e depois do jogo:

- Questionário para Avaliação da Flexibilidade e Adaptabilidade, QFA, mostrado no Anexo 4;
- Questionário para Avaliação das Preferências Motivacionais dos Candidatos, QQP, mostrado no Anexo 5.

Os resultados do aproveitamento do jogo foram avaliados através dos seguintes questionários, preenchidos apenas depois do jogo:

- Questionário para Avaliação dos Resultados do Jogo, QRJ, mostrado no Anexo 6;
- Questionário para Avaliação de Mudanças Comportamentais, QMP, mostrado no Anexo 7.

Os questionários dos Anexos 2 a 7 foram estruturados sob a forma de cerca de dez declarações, com respostas numa escala de Likert de cinco

níveis, para as quais foi pedido aos respondentes que se manifestassem sobre sua concordância ou não, com cada declaração, com as seguintes opções: Discordo totalmente, Discordo em parte, Nem concordo nem discordo, Concordo em parte, Concordo totalmente.

5.4.2 Tabulação e avaliação das respostas aos Questionários

Tendo em vista o caráter meramente piloto do Projeto Omega 1, seus dados não são aqui apresentados; todos os dados tabulados neste Capítulo 5 referem-se ao Projeto Omega 2, que foi o que chegou ao fim dos 7 períodos de jogo simulados.

As respostas dos questionários dos Anexos 2 a 5, referidos acima, foram devidamente tabuladas e processadas, usando-se o método de Análise de Fatores (Hair [134][135]), obtidos através do *software* SPSS 15.0 ®.

A Tabela 5.1, a seguir, apresenta a lista de variáveis utilizadas no experimento.

Assim, a cada jogador, para cada questionário, se associou um resultado de zero a cem, conforme mostrados na Tabela 5.2, e as respostas dos questionários dos Anexos 6 e 7, referidos acima, também foram processados, cujos resultados estão na Tabela 5.4.

A Tabela 5.3 mostra a alocação dos jogadores nos 12 jogos descritos acima, indicando as posições atribuídas a cada um deles e as posições dos seus respectivos perfis avaliados.

Os gráficos comparativos dos resultados dos questionários são também apresentados. Uma comparação gráfica mostrando a avaliação

do Pressuposto de Relação-de-Forças, QPR, de cada jogador, contra a sua Postura Competitiva, QPC, é mostrada na Figura 5.4 [9].

Tabela 5.1: Lista das variáveis utilizadas no Experimento

Sigla	Nome da variável	Como é calculada
QMJi (*)	Ïndicador da motivação para o jogar	Análise de fator sobre o questionário Q2
QFAi	Indicador de flexibilidade e adaptabilidade dos jogadores	Idem, para o questionário Q5
QPCi	Indicador de postura concorrencial	Idem, para o questionário Q3
QPRi	Indicador de pressuposto de relação-de-forças	Idem, para o questionário Q4
QRJ	Indicador de satisfação com os jogos	Idem, para o questionário Q6
QMP	Indicador de mudanças comportamentais	Idem, para o questionário Q7
QDE	Índice de desempenho da empresa simulada	Análise de fator sobre os parâmetros financeiros, econômicos, comerciais e operacionais da empresa

(*) índice i designa o “antes do jogo”, como (a), e ‘depois do jogo, como (d)

Uma comparação gráfica mostrando a avaliação da Flexibilidade a Adaptabilidade, QFA, de cada jogador, contra a sua Motivação para o jogo, QQP, é mostrada na Figura 5.5.

Tanto a Figura 5.4 como 5.5 mostram grande espalhamento dos jogadores pelos planos indicados, mostrando que as posturas

[9] Observe-se que, nas Figuras 5.4 e 5.6 e nas Tabelas 5.2 e 5.3, o valor de QPC = 100 corresponde ao extremo de postura concorrencial ***Associativa***, e QPC = 0 corresponde ao extremo de postura concorrencial ***Rival***. Assim, QPC = 50 indica, tipicamente, uma postura Individualista.

competitivas e a prontidão para mudança estão bastante diferenciadas entre os estudantes analisados. Os gráficos das Figuras 5.4 e 5.5, citados, ilustram a posição dos jogadores antes do jogo. Mostra-se um grande espalhamento tanto da postura concorrencial como da propensão a mudanças. Esta riqueza de tipos humanos permitiu uma "escala" satisfatória para os jogadores entre os doze jogos programados, suficiente para emular os comportamentos que se pretendia, tanto para os jogos cooperativos como para os competitivos, tanto para os jogos equilibrados como os não-equilibrados, como mostrado na Tabela 5.2.

Apresentamos, também, gráficos comparativos, em formato de nuvem de pontos, onde cada ponto representa um respondente, colocando no eixo horizontal a posição do jogador ANTES do jogo, e no eixo vertical a posição do jogador DEPOIS do jogo.

Os resultados dos questionários foram mapeados como segue: as Posturas Concorrenciais – QPC – na Figura 5.6; os Pressupostos de Relação-de-Forças, – QPR – na Figura 5.7; a Motivação para o Jogo – QQP – na Figura 5.8; e a Flexibilidade e Adaptabilidade – QFA – na Figura 5.9.

A tendência dos resultados no perfil dos jogadores após o experimento pode ser facilmente perceptível ao se analisar as 4 figuras citadas. Para facilitar a observação, Indicamos, em regiões de cor marrom, a nuvem de jogadores para os quais praticamente não houve alterações significativas no parâmetro medido. Nas regiões de cor verde, a nuvem de jogadores que tiveram algum deslocamento no sentido de *crescimento no valor do indicador* no parâmetro medido. Nas regiões de cor vermelha, a nuvem de jogadores que tiveram algum deslocamento no sentido de *decréscimo do valor do indicador* no parâmetro medido.

Tabela 5.2: Resultados das Análises de Fatores dos Questionários de Avaliação do Perfil dos Jogadores, antes e depois dos jogos (*)

	Antes do jogo				Depois do jogo			
Jogador	**QQP**	**QPC**	**QPR**	**QFA**	**QQP**	**QPC**	**QPR**	**QFA**
1	52	20	73	36	52	36	73	33
2	78	85	44	75	75	54	54	41
4	52	44	49	8	47	32	69	27
5	50	45	55	85	52	49	39	98
6	52	29	41	80	38	62	28	73
7	59	66	66	50	31	85	68	54
8	65	64	53	44	90	3	56	52
9	89	5	55	43	68	33	77	54
10	78	34	43	75	90	3	56	52
11	61	62	36	17	77	62	34	70
12	54	19	65	54	66	70	59	58
13	70	52	74	32	85	41	71	38
14	53	50	73	32	37	4	71	56
15	91	52	44	78	94	90	63	100
16	84	77	44	59	88	47	39	64
17	37	73	58	56	53	33	64	55
18	38	36	74	46	42	20	87	35
19	41	38	65	46	61	68	39	77
20	43	59	56	51	43	94	55	37
21	46	53	47	72	60	45	65	43
22	80	36	28	51	97	53	18	21
23	70	51	68	54	94	36	52	49
24	26	53	50	47	50	43	39	13
25	75	46	61	8	65	39	39	13
26	28	53	44	49	67	60	44	58
27	68	33	60	35	72	52	63	14
28	58	30	65	34	47	40	58	57
29	72	22	48	60	52	24	72	39
30	0	34	55	31	40	39	49	25
31	88	42	72	73	86	46	42	63
32	27	77	30	31	70	50	51	50
33	90	50	58	66	58	100	63	14
34	66	51	50	43	67	45	77	56
35	49	44	48	9	27	33	41	0
36	63	50	0	70	67	90	50	62
37	96	18	91	78	69	40	53	58
38	75	46	61	8	77	42	37	56
39	76	39	36	12	47	38	86	40
40	98	58	64	30	84	5	76	39
41	85	65	57	68	82	51	29	69
42	85	96	59	47	84	47	67	64
43	80	21	100	55	79	54	66	33
44	88	74	56	71	93	65	44	72
45	84	14	56	61	49	33	39	77
46	70	46	35	44	71	33	60	67
47	56	48	33	64	51	40	38	68
48	51	0	47	45	37	14	57	49
49	95	61	49	64	91	80	39	71
50	100	42	31	71	70	64	36	46
51	77	47	39	72	55	26	45	67
52	74	54	49	77	97	53	18	43

(*) Índices numéricos equivalentes às respostas dos jogadores aos questionários selecionados, obtidas pelo método de Análise de Fatores (Hair [134][135]) usando o SPSS 15.0 ®

Duas conclusões podem ser derivadas destas avaliações qualitativas:

(a) Há um número não desprezível de jogadores que tiveram algum tipo de alteração de perfil e atitude em relação a participação em jogos de empresa, ao longo do experimento;

(b) Houve um maior número de jogadores que tiveram aumento nos indicadores de posturas concorrenciais cooperativas, em relação ao número de jogadores que tiveram redução nos indicadores de posturas cooperativas, como se vê na Figura 5.6;

(c) Idem para os indicadores de pressupostos de relação-de-forças, Figura 5.7, porém menos significativa;

(d) Idem para os indicadores de preferências motivacionais para jogar, Figura 5.8;

(e) Idem para os indicadores de flexibilidade e adaptabilidade, Figura 5.9.

Algumas avaliações estatísticas mais formais são apresentadas nos tópicos 5.5 e 5.6.

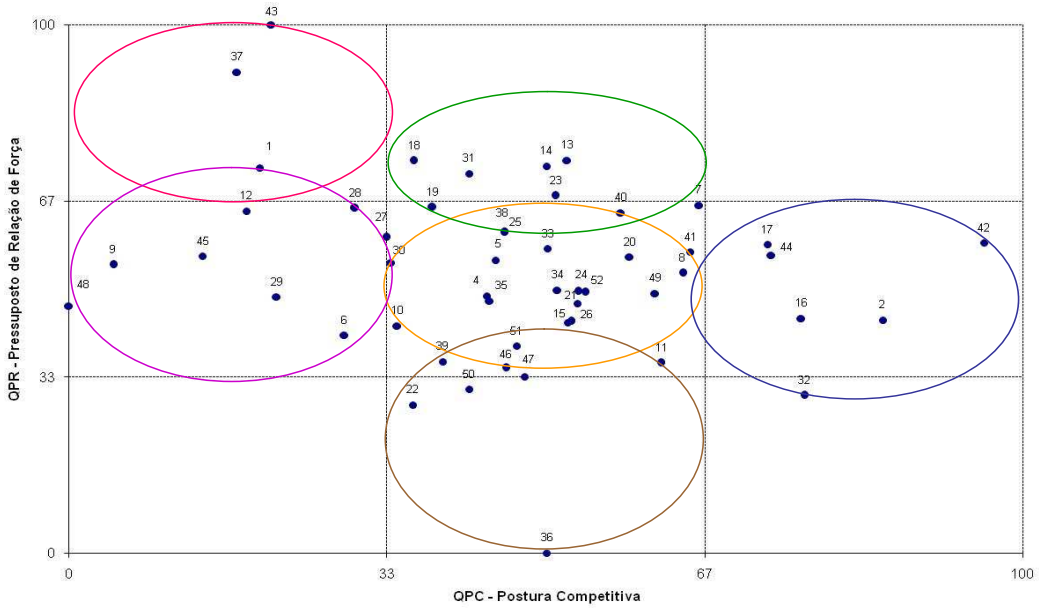


Figura 5.4: Perfil Concorrencial dos jogadores: Pressuposto de Relação-de-Forças, QPR, versus Postura Competitiva, QPC

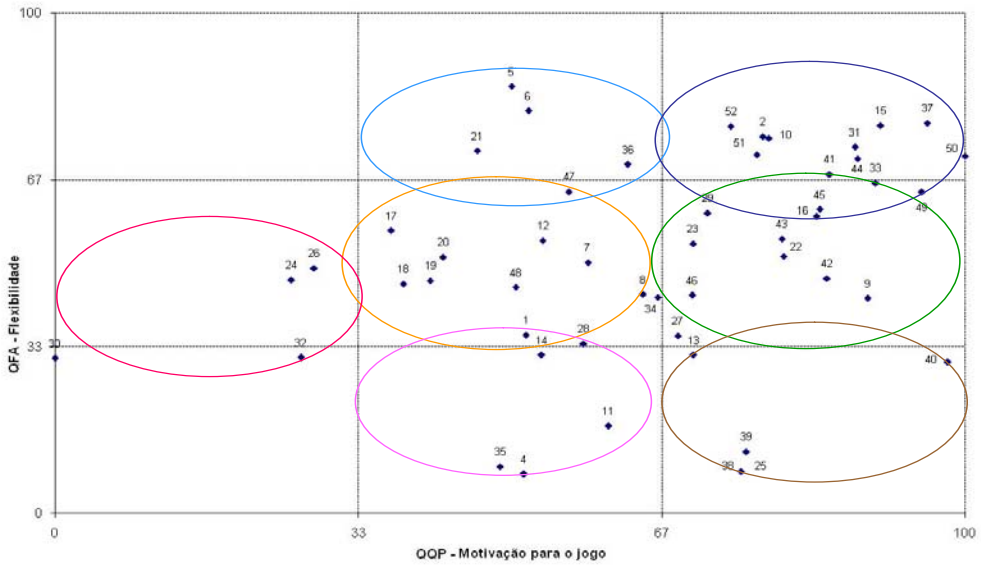


Figura 5.5: Prontidão para mudanças dos jogadores: Flexibilidade e Adaptabilidade, QFA, versus a Motivação para Jogar, QQP

Tabela 5.3: Alocação dos jogadores aos respectivos jogos a jogar

		Posição Atribuida no Jogo			Posição Natural		Variação Absoluta	
Jogadores	**Jogo**	**Posição Padrão**	**QPC**	**QPR**	**QPC**	**QPR**	**QPC**	**QPR**
2	Londres	Retaliatório	0	50	85	78	85	28
42	Londres	Retaliatório	0	50	96	85	96	35
44	Londres	Retaliatório	0	50	74	88	74	38
52	Londres	Retaliatório	0	50	54	74	54	24
1	Madrid	Competitivo	50	50	20	52	30	2
10	Madrid	Competitivo	50	50	34	78	16	28
27	Madrid	Competitivo	50	50	33	68	17	18
43	Madrid	Competitivo	50	50	21	80	29	30
47	Madrid	Competitivo	50	50	48	56	2	6
25	Paris	Cooperativo	100	50	46	75	54	25
37	Paris	Cooperativo	100	50	18	96	82	46
38	Paris	Cooperativo	100	50	46	75	54	25
40	Paris	Cooperativo	100	50	58	98	42	48
7	Viena	Hegemônico	0	100	66	59	66	41
21	Viena	Marginal	0	0	53	46	53	46
35	Viena	Marginal	0	0	44	49	44	49
36	Viena	Marginal	0	0	50	63	50	63
6	Berlim	Seguidor	50	0	29	52	21	52
14	Berlim	Líder	50	100	50	53	0	47
20	Berlim	Seguidor	50	0	59	43	9	43
51	Berlim	Seguidor	50	0	47	77	3	77
12	Roma	Paternalista	100	100	19	54	81	46
22	Roma	Solidário	100	0	36	80	64	80
23	Roma	Solidário	100	0	51	70	49	70
45	Roma	Solidário	100	0	14	84	86	84
11	Atenas	Retaliatório	0	50	62	61	62	11
16	Atenas	Retaliatório	0	50	77	84	77	34
31	Atenas	Retaliatório	0	50	42	88	42	38
32	Atenas	Retaliatório	0	50	77	27	77	23
4	Lisboa	Competitivo	50	50	44	52	6	2
9	Lisboa	Competitivo	50	50	5	89	45	39
17	Lisboa	Competitivo	50	50	73	37	23	13
33	Lisboa	Competitivo	50	50	50	90	0	40
34	Lisboa	Competitivo	50	50	51	66	1	16
50	Lisboa	Competitivo	50	50	42	100	8	50
18	Amsterdã	Cooperativo	100	50	36	38	64	12
30	Amsterdã	Cooperativo	100	50	34	0	66	50
41	Amsterdã	Cooperativo	100	50	65	85	35	35
49	Amsterdã	Cooperativo	100	50	61	95	39	45
15	Bruxelas	Hegemônico	0	100	52	91	52	9
24	Bruxelas	Marginal	0	0	53	26	53	26
26	Bruxelas	Marginal	0	0	53	28	53	28
39	Bruxelas	Marginal	0	0	39	76	39	76
5	Copenhague	Seguidor	50	0	45	50	5	50
13	Copenhague	Líder	50	100	52	70	2	30
19	Copenhague	Seguidor	50	0	38	41	12	41
46	Copenhague	Seguidor	50	0	46	70	4	70
8	Genebra	Paternalista	100	100	64	65	36	35
28	Genebra	Paternalista	100	100	30	58	70	42
29	Genebra	Paternalista	100	100	22	72	78	28
48	Genebra	Paternalista	100	100	0	51	100	49

Tabela 5.4: Resultados das Análises dos Fatores do Questionário de Avaliação do Resultado do Jogo, QRJ e do Questionário para Avaliação de Mudanças Comportamentais, QMP.

Jogador	**QRJ**	**QMP**	**Jogador**	**QRJ**	**QMP**
1	23	70	(continuação)		
2	41	62	**28**	36	8
4	30	56	**29**	48	29
5	94	25	**30**	0	90
6	74	27	**31**	57	11
7	69	27	**32**	69	53
8	41	7	**33**	73	100
9	0	75	**34**	48	46
10	41	7	**35**	36	25
11	85	40	**36**	18	68
12	64	27	**37**	43	24
13	81	43	**38**	39	50
14	36	22	**39**	15	59
15	100	0	**40**	47	11
16	50	36	**41**	83	48
17	52	39	**42**	35	73
18	36	65	**43**	54	38
19	51	51	**44**	83	13
20	22	41	**45**	87	25
21	38	19	**46**	40	34
22	75	42	**47**	52	27
23	51	7	**48**	24	53
24	59	31	**49**	35	73
25	59	31	**50**	59	44
26	53	25	**51**	33	9
27	73	100	**52**	68	36

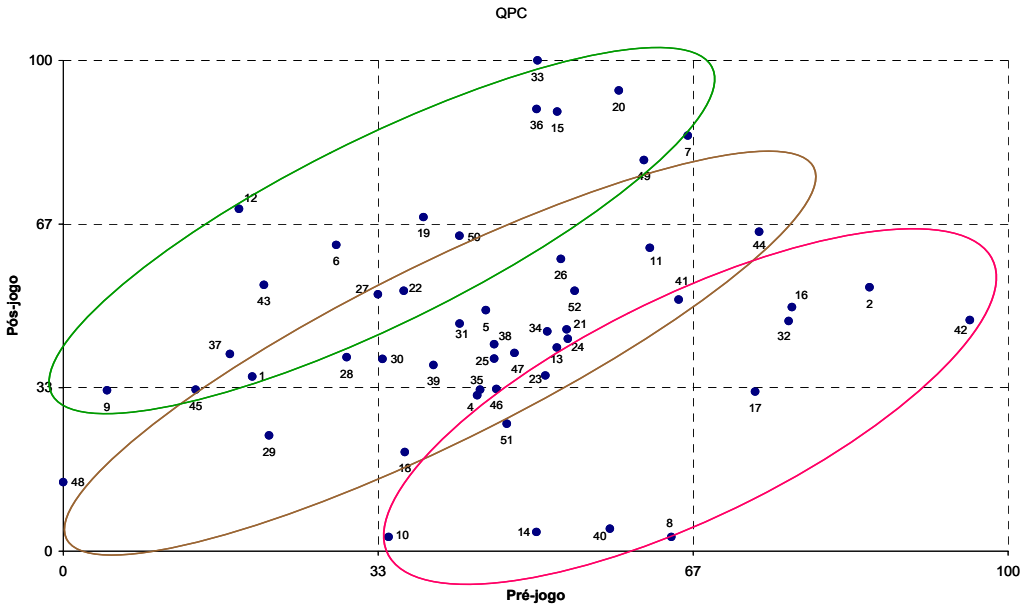


Figura 5.6: Comparação das avaliações das Posturas Concorrenciais dos jogadores, QPC, ANTES dos jogos versus DEPOIS dos jogos

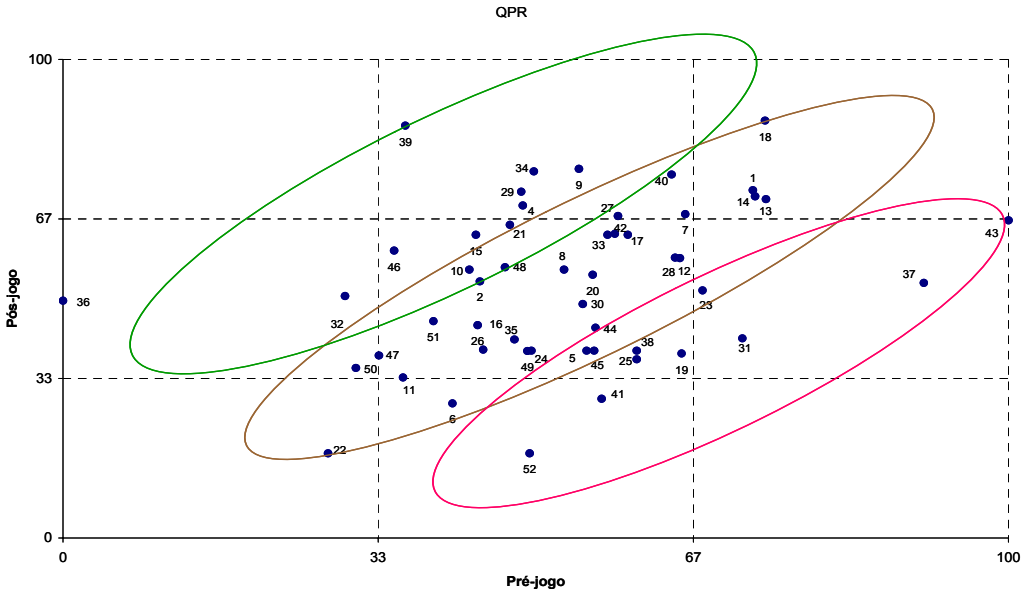


Figura 5.7: Comparação das avaliações dos Pressupostos de Relação-de-Forças dos jogadores, QPR, ANTES dos jogos versus DEPOIS dos jogos

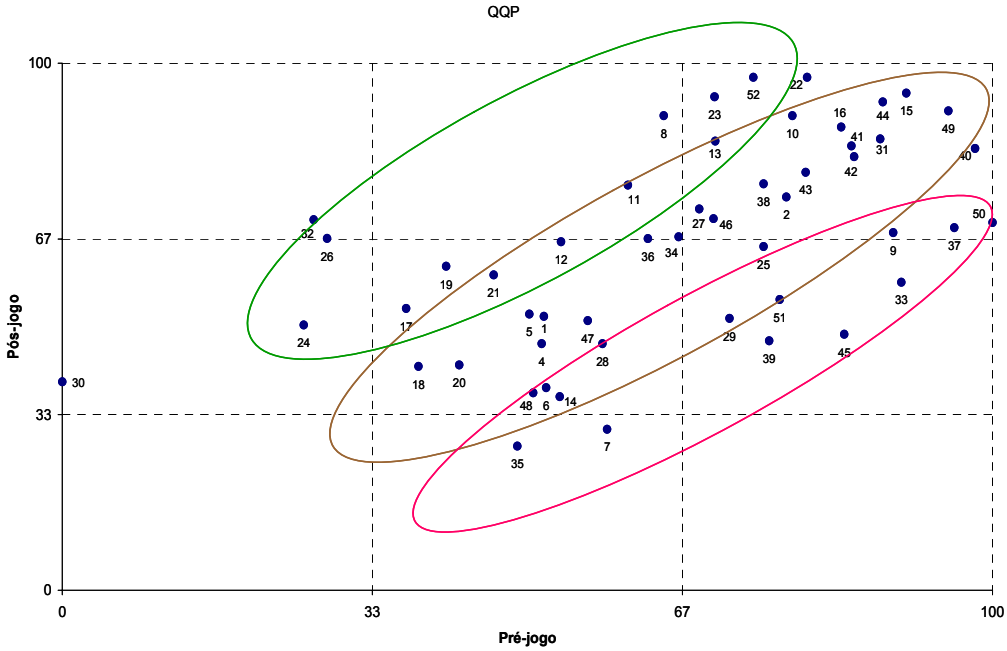


Figura 5.8: Comparação das avaliações de Motivação para o Jogo, QQP, ANTES dos jogos versus DEPOIS dos jogos

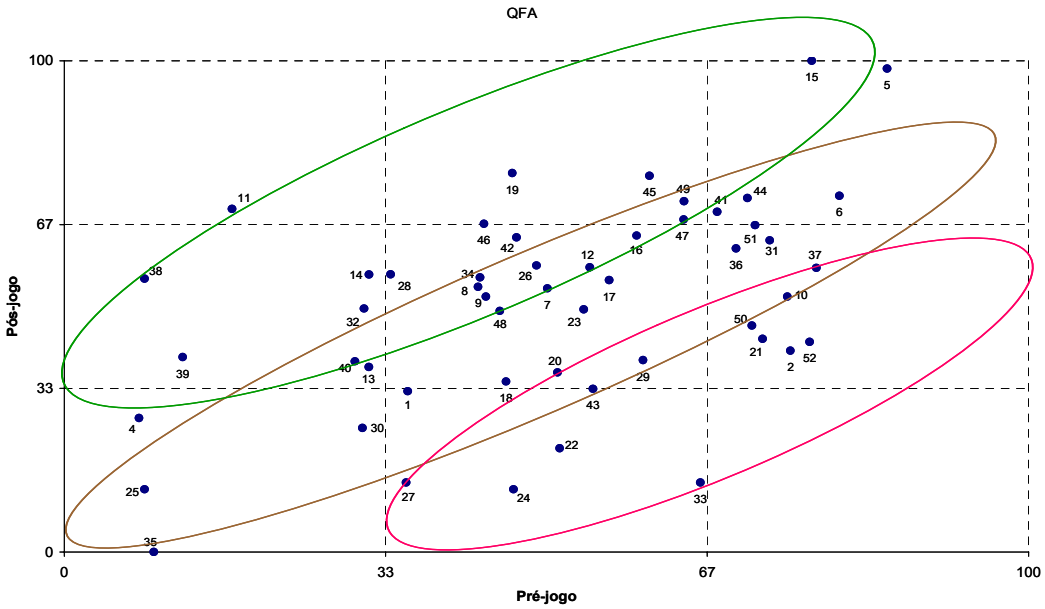


Figura 5.9: Comparação das avaliações da Flexibilidade e Adaptabilidade dos jogadores, QFA, ANTES dos jogos versus DEPOIS dos jogos

5.5 Tratamento dos Dados do Projeto Omega-2

5.5.1 Esquema Conceitual da Análise de Dados do Experimento

O Esquema Conceitual para análise e tratamento dos dados dos jogos de empresas e as condições e passos para realização dos cálculos referentes ao experimento do Projeto Omega-2 estão ilustrados nas Figuras 5.10 a 5.18, como segue:

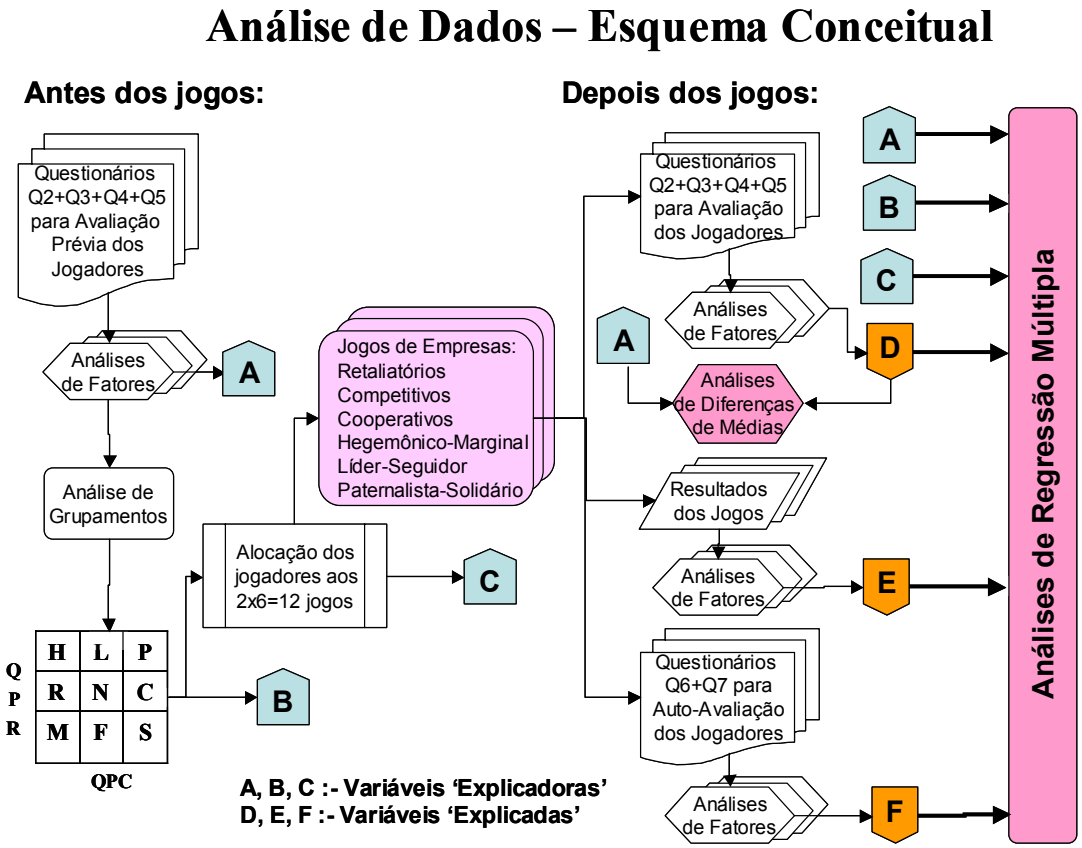


Figura 5.10: Esquema Conceitual para a Análise de Dados do Experimento

5.5.2 Descrição das Etapas do Diagrama de Blocos

Os grandes blocos do esquema conceitual são compostos pelas seguintes atividades:

Antes dos jogos:

- Preenchimentos dos Questionários dos Anexos 2, 3, 4 e 5, para avaliação prévia do perfil dos jogadores, ilustrado na Figura 5.11;
- Análises de fatores, para transformar as respostas qualificadas dos questionários em índices de avaliação, ajustados para uma variação de 0 a 100, também mostrado na Figura 5.11.
- Análise de grupamentos, para juntar os 52 jogadores em nove células do plano QPC x QPR, como mostrado na Figura 5.12;
- Alocação dos jogadores aos 12 jogos, mostrado na Figura 5.13;
- Formatação da operacionalização dos 12 tipos de jogos conforme as hipóteses dos jogos da Matriz de Jogos Estratégicos, também indicado na Figura 5.13.

Durante os jogos:

- Execução dos jogos propriamente ditos, compostos de relatórios, informações, análises dos jogadores, decisões, processamentos, intervenções e manipulações do Coordenador, tudo repetido em sete ciclos dos sete períodos de jogo, também indicado na Figura 5.13.

Depois dos jogos:

- Preenchimentos dos Questionários dos Anexos 2, 3, 4 e 5, para avaliação do perfil dos jogadores após o jogo, mostrado na Figura 5.14;

- Análises de fatores, para transformar as respostas qualificadas dos questionários em índices de avaliação, ajustados para uma variação de 0 a 100, também mostrado na Figura 5.14;
- Apuração dos resultados das empresas ao final dos jogos, envolvendo aspectos comerciais, operacionais, econômicos, financeiros, de recursos humanos, e valorização das ações das empresas, mostrado na Figura 5.15;
- Análises de fatores, para transformar os resultados em um índice global de avaliação, ajustados para uma variação de 0 a 100, indicado na Figura 5.15;
- Preenchimentos dos Questionários dos Anexos 6 e 7, para avaliação da percepção dos jogadores referentes à sua performance no jogo, como mostrado na Figura 5.16;
- Análises de fatores, para transformar as respostas qualificadas aos questionários dos Anexos 6 e 7 em índices, ajustados para uma variação de 0 a 100, também mostrado na Figura 5.16, e apresentados no Anexo 9.
- Análises das diferenças dos perfis, jogador a jogador, comparando-se seu perfil antes e depois do jogo, mostrado na Figura 5.17;
- Análise de Regressão Múltipla, para identificação de eventuais relações estatísticas entre as variáveis 'explicadoras', consideradas 'independentes' e as variáveis 'explicadas', consideradas 'dependentes' no experimento, indicado na Figura 5.18, e apresentadas nos Anexos 10 e 11.

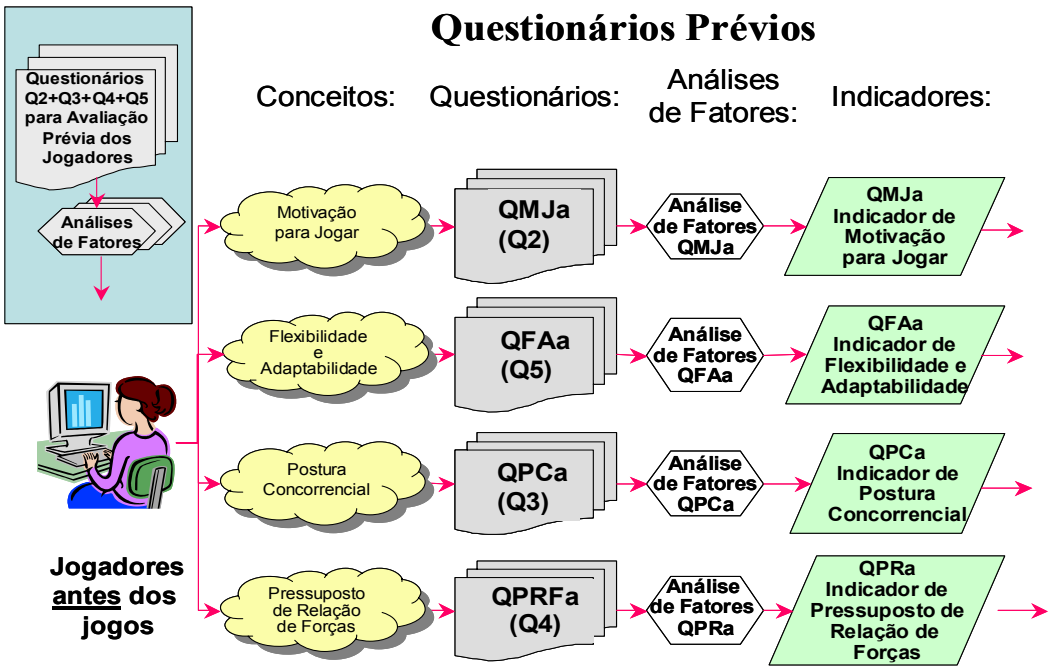


Figura 5.11: Tratamento dos Questionários dos Anexos 2, 3, 4 e 5, preenchidos antes da execução dos jogos

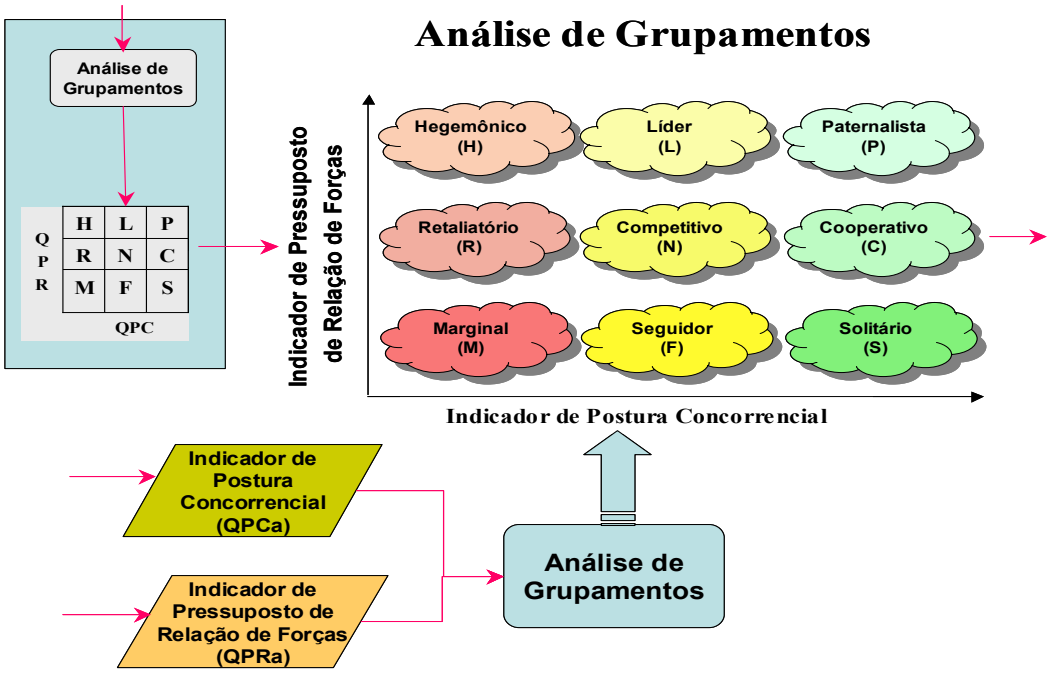


Figura 5.12: Análise dos Grupamentos de jogadores em nove grupos correspondentes às células da MJE

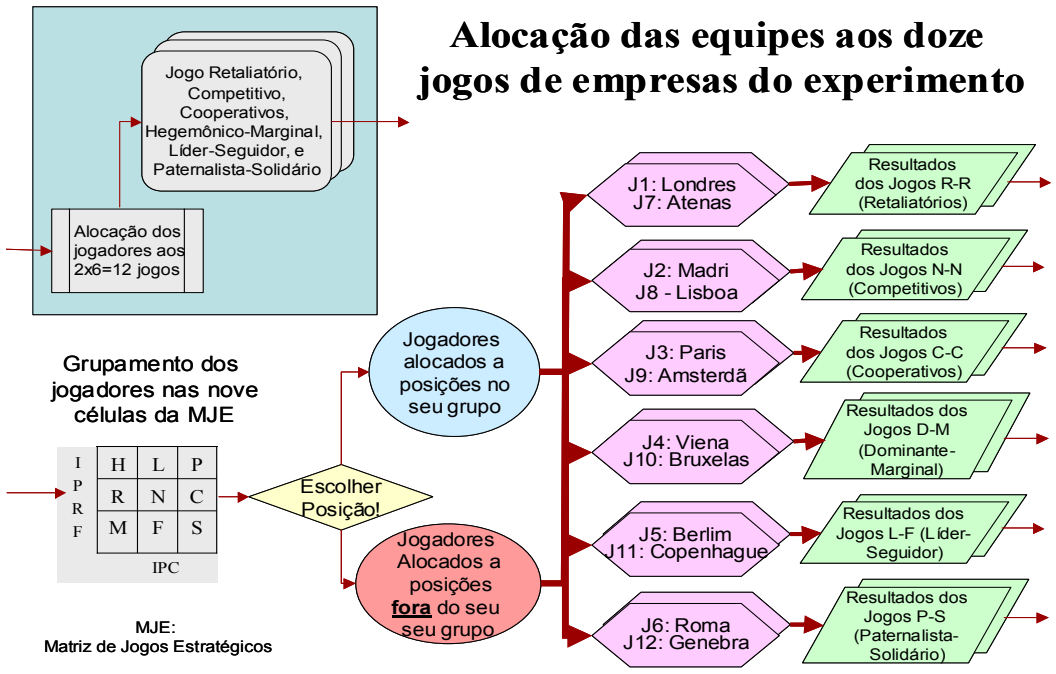


Figura 5.13: Alocação das equipes aos doze jogos do Experimento

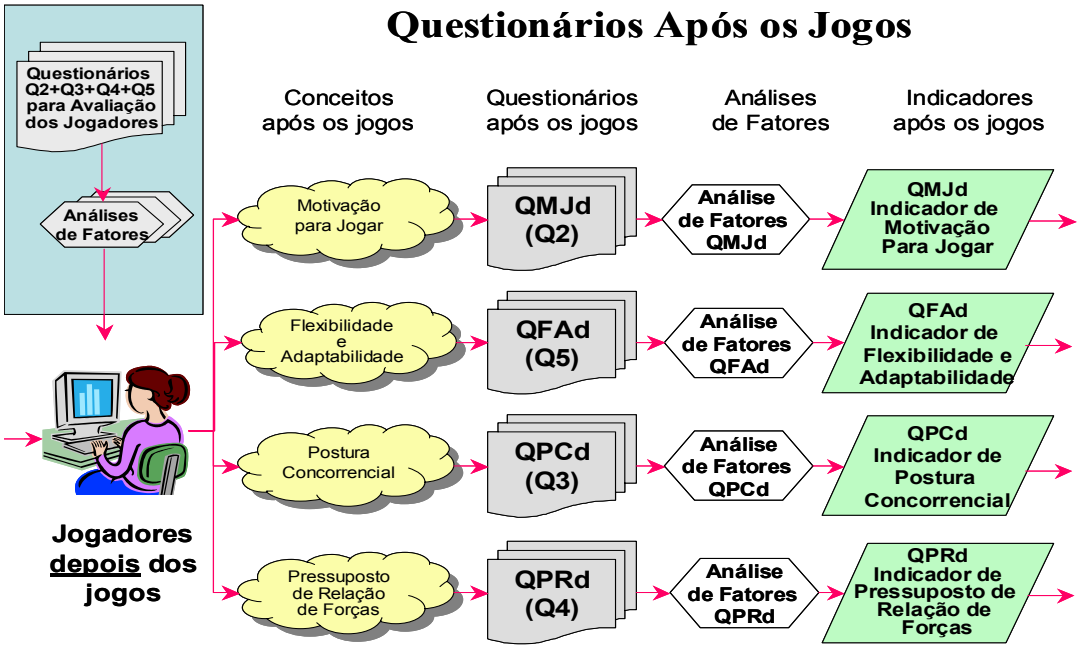


Figura 5.14: Tratamento dos Questionários dos Anexos 2, 3, 4 e 5, preenchidos depois da execução dos jogos

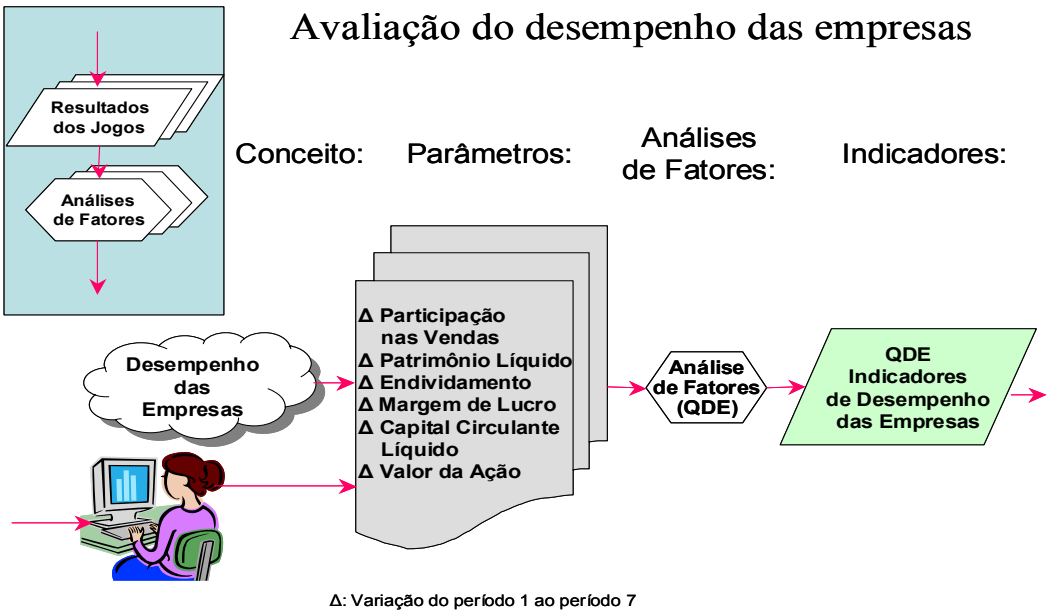


Figura 5.15: Avaliação do desempenho das empresas participantes dos jogos

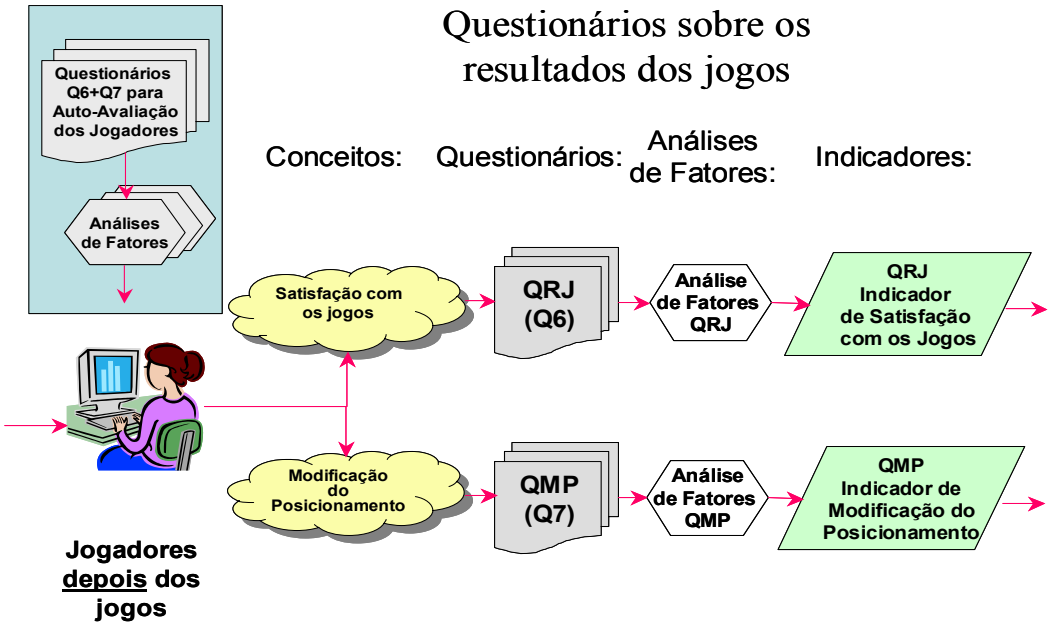


Figura 5.16: Tratamento dos Questionários sobre os resultados dos jogos

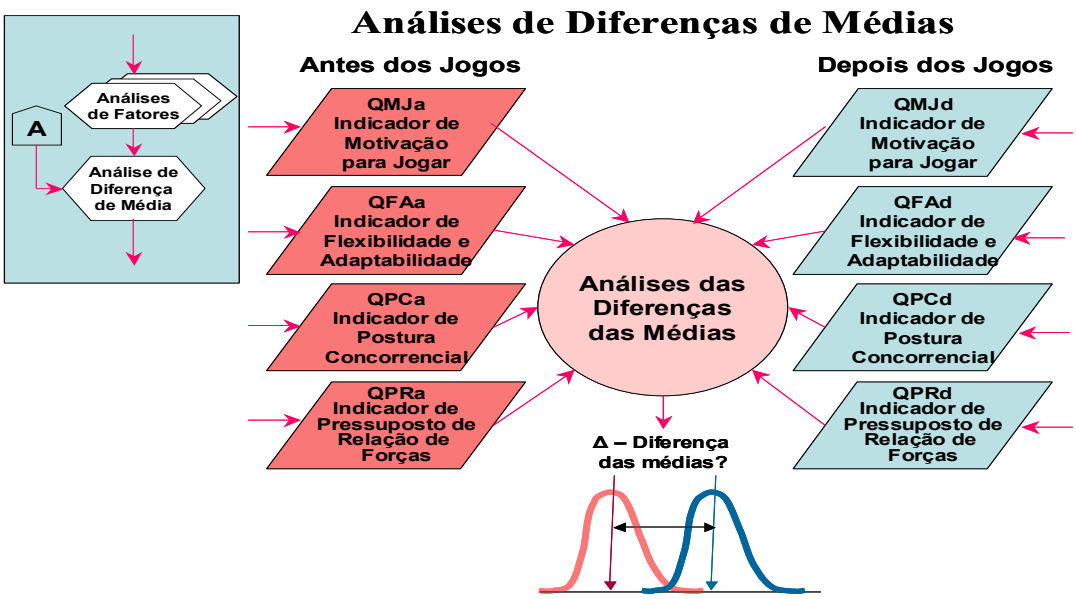


Figura 5.17: Análises das diferenças das médias dos índices

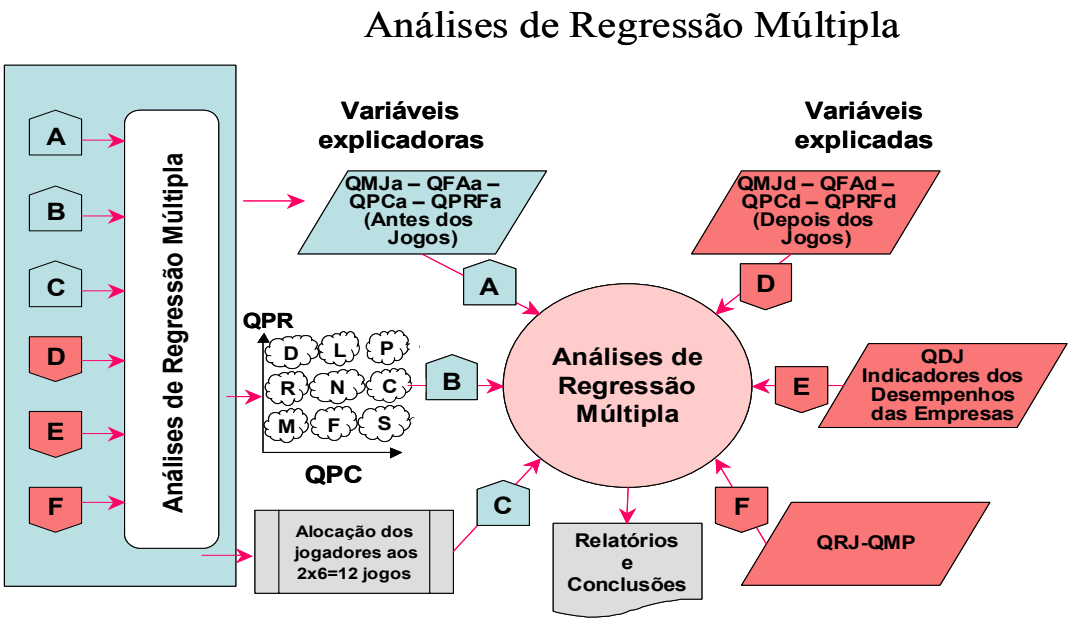


Figura 5.18: Tratamento das análises da regressão múltipla entre as variáveis do experimento, as 'explicadas' e as 'explicadoras'

5.6 Alguns Resultados dos Experimentos

5.6.1. Resultados das correlações entre as variáveis do experimento

Escolhemos algumas variáveis do experimento a serem explicadas estatisticamente por outras variáveis, candidatas a explicadoras.

Os resultados estatísticos mais significativos de regressão multivariada obtidos pela Análise de Regressão Multivariada estão no Anexo 11, e são apresentados esquematicamente na Figura 5.19:

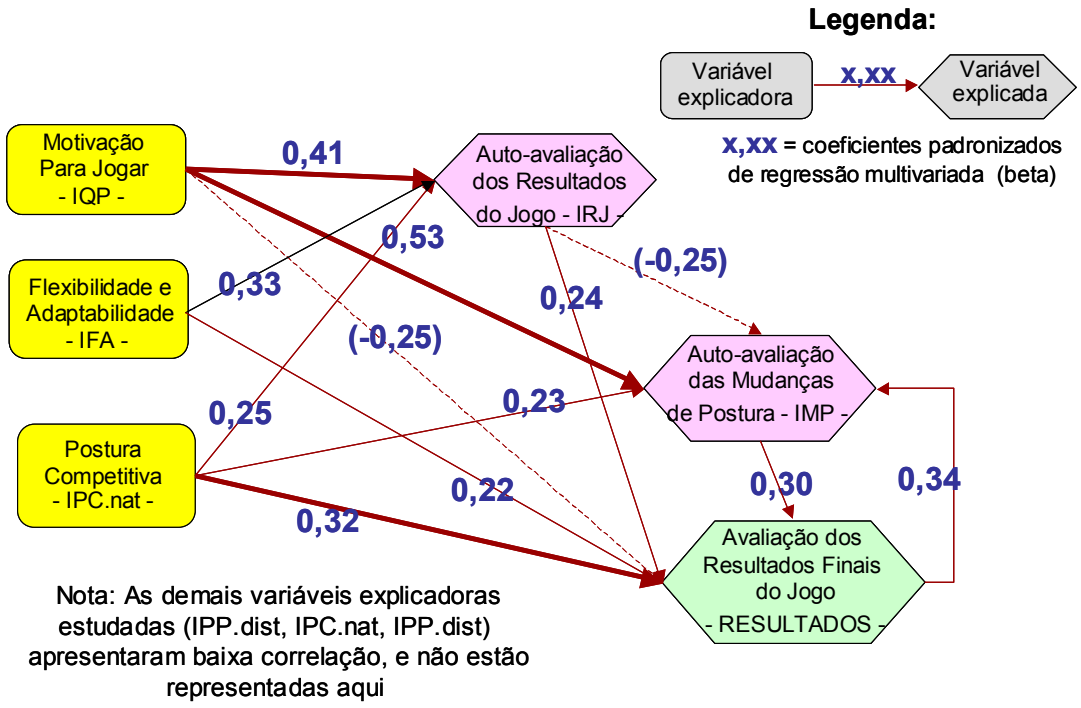


Figura 5.19: Resultados das análises da regressão múltipla, entre as variáveis no experimento

Foram observadas algumas altas positivas significativas entre as diversas variáveis do experimento, comentadas a seguir:

- Foi observado alto coeficiente de regressão linear (+0,41) [10] entre a Motivação para Jogar, QQP, como variável explicadora, e a Auto-avaliação dos Resultados do Jogo, QRJ, como variável explicada, sugerindo-nos que, quanto mais motivado para jogar estava o jogador maior a percepção do resultado obtido;

- Alto coeficiente de regressão linear (+0,53) entre a Motivação para Jogar, QQP, como variável explicadora, e a Auto-avaliação das Mudanças de Postura, QMP, como variável explicada, sugerindo-nos que, quanto mais motivado para jogar estava o jogador maior a percepção de mudanças em seu comportamento como resultado da participação no experimento;

- Alto coeficiente de regressão linear (+0,32) entre a Postura Competitiva, avaliada nos questionários, QPC, como variável explicadora, e a Avaliação objetiva dos Resultados numéricos do Jogo, como variável explicada, sugerindo-nos que, quanto maior a postura competitiva dos jogadores, melhores resultados objetivos eles obtiveram;

- Alto coeficiente de regressão linear (+0,33) entre a Flexibilidade e Adaptabilidade, QFA, como variável independente, e a Auto-avaliação dos Resultados do Jogo, QRJ, como variável dependente, indicando que quanto maior a predisposição para mudar, maior é a percepção de bons resultados no jogo, QRJ.

- Alto coeficiente de regressão linear (+0,34) entre a Avaliação quantitativa dos Resultados do jogo, como variável explicadora, e a Auto-avaliação das Mudanças de Postura, QMP, como variável explicada. Tal coeficiente indica que os resultados objetivos, observado pelos jogadores,

[10] A literatura consultada recomenda que coeficientes de regressão inferiores a 0,2 devem ser considerados como não significativos (Hair [134][135]).

aumentam a percepção das mudanças de postura concorrencial, como um *feed-back* positivo para eles.

- Alto coeficiente de regressão linear (+0,30) entre a Auto-avaliação das Mudanças de Postura, QMP, agora como variável explicadora, a Avaliação quantitativa dos Resultados do jogo, agora como variável explicada. Tal medida acaba reforçando o raciocínio anterior, sobre o alto efeito de retroalimentação entre essas duas variáveis. Outros coeficientes de regressão positivos menores são também mostradas na Figura 5.19.

- Por outro lado, algumas correlações negativas foram observadas. A mais curiosa dentre elas é um coeficiente de regressão linear (-0,25) entre a Motivação para Jogar, QQP, como variável explicadora, e a Avaliação quantitativa dos Resultados finais do Jogo, com variável explicada. Isto indica que o fato de um jogador ter alta motivação para jogar não quer dizer que a empresa que ele dirige terá certamente melhores resultados quantitativos no jogo, na comparação com as demais. Pelo contrário, excesso de motivação para jogar pode significar exatamente pouco conhecimento ou pouca experiência com a gestão de empresas. A curiosidade dos "iniciantes" pode aumentar a motivação para jogar, mas isto não garante os melhores resultados quantitativos. Outros coeficientes de regressão linear negativos menores são também mostradas na Figura 5.19.

Os gráficos mostrando a evolução comparativa da Cotação das Ações ($) e de Participação nas Vendas (%) de cada empresa, para cada um das doze partidas de jogos, estão mostrados no Anexo 8.

As Tabelas de Análise de Fatores, cujos resultados são acima referidos, estão apresentadas no Anexo 9; as Tabelas de Análise de

Regressão estão no Anexo 10; e as Tabelas de Análise da Regressão Linear Multivariada acima mencionadas estão mostradas no Anexo 11

5.6.2. Opinião dos participantes sobre o experimento

Foi feito um acompanhamento do clima e da motivação dos jogadores ao longo de todos os 7 períodos. Esta avaliação foi feita por meio de relatórios escritos, entregues pelos participantes ao fim de cada lance semanal.

Transcrevemos, no Anexo 12, trechos de alguns testemunhos extraídos dos relatórios de andamento individuais produzidos pelos participantes nas diversas fases do experimento.

A pergunta aos participantes, da qual se extraíram as opiniões abaixo transcritas, dizia o seguinte:

> *"Descreva as principais dificuldades que você tem encontrado para participar efetivamente do jogo, tais como: dificuldades para entender o funcionamento da empresa, o funcionamento do jogo, a interpretação dos resultados, a formulação das decisões, a entrada de dados, o acesso a internet... O que você está gostando no jogo?"*

Uma avaliação qualitativa das respostas colhidas mostra que os participantes reportaram ampliação de sua visão integrada da empresa em seu mercado, um aumento de sua disposição para competir, da sua percepção dos aspectos competitivos, da implicação nos processos decisórios estratégicos. Dificuldades também foram reportadas: uma parte

delas constitui a essência do próprio exercício de aprendizado; outras estão ligadas ao simulador propriamente dito e aos acessos a internet.

Pode-se avaliar, no conjunto, que o experimento foi bastante positivo para a grande maioria dos jogadores, que se mostraram motivados até o fim do experimento, independentemente dos resultados quantitativos da empresa que cada um administrou.

Tabulamos as respostas mais significativas e classificamos os pareceres dos participantes em seis grandes categorias: Aprendizado e Aproveitamento, Motivação para Jogar e para Competir, Gestão das Estratégias Competitivas, Gestão da Operação da Empresa, Simulador de Empresas e de Mercado; e Operacionalização do Experimento, como mostrado no Anexo 12.

5.6.3 Comentários finais

O experimento do Projeto Omega-2 teve algumas dificuldades de realização, como se pode imaginar. Mas essas dificuldades se transformaram em desafios a serem vencidos. A Equipe de Coordenação foi superando as dificuldades ao longo do tempo, a medida que os problemas iam se manifestando. Por ser a primeira vez que este tipo de experimento era conduzido pelos Coordenadores, algumas improvisações e adaptações de curso tiveram que ser feitas.

O fato de estarmos usando uma versão experimental do *software* especialmente adaptada para o uso desta pesquisa teve também os seus percalços, naturais em todo processo de *debugging*, como, por exemplo, problemas de *scaling*, que também foram superados a tempo, sem prejuízo do resultado final.

Por envolver propostas ambiciosas – a de se avaliar se os seis jogos da MJE são realizáveis na prática, e se a participação em um processo de

jogos de empresa pode contribuir efetivamente para a mudança de comportamento e de atitudes de jogadores em relação às situações de conflito de interesse no mundo dos negócios – as dificuldades não foram pequenas.

O que facilitou muito o segundo experimento foi o fato de que os 52 participantes estavam jogando "dentro de um ambiente de laboratório da escola", com freqüência e aproveitamento 'obrigatórios'.

A confirmação estatística dessas hipóteses demandaria um tamanho de amostras bem maior e, ainda, a repetição dos jogos em várias partidas, condições que superam em muito as disponibilidades para este experimento exploratório de cunho acadêmico.

Porém, apesar dessas limitações, os resultados quantitativos e qualitativos obtidos já fornecem indicações firmes de que as hipóteses acima são plausíveis. Um aprofundamento futuro, entretanto, poderá lançar novas luzes sobre estas hipóteses, inclusive para testá-las com o rigor estatístico necessário, para confirmar – ou não – os resultados empíricos deste experimento exploratório, e dar significância estatística às conclusões qualitativas a que chegamos.

Capítulo 6

Comentários, Conclusões, e Desenvolvimentos Futuros

Um rápido histórico dos trabalhos

Este último capítulo faz um apanhado geral dos pontos mais relevantes referentes a todo o programa de trabalho decorrente do nosso estudo de doutorado durante esses cinco anos de dedicação.

A primeira proposta formal de tese, submetida em 22/10/2003, tinha o seguinte título tentativo: *"Proposta de um Modelo Dinâmico de Simulação de Empresas em Ambiente Competitivo e Turbulento*", e, como subtítulo, *"Experimento de um Jogo Andragógico para Capacitação em Gestão Estratégica"*.[1]

Pelos tópicos daquele documento já se anteviam a ênfase da intenção inicial: gestão estratégica, modelagem de uma empresa, jogo competitivo e cooperativo de empresas, educação de profissionais, simulação de sistemas, e experimento pedagógico.

Com o andamento das pesquisas, novos elementos foram sendo

[1] *Working paper*, do LCSI-FEEC-Unicamp, não publicado.

adicionados à intenção original, por sugestão do orientador, principalmente os derivados da teoria dos jogos e dos conceitos de controle multiagente de sistemas multiníveis.

Esses estudos sobre esses elementos novos conceituais culminaram com a criação da Matriz de Jogos Estratégicos, chamada, nos trabalhos iniciais, de Matriz de Posicionamento Estratégico.

Um grande esforço foi dedicado, nesses cinco anos, à produção de trabalhos de divulgação de nossas pesquisas para congressos e revistas, nacionais e internacionais.

Uma dedicação significativa foi dirigida para a execução dos experimentos vivenciais, de jogos de empresas, com estudantes. Aliás, o experimento era parte considerada essencial para a tese, o que já estava na proposta original. Mas as dificuldades foram muito grandes. A primeira delas foi a construção do modelo matemático da empresa-teste, e, principalmente, o desenvolvimento do modelo dos mercados de insumos e de produtos, para se poder, com eles, representar os aspectos de interação, de conflitos de interesses e de competição e/ou cooperação entre os jogadores-gerentes das empresas participantes.

Para a concretização deste experimento, fomos favorecidos pela disponibilidade de um *software* próprio para isto, Bernard®, gentilmente cedido por seu construtor, Prof. Dr. Ricardo Bernard.

No entanto, a versão então disponível trabalhava com o pressuposto que as empresas tinham *exatamente as mesmas condições iniciais*, que é classicamente o que se usa em salas de aula e em experimentos pedagógicos nas empresas. No entanto, o teste de todos os seis jogos da MJE implicaria em três jogos onde as empresas eram diferentes entre si, com uma empresa muito maior e mais poderosa que as outras. Para tanto, o Prof. Bernard providenciou alterações no *software* para permitir essas

condições especiais para os jogos hierárquicos, ou desbalanceados, o que permitiu montarmos os experimentos já descritos.

Mas, o tamanho das amostras colhidas, com apenas 52 participantes no Projeto Omega 2, não nos permitiu completar todos os testes de significância estatística e de correlações que almejávamos inicialmente. Assim, acabamos nos satisfazendo com estatísticas parciais e avaliações qualitativas, mormente se levando em consideração que se trata de um experimento exploratório.

Desta forma, este "trabalho de campo" deve ser visto como preliminar e exploratório, na expectativa e esperança de que outros pesquisadores, com mais recursos, inclusive de financiamentos de pesquisa, possam levar a conclusões sobre a validade estatística dos onze postulados descritos no tópico 2.5.

6.1 Os Objetivos desta Tese

Retomando os objetivos iniciais desta tese, descritos no tópico 1.2, façamos uma avaliação do quanto cada um deles foi atingido:

(i) O objetivo principal, no item (a) do tópico 1.2, que era o de *'desenvolver, apresentar e aplicar um novo arcabouço conceitual para tratamento de situações de conflito de interesses'* foi cumprido por meio da criação da MJE e de suas aplicações, como mostrado nos Capítulos 2 e 3;

(ii) O objetivo secundário, do item (b) do tópico 1.2, de *'ampliar e aplicar essas modelagens e aplicações da teoria dos jogos para análise e para projeto de sistemas hierárquicos de controle multiagentes'* foi cumprido por meio da metodologia apresentada no Capítulo 4 e nos três casos estudados no mesmo Capítulo.

(iii) O objetivo secundário do item (c), do tópico 1.2, de '*contribuir para o aprimoramento da formação profissional de executivos e gestores para enfrentarem, com racionalidade, as situações de conflito de interesses por meio de jogos de empesas',* foi parcialmente cumprido.

De fato, este objetivo secundário acabou se mostrando muito ambicioso. Os experimentos exploratórios com alunos de graduação, utilizando os conceitos da MJE, como descrito no Capítulo 5, serviram apenas para dar uma indicação de que este objetivo mais ambicioso poderia vir a ser atingido, mas como um alvo de longo prazo. Estes novos experimentos acabaram ficando como desafios para desenvolvimentos futuros.

6.2 Alguns Resultados desta Pesquisa

Os resultados principais desta pesquisa podem ser classificados nas seguintes categorias:

(a) Resultados de integração de conceitos de jogos – Historicamente, os diversos modelos de jogos têm sido tratados de maneira esparsa, como casos isolados, descrevendo modelos matemáticos de situações distintas e não comparáveis entre si. Um resultado deste trabalho é integrar os quatro jogos clássicos da Teoria dos Jogos – Pareto, Stackelberg, Nash, e Minimax – em um único quadro referencial através da Matriz de Jogos Estratégicos.

(b) Resultados de aprofundamento dos modelos de jogos – Dois novos modelos matemáticos de jogos são descritos e aplicados – Jogo Hegemônico-Marginal e Jogo Paternalista-Solidário – enriquecendo, assim, as opções à disposição dos pesquisadores, gestores e formuladores de estratégias em suas análises de situações de conflito de interesses.

(c) Resultados para controle de sistemas – As metodologias para análise e para projeto de complexos sistemas multiníveis e com múltiplos agentes – ou controladores - com base na Matriz de Jogos Estratégicos, são resultados deste trabalho que poderão trazer contribuição significativa à engenharia de controle. Os exemplos apresentados ilustram estes resultados.

(d) Resultados pedagógicos – O uso de jogo de empresas para formação de quadros gerenciais já está consagrado nas melhores escolas de negócios. Entretanto, a ampliação dos tipos de jogos aos quais os estudantes podem e devem estar expostos melhora a versatilidade de gestores e dirigentes. Assim, eles estarão mais capacitados para tratar objetivamente as situações de conflito de interesses onde os jogadores estão em desbalanceamento de relações-de-forças, cada vez mais freqüentes no mundo dos negócios, com o surgimento de empresas multinacionais e globalizadas, parcerias, alianças, aquisições, clusters, etc.

(e) Resultados instrumentais para capacitação de gestores – O experimento mostrou que o jogo de empresas em ambiente competitivo e cooperativo, equilibrado ou não, pode ser utilizado como um excelente instrumental, altamente motivador, eficaz e eficiente para rápida capacitação de gestores na formulação de estratégias empresariais ou setoriais. De fato, o *software* de simulação de empresas adotado para o experimento, em uso corrente para finalidades pedagógicas no seu modo tipicamente competitivo, passou a incorporar agora nova versão, que pode ser usada para treinamento avançado de executivos nos seis jogos da MJE, em vários tipos de mercados, como os cooperativos, monopolistas, oligopolistas, hierárquicos, cartelizados, clusterizados, e em complexas redes de suprimento, com a estruturação fornecida

pela MJE

(f) ***Novo esquema conceitual*** – Professores e instrutores em cursos de engenharia de sistemas, de engenharia de produção, de planejamento empresarial, de administração de empresas, negociação, gestão de conflitos, tanto em graduação como em pós-graduação, passam a dispor de um esquema conceitual claro e de fácil entendimento, utilizando explicações intuitivas, para falar de estratégias competitivas e cooperativas, hierárquicas e não-hierárquicas, sem precisar entrar, obrigatoriamente, na pesada matemática das condições necessárias e suficientes para existência de estratégias de equilíbrio.

(g) ***Alguns resultados obtidos com a interdisciplinaridade do projeto de pesquisa –*** O caráter interdisciplinar e integrador que este trabalho de pesquisa acabou assumindo, envolvendo, por um lado, áreas como simulação de sistemas dinâmicos, controle de sistemas, otimização de sistemas, teoria dos jogos, análise multivariada de dados, e, por outro lado, áreas como economia da empresa, cooperação e competição, e estratégias cooperativas e competitivas, em si, já é um resultado relevante. Assim, todas essas áreas contribuíram, de certa forma, para compor e formatar o experimento para atender aos interesses didáticos do experimento. Além disso, esse esforço multidisciplinar permitiu criar ‘pontes conceituais’ entre as várias formulações envolvidas em teoria dos jogos, estratégia, controle multiagente, jogos de empresas competitivos e cooperativos, no mundo dos negócios, através da Matriz de Jogos Estratégicos.

6.3 Limitações do Modelo Conceitual da MJE

A Matriz de Jogos Estratégicos aqui proposta tem, naturalmente, algumas limitações, ditadas pela sua própria estrutura, como formalizada no tópico 2.5, algumas das quais são ressaltadas a seguir. Algumas dessas limitações poderiam ser contornadas em desenvolvimentos futuros, como tratado no tópico 6.4. Algumas delas podem ser contornadas, como explicado no texto. Outras, entretanto, vão depender de novas pesquisas e desenvolvimentos, que são deixados como desafio para desenvolvimentos futuros. São elas:

(a) ***Jogos diádicos –*** Por uma questão de simplificação conceitual e metodológica, os jogos representados na MJE são tratados como jogos 'diádicos', ou seja, jogos entre dois participantes, ou dois grupamentos de jogadores. Acontece, entretanto, que, na vida real, os jogos podem envolver três, quatro ou muitos jogadores, que não poderiam, em tese, se enquadrar nesta estrutura do modelo.

Nossas aplicações nos experimentos, todas com mais de dois jogadores, foram acomodadas da seguinte forma: Os vários jogadores foram agrupados em dois subconjuntos, sendo que, em cada um deles, as posições competitivas dos jogadores são supostas semelhantes. Desta forma, os dois grupos de jogadores podem ainda ser alocados à MJE, como se fossem dois únicos jogadores.

(b) ***Jogos estáticos*** – Os jogos representados na MJE são supostos 'estáticos', ou seja, os dois jogadores devem tomar decisões num determinado instante 'congelado' de tempo. Acontece que nos casos reais, inclusive os dos experimentos, os jogos ocorrem em vários lances sucessivos, nos chamados 'jogos dinâmicos', onde as posições competitivas dos jogadores podem ir se alterando ao longo

do tempo.

(c) ***Jogos em situações 'intermediárias' –*** As hipóteses de posição competitiva e dos pressupostos de relação de forças utilizadas na MJE adotam, por uma questão de simplicidade, apenas três níveis cada uma. No entanto, há situações no mundo real onde o melhor jogo a jogar poderia estar em uma posição intermediária entre duas alternativas na matriz, tanto na dimensão horizontal como na vertical. A opção por uma das alternativas deverá ser objeto de análise criteriosa, e deverá levar em conta os riscos envolvidos em eventuais 'escolhas erradas' do jogo a jogar e os benefícios esperados das 'escolhas acertadas'

6.4 Limitações do Experimento Exploratório

Os experimentos exploratórios realizados por conta desta pesquisa, no Projeto Omega-2, apresentaram as seguintes limitações:

(a) ***Tamanho da amostra –*** Dadas as limitações do tamanho das amostras, em números de participantes e número de partidas, e duração das partidas, as conclusões da pesquisa precisam ser consideradas como meramente indicativas. Isto acabou nos privando de apresentar conclusões estatisticamente significativas. Trabalhos futuros poderão retomar esse problema de forma a dar maior confiabilidade aos resultados;

(b) ***Perfil da população amostral utilizada*** – Os experimentos descritos foram conduzidos com uma amostra de estudantes de pós-graduação e de graduação. Desta forma, as conclusões a que chegamos podem não se repetir no mesmo grau em experimentos com amostras significativas trabalhando com dirigentes de empresa e

com profissionais executivos em plena atividade;

(c) ***Funcionamento dos chats e comunicação entre jogadores*** – Os Coordenadores do experimento não tiveram condições de assegurar o uso adequado e a correta comunicação entre os jogadores naqueles jogos onde isto era requerido pelo tipo do jogo, e, por outro lado, de assegurar a incomunicabilidade entre eles, nos jogos onde a comunicação estava vedada.

(d) ***Decisões racionais*** – Um pressuposto básico da teoria dos jogos é que os jogadores sejam 'racionais' e tomem suas decisões racionalmente. Entretanto, os Coordenadores do experimento não puderam garantir que todos os jogadores agiram neste pressuposto. Aliás, é possível que alguns estudantes simplesmente 'chutaram' suas decisões.

(e) ***Modelos matemáticos para obtenção de estratégias de equilíbrio*** – Os modelos matemáticos para obtenção de pontos de equilíbrio em estratégias de equilíbrio em jogos clássicos da Teoria dos Jogos são muito úteis para o entendimento das condições necessárias e suficientes para se provar sua existência e unicidade, nos casos trabalhados. Entretanto, considerando os aspectos pedagógicos desta proposta, onde as decisões heurísticas, erradas ou certas, são tomadas por pessoas, jogadores humanos, e não por máquinas ou robôs, aqueles pontos que podem ser obtidos pela Teoria dos Jogos passam a ser meramente indicativos.

6.5 Desenvolvimentos Futuros

Alguns aprofundamentos são recomendados para desenvolvimento das aplicações da Matriz de Jogos Estratégicos em usos conceituais e didáticos (Fahley & Randall [113]):

(a) ***Desenvolvimentos conceituais*** – Expandir a Matriz de Jogos Estratégicos para tratar de situações de conflito de interesses com três ou mais tipos de jogadores, com ou sem coalizão;

(b) ***Aplicações em controle multinível e multiagente*** – Desenvolver aplicações da metodologia de análise e projeto de sistemas com base na MJE aqui descrita em sistemas de controle multiagente e multinível;

(c) ***Teste dos postulados –*** Estabelecer experimentos para testar a validade estatística de cada um dos onze postulados propostos no tópico 2.5;

(d) ***Aumento do tamanho da amostra –*** Repetir o experimento, com muito mais participantes, para reduzir o problema de limitação do tamanho da amostra;

(e) ***Múltiplas exposições –*** Escalar os jogadores para que participem em mais de um jogo, de preferência dos seis tipos de jogos da Matriz;

(f) ***Mudanças comportamentais*** – Estabelecer experimentos para testar a real alteração do perfil competitivo de participantes do jogo.

E, para finalizar, queremos ressaltar que esta pesquisa:

(a) Estabelece novas pontes entre os conceitos de estratégias de equilíbrio, da teoria dos jogos, os conceitos de controle multinível e multiagente, da teoria de controle, e os conceitos de estratégias competitivas e cooperativas, da teoria da gestão estratégica do mundo empresarial;

(b) Propõe um novo quadro de referências mais amplo para tratamento e classificação de jogos competitivos e cooperativos, balanceados ou não, como elementos para a modelagem de sistemas de controle

multinível e multiagente;

(c) Contribui para o aprimoramento da formação de quadros gerenciais por meio de novos tipos de jogos de empresas, competitivos e cooperativos, equilibrados ou não;

(d) Contribui para o aprofundamento das formulações de estratégias competitivas e cooperativas no mundo dos negócios, um dos objetivos almejados desde o início deste estudo.

(e) Contribuir para a teoria e a prática de jogos de empresas.

Referências

[1] Ackoff, R. L. *Redesigning the future - A new system approach to societal problems*. Wiley, 1973.

[2] Affisco, J. F. and Chanin, M. N. *The impact of decision support system on the effectiveness of small group decisions: an exploratory study*. Developments in Business Simulations and Experiential Learning, Vol. 16: 132-135, 1989.

[3] Aiyoshi, E. and Shimizu, K. *A solution method for the static constrained Stackelberg problem via penalty method*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-29, No. 12, 1111-1114, December 1984.

[4] Albus, J. S. and Barbera, A. J. *RCS: A cognitive architecture for intelligent multi-agent systems*. Annual Reviews in Control, Vol. 29, 87-99, 2005.

[5] Allison, G. T. *Essence of decision – Explaining the Cuban missile crisis.* Harper Collins, 1971.

[6] Alpcan, T. and Başar, T. *A game-theoretic framework for congestion control in general topology networks*. Proc. 41st IEEE CDC, Las Vegas, Nevada, December., 2002.

[7] Alpcan, T. and Başar, T. *A game theoretic analysis of intrusion detection in access control systems*. Proc. 43rd IEEE CDC, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas, December 2004.

[8] Anandalingam, G. and White, D. J. *A solution method for the linear static Stackelberg problem using penalty function*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 35, No. 10, 1170-1173, October 1990.

[9] Anderson, D. R., Sweeney, D. J. and Williams, T. A. *An introduction to management science: quantitative approaches to decision making*. 9. ed. ITP, 2000.

[10] Anderson, P. H. and Lawton, L. *The relationship between financial performance and other measures of learning on a simulation exercise*. Simulations and Gaming, Vol. 23, 326-340, 1992.

[11] Andrews, K. R. *The concept of corporate strategy*. Irwin, 1971.

[12] Andronov, A. A., Vitt, A. A. and Khaikin, S. E. *Theory of oscillators*. Pergamon Press, 1966.

[13] Ansoff, H. I. *Strategies for diversification.* Harvard Business Review, Sep.-October 1957.

[14] Ansoff, H. I. *Corporate strategy*. McGraw-Hill, 1965.

[15] Ansoff, H. I. *Implanting strategic management* (1st ed.). Prentice-Hall, 1984.

[16] Ansoff, H. I., Declerck, R. P. and Hayes, R. L. (Org.) *Do planejamento estratégico à administração estratégica*. Atlas, 1986.

[17] APL–Arranjo Produtivo Local. *O Polo Tec Tex*. Trabalho interno, não publicado, para Apresentação do Polo Tex Tec, 2006.

[18] APL–Arranjo Produtivo Local. *O PoloTecTex*. In… [http://www.polotectex.com.br], 2006.

[19] Araújo, J. Victor Maia. *Análise Estatística de Jogos Estratégicos Co-opetitivos.* Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

[20] Arend, R. J. and Seale, D. A. *Modeling alliance activity: an iterated prisoner's dilemma with exit option*. Strategic Management Journal, Vol. 26, 1057-1074, 2005.

[21] Arrow, K. J. and Intriligator, M. D. (Eds.). *Handbook of mathematical economics – Volume 1*. North Holland Publishing Co., 1981.

[22] Athans, M. and Falb, L. *Optimal control: An introduction to the theory and its application*. McGraw-Hill, 1996.

[23] Axelrod, R. *The evolution of cooperation*. Basic Books, 1984.

[24] Axelrod, R. *The complexity of cooperation.* Princeton, 1997.

[25] Back, T., Fogel, D. and Michalevicz, Z. (Eds) *The handbook of evolutionary computation*. Oxford University Press, 1997.

[26] Bain and Company *Ferramentas para vencer*. HSM Management, n. 6, jan./fev. 2000.

[27] Bain and Company *Quem tem medo das ferramentas gerenciais?*. HSM Management, n. 19, mar./abr. 2000.

[28] Banks, J., Carson II, J.S. and Nelson, B.L. *Discrete-event system simulation*. Prentice-Hall, 1996.

[29] Baptista, R. and Swann, P. *Do firms in cluster innovate more?* Research Policy, v.27, n.5, 525-540, September, 1998.

[30] Baptistella, J. F. B. *Contribution a l'optimisation multicritère de systèmes dynamiques*. Tese de Doutorado, Université de Toulouse, França, 1980.

[31] Barker, J. A. *Paradigms, the business of discovering the future.* Harper Business, 1993.

[32] Barna, G. *O poder da visão*. Abba Press, 1995.

[33] Barna, G. *Transformando visão em ação*. Cristã Unida, 1997.

[34] Barney, J. *Firm resources and sustained competitive advantage*. Journal of Management, Vol. 17, 99–120, 1991.

[35] Başar, T. and G. J. Olsder, G. J. *Dynamic non-cooperative game theory*. SIAM, Series in Classics in Applied Mathematics, 1999.

[36] Bell, G. G. *Cluster, networks, and innovativeness*. Strategic Management Journal, Vol. v.26, 287-295, 2005.

[37] Bellman, R. E. *Dynamic programming*. Princeton University Press, 1957.

[38] Bernard Sistemas Ltda. *Simulação Empresarial*. (Disponível no site [http://www.bernard.com.br/_port/index.php?cnt=sistemas], consultado em 01/12/03), 2003.

[39] Bernard Sistemas Ltda. *SIND – Sistema de Simulação Industrial. Manual da Empresa*. (Material didático interno contendo Documentação de Uso do Software), Florianópolis, 2007.

[40] Bernard, R. R. S. *Assessing individual performance in a total enterprise simulation*. Development in Business Simulation and Experiential Learning, Vol. 31, 197-203, 2004.

[41] Bernard, R. R. S., Bernard, P. L. S. and Bernard, R. P. *O Uso de Sistemas de Apoio às Decisões em Cursos de Simulação Empresarial*. XV ENANGRAD. Florianópolis, SC, ago.-set. 2004.

[42] Bertrand, J. *Book review of théorie mathématique de la richesse sociale et of recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses.*, Journal de Savants 67: 499–508, 1883. (†)

[43] Bethlem, A. *Estratégia Empresarial – Conceitos Processos e Administração Estratégica* (3a. ed.). Atlas, 2001.

[44] Billard, E. and Lakshmivarahan, S. *Learning in multilevel games with incomplete information – Part I*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics, Vol. 29, No. 3, 329-339, June 1999.

[45] Binmore, K. and Dasgupta, P. *Game theory survey*. (Working paper).

Introduction to a volume of essays entitled Economic Organization as Games, Basil Blackwell, 1985.

[46] Binmore, K. *Fun and games: A text on game theory*. D.C. Heath & Co. 1992.

[47] Bitmead, R. R., Gevers M. and Wertz, V. *Adaptive optimal control*. Prentice Hall, 1990.

[48] Boaventura, J. M. G. and Fischmann, A. A. *Como estudar o futuro para formular a estratégia.* XXXVIII Asamblea CLADEA 2003. Latinamerican Council of Management Schools, Lima, Peru, out. 2003.

[49] Boaventura, J. M. G. and Fischmann, A. A. *Estudos dos conceitos sobre o conteúdo da estratégia: Uma ilustração no campo da tecnologia de informação*. 3rd Conference of the Iberoamerican Academy of Management, SP, 2003.

[50] Bohacek, S., Hespanha, J. P. and Obraczka, K. *Saddle policies for secure routing in communication networks*. Proc. 41st IEEE CDC, Las Vegas, Nevada, December 2002.

[51] Bottura, C, P. and Costa, E. A. *Modelagem de ambiente empresarial competitivo como jogo dinâmico hierárquico estratégico estocástico para capacitação de executivos*. In: XVII SLADE – Congresso da Sociedade Latino-Americana de Estratégia, Camboriú (SC), abr. 2004.

[52] Bottura, C. P. and Costa, E.A. *Business strategy formulation modeling via hierarchical dynamic game*. In: Proc. CSIMTA International Conference (Complex Systems, Intelligence and Modern Technology Application), Cherbourgh, France, September, 2004.

[53] Bottura, C. P. and J. V. Fonseca Neto *Parallel eigenstructure assignment via LQR design and genetic algorithm.* In: in Proc. 1999 ACC – American Control Conference, San Diego, CA, Vol. 1, 1-6, 1999.

[54] Bottura, C. P. *Contribuição ao estudo de controle de torque em máquina série por modulação em largura de pulso*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, 1973.

[55] Bottura, C. P. Tamariz, A. R., Barreto, G., and Fonseca Neto, J. V., *Sequential and parallel algebraic Riccati Equations solutions via ESST on the Schur Method*. in Proc. 38th Conference on Decision and Control, Phoenix, AZ, 1-8, 1999.

[56] Brandenburger, A. M. and Nalebuff, B. J. *The right game: Use of game*

theory to shape strategy. Harvard Business Review, July-August 1955, 57-81, 1995.

[57] Brandenburger, A. M. and Nalebuff, B. J. *Co-opetition – a revolutionary mindset that combines competition and cooperation*, Doubleday, 1996.

[58] Brenner, T. *Policy measure to support emergence of localized industrial clusters*. In: Fornahl, D. and Brenner, T. (eds). 2003. *Cooperation, networks and institutions in regional innovation systems.* Cheltenham: Edward Elgar, 2003.

[59] Breschi, S. and Malerba, F. *Clusters, networks, and innovation*. Oxford University Press, 2006.

[60] Bryson Jr, A. E. and Ho, Y. C. *Applied optimal control*. Hemisphere, 1975.

[61] Buckles, D., and Rusnak, G. *Conflict and collaboration in natural resources management*. IDRC (International Development Research Centre, Canada) Books free online. In [http://www.idrc.ca/ev_en.php?ID=27964_201andID2=DO_ TOPIC], 1999.

[62] Camdessus, M., Badré, B., Chéret, I., and Teniere-Buchot, P. F. *Eau.* Robert Laffont, 2004.

[63] Campbell, A., Goold, M. and Alexander, M. *Corporate-level strategy: creating value in the multibusiness company*. Wiley, 1994.

[64] Carvalho, F. *Práticas de planejamento estratégico e sua aplicação em organizações do terceiro setor*. Tese de Mestrado, FEA/USP: SP, 2004.

[65] Cassandras, C.G. and Lafortune, S. *Introduction to discrete event systems*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1999.

[66] Castañón, D. A., Pachter, M. and Chandler, P. R. *A game of deception.* Proc. 43rd IEEE, CDC, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas, December 2004.

[67] Cavalcanti, M. (org.) et al. *Gestão Estratégica de Negócios*. Pioneira – Thomson Learning, 2001.

[68] Chandler Jr, A. D. *Strategy and structure: chapters in the history of the industrial enterprise*. MIT Press, 1962.

[69] Chang, T.-S. and Ho, Y.-C. *Stochastic Stackelberg games: Nonnested multistage multiagent incentive problems*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-28, No. 4, 477-488, April 1983.

[70] Christensen, C. R, Andrews, K. R, and Bower, J. L. *Business policy: Text and cases* (4th ed.). Irwin, 1978.

[71] Collins, D. J. and Pisano, G. P. *Case 1 – Intel Corporation: 1968 – 1997*. In: P. Ghemawat, (1999), *Strategy and the business landscape: Core concepts*, Prentice Hall, 139–161, 1997.

[72] Collis, D. J. and Montgomery, C. A. *Competing on resources strategy in the 1990's: How do you create and sustain a profitable strategy*? Harvard Business Review, July-August, 118-128, 1995.

[73] Colombo, R. and Costa, E. A. *Jogo estratégico de empresas em sistemas dinâmicos com geração randômica de cenários para capacitação gerencial.* In: XVII SLADE – Congresso da Sociedade Latino-americana de Estratégia, Camboriú, SC, abr. 2004.

[74] Colombo, R. *Aplicação de jogo de empresas: Um experimento com geração randômica de cenários em sistemas dinâmicos*. Tese de Doutorado, Fundação Getulio Vargas, 2003.

[75] Contador, C. A. *Avaliação da competitividade de empresas têxteis do pólo industrial de Americana*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 2004.

[76] Corden, W. M. *On the transmission and coordination under flexible exchange rates.* In Chapter 1 of International economic policy coordination. Edited by Buiter, W. H. and Marston, R. C., Cambridge University Press, 8-36, 1985.

[77] Costa Filho J. T. *Proposta para computação assíncrona paralela e distribuída de estruturas especiais de jogos dinâmicos*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, 1992.

[78] Costa Filho, J. T. and Bottura, C.P. *Parallel optimal hierarchical control using a MIMD architecture.* In Proc. 29th IEEE Conference on Decision and Control, Honolulu, December, 1990.

[79] Costa Filho, J. T. and Bottura, C. P. *Hierarchical multidecision making on a computer network with distributed coordination and control*. In: Proc. 39th Annual Allerton Conference on Communication Control and Computing, Urbana, IL, 703-704, October, 1991.

[80] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *Proposta de matriz de posicionamento estratégico via teoria dos jogos para gestão empresarial em ambientes cooperativos e competitivos.* Apresentado ao XXXVI Simpósio Brasileiro

de Pesquisa Operacional, São João del Rei, MG, Novembro, 2004.

[81] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *Formulação de estratégias empresariais competitivas e cooperativas em complexas estruturas multiníveis via Matriz de Posicionamento Estratégico*. In: XVIII SLADE - Congresso da Sociedade Latino-Americana de Estratégia, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia, Maio, 2005.

[82] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *Matriz de Posicionamento Estratégico (MPE) em gestão estratégica de estruturas hierárquicas*. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, RS, set. 2005.

[83] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *Metodologias para análise e para projeto de estruturas hierárquicas com múltiplos controladores via Matriz de Posicionamento Estratégico (MPE)*. In: DINCON'2005 – 4.º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, Bauru, SP, jun. 2005.

[84] Costa, E. A., and Bottura, C. P. *A Matriz de Jogos Estratégicos (MJE) como uma nova ferramenta para gestão estratégica via teoria dos jogos*. Sistemas & Gestão, v.1, n.1: 17-41. Em [http://www.latec.com.br/sg/arevista/Volume1/Numero1/Artigo2006_2_SG035_2006.pdf], 2006.

[85] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *A game-inspired modeling framework for multiple intelligent agents control systems – A water resources regulation problem application*. DINCON'2007 - 6º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, São José do Rio Preto, SP, Maio, 2007.

[86] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *A game-inspired modeling framework for multiple intelligent agents control systems – A water resources regulation problem application*. 22nd IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC), Singapura, Outubro, 2007.

[87] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *Competição e cooperação em regulação de recursos hídricos – Um modelo para gestão multinível com múltiplos agentes autônomos*. XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SOBRAPO, Fortaleza, CE, Agosto, 2007.

[88] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *Competition and cooperation for water resources: A multilevel multi-stakeholder management modeling.* Apresentado à 2007 Academy of Management Annual Meeting, Philadelphia, PA., 2007.

[89] Costa, E. A. and Bottura, C. P. *The Strategic Games Matrix as a framework for intelligent autonomous agents hierarchical control strategies modeling*.

4th ICINCO – International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Angers, França, 9-12 de Maio, 2007.

[90] Costa, E. A., *Instruções para os 12 jogos do experimento do Projeto Omega*. (Documento interno do LCSI, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, não publicado; texto de apoio a Tese de Doutorado do autor), 2007.

[91] Costa, E. A. *Experimento do jogo de empresas – Plano de trabalho para o Projeto Omega-2*. (Documento interno do LCSI, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, não publicado; texto de apoio a Tese de Doutorado do autor), 2007.

[92] Costa, E. A. *Projeto Omega-2 – Análise de Dados – Esquema Conceitual.* (Documento interno do LCSI, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, não publicado; texto de apoio a Tese de Doutorado do autor), 2007.

[93] Costa, E. A. *Gestão Estratégica: da empresa que temos para a empresa que queremos* (2ª. Ed.) Saraiva, 2007.

[94] Costa, E. A., Bottura, C. P. and Alerigi, A. R. *Modelación de estrategias competitivas y cooperativas en ambientes empresariales mediante la Teoría de los Juegos*. Trabalho Convidado, apresentado ao Foro Regional en Clusters y Empresas Integradoras, Tecnológico de Monterrey, Toluca, México, 3-4 de Agosto, 2005.

[95] Costa, E. A., Bottura, C. P. and Alerigi, A. R. *Estrategias cooperativas y competitivas para redes y clusters empresariales mediante la Matriz de Juegos Estratégicos*. XIX Congreso Latinoamericano de Estrategia - SLADE, Puebla, México, 25-27 de Maio, 2006.

[96] Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. and Fischmann, A. A. *Aplicação de Matriz de Posicionamento Estratégico (MPE) para formulação de estratégias competitivas e cooperativas na interação com competidores*. XL Asamblea Anual del CLADEA – Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración, Santiago do Chile, 20-21 de Outubro, 2005.

[97] Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. and Fischmann, A. A. *Expansão do conceito de co-opetição e sua aplicação para análise de jogos estratégicos na indústria de PCs*. Proc. of the XXX Encontro Nacional da ANPAD – Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, Salvador, BA, 2006.

[98] Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. and Fischmann, A. A. *The game to play: Expanding the co-opetition proposal*. 2006 Academy of Management Annual Meeting, 257-358. Atlanta, GA., 2006.

[99] Costa, E. A., Bottura, C. P., Boaventura, J. M. G. and Fischmann, A. A. *Choosing the game to play using the Strategic Games Matrix – An illustrative business application.* 26th Annual International Conference – Strategic Management Society, Vienna, Austria, 2006.

[100] Coulter, M. K. *Strategic management in action*. Prentice Hall, 1998.

[101] Cournot, A. *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*. Hachette, Paris. (Chapter VII. English translation by N.T. Bacon titled *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*, with introduction and bibliography by Irving Fisher, New York, Macmillan, 1897 and 1927), 1838. (i (†)

[102] Coyle, R. G. *Management System Dynamics.* Wiley, 1977.

[103] Coyle, R. G. S*ystem Dynamics Modeling: A Practical Approach*. Chapman and Hall, 1996.

[104] Cruz Jr, J. B. *Leader-follower strategies for multilevel systems*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 23, No. 2, (2): 244-255, 1978.

[105] Dias, M. C. *Inovação tecnológica e relações interfirmas no cluster têxtil da região de Americana*. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, UNICAMP, 1999.

[106] Dimarogonas, D. V. and Kyriakopoulus, K. J. *A feedback stabilization and collision avoidance scheme for multiple independent nonholonomic non-point agents*. Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, Cyprus, Junho, 2005.

[107] Dixit, A. K. and Nalebuff, B. J. *Thinking strategically*, W. W. Norton, 1991.

[108] Dixit, A.K. and Nalebuff, B.J. *Anticipating your rival's response.* In: Dixit, A.K. and Nalebuff, B.J. (1991). *Thinking Strategically*. W.W. Norton, 31-55, 1991.

[109] Dixit, A. K. and Skeath, S. *Games of strategy*. W W Norton, 1999.

[110] Drucker, P. F. *An introductory view of management.* Harper's College Press, 1977.

[111] Edgeworth, F. Y. *Mathematical Psychics. An Essay on the Application of*

Mathematics to the Moral Sciences. Kegan Paul, 1881 (Reprinted by A. M. Kelley, New York, 1967). (†)(1)

[112] Ehtamo, H., Ruusunen, J. and Hämäläinen, R. P. *A hierarchical approach to bargaining in power pool management*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 34, No. 6, 666-672, June 1989.

[113] Fahey, L. and Randall, R. M. *Learning from the future*. Wiley, 1998.

[114] Faria, A. J. A. *Survey of the use of business games in academia and business*. Simulations and Gaming, Vol.18, No. 2, 207-224, 1987.

[115] Feinstein, A. H. and Cannon, H. M. *Constructs of simulation evaluation*. Simulations and Gaming, v. 33, n. 4, 425-440, 2002.

[116] Fisher, R., Ury, W. and Patton, B. *Getting to yes: Negotiating agreement without giving in* (2nd ed), Penguin, 1995.

[117] Flåm, S. D. and Zaccour, G. *Nash-Cournot equilibria in the European gas market: A case where open-loop and feedback solutions coincide*. Third International Symposium on Differential Games and Applications, Sophia-Antipolis, France, June 1988.

[118] Fonseca Neto, J. V. *Alocação computacional inteligente de autoestruturas para controle multivariável*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, 2000.

[119] Forrester, J. W. *Industrial dynamics*. The MIT Press, 1961.

[120] Forrester, J. W. *Urban Dynamics*. Productivity Press, 1969.

[121] Forrester, J. W. *Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century*. Keynote Address for System Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education Concord Academy, Concord, MA. June 27-29, 1994.

[122] Forsman, M and Solitander, N. *Knowledge transfer in cluster and networks – An interdisciplinary conceptual analysis*. Journal of International Business Studies. In [http://www.jibs.net], 2002.

[123] Fraser, N. M. and Hipel, K. W. *Solving Complex Conflicts*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 12, 805-816, December 1979.

[124] Freiling, G., Jank, G. and Abou-Kandil, H. *On global existence of solutions to coupled matrix Riccati equation in closed-loop Nash games*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 41, No. 2, 264-269, February

1996.

[125] Fukuyama, K., Kilgour, D. M., and Hipel, K. W. *Systematic policy development to ensure compliance to environmental regulation*. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics Vol. 24, No. 9, 1289-1305, 1994.

[126] Ghemawat, P. *Strategy and the business landscape: core concepts*. Prentice Hall, 1999.

[127] Ghemawat, P. *Antecipando dinâmicas competitivas e cooperativas*. In: Ghemawat, P., *A estratégia e o cenário dos negócios*. Bookman, Porto Alegre, 83-114, 2000.

[128] Gold, S. *The design of business simulation using a system-dynamic-based approach*. Development in Business Simulation and Experiential Learning, Vol. 30, 2003.

[129] Goldberg, D. E. *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, 1989.

[130] Gonzaga, C. S. M. *An agent for electronic simultaneous heterogeneous auctions with inter-related goods*, Tese de Mestrado, UNICAMP, 2006.

[131] Goosen, K. R., Jensen, R. and Wells R. *Purpose and learning benefits of simulation: A design and development perspective*. Simulation & Gaming, Vol. 32, No. 1, 21-39, March 2001.

[132] Haimes Y. Y. and Li, D. *Hierarchical multiobjective analysis for large-scale systems: Review and current status*. Automatica, Vol. 24, No. 1, 53-69, 1988.

[133] Haimes, Y, Y. Hall, W. A. and Freedman, H. T. *Multi-objective optimization in water resources systems*. Elsevier, 1975.

[134] Hair Jr., J. F. et al. *Análise multivariada de dados*. Bookman, 2005.

[135] Hair Jr., J. F., et al. *Fundamentos de métodos de pesquisa em administração*. Bookman, 2005.

[136] Hämäläinen R. P. *On the cheating problem in Stackelberg games.* Int. J. System Sci. v.12, n.6: 753-770, 1981.

[137] Hämäläinen, R. P. *Interactive multiple criteria decision analysis in water resources planning*. Water Resources Planning. In [http:www.hut.fi/Units/SAL/Web-Activities/], 1998.

[138] Hämäläinen, R. P., Kettunen, E., Marttunen, M. and Ehtamo, H. *Towards*

decision and negotiation support in multi-stakeholder development of lake regulation policy. Proc. 32nd Hawaii Int. Conf. on System Science, Hawaii, EUA, January 1999.

[139] Hämäläinen, R. P., Kettunen, E., Marttunen, M. and Ehtamo, H. *Evaluating a framework for multi-stakeholders decision support in water resources management*. Group Decision and Negotiation, 10, 331-353, 2001.

[140] Hamel, G. and Prahalad, C. K. *Competing for the future*. Harvard Business School Press, 1994.

[141] Hamel, G. *Competence-based competition*. Wiley, 1995.

[142] Hax, A. C. and Majluf, N. S. *The strategy concept and process.* Prentice-Hall, 1991.

[143] Henderson, B. D. *Henderson on corporate strategy*. Abt Books, 1979.

[144] Henderson, B. D. *The origin of strategy*. In: C. A. Montgomery and M. E. Porter (Eds.), *Strategy – seeking and securing competitive advantage,* pp. 3-9. Harvard Business Review Press, 1991.

[145] Henderson, B. D. *Perspectives on strategy from the Boston Consulting Group (The Star of the Portfolio)*. Wiley, 1998.

[146] Hofer, C. W. and Schendel, D. *Strategy formulation: Analytical concepts.* West Publishing Co., 1978.

[147] Hotelling, H. *Stability in competition*. The Economic Journal, Vol. 39, No. 153 (Mar., 1929), pp. 41-57, 1929. (†)

[148] Hunger, J. D. and Wheelen, T. L. *Essentials of strategic management*. Addison-Wesley, 1997.

[149] Hunger, J. D. *Strategic management*. Addison-Wesley, 1996.

[150] Hussey, D. *Strategy and planning: a manager's guide* (5a. ed). Wiley, 1999.

[151] IEL-CNA-SEBRAE *Análise da eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira*. Brasília, IEL, 2000.

[152] Intriligator, M. D. and Kendrick, D. A. *Frontiers of quantitative economics – Volume II.* North-Holland Publishing Co., 1974.

[153] Intriligator, M.D. *Mathematical optimization and economic theory.* Prentice-Hall, 1971.

[154] Johnson, G. and Scholes, K. *Exploring corporate strategy.* Prentice-Hall,

1989.

[155] Kanter, R. M. *When giants learn to dance: mastering the challenge of strategy, management and careers in the 1990s.* Simon and Schuster, 1989.

[156] Kaplan, R. S. and Norton, D. P. *A Estratégia em Ação: Balanced scorecard.* Campus, 1997.

[157] Ketels, C. H. M. *The development of the cluster concept – present experiences and further developments*. Prepared for NRW Conference on Cluster, Duisburg, Germany, 5/12/2003.

[158] Keys, B. and Wolfe, J. *The role of management games and simulations in education and research*. Journal of Management, Vol. 16, No. 2, 307-336, 1990.

[159] Keys, B., Burns, M., Case, T. and Wells, B. *Performance and attitudinal affects of a decision support package in a business game*. Developments in Business Simulations and Experiential Learning, Vol.v. 13, 221-226, 1986.

[160] Kirkwood, C. W. *System dynamics methods: A quick introduction*. College of Business, Arizona State University (Prefácio e capítulos 1 a 9), 1998.

[161] Knowles, M. *The adult learner: A neglected species*. Gulf Publishing, 1973.

[162] Koenigs, G. *Recherches sur les substitutions uniformes*. Bulletin des Sciences Mathématiques, 1883. (Citado em Andronov, A. A., Vitt, A. A. and Khaikin, S. E., *Theory of oscillators*. Pergamon Press, 1966). (†)

[163] Koenigs, G. *Recherches sur les équations functionelles. Annales de l'École Normale, 1884.* (Citado em Andronov, A. A., Vitt, A. A. and Khaikin, S. E., *Theory of oscillators*. Pergamon Press, 1966). (†)

[164] Koirala, S. *Water conflict and resolution*. IHE Delft Hydro-Informatics. In [http://www.unesco-ihe.org/hi/MSc_abstract/2006/06-14%20Shishir%20Koirala.htm], 2006.

[165] Kotler, P. *Administração de Marketing*. Prentice Hall, 2000.

[166] Kraus, S. *Strategic negotiation in multiagent environments*. MIT Press, 2001.

[167] Kuhn, H. W. and Tucker, A. W. *Nonlinear programming.* Proc. 2nd Berkeley Symposium. on Math., Stat. and Prob., University of California Press, 1950.

[168] Lado, A. A., Boyd, N. G. and Hanlon, S. C. *Competition, cooperation, and the search for economic rents: a syncretic model*. Academy of Management

Review, Vol. 22, 110-141, 1997.

[169] Lampel, J. *Game theory and strategy*. In: Mintzberg, Henry; Ahlstrand, Bruce and Lampel, Joseph. *Strategy safari.* The Free Press, 1998.

[170] Lasdon, L. S. *Optimization theory for large systems*. MacMillan, 1970.

[171] Laudon, K. C. and Laudon, J. P. *Managing information system: Managing the digital firm*. (9a ed.). Prentice Hall, 2006.

[172] Lazzarini, S. G. *The impact of membership in competing alliance constellations: Evidence on the operational performance of global airlines*. Strategic Management Journal, Vol. 28, No. 4, 345-367, 2007.

[173] Learned, E. P., Christensen, C. R., Andrews, K. R, and Guth, W. D. *Business policy*. Irwin, 1965.

[174] Leritz, L. *No fault negotiating*. Warner Books, 1987.

[175] Lewicki, R. J., Hiam, A. and Olander, K. W. *Think before you speak – A complete guide to strategic negotiation*. Wiley, 1996.

[176] Linderman, E. C. *The meaning of adult education*. Association for Adult Education, New Republic, 1926. (†).

[177] Liu, Y., Galati, D. G. and Simaan, M. A. *A game theoretic approach to team dynamics and tactics in mixed initiative control of automa-teams*. Proc. 43rd IEEE CDC, Bahamas, December 2004.

[178] Lorange, P. and Vancil, R. F. *Strategic planning systems.* Prentice-Hall, 1977.

[179] Luce, R. D. and Raiffa, H. *Games and decisions*. Wiley, 1957.

[180] Luenberger, D. G. *Linear and nonlinear programming* (2nd ed.). Addison-Wesley, 1984.

[181] Luenberger, D. G. *Microeconomic theory*. McGraw-Hill, 1994.

[182] Lyneis, J. M. *Corporate Planning and Policy Design*. Productivity Press, 1980.

[183] Maggioni, M. A. *Structure and dynamics of high-tech clusters: an empirical enquire on the determinants of regional innovation and growth*. Homepage in [http://www.idefi.cnrs.fr/IG2002/papers/Maggioni.doc], 2002.

[184] Maheswaran, R. T. and Başar, T. *Social welfare of selfish agents: motivating efficiency for divisible resources*. Proc. 43rd IEEE CDC,

Bahamas, December 2004.

[185] Mallozzi, L. and Morgan, J. *Existence of a feedback equilibrium for two-stage Stackelberg games*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 42, No. 11, 1612-1614, November 1997.

[186] Maskel, P. *Towards a knowledge-based theory of the geographical cluster*. Industrial and Corporate Change, Vol. v.10, No. n.4, 2001.

[187] Maskell, P. and Klebir, L. *What qualifies as a cluster theory?* Danish Research Unit for Industrial Dynamics. DRUID Working Paper no. 05-09, 2005.

[188] Matalobos, A. D., Lorenzo, O. and Solis, L. *SMSB negotiating process inserted into collaborative networks.* Revista Latinoamericana de Administração, Vol. 34, 25-46, Bogotá, Colombia, 2005.

[189] Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. E and Behrens W.W. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books, New York, 1972.

[190] Mesquita, L. *Starting over when the bickering never ends: Rebuilding aggregate trust among clustered firms through trust facilitators*. The Academy of Management Review, Vol. v.32, No. n.1, 72-91, January, 2007.

[191] Mestre, A. P. *As empresas têxteis de Americana: Uma análise espacial dos micro circuitos de produção – 1990 – 2003*. Research Repport (partial), Instituto de Geociências, UNICAMP. In [http://www.igeo.uerj.br/ VICBG-2004/Eixo5/e5%20075.htm], 2004.

[192] Miles, R. E. and Snow, C. C. *Organizational strategy, structure, and process.* McGraw-Hill, 1978.

[193] Mintzberg, H. and Quinn, J. B. *The strategy process: concepts and contexts*. Prentice-Hall, 1992.

[194] Mintzberg, H., Ahlstrand, B. and Lampel, J. *Strategy safari*. The Free Press, 1998.

[195] Mira, C. *Systèmes asservis non linéaires*. Hermes, 1990.

[196] Montgomery, C. A. and Porter, M. E. (Eds.) *Strategy – seeking and securing competitive advantage.* Harvard Business Review Press, 1991.

[197] Morais, D. C. & Almeida, A. T. *Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água.* Pesquisa Operacional, 26 (3), 567-584, 2006.

[198] Morecroft, J. D. W. *Strategy Support Models*. Strategic Management Journal, Vol. 5, No. (3), 215-229, 1984.

[199] Mourão Vieira, R.A. *Duopólio, oligopólio e a formação de preço do petróleo no mercado internacional*. Documento interno, não publicado, Petrobras, 2000. (Uma versão preliminar deste trabalho foi apresentada à Joint International Meeting TIMS/ORSA XXX / SOBRAPO XXIII, PUC-Rio, 15-17 de julho de 1991), 1991.

[200] Nash J. F. *Equilibrium point in N-person games*. Proc. Nat. Acad. Sci., USA, 36 (1950a): 48-49, 1950.

[201] Nash, J. F. *Non-cooperative games*. Annals of Mathematics, Vol. 54, (1951), pp. 286-295, 1951. (Chapter 7 de Kuhn, H. W. and Nasar, S., *The essential John Nash*. Princeton University Press, 2002), 1951.

[202] Nash, J. F. *The bargaining problem*. Econometrica, Vol. 18, (1950), pp. 155-1962, 1950.. (Chapter 4 de Kuhn, H. W. and Nasar, S., *The essential John Nash*. Princeton University Press, 2002), 1950.

[203] Nash, J. F. *Two-person cooperative games*. Econometrica, Vol. 21 (1953), pp. 128-140, 1953.. (Chapter 8 de Kuhn, H. W. and Nasar, S., *The essential John Nash*. Princeton University Press, 2002), 1953.

[204] Newman, W. H. *Administrative action*. Prentice-Hall, 1950.

[205] Ohmae, K. *The mind of the strategist*. McGraw Hill, 1982.

[206] Olenik, S. C. and Haimes, Y. Y. *A hierarchical multiobjective framework for water resources planning*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 9, 534-544, September 1979.

[207] Oliveira, D. P. R. *Excelência na administração estratégica*. Atlas, 1999.

[208] Oster, S. M. *Modern competitive analysis* (2nd Ed.). New York, NY: Oxford University Press, 1994.

[209] Parkhe, A. *Strategic alliance structuring: a game theoretic and transaction cost examination of interfirm cooperation*. Academy of Management Journal, Vol. 36, 794-829, 1993.

[210] Penrose, E. T. *The theory of the growth of the firm.* Wiley, 1959.

[211] Peteraf, M. A. *The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view.* Strategic Management Journal, Vol. 14, 179–191, 1993.

[212] Pfeffer, J. *The human equation*, Harvard Business School Press, 1998.

[213] Pindyck, R. S. and Rubinfeld, D.C. *Microeconomics*. (publicado em

português, em 2006, pela Pearson-Prentice Hall, sob o título *Microeconomia*), 1995.

[214] Porter, M. E. *Competitive strategy*. The Free Press, 1980.

[215] Porter, M. E. *Competitive moves*. In: Porter, M. E. (1980). *Competitive strategy*. The Free Press, 1980.

[216] Porter, M. E. *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press, 1985.

[217] Porter, M. E. *Técnicas para análise de indústrias e da concorrência*. Campus, 1986.

[218] Porter, M. E. *Towards a dynamic theory of strategy*. In: Dyson, R. G.; O'Brien, F.A. (1991). *Strategic development methods and models*. Wiley, Chichester, 81-109, 1991.

[219] Porter, M. E. *Cluster and the new economics of competition*. Harvard Business Review, v.76, n.6, 77-90, 1998.

[220] Porter, M. E. *Cluster and competition – New agendas for companies, governments, and institutions.* In Porter, M. E. (1998). *On competition.* Harvard Business School Press. Chapter 7, 197-288, 1998.

[221] Prahalad, C. K. and Hamel, G. *The core competence of the corporation.* Harvard Business Review, Vol. 68, No. 3, 79-91, 1990.

[222] Quinn, J. B. *Strategies for change*, In H. Mintzberg and J. B. Quinn, (1992), *The strategy process: Concepts and contexts,* 4-11, Prentice-Hall, 1992.

[223] Rahimi-Kian, A., Tabarraei, H. and Sadeghi, B. *Reinforcement learning based supplier-agents for electricity markets*. Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, Limassol, Cyprus, June 2005.

[224] Rajabi, S., Hipel, K. W. and Kilgour, D. M. *Multiple criteria water supply planning.* Proc. of the 1997 IEEE Int. Conf. on System, Man and Cybernetics, October, 12-15, 1997, Orlando, FL – USA, 3484-3489, 1997.

[225] Rhenman, E. *Organization theory for long-range planning*. Wiley, 1973.

[226] Roberts, E. B. (Ed.) *Managerial Applications of System Dynamics*. Productivity Press, 1978.

[227] Ross, S. A., Westerfield, R. W. and Jordan, B. D. *Princípios de Administração Financeira*. (2. ed.). Atlas, 2002.

[228] Rumelt, R. P. *Strategy, structure, and economic performance.* Harvard

University Press, 1974.

[229] Sage, A.P. and White, C.C. *Optimal system control.* Prentice-Hall, 1977.

[230] Sage, A.P. *Decision support systems engineering*. Wiley, 1991.

[231] Sandberg, I. W. *On competition, regulation, and market structures.* IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 12, 824-828, December 1979.

[232] Sauaia, A. C. A. and Kallás, D. *Cooperate for profits or compete for market? Study of oligopolistic pricing with a business game*. Developments in Business Simulation and Experiential Learning, Vol. 30, 232-242, 2003.

[233] Schelling, T. C. *The strategy of conflict.* Harvard University Press, 1960.

[234] Schmidt, C. (Editor) *Game theory and economic analysis*. (Publicado inicialmente em francês, em 1995, por Éditions Dalloz, Paris, como *Theorie de jeux et analyse economique, 50 ans après*. Revue d'Economie Politique, 1995, No. 4, pp. 529-733,), 1995.

[235] Schouten, M., Fonseca, C., and Franceys, R. *Pluggin the leak – Can Europeans find new sources of funding to fill the MDG water and sanitation gap?* IRC – International Water and Sanitation Centre. In [http://www.irc.nl/page/24899], 2005.

[236] Sebenius, J. K. *Negotiation analysis: Between decision and games*. In: W. Edwards, R. Miles, and D. Winterfeldt (Eds.), *Advances in decision analysis.* Cambridge University Press. Available in [http://ssrn.com/abstract=882525], 2005.

[237] Senge, P. M. *A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende* (7. ed.). Best Seller, 2000.

[238] Shao, J., Xie, G., Yu, J., Wang, L. *Leader-following formation control of multiple mobile robots.* Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, Limassol, Cyprus, 2005.

[239] Shi, H., Wang, L. and Chu, T. *Coordination of multiple dynamic agents with asymmetric interactions.* Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, Cyprus, June 2005.

[240] Siljak, D. D. *Large scale dynamic systems: Stability and structure*. Elsevier North-Holland, 1978.

[241] Simaan, M. and Cruz Jr., J.B. *Additional aspects of the Stackelberg strategy in non-zero sum games*. Journal of Optimization, Theory and Applications,

Vol. 11, 613-626, 1973.

[242] Simaan, M. and Cruz Jr., J.B. *On the Stackelberg strategy in non-zero sum games*. Journal of Optimization, Theory and Applications, Vol. 11, 553-555, 1973.

[243] Simaan, M. *Stackelberg optimization of two-level systems*. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, July, 1977.

[244] Simon, H. A. *Administrative behavior - a study of decision-making processes in administrative organization*. Macmillan, 1947.

[245] Slack, N. *Administração da produção*. Atlas, 1996.

[246] Slack, N. et al. *Operations management*. Pitman Publishing, 1995.

[247] Slack, N. *Vantagem competitiva na manufatura*. Atlas, 1993.

[248] Smit, H. T. J. and Ankun, L. A. *A real option and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition*. Financial Management (Autumn 1993): 241-250. Cited by Trigeorgis L. In: Dyson R. G., O'Brien, F. A., 1998. *Strategic Development – methods and models*: 299-331, Wiley, 1993.

[249] Souza, J., Simsek, T. and Varaiya, P. *Task planning and execution for UAV teams.* Proc. 43rd IEEE CDC, Atlantis, Paradise Island, Bahamas, Dec. 2004.

[250] Steiner, G. A. and Miner, J. B. *Management policy and strategy*. Macmillan Publishing, 1977.

[251] Steiner, G. A. *Strategic planning.* Free Press, 1979.

[252] Sterman, J. D. *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world.* McGraw-Hill, 2000.

[253] Stern, C. W. and Stalk Jr, G. *Perspectives on strategy from The Boston Consulting Group*. Wiley, 1998.

[254] Stevenson, H. H. *Defining corporate strengths and weaknesses: an exploratory study*. Sloan Management Review, Spring 1976.

[255] Talukdar, S. N., Ramesh, V. C., Quadrel, R. and Christie, R. *Multiagent organization for real time operation.* Proc. IEEE, vol. 80, n.5, 765-778, May 1992.

[256] Thomas, L. C. *Games, theory and applications*. Ellis Horwood Ltd., 1984.

[257] Thompson, L. *The mind and heart of the negotiator* (2nd ed.). Prentice-

Hall, 2001.

[258] Tiffany, P. and Peterson, S. D. *Planejamento estratégico*. Campus, 1999.

[259] Tomlin, C., Pappas, G. J. and Sastry, S. *Conflict resolution for air traffic management: A study in multiagent hybrid systems*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 43, No. 4, 509-521, April 1998.

[260] Treacy, M. & Wiersema, F. D. *A disciplina dos líderes de mercado: escolha seus clientes, direcione seu foco, domine seu mercado*. Rocco, 1995.

[261] Tzu, Sun *A Arte da Guerra*. 10a. ed. Editora Pensamento, 1988.

[262] Uryas'ev, S. and Rubinstein R. Y. *On relaxation algorithms in computation of noncooperative equilibria.* IEEE Transaction on Automatic Control, Vo. 39, No. 6, 1263-1267, June 1994.

[263] Varian, H. P. *Intermediate micro-economics: A modern approach*. (editado pela Editora Campus, com o título *Microeconomia – princípios básicos – uma abordagem moderna*, 2003), 1987.

[264] Vernon-Wortzel, H. and Wortzel, L. H. *Strategic management in the global economy*. Wiley, 1997.

[265] von Clausewitz, C. *On War*. Wiley, 2001 [1a. edição em 1932].

[266] von Neumann, J. and Morgenstern, O. *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press, 1944.

[267] von Neumann, J. *Zur Theorie de Gesellschaftspiele*, Mathematische Annalen, 100, 1928. (English translation titled *On the theory of games of strategy*, in Contribution to the Theory of Games, Vol. 4, Tucker, A.W. and Luce, R.D. (editores), Princeton University Press, pp.13-42., 1958). (†)

[268] von Stackelberg, H. *Marktform und Gleichgewicht (Market and Equilibrium)*, Julius Springer, 1934. (†)

[269] Washbush, J. and Gosen, J. *An exploration of game-derived learning in total enterprise simulations.* Simulations and Gaming, Vol. 32, No. 3, 281-296, 2001.

[270] Weiss, G. *Multiagent systems*: *A modern approach to distributed artificial intelligence.* MIT Press, 1999.

[271] Wernerfelt, B. *A resource-based view of the firm.* Strategic Management Journal, Vol. 5, 171-180, April-June 1984.

[272] Wernerfelt, B. *From critical resources to corporate strategy*. Journal of

General Management, Vol. 14, 4-12, Spring 1989.

[273] Wernerfelt, B. *The resource-based view of the firm: Ten years after*. Strategic Management Journal, Vol. 16, 171-174, March 1995.

[274] Werther, W. B. and Kerr, J. L. *The shifting sands of competitive advantage*. Business Horizons, Vol. 38, 11-17, 1995.

[275] Wikipédia em português, *Matriz de Jogos Estratégicos*, verbete disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Matriz_de_Jogos_Estrat%C3%A9gicos], proposto e submetido por iniciativa de Costa, E. A., março de 2007.

[276] Williams, J. D. *The Compleat strategyst: Being a primer on the theory of games of strategy.* Courier Dover Publications, 1986.

[277] Wolstenholme, E. F. *System enquiry: A system dynamic approach*. Wiley, 1990.

[278] Wooldridge, M. *An introduction to multiagent systems.* Wiley, 2002.

[279] Wright, P., Kroll, M.J. and Parnell, J. *Strategic management.* Prentice Hall, 1998.

[280] Zaccarelli, S. B. *Estratégia e sucesso nas empresas*. Saraiva, 2000.

[281] Zagare, F. C. *Game theory: Concepts and Applications.* Sage, 1984.

[282] Zhou, J., Billard, E. and Lakshmivarahan, S. *Learning in multilevel games with incomplete information – Part II*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics, Vol. 29, No. 3, 340-349, June 1999.

NOTA: Os documentos [101][111][267] estão aqui referidos apenas com propósito de registro histórico, pois o autor não teve acesso ao documento original, ou cópia dele, apenas a referências.

Bibliografia

Angeli, D. and Bliman, P.-A. *Stability of leaderless discrete-time multi-agent systems*. MCSS Mathematic of Control, Signals and Systems, Vol. 18, No. 4: 293-320, October 2006.

Asimov, I. *I, robot*. Gnome Press, 1950.

Aumann, R.J., *Lectures on game theory*. Westview Press, Boulder etc., 1989.

Bernhard, P. *Commande optimale, décentralisation et jeux dynamiques*. Dunod, Paris, 1976.

Bêrni, D. A. *Teoria dos jogos – jogos de estratégia, estratégia decisória, teoria da decisão*. Reichmann & Affonso Editores, 2004.

Bertsekas, D. P. *Dynamic programming and stochastic control*. Academic Press, 1976.

Bliss, C. and Tella, R. D. *Does competition kill corruption?* Journal of Political Economy, Vol. 105, No. 5: 1001-1023, 1997.

Brams, S. J. and Kilgour, D. M. *Competitive fair division*. Journal of Political Economy, Vol. 109, No. 2: 418-443, 2001.

Brenner, T. *Simulating the evolution of localized industrial clusters – An identification of the basic mechanisms*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 4, No. 3, 2001.

Breschi, S. and Lissoni, F. *Knowledge spillovers and local innovation systems: A critical survey*. Liuc Papers n. 84, Serie Economia e Impresa, 27 marzo 2001.

Cassilolato, J. E. and Szapiro, M. *Uma caracterização de arranjos produtivos locais de micro e pequenas empresas.* In: Lastres, H. M. M., Cassiolato, J. E. and Maciel, M. L., *Pequena empresa: Cooperação e desenvolvimento local*, Dumará Editora, 2003.

Costa Neto, P. L. O. *Qualidade e competência nas decisões.* Blucher, 2007.

Costa, E. A. *Otimização da operação integrada de redes de escoamento envolvendo atividades de produção, transporte, estocagem e distribuição, utilizando decomposição hierárquica multinível com coordenação pelo objetivo*. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica, 1979.

Earl, M. G. and D'Andrea, R. *Modeling and control of a multi-agent system using mixed integer linear programming.* Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, December 2002.

Ehtamo, H., Ruusunen, J. and Hämäläinen, R. P. *Repeated bargaining under uncertainty*. In: *Differential Games and Application*, 178-185, (Lecture Notes in Control and Information Sciences), Springer Berlin / Heildelberg, 1989.

Fax, J. A. *Information flow and cooperative control of vehicle formations.* IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 49, No. 9, 1465-1476, September 2004.

Fiani, R. *Teoria dos jogos – para cursos de administração e economia*. Campus, 2004.

Freiling, G., Jank, G. and Abou-Kandil, H. *On global existence of solutions to coupled matrix Riccati equations in closed-loop Nash games*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 41, No. 2: 264-269, February 1996.

Friedman, D. and Cassar, A. *Economics Lab*. Routledge, 2004.

Friedman, D. and Sunders, S. *Experimental methods - A primer for economists.* Cambridge University Press, 1994.

Friedman, J. W. *Game theory with economic applications*. Oxford University Press, 1986.

Friedman, J. W. *Oligopoly and the theory of games*. North Holland, 1877.

Fudenberg, D. and Levine, D. K. *The theory of learning in games (Economic learning and social evolution)*. The MIT Press, 1999.

Fudenberg, D. and Tirole J. *Game theory*. The MIT Press, 1991.

Gomide, F. A. C. *Análise e implementação de algoritmos de controle hierárquico de sistemas dinâmicos*. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica, 1979.

Gosenpud, J. and Wolfe, J. *Strategy design, process and implementation in a stable/complex environment: An exploratory study*. Developments in Business Simulation & Experiential Exercises, Vol. 15, 1988.

Hämäläinen, R. P. and Kaitala, V. *Bargaining on whales: A differential game model with Pareto optimal equilibria.* Operations Research Letters, Vol. 3,

No. 1, April 1984.

Harsanyi, J. *Game with incomplete information played by Bayesian players*. Management Science, Vol. 14, 1967 – 68: 159-182, 320-334, 486-502. 1967/1968.

Haurie, A. and Tolwinski, B. *Acceptable equilibria in dynamic bargaining games*. Large Scale Systems. Vol. 6: 73-89, 1984.

Haurie, A. and Tolwinski, B. *Cooperative equilibria in discounted stochastic sequential games*. J. Optimization Theory and Applications, Vol. 64, No. 3: 511-535, 1990.

Haurie, A. and Tolwinski, B. *Definition and properties of cooperative equilibria in a two-player game of infinite duration.* J. Optimization Theory and Applications, Vol. 46: 525-533, 1985.

Hess, G. D. and Orphanides, A. *War and democracy.* Journal of Political Economy, Vol. 108, No. 4: 776-810, 2001.

Hirshleifer, J. *Anarchy and its breakdown*. Journal of Political Economy, Vol. 103, N. 1: 26-52, 1995.

Hough, J. R. and dt odilvie, d. *An empirical test of cognitive styulestyle and strategic decision outcomes.* Journal of Management Studies, Vol. 42, No. 2: 417-448, 2005.

Howard, N. *Paradoxes of rationality: theory of metagames and irrational behavior* (reissued in Classic series). The MIT Press, 1971.

İnalhan, G. Stipanović, D. M. and Tomlin, C. J. *Decentralized optimization, with application to multiple aircraft coordination.* Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, December 2002.

Isaacs, R. *Differential games*. Wiley, 1965.

Johnson, D. W. and Johnson, R. T. *Cooperation and the use of technology*. In Handbook of Research for Educational Communication and Technology. Edited by David H. Jonassen, 1996, Simon & Schuster Macmillan, 1996.

Kagel, J. H. and Roth, A. E. (Editors) *The handbook of experimental economics*. Princeton University Press, 1995.

Kallás, D. and Sauaia, A. C. A. *Implementation and impacts of the balanced scorecard: An experiment wieth business games*. Developments in Business Simulation and Experiential Learning, Vol. 31, 2004.

Kilgour, D. M., Hipel, K. W. and Fraser, N. M. *Solution concept in non-*

cooperative games. Large Scale Systems, Vol. 6: 49-71, 1984.

Kuhn, H. W. and Tucker, A. W. (Eds) *Contributions to the theory of games.* Annals of Mathematic Studies, Vol. 2, No. 28: 193-216, Princeton University Press, 1953.

Leitmann, G. (Ed) *Multicriteria decision making and differential games*. Plenum Press, 1976.

Lygeros, J., Godbole, D. N. and Sastry S. *Verified hybrid controllers for automated vehicles*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 43, No. 4: 522-539, April 1998.

Ma, Z. *Conflict styles as indicator of behavioral pattern in business negotiations*. Academy of Management Annual Meeting, Atlanta, 2006.

Ma, Z. *Exploring the relationship between the Big Five personality factors, conflict styles and bargaining behaviors*. IACM, 18th Annual Conference (June 1, 2005). Available at [SSRN: http://ssm.com/abstract=735063], 2005.

Moen, E. R. *Competitive search equilibrium*. Journal of Political Economy, Vol. 105, No. 2: 385-411, 1997.

Myerson, R. B. *Game theory: analysis of conflict*. Harvard University Press, 1997.

Myerson, R. B. *Refinements of the Nash equilibrium concept*. International Journal of Game Theory, Vol. 7, Issue 2:73-90, 1978.

Owen, G. *Game theory*. Academic Press, 1982.

Pan, Y., Acarman, T. and Özguner, Ü. *Nash solution by extremum seeking control approach.* Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, December 2002.

Pangarkar, N. and Choo, A. *Do firms seek symmetric alliance partners? An exploratory study*. Journal of Asia-Pacifica Business, Vol. 3(1), 2001.Sfasfd

Pangarkar, N. and Klein, S. *The impacts of alliance purpose and partner similarity on alliance governance*. British Journal of Management, Vol. 12, 341-355, 2001

Pangarkar, N. *Determinants of alliance duration in uncertain environments: The case of the Biotechnology sector*. Long Range Planning, 36: 269-284, 2003.

Petit, M. L. *Control theory and dynamic games in economic policy analysis*.

Cambridge University Press, 1991.

Putnam, R. D. *Diplomacy and domestic politics: the logic of two-level games*. International Organization, Vol. 42, No. 3: 427-460, 1988.

Radner, R. *Monitoring cooperative agreements in a repeated principal-agent relationship*. Econometrica, Vol. 49: 1127-1148, 1981.

Radner, R. *Repeated principal-agent games with discounting*. Econometrica, Vol. 53: 1173-1198, 1985.

Ray, D. and Vohra, R. *Coalition power and public goods*. Journal of Political Economy, Vol. 109, No. 6: 1355-1384, 2001.

Selten, R., *Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games*. Int. Journal of Game Theory, Vol. 4: 25-55, 1975.

Shapley, L. *Stochastic games*. Proc. of Nat. Acad. of Sciences, Vol. 39: 1095-1100, 1953.

Shubik, M. *Games for society business and war*. Elsevier, 1985.

Shubik, M. *The uses and methods of gaming*. Elsevier, 1975.

Sobel, M. J. *Non-cooperative stochastic games*. Annals of Mathematical Statistics, Vol. 42: 1930-1935, 1971.

Souza, J. B., Matos, A. and Pereira, F. L. *Dynamic optimization in the coordination and control oo f autonomous underwater vehicles*. Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, December 2002.

Souza, M. C. A. F. and Garcia, R. *O arranjo produtivo da indústria de alta tecnologia da Região de Campinas – SP*. Nota Técnica No. 27/99, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, IE/UFRJ. Dezembro 1998.

Souza, M. C. A. F. *et al*. *Oportunidades e Restrições para as Pequenas Empresas no Processo Recente de Reestruturação Industrial*. Disponível em [www.ie.ufrj/rede]. Apresentado no Seminário Proposição de Políticas para a Promoção de Sistemas Produtivos Locais de Micro, Pequenas e Médias Empresas Brasileiras, 11 e 12 de março, 2002.

Talukdar, S., Baerentzen, L., Gove, A. and Souza, P. *Cooperation schemes for autonomous agents.* Available at [http://citeseer.ist.psu.edu/rd/62690660%2C352200%2C1%2C0.25%2CDownload/http%3AqSqqSqwww.ece.cmu.eduqSq~talukdarqSqHeuristics_Final_Revs.ps], 1997.

Tjosvold, D., Peng, C. Y., Chen, Y. F. and Fang, S. S. *Cooperating with the*

competition to develop the industry in China: The role of goal interdependence. Proceedings of the Academy of Management (AoM) Annual Meeting, Atlanta, August, 11-16, 2006.

Tolwinski, B. *A concept of cooperative equilibrium for dynamic games*. Automatica, Vol. 18, No. 4: 431-441, 1982.

Tolwinski, B., Haurie, A. and Leitmann, G. *Cooperative equilibria in differential games*. J. Math. Analysis and Applications. Vol. 119: 182-202, 1986.

Triandis, H. C., Bontempo, R. and Villareal, M. J. *Individualism and collectivism: Cross-cultural perspectives on self-ingroup relationships.* Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 54 (2): 323-338, 1988.

Weiman, D. F. and Levin, R. C. *Preying for monopoly? The case of Southern Bell Telephone Company, 1894-1912.* Journal of Political Economy, Vol. 102, No. 1: 103-126, 1994.

Whitt, W. *Representation and approximations of non-cooperative sequential games*. SIAM Journal on Control, Vol. 18: 33-48, 1980.

ANEXOS

1. Questionário para Qualificação dos Candidatos – QQD 292
2. Questionário para Avaliação da Postura Concorrencial – QPC 293
3. Questionário para Avaliação dos Pressupostos de Relação-de-Forças – QPR 294
4. Questionário para Avaliação das Preferências Motivacionais – QQP 295
5. Questionário para Avaliação da Flexibilidade e Adaptabilidade – QFA 296
6. Questionário para Avaliação dos Resultados do Jogo - QRJ 297
7. Questionário para Avaliação das Mudanças Comportamentais – QMP 298
8. Gráficos Comparativos da Cotação das Ações ($) e da Participação nas Vendas (%) para as Doze Partidas de Jogos 299
9. Tabelas de Análise de Fatores 312
10. Tabelas de Análise de Regressão 322
11. Tabelas de Análise da Regressão Multivariada 330
12. Testemunhais dos Participantes do Segundo Experimento 332

Anexo 1

Questionário para Qualificação dos Candidatos – QQD

1) Qual o seu nome completo?
2) Qual o nome pelo qual gostaria de ser chamado? (pseudônimo)
3) Quais são seus telefones:
4) Qual e-mail prefere usar neste Projeto?
5) Onde você reside?
6) Que curso você está fazendo agora? (Ano e turma)
7) Qual (is) o(s) curso(s) de graduação que fez?
8) Quantos anos você tem?
9) Quantos anos você tem de formado (na graduação)?
10) Quais as empresas / entidades onde atua hoje?
11) Qual é tipo e qual o setor das empresas / entidades onde você atua hoje?
12) Em quais empresas / entidades já trabalhou anteriormente? Em que setores elas atuam?
13) Quais são as suas principais atividades profissionais hoje
14) Você é aluno ou ex-aluno de MBA? Ou qual é a sua situação escolar hoje?
15) Você tem acesso a banda larga, ou usa linha discada?
16) Quantos irmãos e/ou irmãs você tem? Qual a ordem de seu nascimento?
17) Meu interesse em participar deste Experimento é (marque só uma alternativa):
    a) Prioritário
    b) Muito alto
    c) Mais ou menos
    d) Baixo
    e) Muito pequeno
18) Minha disposição para participar deste Experimento é...
    a) Muito alta
    b) Alta
    c) Mais ou menos
    d) Baixa
    e) Muito pequena
19) Minha disponibilidade para participar deste Experimento é...
    a) Mais que suficiente
    b) Suficiente
    c) ‘Dá para encarar’
    d) ‘Com certo sacrifício, eu consigo’
    e) Muito pequena

Anexo 2

Questionário para Avaliação da Postura Concorrencial – QPC

Para cada afirmativa abaixo selecione a resposta mais adequada às suas preferências e opiniões pessoais.

Mas, lembre-se: Não existem respostas certas nem erradas. (Algumas perguntas podem parecer redundantes, mas não são!) Por favor, seja o mais sincero possível.

Para todas as perguntas, escolha uma e apenas uma das seguintes alternativas:

- ☐ a) Discordo totalmente
- ☐ b) Discordo em parte
- ☐ c) Nem concordo nem discordo
- ☐ d) Concordo em parte
- ☐ e) Concordo totalmente

1) Nas disputas ou conflitos de interesses que me envolvo, procuro primeiramente uma solução conciliatória, buscando aquilo que possa ser o melhor para todo mundo envolvido, mesmo que tenha que abrir mão de alguns interesses pessoais.

2) Em geral, para mim, cada um deve saber cuidar de seus próprios problemas; para mim, é 'cada qual por si, e Deus por todos'.

3) Adoro vencer e não sou muito bom perdedor. Se eu perco, tenho uma tendência a "virar a mesa", buscar mudar as regras do jogo, ou mesmo abandoná-lo.

4) Eu sou uma pessoa confiável e só trabalho com pessoas confiáveis. Assumo meus compromissos e os honro, mesmo com alguma perda pessoal.

5 No fundo, no fundo, fico satisfeito quando constato que meu adversário perdeu. A derrota de meu adversário me dá um certo prazer.

6) Evito concorrências. Acho que cartéis, acordos ou "conchavos", se possível, são as melhores maneiras de resolver e conciliar conflitos de interesses.

7) Raramente faço acordos, trabalho melhor sozinho.

8) Já vivi situações, no passado, onde confiei e fui traído. Depois disto, eu tenho uma tendência a não confiar muito nas pessoas.

9) Sou adepto do dito popular: "Farinha pouca, meu pirão primeiro".

10) No fundo, no fundo, acho que todos estão contra mim. Se eu não defender meus interesses "de unhas e dentes", acabo sendo passado pra trás...

Anexo 3

Questionário para Avaliação dos Pressupostos de Relação-de-Forças – QPR

Para cada afirmativa abaixo selecione a resposta mais adequada às suas preferências e opiniões pessoais.

Mas, lembre-se: Não existem respostas certas nem erradas. (Algumas perguntas podem parecer redundantes, mas não são!) Por favor, seja o mais sincero possível.

Para todas as perguntas, escolha uma e apenas uma das seguintes alternativas:

- ☐ a) Discordo totalmente
- ☐ b) Discordo em parte
- ☐ c) Nem concordo nem discordo
- ☐ d) Concordo em parte
- ☐ e) Concordo totalmente

1) Penso que, numa situação de conflito de interesses, todos os envolvidos têm (ou devem ter) as mesmas chances de ganhar ou de perder. Gosto de jogos equilibrados.

2) Sinto-me, de antemão, um vencedor. Sempre parto do princípio de que "já ganhei" e já derrotei os meus adversários.

3) Eu sou daqueles que preferem aguardar os lances dos jogadores mais fortes antes de tomar as minhas decisões.

4) Eu sou daqueles que, em caso de dúvidas, preferem "atirar primeiro, e (se for o caso) perguntar depois".

5) Eu faço tudo para manter minha posição de controle e de soberania nos jogos de que participo.

6) Eu quero vencer sim, custe o que custar, mas sempre de acordo com as regras combinadas.

7) Eu acho que "vale tudo para sobreviver", mesmo que eu tenha que "contornar" algumas regras. Penso que a tal "ética da competição" é relativa.

8) Eu posso me considerar inicialmente o mais fraco no jogo, mas lutarei bravamente para conquistar o meu espaço entre os demais jogadores.

9) Eu é que faço as regras do jogo e convenço os demais jogadores a jogarem conforme essas regras, como se elas tivessem sido "estabelecidas por consenso".

10) Em caso de dúvidas, eu prefiro "virar a mesa", primeiro, em vez de esperar para ver se meus adversários viram a mesa contra mim.

Anexo 4

Questionário para Avaliação das Preferências Motivacionais – QQP

Para cada afirmativa abaixo selecione a resposta mais adequada às suas preferências e opiniões pessoais.

Mas, lembre-se: Não existem respostas certas nem erradas. (Algumas perguntas podem parecer redundantes, mas não são!) Por favor, seja o mais sincero possível.

Para todas as perguntas, escolha uma e apenas uma das seguintes alternativas:

- ☐ a) Discordo totalmente
- ☐ b) Discordo em parte
- ☐ c) Nem concordo nem discordo
- ☐ d) Concordo em parte
- ☐ e) Concordo totalmente

1) Sempre que aparece uma oportunidade de participar de um joguinho qualquer, nem que seja de um 'par-ou-ímpar', eu estou lá. Sou um dos primeiros a chegar, e jogo com entusiasmo.
2) Se eu tivesse dinheiro para aplicar, não aplicaria na Bolsa de Valores, pois prefiro aplicações mais seguras e com maior previsibilidade.
3) Se eu tiver que disputar uma vaga com alguém, prefiro ficar de fora. Não sou muito de competir.
4) Eu 'curto' jogos como dominó, xadrez, dama, buraco, truco ou similares. Divirto-me com eles. Abandono outros programas para jogar alguma coisa.
5) Eu jogo xadrez e/ou jogo de empresas pela internet. Às vezes perco, mas isto não diminui meu entusiasmo por eles.
6) Eu acho que jogar qualquer jogo é perda de tempo. Prefiro um bom filme, um bom livro, ou, até, um bom bate-papo sobre qualquer assunto.
7) Gosto de surpresas, mesmo que sejam ruins. Sinto-me confortável em um mundo de menor previsibilidade e onde as coisas mudem com certa freqüência.
8) Em casos e situações inevitáveis de disputas, prefiro ceder e sair, para evitar conflitos. Para mim, disputas e conflitos de interesses podem prejudicar o relacionamento entre pessoas, que, para mim, é mais importante.
9) Eu acho que "a vida é um jogo". Jogar, gostar de jogar, saber jogar, saber ganhar, e saber perder, fazem parte do currículo de um bom profissional.
10) Gosto de esportes em geral porque no esporte eu posso disputar com outros desportistas.
11) Gosto de jogar, de ganhar, porém não aceito derrotas "numa boa".

Anexo 5

Questionário para Avaliação da Flexibilidade e Adaptabilidade – QFA

Para cada afirmativa abaixo selecione a resposta mais adequada às suas preferências e opiniões pessoais.

Mas, lembre-se: Não existem respostas certas nem erradas. (Algumas perguntas podem parecer redundantes, mas não são!) Por favor, seja o mais sincero possível.

Para todas as perguntas, escolha uma e apenas uma das seguintes alternativas:

- a) Discordo totalmente
- b) Discordo em parte
- c) Nem concordo nem discordo
- d) Concordo em parte
- e) Concordo totalmente

1) Eu tenho meu cantinho muito bem arrumado, e não gosto que ninguém sugira ou muito menos tente mexer nele.
2) Eu estou sempre mudando, de restaurante, de estilo, de carro, de casa, de preferências...
3) Aceito, com facilidade, sugestões de mudanças nas coisas que fiz, que faço, que penso, que falo, ou até no que acredito.
4) Tenho minhas opiniões muito bem fundamentadas; sou daqueles que diz: “Não me venha com idéias, que eu já tenho minhas convicções”.
5) Eu sou como a Gabriela: “Eu nasci assim, eu cresci assim, e sou mesmo sim. Vou ser sempre assim Gabriela, sempre Gabriela”.
6) Minha tendência é sempre: “Deixar como está para ver como é que fica”.
7) Meu lema preferido é “Em time que está ganhando não se mexe”.
8) Eu penso que “Mudar faz parte da vida. Quem não muda, já morreu”.
9) As pessoas me acham uma pessoa ponderada, adaptável a novas situações e flexível para ajustar estilos e formas de agir.
10) Sou muito curioso, quero aprender e fazer coisas novas. Novidade, pra mim, é desafio, e não um problema a ser evitado.

Anexo 6

Questionário para Avaliação dos Resultados do Jogo – QRJ

Para cada afirmativa abaixo selecione a resposta mais adequada às suas preferências e opiniões pessoais.

Mas, lembre-se: Não existem respostas certas nem erradas. (Algumas perguntas podem parecer redundantes, mas não são!) Por favor, seja o mais sincero possível.

Para todas as perguntas, escolha uma e apenas uma das seguintes alternativas:

- ☐ a) Discordo totalmente
- ☐ b) Discordo em parte
- ☐ c) Nem concordo nem discordo
- ☐ d) Concordo em parte
- ☐ e) Concordo totalmente

1) Fiquei contente com o resultado final do jogo. Acho que fiz o máximo que podia fazer dentro das condições impostas pela estrutura do jogo.

2) Gostei da dinâmica do jogo. Aprendi com as novas situações nas quais fui envolvido.

3) Tive muitas dificuldades para tomar algumas decisões difíceis sobre as quais não tinha certeza de qual seria a melhor decisão. Pensei até em desistir do jogo por causa disto!

4) Embora não conhecesse pessoalmente os meus adversários, fiz um bom relacionamento com eles. Se pudesse, repetiria o exercício.

5) O jogo me deu uma visão mais ampla das múltiplas relações entre as variáveis empresariais. Isto vai me ajudar muito a entender a dinâmica da administração das empresas industriais.

6) Achei injusto o ranking final do jogo. Penso que eu deveria estar em uma posição melhor no momento em que o jogo foi interrompido. Talvez, se o jogo tivesse durado mais uns 5 a 10 períodos, o meu resultado seria muito melhor!

7) “Nunca mais falem comigo para jogar um jogo de empresas. Odiei!”

8) Não gostei das “condições iniciais” da empresa que me deram para administrar. Eu preferiria algo mais adequado ao meu gosto e estilo pessoal.

9) Fiquei feliz com os parâmetros econômicos da minha empresa ao final do período. Considero-me um “vencedor do jogo”, considerando-se as péssimas condições iniciais que me deram.

10) Perdi o jogo, mas aprendi. O tempo gasto e os esforços que fiz valeram a pena.

Anexo 7

Questionário para Avaliação das Mudanças Comportamentais – QMP

Para cada afirmativa abaixo selecione a resposta mais adequada às suas preferências e opiniões pessoais.

Mas, lembre-se: Não existem respostas certas nem erradas. (Algumas perguntas podem parecer redundantes, mas não são!) Por favor, seja o mais sincero possível.

Para todas as perguntas, escolha uma e apenas uma das seguintes alternativas:

- ☐ a) Discordo totalmente
- ☐ b) Discordo em parte
- ☐ c) Nem concordo nem discordo
- ☐ d) Concordo em parte
- ☐ e) Concordo totalmente

1) Pude perceber, durante e após o jogo, que algumas de minhas atitudes e posturas competitivas iniciais não eram as mais adequadas para bem desenvolver o jogo que me foi proposto.

2) Em vista do que aconteceu ao longo do jogo, a partir de agora estou considerando a possibilidade de reconsiderar minhas formas de competir e de cooperar.

3) Estou convencido de que existe uma forma padrão ótima de jogar todo e qualquer jogo que se me apresente.

4) Entendo agora que o jogo é uma maneira de fazer amigos, conquistar pessoas, e estreitar minhas formas de relacionamento profissional e humano.

5) Em vista do que aconteceu ao longo do jogo, a partir de agora estou considerando a possibilidade de rever minhas formas enfrentar os meus oponentes.

6) Reconheço que tomei algumas decisões inadequadas, e essas decisões foram as determinantes do resultado final desfavorável. Se eu tivesse uma nova oportunidade, agiria diferente.

7) Entendo agora que o jogo é uma maneira de ganhar dinheiro, de aumentar o valor das ações da empresa, de destruir meus concorrentes e de conquistar o mercado.

8) O jogo de qual participei não me ajudou em nada, a alterar minha maneira anterior de ver e avaliar as situações de conflito de interesses que tenho de enfrentar.

9) Eu não gostava muito de jogar, mas agora comecei a gostar...

10) Acho que meus comportamentos em negociações, associações, parcerias, concorrências, etc. deveriam ser alterados a partir de agora.

Anexo 8

Gráficos Comparativos da Cotação das Ações ($) e da Participação nas Vendas (%) para as Doze Partidas de Jogos

O software utilizado para os jogos, o Bernard ®, tem um grande número de gráficos disponíveis para os jogadores, tais como Patrimônio Líquido, Rentabilidade do Ativo, Participação nas Vendas, Margem de Lucro, Capital Circulante Líquido e Endividamento.

Além disso, ele produz também dois tipos de Relatórios de Resultados: o Relatório Coletivo e o Relatório Individual.

Desta forma, os jogadores recebem informações detalhadas sobre Balanço Patrimonial, Demonstração de Resultados do Exercício, Totais de Contratos do Mercado, Preços dos Contratos, Informações sobre Recursos Humanos, Fluxo de Caixa, informações Financeiras, e um Levantamento dos Equipamentos de Produção.

Apresentamos, a seguir, alguns gráficos ilustrativos do desenvolvimento dos 12 jogos do experimento do Projeto Omega-2. Escolhemos, para ilustrar, o gráfico comparativo das Cotações das Ações das empresas e o gráfico da Participação Percentual nas Vendas de cada uma delas.

Índice dos Gráficos:

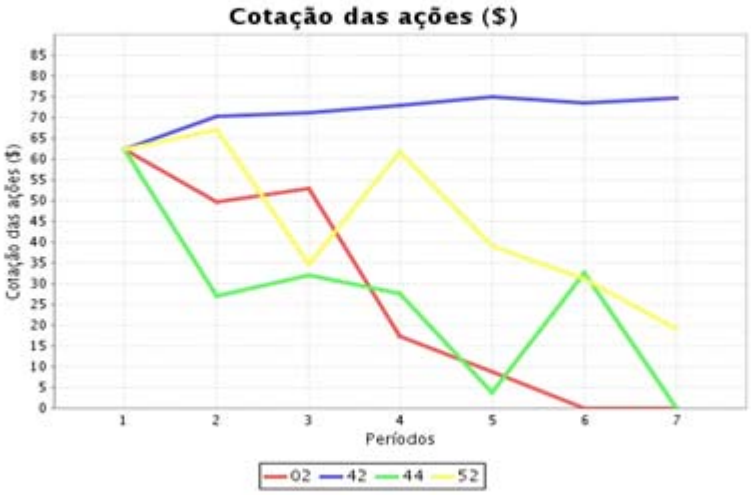
Jogo 1 – LONDRES – Tipo Minimax 300
Jogo 2 – MADRID – Tipo Nash 301
Jogo 3 – PARIS – Tipo Pareto 302
Jogo 4 – VIENA – Tipo Hegemônico-Marginal 303
Jogo 5 – BERLIM – Tipo Stackelberg 304
Jogo 6 – ROMA – Tipo Paternalista-Solidário 305
Jogo 7 – ATENAS – Timo Minimax 306
Jogo 8 – LISBOA – Tipo Nash 307
Jogo 9 – AMSTERDÃ – Tipo Pareto 308
Jogo 10 – BRUXELAS – Tipo Hegemônico-Marginal 309
Jogo 11 – COPENHAGUE – Tipo Stackelberg 310
Jogo 12 – GENEBRA – Tipo Paternalista-Solidário 311

O que se pode depreender, da análise desses dois tipos de gráficos, é que os jogos mais competitivos (Minimax, Nash, Stackelberg e Hegemônico-Marginal) tiveram melhor aderência às especificações do jogo.

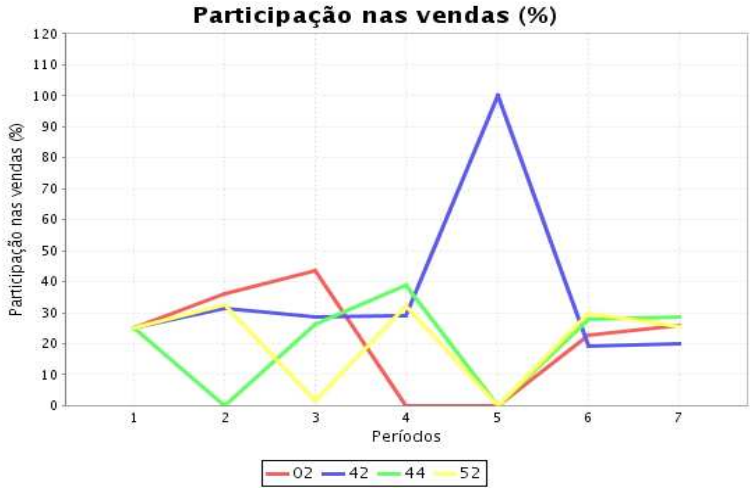
Já os jogos que deveriam ser mais cooperativos (Pareto e Paternalista-Solidário) tiveram menor aderência aos resultados esperados.

Jogo 1 – LONDRES – Tipo Minimax

JOGO 1 – LONDRES - Minimax



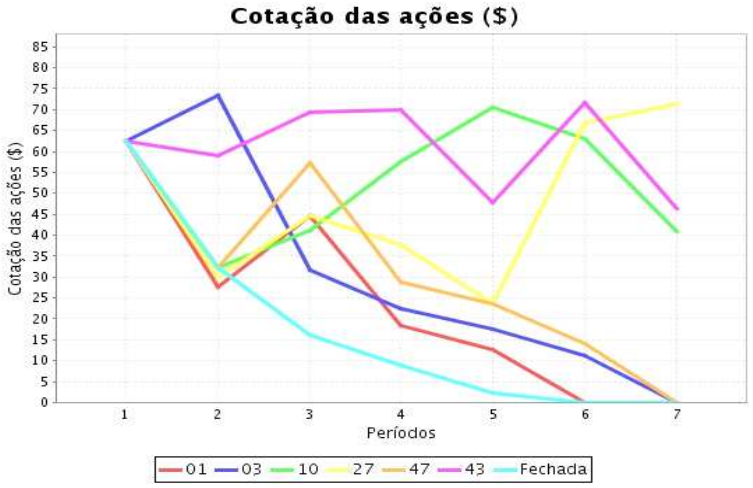
JOGO 1 – LONDRES - Minimax



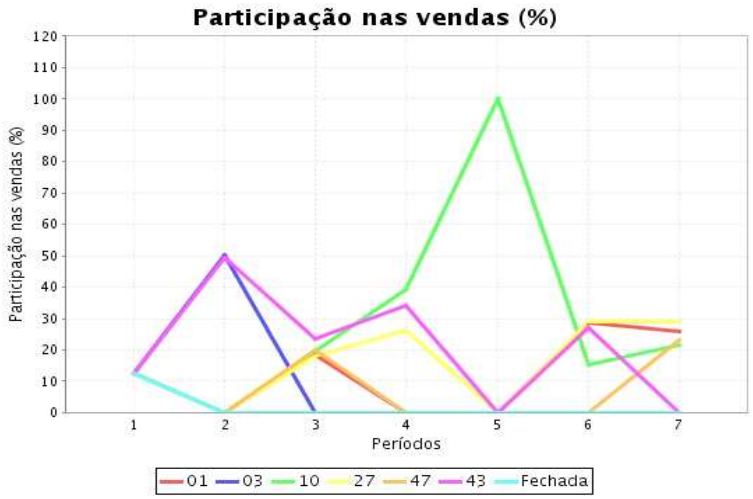
Jogo 2 – MADRID –

– Tipo Nash

JOGO 2 – MADRID - Nash

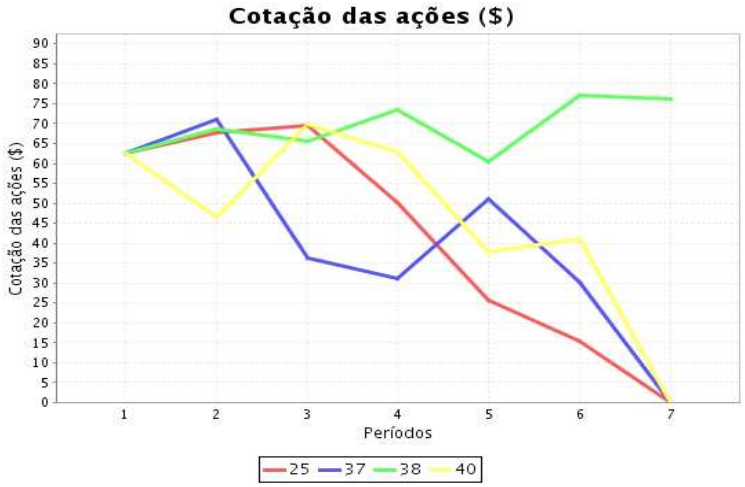


JOGO 2 – MADRID - Nash

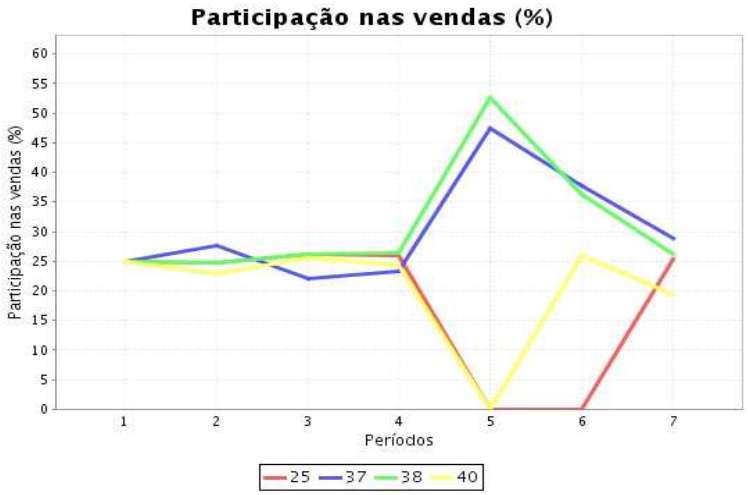


Jogo 3 – PARIS –
– Tipo Pareto

JOGO 3 – PARIS – Pareto

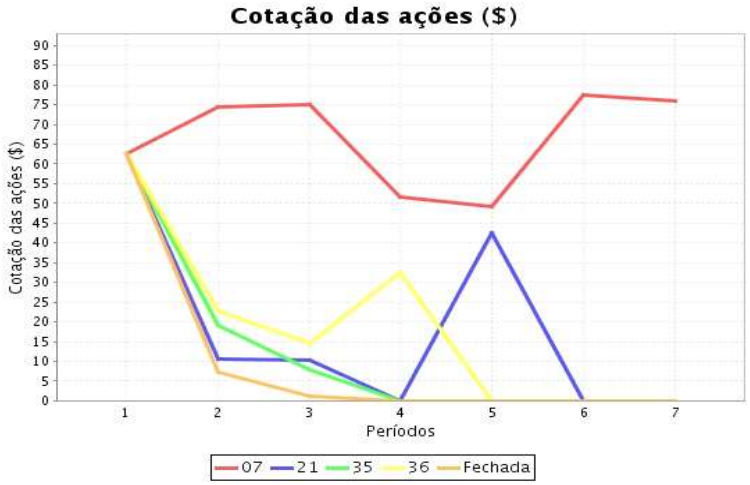


JOGO 3 – PARIS – Pareto

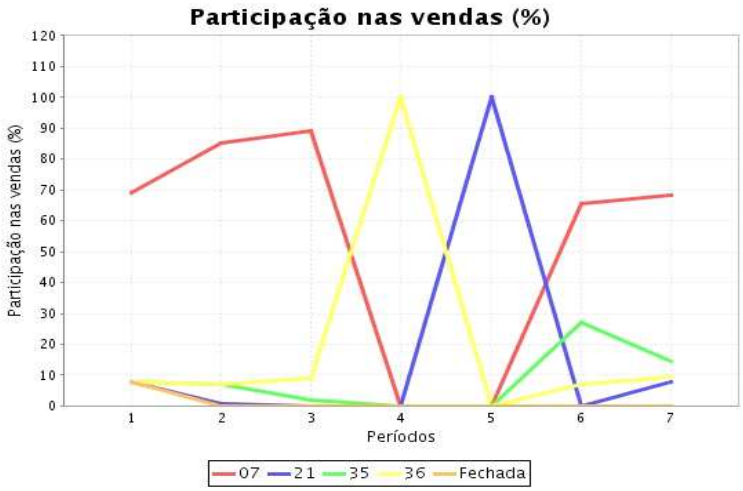


Jogo 4 – VIENA –
– Tipo Hegemônico-Marginal

JOGO 4 – VIENA – Hegemônico-Marginal

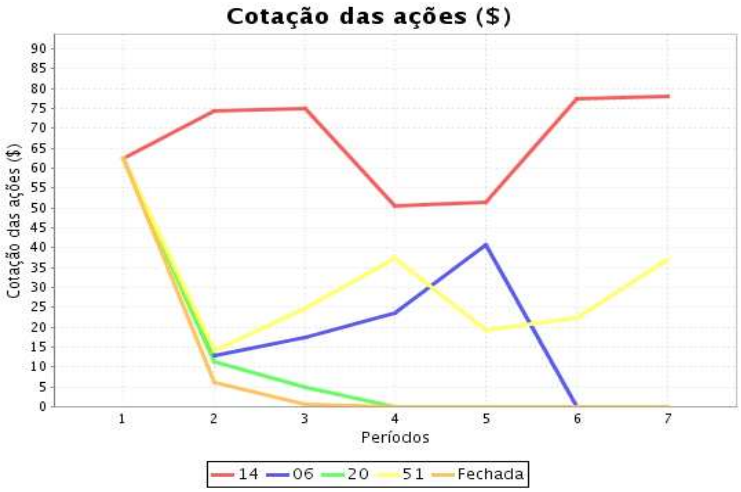


JOGO 4 – VIENA – Hegemônico-Marginal

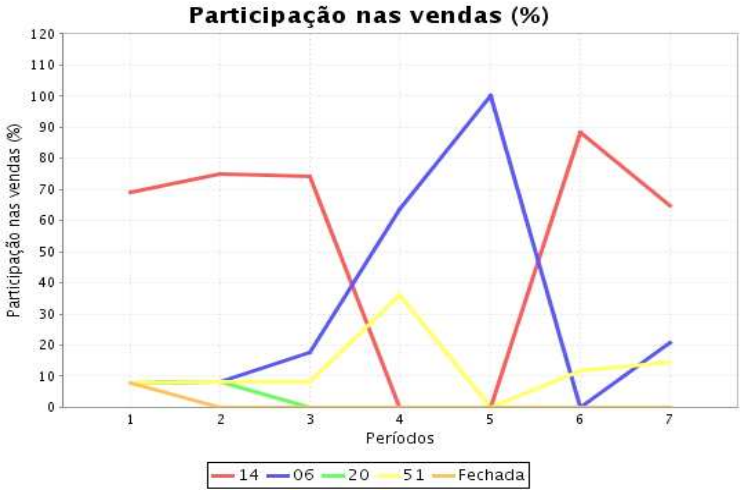


Jogo 5 – BERLIM –
– Tipo Stackelberg

JOGO 5 – BERLIM - Stackelberg

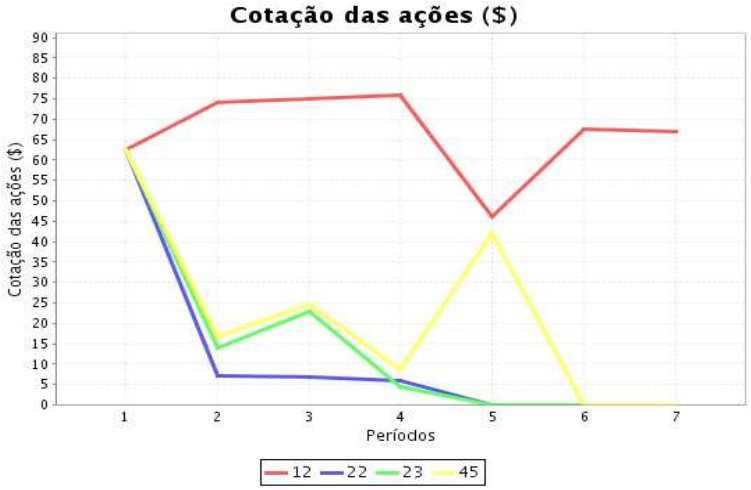


JOGO 5 – BERLIM - Stackelberg

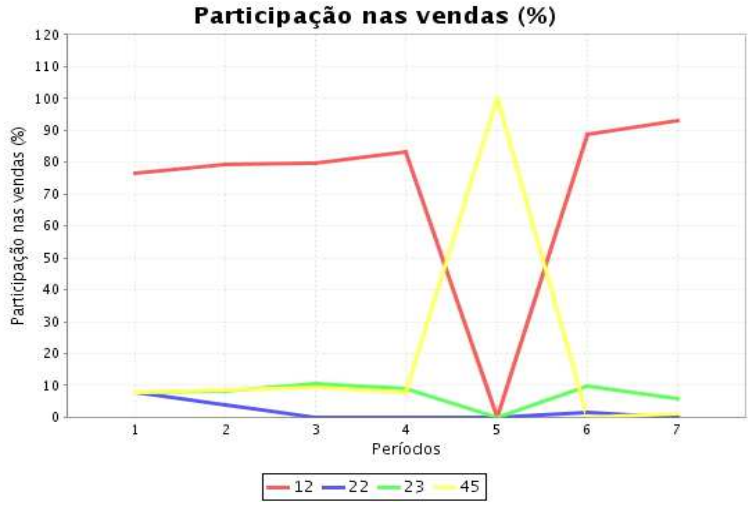


Jogo 6 – ROMA –
– Tipo Paternalista-Solidário

JOGO 6 – ROMA – Paternalista-Solidário



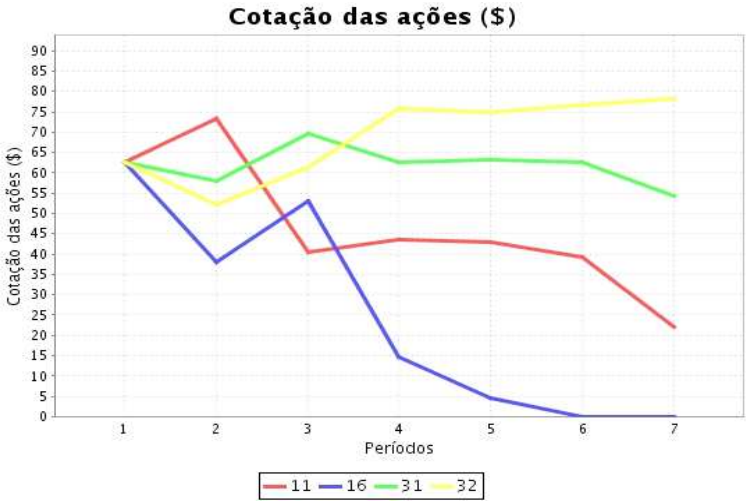
JOGO 6 – ROMA – Paternalista-Solidário



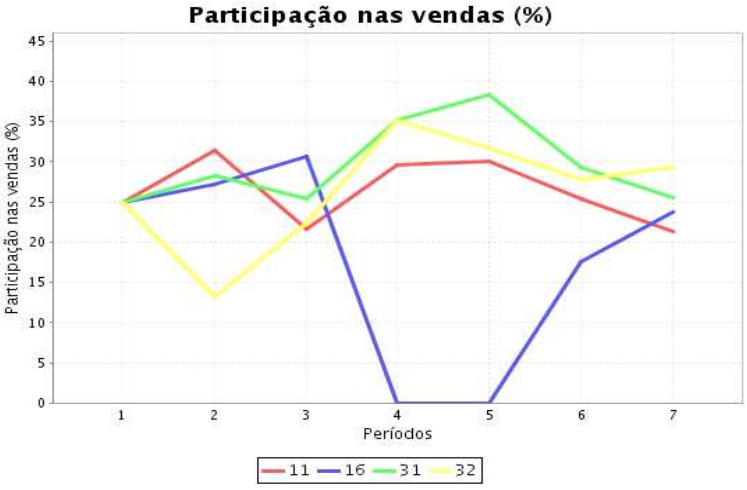
Jogo 7 – ATENAS –

Tipo Minimax

JOGO 7 – ATENAS - Minimax



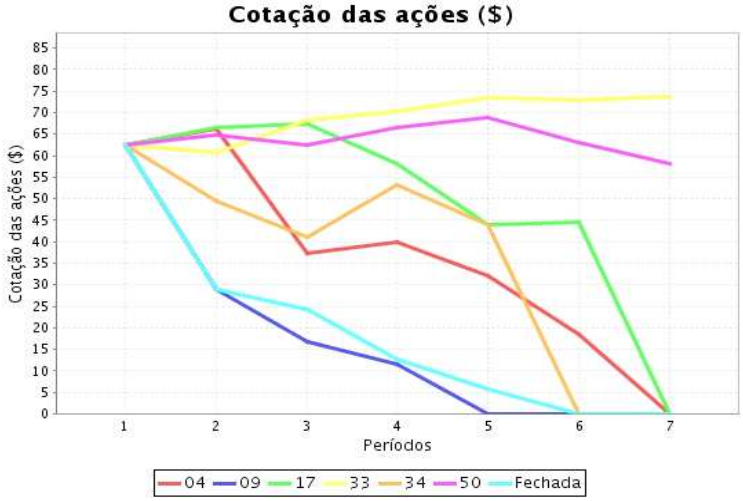
JOGO 7 – ATENAS - Minimax



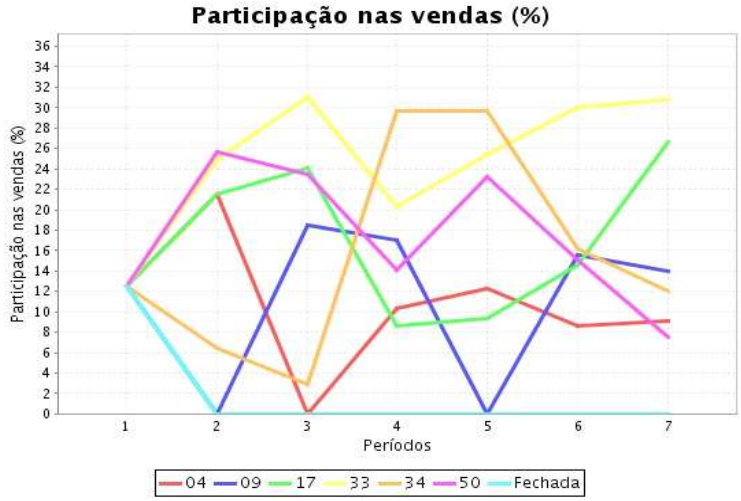
Jogo 8 – LISBOA –

– Tipo Nash

JOGO 8 – LISBOA - Nash



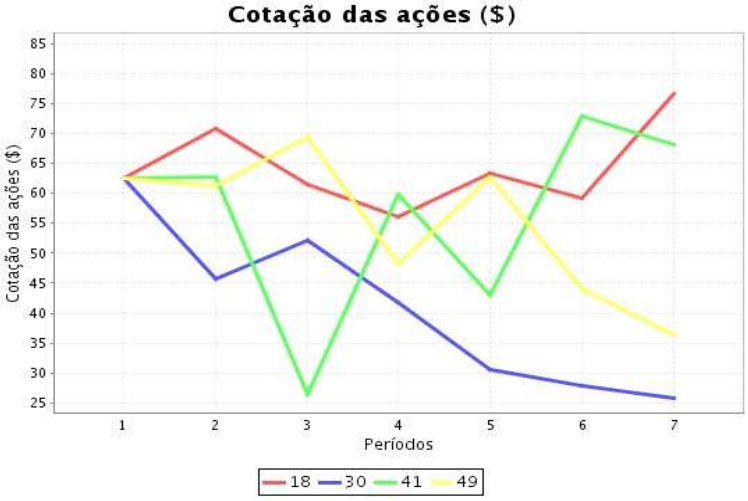
JOGO 8 – LISBOA - Nash



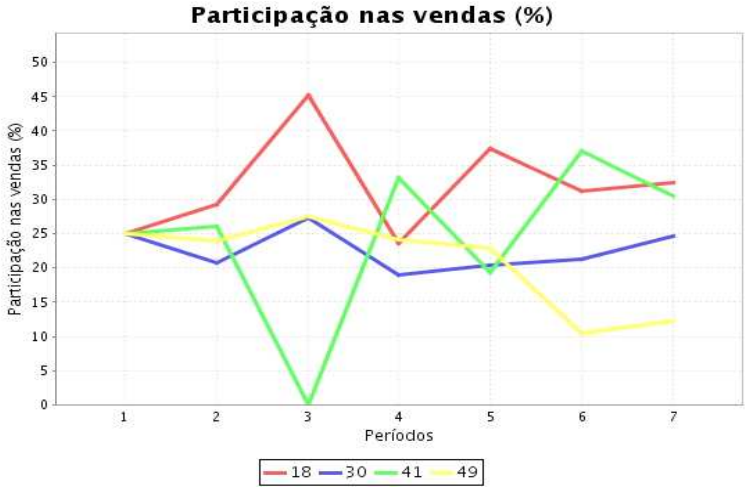
Jogo 9 – AMSTERDÃ –

– Tipo Pareto

JOGO 9 – AMSTERDÃ - Pareto

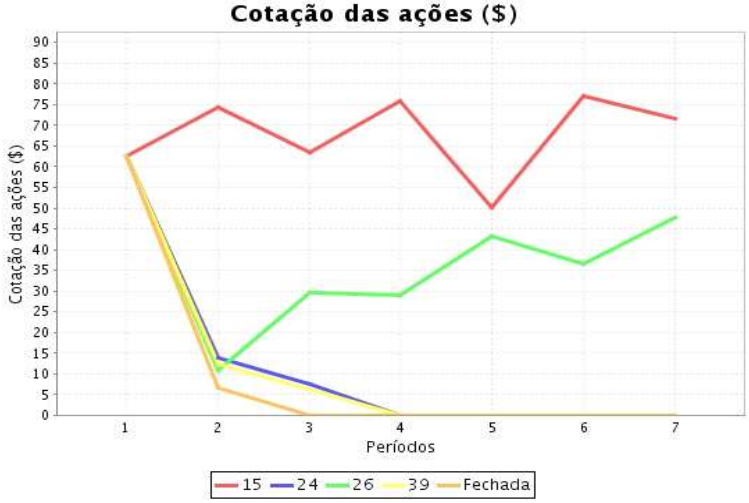


JOGO 9 – AMSTERDÃ - Pareto

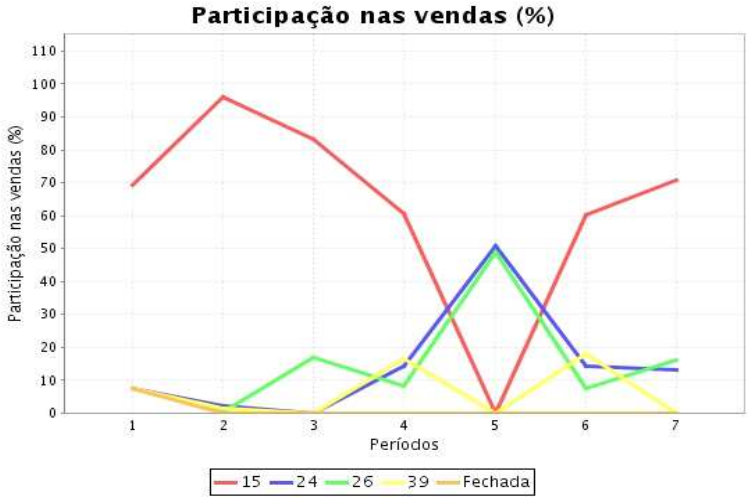


Jogo 10 – BRUXELAS –
– Tipo Hegemônico-Marginal

JOGO 10 – BRUXELAS – Hegemônico-Marginal

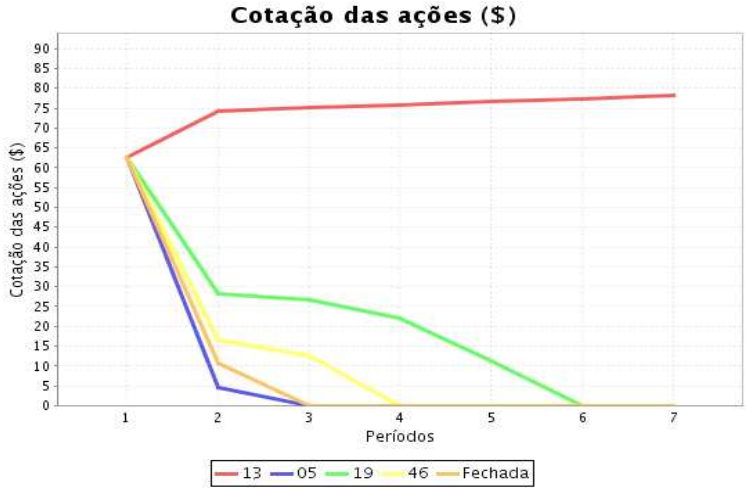


JOGO 10 – BRUXELAS – Hegemônico-Marginal

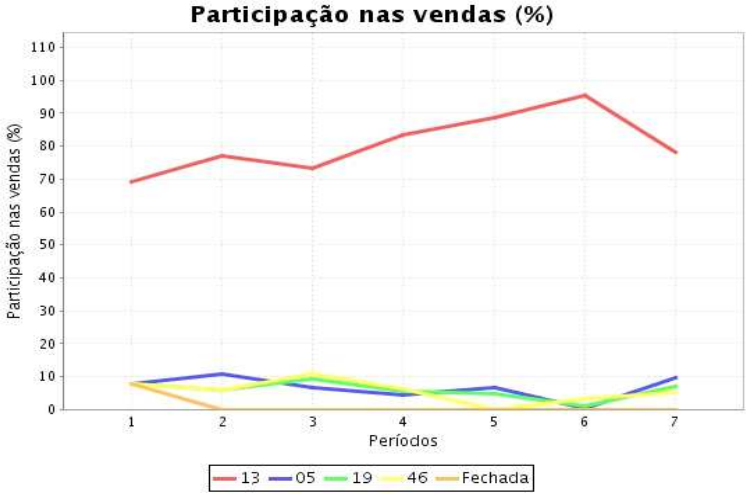


Jogo 11 – COPENHAGUE –
– Tipo Stackelberg

JOGO 11 – COPENHAGUE- Stackelberg

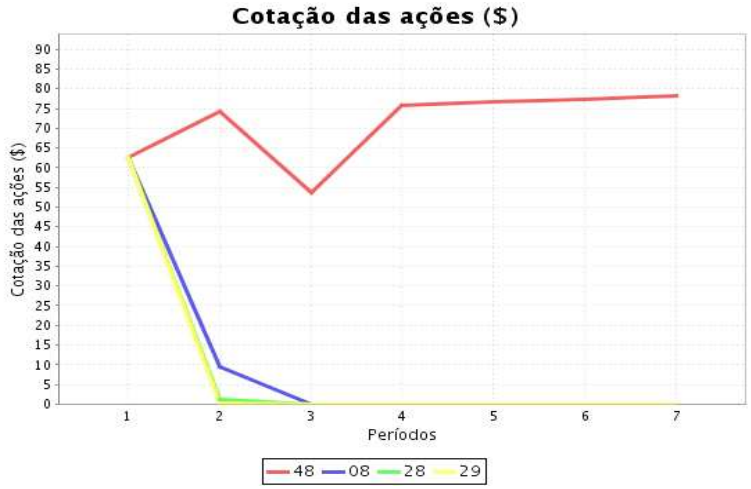


JOGO 11 – COPENHAGUE- Stackelberg

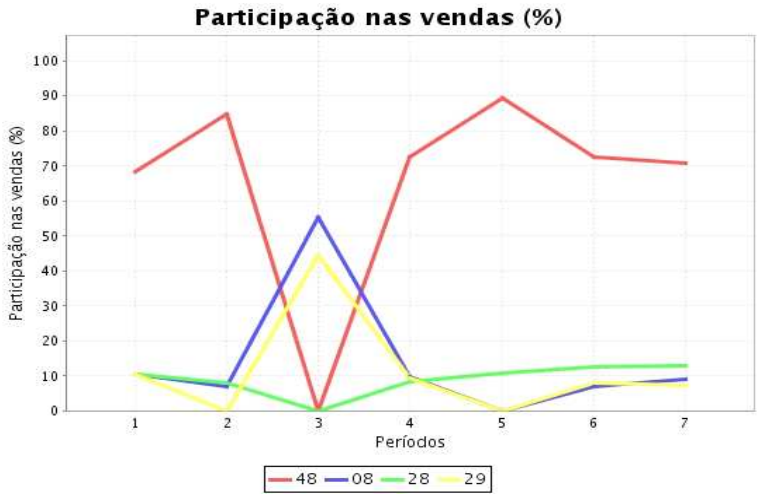


Jogo 12 – GENEBRA –
– Tipo Paternalista-Solidário

JOGO 12 – GENEBRA – Paternalista-Solidário



JOGO 12 – GENEBRA – Paternalista-Solidário



Anexo 9

Tabelas de Análise de Fatores

Questionários para Avaliação das Preferências Motivacionais dos Candidatos, QQP, preenchidos antes do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component			
	1	2	3	4
VAR00001	,862			
VAR00002			,361	-,545
VAR00003		,513	,490	
VAR00004	,795			
VAR00005		-,392	,612	
VAR00006	,669	,478		
VAR00007			,634	
VAR00008		,729		
VAR00009				,779
VAR00010			,677	
VAR00011		-,632		,466

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 8 iterations.

Total Variance Explained

	Rotation Sums of Squared Loadings		
Component	Total	% of Variance	Cumulative %
1	1,939	17,628	17,628
2	1,767	16,063	33,691
3	1,737	15,794	49,485
4	1,237	11,241	60,726

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação da Postura Concorrencial, QPC, preenchidos antes do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component			
	1	2	3	4
VAR00001				,965
VAR00002		,838		
VAR00003	,359		-,703	
VAR00004			,790	
VAR00005	,774			
VAR00006	-,474		,455	,323
VAR00007		,661	-,361	
VAR00008		,737		
VAR00009	,675			
VAR00010	,746			

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 5 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,157	21,567	21,567
2	1,754	17,544	39,111
3	1,503	15,032	54,143
4	1,098	10,978	65,121

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação do Pressuposto de Relação-de-forças, QPR, preenchidos antes do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component		
	1	2	3
VAR00001		-,798	
VAR00002	,624	,331	
VAR00003	-,353		,760
VAR00004	,361	,527	
VAR00006		,720	-,372
VAR00008			,729
VAR00009	,732		
VAR00010	,737		

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 5 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	1,798	22,478	22,478
2	1,661	20,765	43,243
3	1,317	16,464	59,706

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação da Flexibilidade e Adaptabilidade, QFA, preenchidos antes do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component		
	1	2	3
VAR00001	,660		
VAR00002	-,396	,602	
VAR00003	,304	,673	-,349
VAR00004	,760		
VAR00005	,694		
VAR00006	,577	,310	,427
VAR00007	,563		,326
VAR00008			,881
VAR00009		,657	
VAR00010		,711	,370

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 5 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,472	24,722	24,722
2	1,973	19,728	44,450
3	1,410	14,099	58,548

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação das Preferências Motivacionais dos Candidatos, QQP, preenchidos depois do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component				
	1	2	3	4	5
VAR00001				,785	
VAR00002		,444	,651		
VAR00003					,952
VAR00004	,317	,749			
VAR00005	,797				
VAR00006		,773			
VAR00007			-,658		
VAR00008			,682	,390	
VAR00009	,858				
VAR00010	,738				
VAR00011	,537			-,626	

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 6 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,400	21,821	21,821
2	1,558	14,161	35,981
3	1,404	12,765	48,746
4	1,280	11,636	60,382
5	1,187	10,795	71,177

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação da Postura Concorrencial, QPC, preenchidos depois do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component		
	1	2	3
VAR00001		-,610	
VAR00002	,840		
VAR00003	,605		,554
VAR00004		-,701	
VAR00005			,806
VAR00006		-,444	-,764
VAR00007	,731		
VAR00008	,302	,835	
VAR00009	,695	,488	
VAR00010	,332	,505	,303

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 6 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,369	23,688	23,688
2	2,316	23,158	46,846
3	1,695	16,948	63,793

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação do Pressuposto de Relação-de-Forças, QPR, preenchidos depois do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component		
	1	2	3
VAR00001	,854		
VAR00002		,833	
VAR00003	,784		
VAR00004		,781	
VAR00006	-,882		
VAR00008	,860		
VAR00009		,750	,361
VAR00010			,917

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 4 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,913	36,407	36,407
2	1,998	24,971	61,378
3	1,173	14,657	76,035

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para avaliação da flexibilidade e adaptabilidade, QFA, preenchidos depois do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component		
	1	2	3
VAR00001		,690	
VAR00002			,850
VAR00003	,774		
VAR00004		,682	
VAR00005	,330	,492	-,528
VAR00006		,742	
VAR00007		,845	
VAR00008	,836		
VAR00009	,639		,501
VAR00010	,875		

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 5 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,732	27,317	27,317
2	2,507	25,066	52,383
3	1,347	13,468	65,851

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação dos Resultados do Jogo, QRJ, preenchidos depois do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component			
	1	2	3	4
VAR00001			-,847	
VAR00002	,831			
VAR00003				,761
VAR00004	,732			
VAR00005	,865			
VAR00006			,717	
VAR00007		,660		,439
VAR00008	,304	,624	,438	
VAR00009		-,848		
VAR00010	,442			-,675

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.a Rotation converged in 7 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,481	24,813	24,813
2	1,668	16,684	41,496
3	1,521	15,214	56,711
4	1,332	13,315	70,026

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Questionários para Avaliação de Mudanças Comportamentais, QMP, preenchido depois do jogo

Rotated Component Matrix(a)

	Component		
	1	2	3
VAR00001	,795		
VAR00002	-,558	-,570	
VAR00003		-,862	
VAR00004	,564	,548	
VAR00005	,662	,503	
VAR00006	,867		
VAR00007		,680	
VAR00008			,823
VAR00009			,743
VAR00010	-,655		,432

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a Rotation converged in 5 iterations.

Total Variance Explained

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,990	29,901	29,901
2	2,170	21,697	51,599
3	1,459	14,591	66,190

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Anexo 10

Tabelas de Análise de Regressão

Variável a explicar ('dependente'): Resultado (quantitativo) do Jogo - RDE

Variables Entered/Removed(b,c)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	QMP, QPCdist, QRJ, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP(a)	.	Enter

a Tolerance = ,000 limits reached.
b Dependent Variable: Resultado
c Linear Regression through the Origin

Excluded Variables(b,c)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Tolerance
1	QPR nat	.(a)	.	.	.	,000	.	,000

a Predictors in the Model: QMP, QPCdist, QRJ, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP
b Dependent Variable: Resultado
c Linear Regression through the Origin

Coefficient Correlations(a,b)

Model			QMP	QPCdist	QRJ	QPRdist	QPCnat	QFA	QQP
1	Correlations	QMP	1,000	-,145	,121	,012	-,269	-,017	-,261
		QPCdist	-,145	1,000	-,076	-,257	-,143	-,023	-,054
		QRJ	,121	-,076	1,000	,101	-,329	-,343	-,313
		QPRdist	,012	-,257	,101	1,000	,045	-,260	-,374
		QPCnat	-,269	-,143	-,329	,045	1,000	-,124	-,172
		QFA	-,017	-,023	-,343	-,260	-,124	1,000	-,283
		QQP	-,261	-,054	-,313	-,374	-,172	-,283	1,000
	Covariances	QMP	,012	-,002	,002	,000	-,004	,000	-,004
		QPCdist	-,002	,010	-,001	-,004	-,002	,000	-,001
		QRJ	,002	-,001	,019	,002	-,006	-,007	-,006
		QPRdist	,000	-,004	,002	,020	,001	-,006	-,007
		QPCnat	-,004	-,002	-,006	,001	,020	-,003	-,003
		QFA	,000	,000	-,007	-,006	-,003	,023	-,006
		QQP	-,004	-,001	-,006	-,007	-,003	-,006	,019

a Dependent Variable: **Resultado**
b Linear Regression through the Origin

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions						
		QPC nat	QPC dist	QPR dist	QQP	QFA	QRJ	QMP	QPC nat	QPC dist
1	1	5,842	1,000	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,01
	2	,338	4,160	,00	,00	,05	,00	,02	,03	,76
	3	,298	4,426	,04	,68	,06	,00	,02	,06	,01
	4	,230	5,044	,10	,27	,44	,01	,00	,06	,06
	5	,125	6,835	,80	,03	,15	,01	,14	,13	,08
	6	,094	7,894	,05	,01	,10	,01	,76	,52	,01
	7	,074	8,913	,00	,00	,20	,96	,06	,20	,09

a Dependent Variable: Resultado
b Linear Regression through the Origin

Casewise Diagnostics(a,b)

Case Number	Std. Residual	Resultado	Predicted Value	Residual
25	3,177	100,00	34,0348	65,96517

a Dependent Variable: Resultado
b Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	17,7129	50,4496	31,9195	8,25891	51
Residual	-36,19144	65,96517	1,09153	19,44635	51
Std. Predicted Value	-1,720	2,244	,000	1,000	51
Std. Residual	-1,743	3,177	,053	,937	51

a Dependent Variable: Resultado
b Linear Regression through the Origin

ANOVA(c,d)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	55371,898	7	7910,271	18,349	,000(a)
	Residual	18968,799	44	431,109		
	Total	74340,696 (b)	51			

a Predictors: QMP, QPCdist, QRJ, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP
b This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c Dependent Variable: Resultado
d Linear Regression through the Origin

Variável a explicar ('dependente'): (Auto-) Avaliação do Resultado do Jogo – QRJ

Variables Entered/Removed(b,c)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Resultado, QPCdist, QMP, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP(a)	.	Enter

a Tolerance = ,000 limits reached.
b Dependent Variable: QRJ
c Linear Regression through the Origin

Excluded Variables(b,c)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
		Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Tolerance
1	QPRnat	.(a)	.	.	.	,000	.	,000

a Predictors in the Model: Resultado, QPCdist, QMP, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP
b Dependent Variable: QRJ
c Linear Regression through the Origin

Coefficient Correlations(a,b)

Model			Resultado	QPC dist	QMP	QPR dist	QPC nat	QFA	QQP
1	Correlations	Resultado	1,000	-,011	-,299	-,090	-,314	-,218	,098
		QPCdist	-,011	1,000	-,128	-,250	-,166	-,049	-,083
		QMP	-,299	-,128	1,000	,026	-,128	,089	-,254
		QPRdist	-,090	-,250	,026	1,000	,107	-,215	-,368
		QPCnat	-,314	-,166	-,128	,107	1,000	-,179	-,320
		QFA	-,218	-,049	,089	-,215	-,179	1,000	-,447
		QQP	,098	-,083	-,254	-,368	-,320	-,447	1,000
	Covariances	Resultado	,025	,000	-,006	-,002	-,007	-,005	,002
		QPCdist	,000	,011	-,002	-,004	-,003	-,001	-,001
		QMP	-,006	-,002	,015	,000	-,002	,002	-,004
		QPRdist	-,002	-,004	,000	,023	,002	-,005	-,008
		QPCnat	-,007	-,003	-,002	,002	,023	-,004	-,007
		QFA	-,005	-,001	,002	-,005	-,004	,024	-,010
		QQP	,002	-,001	-,004	-,008	-,007	-,010	,020

a Dependent Variable: QRJ
b Linear Regression through the Origin

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimen-sion	Eigen-value	Condition Index	Variance Proportions						
		QPC nat	QPC dist	QPR dist	QQP	QFA	QMP	Resul tado	QPC nat	QPC dist
1	1	5,747	1,000	,00	,01	,01	,00	,00	,01	,01
	2	,367	3,959	,01	,14	,11	,01	,01	,27	,17
	3	,281	4,526	,01	,55	,03	,01	,06	,24	,07
	4	,230	4,998	,03	,26	,08	,03	,00	,38	,36
	5	,186	5,559	,35	,00	,34	,03	,03	,01	,30
	6	,117	7,011	,48	,03	,32	,01	,52	,01	,01
	7	,073	8,878	,12	,00	,11	,92	,38	,08	,09

a Dependent Variable: QRJ
b Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	10,7603	76,0723	49,5600	13,94048	51
Residual	-36,19622	43,32055	1,01924	20,74826	51
Std. Predicted Value	-2,783	1,902	,000	1,000	51
Std. Residual	-1,635	1,956	,046	,937	51

a Dependent Variable: QRJ

b Linear Regression through the Origin

ANOVA(c,d)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	134982,574	7	19283,225	39,322	,000(a)
	Residual	21577,492	44	490,398		
	Total	156560,066(b)	51			

a Predictors: Resultado, QPCdist, QMP, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP
b This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c Dependent Variable: QRJ
d Linear Regression through the Origin

Variável a explicar ('dependente'): (Auto-) Avaliação das Mudanças Comportamentais – QMP

Variables Entered/Removed(b,c)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	QRJ, QPCdist, Resultado, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP(a)	.	Enter

a Tolerance = ,000 limits reached.
b Dependent Variable: QMP
c Linear Regression through the Origin

Excluded Variables(b,c)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
		Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Tolerance	VIF	Minimum Tolerance	Tolerance
1	QPRnat	.(a)	.	.	.	,000	.	,000

a Predictors in the Model: QRJ, QPCdist, Resultado, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP
b Dependent Variable: QMP
c Linear Regression through the Origin

Collinearity Diagnostics(a,b)

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions						
		QPCnat	QPCdist	QPRdist	QQP	QFA	Resultado	QRJ	QPCnat	QPCdist
1	1	5,892	1,000	,00	,01	,00	,00	,00	,01	,00
	2	,334	4,198	,03	,38	,09	,00	,00	,29	,02
	3	,260	4,760	,01	,50	,09	,03	,04	,26	,02
	4	,215	5,235	,09	,05	,37	,00	,00	,34	,12
	5	,129	6,766	,74	,05	,08	,00	,13	,06	,18
	6	,094	7,901	,02	,00	,16	,00	,70	,00	,56
	7	,076	8,832	,11	,00	,19	,95	,12	,05	,10

a Dependent Variable: QMP
b Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics(a,b)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	13,2322	67,8092	37,3164	11,16241	51
Residual	-49,43879	65,82626	2,27301	25,26006	51
Std. Predicted Value	-2,158	2,732	,000	1,000	51
Std. Residual	-1,828	2,435	,084	,934	51

a Dependent Variable: QMP
b Linear Regression through the Origin

ANOVA(c,d)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	77248,183	7	11035,455	15,095	,000(a)
	Residual	32167,017	44	731,069		
	Total	109415,200(b)	51			

a Predictors: QRJ, QPCdist, Resultado, QPRdist, QPCnat, QFA, QQP
b This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c Dependent Variable: QMP
d Linear Regression through the Origin

Anexo 11
Tabelas de Análise da Regressão Multivariada

Coeficientes das Regressões Múltiplas

Variável a explicar ➔		RDE - Resultados Quantitativos do Jogo						
Variáveis explicadoras ➔		QPCnat	QPCdist	QPRdist	QQP	QFA	QRJ	QMP
Coef. não padronizados	B	0,24	0,00	0,10	-0,14	0,15	0,16	0,25
	Desvio padrão	0,14	0,10	0,14	0,14	0,15	0,14	0,11
Padronizados	Beta	0,32	~~0,00~~	~~0,12~~	-0,25	0,22	0,24	0,30
t		1,72	-0,02	0,73	-0,99	1,01	1,17	2,24
Sig.		0,09	0,99	0,47	0,33	0,32	0,25	0,03
95% Interv. conf. para B	Mínimo	-0,04	-0,20	-0,18	-0,42	-0,15	-0,12	0,02
	Máximo	0,53	0,20	0,39	0,14	0,46	0,44	0,47
Correlações	Ordem zero	0,82	0,70	0,73	0,78	0,80	0,79	0,77
	Parcial	0,25	0,00	0,11	-0,15	0,15	0,17	0,32
	Part	0,13	0,00	0,06	-0,08	0,08	0,09	0,17
Estat. de colinearidade	Tol.	0,17	0,31	0,21	0,09	0,13	0,14	0,33
	VIF	6,04	3,22	4,85	10,93	7,97	7,04	3,05

Variável a explicar ➔		QRJ – (Auto-)Avaliação dos Resultados do Jogo						
Variáveis explicadoras ➔		QPCnat	QPCdist	QPRdist	QQP	QFA	QMP	Resultado
Coef. não padronizados	B	0,28	0,05	-0,12	0,33	0,33	-0,14	0,18
	Desvio padrão	0,15	0,11	0,15	0,14	0,15	0,12	0,16
Padronizados	Beta	0,25	~~0,05~~	~~-0,10~~	0,41	0,33	~~-0,12~~	~~0,13~~
t		1,86	0,50	-0,79	2,33	2,15	-1,13	1,17
Sig.		0,07	0,62	0,44	0,02	0,04	0,26	0,25
95% Interv. conf. para B	Mínimo	-0,02	-0,16	-0,43	0,04	0,02	-0,38	-0,13
	Máximo	0,58	0,27	0,19	0,62	0,64	0,11	0,50
Correlações	Ordem zero	0,87	0,76	0,79	0,90	0,89	0,72	0,79
	Parcial	0,27	0,08	-0,12	0,33	0,31	-0,17	0,17
	Part	0,10	0,03	-0,04	0,13	0,12	-0,06	0,07
Estat. de colinearidade	Tol.	0,17	0,31	0,21	0,10	0,14	0,30	0,26
	VIF	5,98	3,20	4,84	9,95	7,39	3,31	3,80

Varíavel a explicar ➔		QMP – (Auto-)Avaliação das Mudanças Comportamentais						
Variáveis explicadoras➔		QPCnat	QPCdist	QPRdist	QQP	QFA	Resultado	QRJ
Coef. não padronizados	B	0,21	0,12	-0,06	0,36	-0,04	0,42	-0,21
	Desvio padrão	0,19	0,13	0,19	0,18	0,20	0,19	0,18
Padronizados	Beta	0,23	~~0,13~~	~~-0,05~~	0,53	~~-0,05~~	0,34	-0,25
t		1,12	0,93	-0,30	2,03	-0,21	2,24	-1,13
Sig.		0,27	0,36	0,76	0,05	0,83	0,03	0,26
95% Interv. conf. para B	Minímo	-0,17	-0,14	-0,43	0,00	-0,44	0,04	-0,57
	Máximo	0,59	0,38	0,32	0,71	0,36	0,79	0,16
Correlações	Ordem zero	0,78	0,71	0,71	0,79	0,74	0,77	0,72
	Parcial	0,17	0,14	-0,05	0,29	-0,03	0,32	-0,17
	Part	0,09	0,08	-0,02	0,17	-0,02	0,18	-0,09
Estat. de colinearidade	Tol.	0,16	0,32	0,20	0,10	0,12	0,28	0,14
	VIF	6,27	3,15	4,90	10,22	8,15	3,52	7,05

Nota:

Os valores em cor vermelha correspondem aos coeficientes de regressão linear entre as variáveis do experimento, e são aqueles que foram utilizados para a construção da Figura 5.19.

Anexo 12
Testemunhais dos Participantes do Segundo Experimento

Apresentação

Transcrevemos, a seguir, trechos de alguns testemunhos extraídos dos relatórios de andamento individuais produzidos pelos participantes nas diversas fases do experimento.

A pergunta aos participantes, da qual se extraíram as opiniões abaixo transcritas, dizia o seguinte:

> *"Descreva as principais dificuldades que você tem encontrado para participar efetivamente do jogo, tais como: dificuldades para entender o funcionamento da empresa, o funcionamento do jogo, a interpretação dos resultados, a formulação das decisões, a entrada de dados, o acesso a internet...*
>
> *O que você está gostando no jogo?"*

Uma avaliação qualitativa das respostas colhidas mostra que os participantes reportaram ampliação de sua visão integrada da empresa em seu mercado, um aumento de sua disposição para competir, da sua percepção dos aspectos competitivos, da implicação nos processos decisórios estratégicos.

Dificuldades também foram reportadas: uma parte delas constitui a essência do próprio exercício de aprendizado; outras estão ligadas ao próprio simulador e aos acessos a internet.

Pode-se avaliar, no conjunto, que o experimento foi bastante positivo para a grande maioria dos jogadores, que se mostraram motivados até o fim do experimento, independentemente dos resultados quantitativos da empresa que cada um administrou.

Tabulamos as respostas mais significativas e classificamos os pareceres dos participantes em seis grandes categorias: Aprendizado e Aproveitamento, Motivação para Jogar e para Competir, Gestão das Estratégias Competitivas, Gestão da Operação da Empresa, Simulador de Empresas e de Mercado; e Operacionalização do Experimento, abaixo transcritas:

1 Aprendizado e Aproveitamento

1.1 Visão global e integrada:

"... a melhor coisa do jogo é poder utilizar todos os meus conhecimentos [adquiridos] durante esses quatro anos de aprendizagem".

1.2 Entendimento do Sistema

"... o que estou gostando, no jogo, é que, [a] cada decisão tomada, conseguimos ver o impacto causado por ela".

"...sim, estou gostando [do jogo]; vai ser muito proveitoso pois vamos colocar a teoria em prática; há dificuldades grandes no começo, [mas] as explicações melhoraram a visão [do jogo]".

1.3 Necessidade de Aprendizado

"... se [eu] tivesse compreendido melhor no início do jogo, talvez tivesse conseguido jogar melhor e obter melhores resultados".

"... estou começando a entender [o funcionamento da empresa e do jogo]".

"... parece-me que já tenho bom domínio do sistema e a matéria vem acrescentar muito numa visão mais geral de como uma empresa atua e como as inúmeras variáveis de decisão podem afeta-la".

"... não tenho nenhuma dificuldade, consigo ver com clareza os resultados da empresa".

"... sim, o simulador é fundamental para a formação do administrador...".

"... o jogo nos faz pensar".

"... agora estou começando a entender o jogo, [mas] estou com algumas dificuldades para entender todas as informações do Manual...".

2 Motivação para Jogar e para Competir

2.1 Dinâmica do Jogo

"... estou gostando de toda a dinâmica que o jogo envolve, mas estou tento um pouco de dificuldade na formulação das decisões".

"... o jogo está cada vez mais dinâmico, o que sempre motiva a busca por melhoria dos resultados da empresa".

"... a cada rodada o jogo fica mais interessante!".

"... a dinâmica do jogo tem sido interessante".

"... o jogo é muito dinâmico".

"... o jogo é muito bom por ser um jogo dinâmico".

2.2 Gosto do Desafio da Competição

"... estou gostando do desafio competitivo".

"... estou gostando da [competição]".

"... estou gostando do jogo, isso está sendo um grande desafio. Acho que minha grande dificuldade é em relação às finanças da empresa...".

2.3 Motivação para o Jogo

"... por enquanto eu não estou muito motivado pelo projeto".

"... o jogo está sendo [motivador] para mim; quero muito deixar minha empresa numa situação favorável".

"... eu estou gostando do jogo, muito bem elaborado e com uma didática muito boa...".

"... inicialmente [o jogo] é um desafio, e todo desafio sempre é benéfico".

"... são muitas variáveis o que torna o jogo complicado e ao mesmo tempo intrigante".

3 Gestão das Estratégias Competitivas

3.1 Que jogo jogar?

"... achei um contra-senso o objetivo do jogo [que me deram a jogar], que é de maximizar o *market share* o que, na verdade não avalia a eficiência e eficácia da empresa. O correto [...] seria avaliar o desempenho da empresa durante todo o período jogado, que é o resultado da Bolsa de Valores".

3.2 Estratégias Competitivas

"... a principal dificuldade é saber as ações e estratégias dos concorrentes [!]; o jogo está começando a ficar mais intrigante[!]".

"... a principal dificuldade é não ter acesso às atitudes dos outros jogadores, o que faz com que os meus resultados dependam da jogada deles também [!]",

"... a principal dificuldade está em lidar com a concorrência".

3.3 Como enfrentar a empresa líder?

"... a principal dificuldade está em lidar com a empresa líder de mercado...".

"... a principal dificuldade está em lidar com a líder de mercado, que utiliza estratégias extremamente agressivas, não sendo possível competir nem na capacidade de produção e muito menos com os preços praticados".

3.4 Previsão e Planejamento

"... a maior dificuldade que tenho encontrado é prever o que acontecerá com o mercado e com as empresas concorrentes".

"... a minha dificuldade está em realizar a análise dos resultados e tomar as decisões [para o futuro]".

4 Gestão da Operação da Empresa

4.1 Mercado e Vendas

"... estou gostando de tudo, mas tenho dificuldades com a previsão de vendas".

"... a s maiores dificuldades são de entender o mercado, e o funcionamento do jogo".

"... uma das dificuldades está sendo em calcular variáveis para a formulação dos preços e entender algumas contas apresentadas no Balanço Patrimonial".

4.2 Decisões Difíceis

"... [tenho] dificuldades na interpretação dos dados e na elaboração dos valores de venda".

"... a demissão de alguns funcionários [tem sido uma decisão difícil]".

"... guardar dinheiro em caixa para investimentos futuros [tem sido uma decisão difícil]".

"... interpretar as informações técnicas para tomada de decisões [tem sido difícil]".

"... a maior dificuldade é montar a estratégia, ou seja, a tomada de decisões; porém, ao se analisar os relatórios e verificar a situação da minha empresa diante das outras, é possível trabalhar as estratégias".

"... as dificuldades são grandes, uma vez que tenho dificuldades na interpretação dos resultados e na formulação das decisões".

4.3 Entendimento do Funcionamento da Empresa

"... [tenho tido] dificuldades para entender o funcionamento da empresa, o funcionamento do jogo, a interpretação dos resultados e a formulação das decisões".

"... estou com um pouco de dificuldades para entender o funcionamento do jogo e da empresa".

5 Simulador de Empresas e de Mercado

5.1 Falta de Contato com outros jogadores

"... não consegui contato com os outros jogadores; não obtive resposta para a solução de meu problema; fui instruído a aguardar e, portanto, não consegui tomar a decisão para o próximo período".

5.2 Interpretação dos Relatórios e Gráficos

"... o sistema, os relatórios, e gráficos são difíceis de interpretar; não consigo entender a empresa e para onde caminhar...".

5.3 Entendimento do "como jogar o jogo"

"... algumas vezes não entendo o que estou fazendo".

"... a maior dificuldade está em entender o funcionamento do jogo em todos os sentidos".

5.4 Muitas informações confundem os jogadores

"... muitas informações [me] confundem, e acabam tornando o jogo muito complexo".

5.5 Manual do Sistema um pouco confuso

10 "... o Manual é um pouco confuso quanto aos cálculos; o simulador também não dá muita noção, apesar do FAQ [*frequent asked questions*]; o jogo é bem difícil".

6 Operacionalização do Experimento

6.1 Dificuldade de acessar o sistema

"... [estou tendo] dificuldades de acesso ao sistema".
"... o acesso e interpretação [do jogo] são de fácil associação, mas a lentidão da internet é que atrapalha um pouco".

6.2 Pressão do tempo para tomar decisões

"... a principal dificuldade é o [pouco] tempo que se teve para estudar o jogo e o resultado dos dados lançados".
"... a minha maior dificuldade é ter raciocínio lógico diante de todas as informações. [Há] também a pressa no momento de tomar a decisão, sem saber a decisão da empresa concorrente".

22nd IEEE International Symposium on Intelligent Control
Part of IEEE Multi-conference on Systems and Control
Singapore, 1-3 October 2007

A Game-inspired Modeling Framework for Multiple Intelligent Agents Control Systems

– A Water Resources Regulation Problem Application –

Eliezer Arantes da Costa, and Celso Pascoli Bottura, *Member, IEEE*

Abstract — Some interesting recent papers apply concepts and modeling approaches for multiple interacting intelligent autonomous agents control systems analysis and design inspired in Game Theory, where '*players*' are treated as '*agents*', in several conflicts of interests situations. This paper presents and uses the named *Strategic Games Matrix* (*SGM*) as a general framework for these new types of control problems. A methodology for analysis of hierarchical multilevel architectures models based on the *SGM* concept is applied to a water resources regulation control problem, with multiple interacting autonomous stakeholders, as posed by Hämäläinen *et al* as "The Päijänne Lake Regulation Policy" case.

I. Introduction

The study of hierarchical multiple interacting intelligent autonomous agents control systems analysis and design is receiving growing attention within the control community. Driving applications of multiple control agents include: mobile robots coordination and control, satellite clusters, automated highways, unmanned aerial vehicles (UAV), distributed artificial intelligence, and strategic planning in general. A wide diversity of multiple agents control and coordination problems has been treated recently, e.g., multiple mobile agents moving coordination and control [1], traffic congestion control [2], multiple mobile robot control [3], collision avoidance scheme in navigation control [4], secure routing in communication networks [5], optimal bidding strategies in the electricity market [6], task planning and task execution for UAV team [7], automa-teams coordination and control [8], attack and deception strategies in military operations [9], intrusion detection in access control systems [10], and even social welfare of selfish agents [11]. In fact, the mathematical approaches used in these papers treat the multiple intelligent autonomous agents control problems as Nash, or Pareto, or Stackelberg, or Minimax games, or some variations of them, in an isolated manner. A structured combination of all these possible approaches on the *same* hierarchical framework should be conceived, formulated, and should have its usefulness exhibited. This paper presents an integrated framework considering all these classical games on the same analytical structure, by going a step further on the traditional approach used, for instance, on the above mentioned papers. Our approach permits a new vision of hierarchical, and non-hierarchical, architectures as structured collections of interrelated and mutually affected and affecting sub-games. Each sub-game describes specific conflicts of interests' situation among interacting intelligent autonomous agents in an integrated perspective, through the so called *Strategic Games Matrix* (*SGM*) [12], [13]. This way, a multilevel multiple controller system can be seen as a set of conflicts of interests problems duly represented on the *SGM*. This result permits the integrated application of concepts and models from Game Theory to support optimal strategies formulation for multiple-game problems analysis. The *SGM* is a very convenient descriptive mapping for classic games – *Nash*, *Pareto*, and *Minimax*, for non-hierarchical games, and *Stackelberg*, for hierarchical games – and for two new hierarchical limit-case games – *Dominant-Marginal*, and *Paternalistic-Solidary* games –. These concepts, as results from *SGM* applications, may be used to develop new methodologies for analysis and for design of multilevel multiple decision-control structures. The formulation of optimal strategies in competitive and/or cooperative environments has constituted one of the main permanent challenges for researchers and academic scholars [14]–[18] and a wide variety of approaches has been proposed and used [19]–[22]. Bibliographical references about the use of concepts and results from Game Theory for optimal strategic decision formulation and modeling in situations of conflicting interests are abundant. The concept of conflict of interests can be applied to almost all human activities – such as vehicle

Manuscript received January 10. 2007.

E. A. da Costa, (Corresponding author), Ph.D. student, is with Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC-LCSI), Campinas, SP, Brazil., phone / fax: 55-19-3251-8574; (e-mail: elicosta@uol.com.br).

C. P. Bottura, Full Professor, is with Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC-LCSI), Campinas, SP, Brazil. (e-mail: bottura@dmcsi.fee.unicamp.br).

1-4244-0441-X/07/$20.00 ©2007 IEEE.

coordination, production coordination, military operations, diplomacy, political and social issues, as well as to multiple mobile robots control, for instance. This paper presents a framework for strategy formulation in multilevel multiple-agent control systems architectures based on the *Strategic Games Matrix (SGM)*, having Game Theory and control systems theory as basic concepts and models. An illustrative hierarchical modeling application using the *SGM* concept to a multiple interacting intelligent autonomous stakeholder's agents for a complex water resource regulation control problems is presented.

II. Interacting Intelligent Autonomous Agents

A. The intelligent autonomous agent

In this paper, an '*intelligent autonomous agent'*, or, simply, an *agent*, means any entity that has the following capabilities: (a) is conscious of itself, and of its environment conditions, possibilities and limitations; (b) is conscious of other agents with which it has some degree of interaction, or of conflicts of interests; (c) is able to choose and assume one of diverse competitive postures in relation to its opponents, depending on the particular conflicts of interests situation; (d) is able to evaluate the power relations, and adopt one of diverse assumptions vis-à-vis its opponents; (e) takes intelligent decisions about the present and future, looking for the 'best' present and future results of its decisions in relation to its own interests; (f) takes into account the probable present and future consequences of its decisions over other agents interests; and (g) takes into account the present and future consequences over its own interests caused by unpredictable decisions that could be taken by other agents; (h) learns how to make better decisions considering its past experiences. In this general sense, an *'agent'* represents a controller, a manager, a decision-maker, a commander, an autonomous robot, a software, a policy-maker, an UAV, an economy agent, a stakeholder or, in a broader sense, any rational human being.

B. The multiple agents control system problem

The multiple agents control problem here considered is: find a set of decisions each and all agents could or should take to simultaneously optimize their respective criteria functions, taking into account the limitations and conditions set forth in item A, above.

C. A control problem treated as a game problem

The *control problem* as described in item B above is basically a typical *game problem* to be solved, i.e., to find the best strategy to be taken by each and all agents in order to optimize their respective criteria functions. So, solving a game problem can be equivalent to solving a control problem where each '*player'* is represented by an *agent*, as above characterized.

In this sense, an *agent* and a *player* are equivalent concepts, the first in a Control System context, and the second in a Game Theory context.

III. Multiple Agents Control Problem

Departing from classic concepts and formulations from *dynamic Game Theory* [19:215-224], a formal conceptual platform for multilevel multiple decision-control problem formulation is presented. A *non-cooperative deterministic dynamic game* (NDDG) with several agents – or players – and multiple time stages can be modeled as a systems optimization control problem with multiple decentralized and intelligent autonomous decision-makers, or simply agents. From the point of view of *systems control theory*, a NDDG is associated with a particular problem of *optimal control* with *multiple autonomous controllers*. In this type of game, each one of the N participants - or *agents* - receiving information progressively disclosed by the structure of the game and considering the possible decisions of other agents, makes a sequence of decisions, stage by stage, attempting to optimize one's *objective function* – while obeying the game constraints.

For a presentation of the optimization problem introduced above, we adopt the general formulation of an infinite dynamic game, as presented in [19:215-224]: An infinite *non-cooperative deterministic dynamic game* NDDG is modeled as a structured collection of dynamic logical-mathematical conceptual elements. From the point of view of *control systems theory,* a NDDG can be associated with a particular problem of *optimal control with multiple controllers* [20]-[21]. Considering its sufficient generality, NDDG is adopted as the conceptual reference platform for the multiple agents' system control problem here treated. Proceeding further with the NDDG, its structure can be particularized to construct several types of hierarchical games models for our control purposes.

A. A two-level hierarchical game – HG2

A two level hierarchical game, HG2, can be modeled through a convenient process of segmentation of the NDDG to form multiple interacting subsystems, each one associated to an intelligent autonomous agent. Each subsystem has its own rules for state transition, information, decision, objective function. A simple HG2 illustration example is a production system where each subsystem is associated with an interacting intelligent autonomous company. Each i^{th} company – an agent – here represented by a subsystem CS_i, vies in the market, for raw materials, specialized production manpower, managerial resources, financials, technology, and other supplies. On the other hand, it also competes in the market for clients' preferences. The market agent, in the broader sense, also interferes in the game, acting upon prices and quantities transacted by the N agents with their clients and providers. The resulting model involves two

types of subsystems and agents: The *Company Subsystems, CS_i* and the *Market Coordinator Subsystem, MCS.*

B. A three-level hierarchical game HG-3

By analogy, the dynamic hierarchical game HG-2 can be expanded applying, to each subsystem CS_i, a further segmentation process, where each i^{th} subsystem is assumed to consist of *G Managerial Units*, MU_{ij}, where $j \in \{1,2,...,G\}$, introducing *G* new agents for each company. These managerial agents, MU_{ij}, represent the main functional or managerial areas of the company. This process of segmentation in several levels can be repeated as required to take into account the complexity of the system to be analyzed.

IV. STRATEGIC GAMES MATRIX (*SGM*)

A. The strategic games matrix construction

The concepts, formulations and results from *Game Theory* [19] open new possibilities as a conceptual platform for optimal multiple agents control system analysis and design. In generic conflicts of interests situations, the description and mapping of a particular cooperative or competitive confrontation between two or more *agents* can be accomplished with only two dimensions: the '*agent posture assumption'* and the '*agent power-ratio assumption*'. They are used to build a [3x3] matrix, *strategic games matrix* (*SGM*) [12]: on the matrix horizontal axis, the agent postures assumptions: R*ival ("All of them are against me; but I will survive and win*"); *Individualistic ("Each one takes care of himself; so do I") ,* and *Associative* (*"We are all in the same boat"*), and, on the vertical, the *agent power-ratio assumptions*: *Hegemonic ("I am the strongest")*, *Balanced ("We have equivalent balanced strength"),* and W*eak ("I am the weakest")*, are drawn as in Fig. 1. These nine resulting strategic positions, at each of the nine matrix's cells, are named, respectively: *Dominant*, *Leader*, *Paternalistic*, *Retaliatory*, *Competitive*, *Cooperative*, *Marginal*, *Follower*, and *Solidary*, which are words that represent each one of the typical competitive confrontation strategic positions agents may explicitly or implicitly adopt in a conflict of interests situation. In Subsection IV.B the five strategic positions to which classic equilibrium strategies apply - *Minimax, Nash, Pareto*, for non-hierarchical games, and *Stackelberg,* for hierarchical games - and the respective situations where they normally occur, are described. In Subsection IV.C, the four special limit-cases strategic positions, representing two hierarchical games, not covered by classic equilibrium strategies from Game Theory, here called *Dominant-Marginal*, and *Paternalistic-Solidary*, are presented.

B. Classic game equilibrium strategies in SGM

In this Section, classic Game Theory *equilibrium structures,* [19]-[20], corresponding to the five central cells of the *SGM,* as shown in Fig. 1, are briefly discussed:

B.1. Retaliatory strategic game - Minimax equilibrium strategy: This strategic positioning applies to *lose-win* type games – *SGM* cell at the left-center –, where the agents assume, explicit or implicitly, that a gain for one implies in losses to the remainder, characterizing a *Retaliatory game*. To formalize this strategic position, the *zero-sum game* concept is used. A strategy that leads to a *saddle-point*, that is the solution for this problem, is the well known M*inimax strategy*. This strategy applies also to real situations where an agent $\boldsymbol{P}_i$ can imagine that another agent may have non-rational, erratic, or even malicious or spiteful behavior, i.e., that an adversary may make moves to 'damage' $\boldsymbol{P}_i$'s objectives, even if by doing so it may hurt its own interests.

B.2. Competitive strategic game - Nash equilibrium strategy: The strategic position at the center-center *SGM* cell, named here as C*ompetitive*, describes situations of 'perfect competition', or 'free market', with many suppliers, where none of them is capable of dominating the remainders. In the non-cooperative variable-sum games, where an agent decides to play a Competitive strategic game, it seeks to optimize its objective function ignoring what the other agents are doing or intending to do [23]. It is characterized by the situation where none of the agents is able to improve its result by changing only its own decision-control. Such set of decisions is the well known *Nash equilibrium point*.

B.3. Cooperative strategic game - Pareto equilibrium strategy: For variable-sum games – *SGM* cell at the right-center – the cooperation among agents may lead to results – for all of them – that are better than those they would obtain if each one tries to optimize its objective function without an *a priori* knowledge and/or agreement of other's decisions. When agents decide to share information on the respective constraints and conditions, alternative actions and objective functions, it is possible for them to find a point of equilibrium, the well known '*Pareto optimum*', which is 'the best' possible for all agents. This point is characterized by the fact that none of the agents can improve its result without, with its action, harming the other's results. These are the so called 'win-win games'. The Cooperative game environment implies, however, that there must be explicit or implied agreements between the agents for them do not exacerbate their individual interests in detriment of others. This type of game therefore requires good faith and loyalty among all participants.

B.4. Leader and Follower strategic game - Stackelberg equilibrium strategies: The strategies applicable to hierarchical-like games with a stronger agent, the *Leader*,

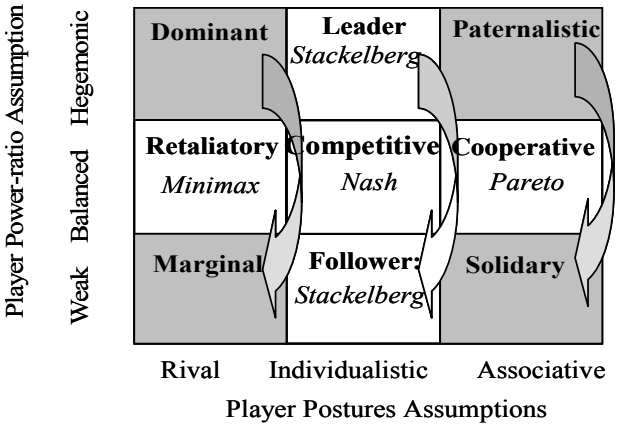


Fig. 1 - Typical strategic SGM positions, highlighting, in grey, the two hierarchical limit-case strategic games; the three arrows indicates the Dominant-Marginal, the Leader-Follower, and the Paternalistic-Solidary hierarchical games.

and another weaker agent, the *Follower*, are called *Stackelberg strategies* and correspond to two opposed positions: center-upper and center-lower *SGM* cells. The Leader player selects its strategy and let it be known by the Follower players, which, knowing it makes their decisions.

C. Limit-case games equilibrium strategies in SGM

For the four special strategic positions at the *SGM* corner cells, characterizing new confronting competitive limit-case situations, two new strategic games were proposed [12]: The *Dominant-Marginal game* and the *Paternalistic-Solidary game*, described below:

C.1. The Dominant-Marginal strategic game - This game is played by two agents in two hierarchical antagonist strategic positions, both with the Rival posture assumption:

(1) Dominant strategic position: A *Dominant strategic position* - at the left-upper *SGM* cell - characterizes the agent that has all strength and has the intention of destroying the smaller competitors. Its attitude may be of intimidation, blackmail and price war. It may try to bankrupt the small ones, for instance, by putting pressure on its clients not to purchase from them. A *Dominant equilibrium point* limit-case for this game can be obtained through the solution of a mono-criterion stochastic optimization problem in which the agent in a *Dominant position* ignores all the objective functions of its 'small' opponents and simply optimizes its own objective function. The agent at a *Dominant* position could treat the possible actions of 'small' competitors simply as random noises.

(2) Marginal strategic position: Countering the *Dominant position* as described above, is the *Marginal strategic position* - at the left-lower *SGM* cell -, where a weaker however courageous and competitive agent in the game does everything it understands as necessary to survive, trying, as much as possible, to obtain some advantages upon causing losses to the major game dominator. A *marginal equilibrium point* limit-case for this game can be obtained through the solution of an optimization problem in which the *Marginal* position agent, instead of *minimizing* – for instance – tries to *maximize* the main and stronger competitor's objective function with the purpose of infringing upon it the maximum possible damage.

C.2. Paternalistic-Solidary strategic game - This game is played also by two agents in two hierarchical antagonist strategic positions, both with associative posture assumptions:

(1) Paternalistic strategic position: The *Paternalistic strategic position* - at the upper-right *SGM* cell - occurs in games where a more powerful agent, by its own decision, shapes its own actions and those of the remaining weaker agents in the game, seeking preservation and development of the system as a whole. It is a game similar to the situation of a family father, supposed to have complete authority over the small children: he does all he comprehends to be necessary to promote the development, growth and harmony within his family, in a Paternalistic way. A *Paternalistic equilibrium point* for this limit-case game can be found as a solution to a multi-criteria optimization problem [28] where the new objective function is a linear combination of all the objective functions for all agents. Otherwise, the *Paternalistic* agent should take into account, on its decision, the 'risk' of a *Solidary* agent decision for an alternative *solitary strategy*, leaving the game.

(2) Solidary strategic position: In opposition to the *Paternalistic position* described above is the *Solidary position* - at the right-lower *SGM* cell -, that represents the situation of an agent, in a game, in a weaker, however associative position which, without the power to impose its interests upon the others, seeks to follow the rules established by the 'ruling power', looking for some individual advantage. Otherwise it prefers to leave the game. This is how a member behaves in relation to its cooperative organization: it simply needs to decide whether it should join the 'collective' and obtain some advantage or, alternatively, it should rather act on its own. A *Solidary equilibrium solution* for this limit-case game can be treated as a simple *decision tree problem* with only two branches, representing the alternative decisions: '*join the collective*', or '*work alone*'.

D. Methodology

Using the concepts presented before, it is possible to develop analysis and design methodologies for modeling of complex hierarchical multiple interacting intelligent autonomous agents control systems problem, as illustrated

in Section V, to follow. Its worth to mention that, in some particular cases, the same agent may face 'internal' *conflicts of interests* among the several equilibrium strategy sub-games it should play. In case it occurs, the solution of this conflict may involve another type of multi-criteria optimization.

V. Water Resources Regulation Application

An application of games concepts to a complex water resources regulation problem, called **Lake Päijänne** case, was proposed by Hämäläinen, Kettunen, Marttunen, & Ehtamo [27]. Hämäläinen *et al* studied the problem of regulation policy formulation for planning and control of the dynamic evolution, year-round, of the Lake Päijänne water level, in Finland. They applied the Pareto game [28] as an alternative for the negotiation and a search for consensus among the several stakeholders involved. This paper presents a new way to treat this problem, looking the system as a hierarchical one, representing all the significant stakeholders – agents – that have some economical, financial, social, and/or environment protection interests on the water level control. An approach, using the *SGM* concept was developed and is represented in Fig. 2, in which it is possible to find all the six *SGM* games, as described earlier. It is possible to observe the several sub games, hierarchical or not, cooperative, competitive and others up to five hierarchical levels. Applying the concepts and methodology mentioned in Session IV to this particular problem, we grouped the agents in three wide groups of interests, with some stakeholders to represent them: Economic & Financing Interests agents [EFIS], Socio & Environmental Interests agents [SEIS], and Environmental Protection Interests agents [EPIS], reporting, all of them, to a Päijänne Lake General Coordinator agent [PLGC]. For the first one, we mapped the Hydro Electricity Manager agent [HE], the Aquatic Tourism Manager agent [AT], and the Hydro-way Transportation Manager agent [HT]. All the other interests were also mapped, including: Water & Sewage, Flood Control, Recreation & Leisure, Flora & Fauna Protection, Rural & Urban Landscape Preservation, Water Quality, and even the Environment Polluters agents as can be seen in Fig. 2. Observing the hierarchical and non-hierarchical relationships among agents – the stakeholders – and identifying the conflicts of interests involved, it is possible do find all six types of *SGM* games present in this regulation problem, in the following sub games, using the acronyms indicated in Fig. 2:

(a) Cooperative/Pareto: [TE] x [AT] x [HT]; [WS] x [FC] x RL]; and [FF] x [RUL] x [WQ];

(b) Competitive/Nash: [HE1] x [HE2] x … x [HEn];

(c) Retaliatory/Minimax: [EFIS] x [SEIS] x [EPIS]; [HE] x [AT] x HT]; [FF/RUL/WQ] x [EP];

(d) Hierarchical Leader/Follower-Stackelberg: [LPGC] x [EFIS]; [EFIS] x [HE/AT/HT]; [[SEIS] x [WS/FC/RL]; [EPIS] X [FF/RUL/WQ];

e) Hierarchical Paternalistic/Solidary: [LPGC] x [SEIS]; [LPGC] X [EPIS]; [AT] x [TE/TH/TS]; [TH] x [HE1/HE2/…/HEn]; and even

(f) Hierarchical Dominant – Marginal: [EPIS] x EP].

The several sub games, described above, are represented in Fig. 2. With the above-described sub games mapping, analysts and designers involved with management and control of water resources systems can give a new treatment to this multiple autonomous stakeholder system control problem, taking into account the several conflict of interests among the several stakeholders involved using, for instance, the models in [20]. Classic ways of solving these types of *optimal control problems* could use, for instance, *Pontryagin's Minimum Principle*, or *Calculus of Variations,* or *Dynamic Programming* [21], depending on the case. Other ways of solving these types of problems could use *evolutionary computation techniques* such as *genetic algorithms* and/or simulation techniques [29]. However, considering the size and complexity of this five level structured game, a direct controlled negotiation process could be the best way to solve this problem, considering all the interests involved.

VI. Comments And Conclusions

In this paper the *strategic games matrix* (*SGM*) modeling framework is used as a tool for: (a) Describing, characterizing, and mapping a wide variety of conflicts of interests situations among multiple interacting intelligent autonomous agents, both for hierarchical and for non-hierarchical games, in an integrated manner; (b) Modeling, analysis and design of multilevel multiple-agent control architectures in an integrated manner, making explicit the conflicts of interests possibilities; (c) Establishing a useful two-way conceptual bridge between Game Theory and multiple interacting intelligent autonomous agents structures analysis and design. The methodology for treatment of multiple agents' system control structures presented in Section IV and illustrated in Section V clarifies the use of the *SGM* as a useful tool for visualization, understanding, analysis and even design of complex control systems using game concepts.

Additional developments are presently in process where graduate students are settled as competing and/or cooperating players, submitted to several concomitant hierarchical and non-hierarchical business games simulation, appropriately manipulated to induce the six typical games environment, as described in Section IV.

References

[1] H. Shi, L. Wang, and T. Chu, "Coordination of multiple dynamic agents with asymmetric interactions", *Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control*, Limassol, Cyprus, June 2005.

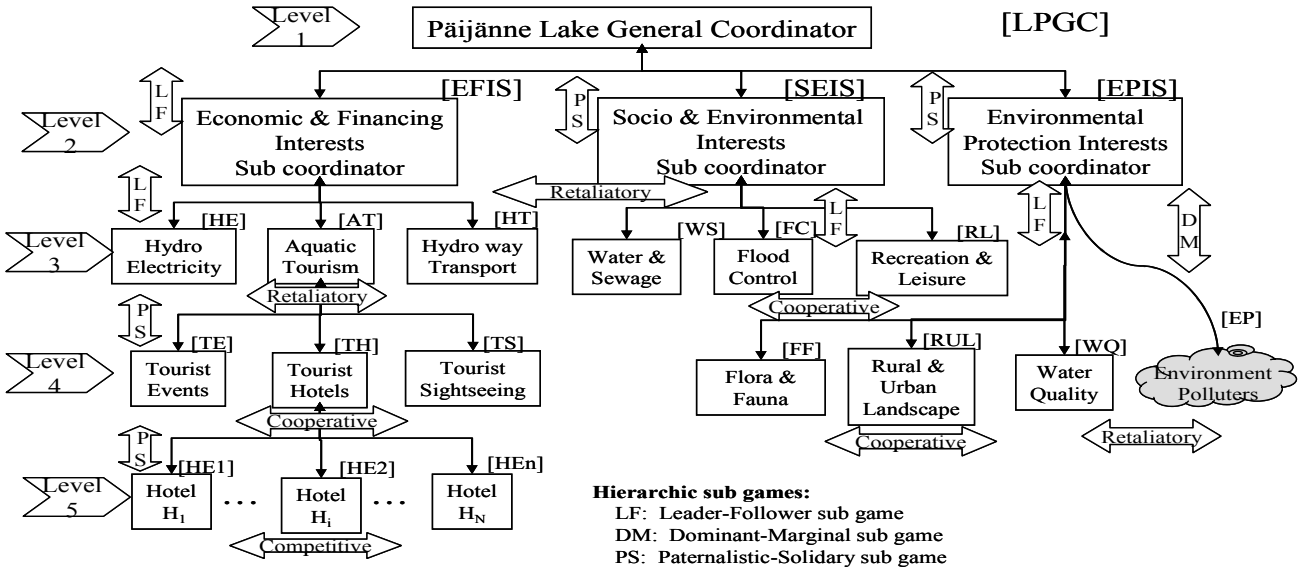


Figure 2 – Application of the six SGM games to a multiple interacting autonomous stakeholders on the water resources regulatory control problem of Päijänne Lake case, as a extension of [27]

[2] T. Alpcan, and T. Başar, "A game-theoretic framework for congestion control in general topology networks", *Proc. 41st IEEE CDC*, Las Vegas, Nevada, Dec. 2002.

[3] J. Shao, G. Xie, J. Yu, and L. Wang, "Leader-following formation control of multiple mobile robots", *Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control*, Limassol, Cyprus, June, 2005.

[4] D. V. Dimarogonas, and K. J. Kyriakopoulus, "A feedback stabilization and collision avoidance scheme for multiple independent nonholonomic non-point agents", *Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control*, Limassol, Cyprus, June 2005.

[5] S. Bohacek, J. P. Hespanha, and K. Obraczka, "Saddle policies for secure routing in communication networks", *Proc. 41st IEEE CDC*, Las Vegas, Nevada, Dec. 2002.

[6] A. Rahimi-Kian, H. Tabarraei, and B. Sadeghi, "Reinforcement learning based supplier-agents for electricity markets", *Proc. 2005 IEEE Int. Symposium on Intelligent Control*, Limassol, Cyprus, June 2005.

[7] J. Souza, T. Simsek, and P. Varaiya, "Task planning and execution for UAV teams", *Proc. 43rd IEEE CDC*, Atlantis, Paradise Island, Bahamas, Dec. 2004.

[8] Y. Liu, D. G. Galati, and M. A. Simaan, "A game theoretic approach to team dynamics and tactics in mixed initiative control of automa-teams", *Proc. 43rd IEEE CDC*, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas, Dec. 2004.

[9] D. A. Castañón, M. Pachter, and P. R. Chandler, "A game of deception", *Proc. 43rd IEEE, CDC*, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas, Dec. 2004.

[10] T. Alpcan, and T. Başar, "A game theoretic analysis of intrusion detection in access control systems", *Proc. 43rd IEEE CDC*, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas, Dec. 2004.

[11] R. T. Maheswaran, and T. Başar, "Social welfare of selfish agents: motivating efficiency for divisible resources", *Proc. 43rd IEEE CDC*, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas, Dec. 2004.

[12] E. A. Costa, C. P. Bottura. "The Strategic Games Matrix (SGM) as a new tool for strategic management via Game Theory", *Sistemas & Gestão,* 1 (1) pp. 17-41 (in http://www.latec.com.br/ sg/arevista/Volume1/Numero1/V1_1_index.htm).

[13] E. A. Costa, C. P. Bottura, J. M. G. Boaventura and A. A. Fischmann. "The game to play: Expanding the co-opetition proposal". Proc. of the 2006 Academy of Management Annual Meeting, Atlanta, EUA, August 11-16, 2006.

[14] T. C. Schelling, *The strategy of conflict*. New York, NY: Harvard University Press, 1960.

[15] A.M. Brandenburg, and B.J. Nalebuff, "The right game: Use of Game Theory to shape strategy", *Harvard Business Review,* p.57-81, July-Aug. 1995.

[16] A. M. Brandenburger and B. J. Nalebuff. *Co-opetition.* New York: Doubleday, 1996.

[17] A. A. Lado, N. G Boyd and S. C. Hanlon. "Competition, cooperation, and the search for economic rents: a syncretic model". *Academy of Management Review*, 22 (1997): 110-141.

[18] C.P Bottura and E.A. Costa, "Business strategy formulation modeling via hierarchical dynamic game", *Proc. CSIMTA International Conference*, Cherbourgh, France, Sept, 2004.

[19] T. Başar and G. J. Olsder, *Dynamic non-cooperative Game Theory*. Philadelphia, PA: SIAM, Series in Classics in Applied Mathematics, 1999.

[20] J.T. Costa Fº, "Proposta para computação assíncrona paralela e distribuída de estruturas especiais de jogos dinâmicos", *Universidade Estadual de Campinas*, Faculdade de Engenharia Elétrica, Tese de Doutorado, Campinas, SP, Brazil, 1992.

[21] A. E. Bryson Jr., and Y. C. Ho, *Applied optimal control*. Washington, DC: Hemisphere, 1975.

[22] J. B. Cruz Jr., "Leader-follower strategies for multilevel systems", *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. AC-23 (2), pp. 244-255, 1978.

[23] J. F. Nash. "Equilibrium point in N-person games". *Proc. Nat. Acad. Sci.,* USA, 36 (1950a): 48-49

[24] J. T. Costa Fº, and C. P. Bottura, "Hierarchical multidecision making on a computer network with distributed coordination and control", *Proc. 39th Annual Allerton Conference on Communication Control and Computing*, Urbana, IL, Oct. 1991, pp. 703-704.

[25] Y. Y. Haimes, and D. Li, "Hierarchical multiobjective analysis for large-scale systems: Review and current status", *Automatica,* vol. 24 (1), pp. 53-69, 1988.

[26] J. T. Costa Fº, and C. P. Bottura, "Parallel optimal hierarchical control using a MIMD architecture", *Proc. 29th IEEE CDC*, Honolulu, Dec. 1990.

[27] R. P. Hämäläinen, E. Kettunen, M. Marttunen and H. Ehtamo. "Towards decision and negotiation support in multi-stakeholder development of lake regulation policy". *Proc. 32nd Hawaii Int. Conf. on System Science*, Hawaii, EUA, Jan., 1999.

[28] Y. Y. Haimes, W. A. Hall and H. T. Freedman. *Multi-objective optimization in water resources systems*. New York, NY: Elsevier, 1975.

[29] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

THE STRATEGIC GAMES MATRIX AS A FRAMEWORK FOR INTELLIGENT AUTONOMOUS AGENTS HIERARCHICAL CONTROL STRATEGIES MODELING

Eliezer Arantes da Costa and Celso Pascoli Bottura
LCSI – FEEC - UNICAMP – Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, SP, Brazil
elicosta@uol.com.br, bottura@dmcsi.fee.unicamp.br

Keywords: Autonomous agents, competitive games, cooperative games, distributed intelligent control, hierarchical architectures, hierarchical control, multiple agent control, Strategic Games Matrix, strategies modeling.

Abstracts: This paper presents a framework for strategy formulation in multilevel multiple-agent control system architectures based on the Strategic Games Matrix (SGM), having game theory and control systems theory as basic concepts and models. New methodologies for analysis and for design of hierarchical control architectures with multiple intelligent autonomous agents, based on the SGM concept, are applied. Illustrative hierarchical control applications to system architectures analysis and synthesis based on the SGM are presented.

1 INTRODUCTION

The study of hierarchical multi-agent control systems is receiving growing attention within the control community. Driving applications of multiple agents control include: mobile robots coordination and control, satellite clusters, automated highways, unmanned aerial vehicles (UAV), distributed artificial intelligence, and strategic planning in general.

A wide diversity of multi-controller and coordination problems has been treated recently, e.g., multiple mobile agents moving coordination and control (Shi, Wang and Chu, 2005), traffic congestion control (Alpcan and Başar, 2002), multiple mobile robot control (Shao, Xie, Yu and Wang, 2005), collision avoidance scheme in navigation control (Dimaragonas and Kyriakopoulus, 2005), secure routing in communication networks (Bohacek, Hespanha and Obraczka, 2002), optimal bidding strategies in the electricity market (Rahimi-Kian, Tabarraei and Sadeghi, 2005), automa-teams coordination and control (Liu, Galati and Simaan, 2004), attack and deception strategies in military operations (Castañón, Pachter and Chandler, 2004), and intrusion detection in access control systems (Alpcan and Başar, 2004).

Mathematical approaches used in these papers treat the control problems as Nash, Pareto, Stackelberg, Minimax games, or some variations of them, in an insulated manner.

The formulation of optimal strategies in competitive and/or cooperative environments has constituted one of the main challenges for researchers and scholars (Schelling, 1960; Brandenburger and Nalebuff, 1995; and Bottura and Costa, 2004) and a wide variety of approaches has been proposed and used (Başar and Older, 1999; Costa Fº., 1992; and Cruz Jr., 1978). However, a structured combination of all these possible approaches on the *same* hierarchical architecture should be conceived, formulated, and should have its usefulness exhibited. Here, an integrated framework considering these classical games on the same analytical structure, by going a step further on the traditional approach used in papers like the above mentioned, is presented.

In this paper, an 'agent' represents a controller, a decision-maker, a commander, an autonomous robot, a player – person or team –, software, a policy-maker, a UAV, a stakeholder, or any human being. Our approach treats hierarchical, non-hierarchical, or heterarchical architectures as a structured collections of sub-games.

2 STRATEGIC GAMES MATRIX

The concepts, formulations and results from *non-cooperative dynamic game theory* (Başar and Olsder, 1999) open new possibilities as conceptual platform for optimal strategy formulation.

In generic conflict of interests' situations, the description and mapping of a particular cooperative or competitive confrontation between two or more *players* can be accomplished with only two dimensions: the '*player posture assumption'* and the 'player *power-ratio assumption*'. They are used to build a (3x3) matrix called *strategic games matrix* (SGM) (Costa and Bottura, 2006): The matrix horizontal axis represents the player postures assumptions: as *rival*, or *individualistic,* or *associative* and, on the vertical axis represents the *player power-ratio assumptions*: as *hegemonic*, or *balanced,* or *weak*, as shown in Figure 1.

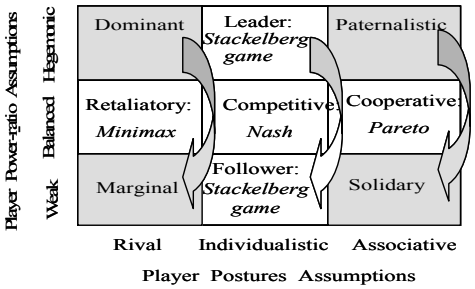


Figure 1: Typical strategic positions on the SGM highlighting, in gray, the two hierarchical limit-case strategic games.

These nine resulting strategic positions, at each of the nine matrix's cells, are named, respectively: *Dominant*, *Leader*, *Paternalistic*, *Retaliatory*, *Competitive*, *Cooperative*, *Marginal*, *Follower*, and *Solidary*, which are words that represent each one of the typical competitive confrontation strategic positions players may explicitly or implicitly adopt in a conflict of interests situation. In subsections 2.1 to 2.4 the five strategic positioning to which classic equilibrium strategies apply - *Minimax, Nash, Pareto*, for non-hierarchical games, and *Stackelberg,* for hierarchical games - and the respective situations where they normally occur, are described (Başar and Olsder, 1999; Costa F^{o}., 1992).

In subsections 2.5 and 2.6, the four special limit-cases strategic positions, representing two hierarchical games, not well covered by classic equilibrium strategies from game theory, here called *Dominant-Marginal*, and *Paternalistic-Solidary*, are presented in the next Sections. (The formal concept of dynamic games, of *equilibrium point* and of *equilibrium strategy* here used can be found in (Başar and Older, 1999)).

2.1 Retaliatory Games - Minimax

This strategic positioning applies to *lose-win* type games - at the left-center SGM cell -, where the players assume, explicit or implicitly, that a gain for one implies in losses to the remainder, characterizing a *retaliatory game*. For a zero-sum game, a solution, if it exists, for which each player acts towards what it understands as the most favorable to optimize its own objective function, considering all the possibilities the others could do, is called a *saddle-point*. This point has the peculiar characteristic that any deviation from it, by any of the players, makes its result worsen in relation to its objective function. For N players, a strategic decision $\hat{u}^i \in U^i$ by each player P_i is defined as a *saddle-point equilibrium solution* if, for every admissible set $\{u^1,\cdots,u^i,\cdots,u^N\} \in U$, the following relation is valid:

$$\max_{u^1,\cdots,u^{i-1},u^{i+1},\cdots,u^N} J_i(u^1,\cdots,u^{i-1},\hat{u}^i,u^{i+1},\cdots,u^N) \leq \leq \max_{u^1,\cdots,u^{i-1},u^{i+1},\cdots,u^N} J_i(u^1,\cdots,u^N)$$

This strategy applies also to real situations where a player $\boldsymbol{P}_i$ can imagine that another player may have non-rational or erratic behavior, or even malicious, i.e., that an adversary may make moves to 'damage' $\boldsymbol{P}_i$'s objectives.

2.2 Competitive Games - Nash

The strategic position at the center-center SGM cell, named here as C*ompetitive*, describes situations of 'perfect competition', or 'free market', with many suppliers, where none of them is capable of dominating the remainders. In the non-cooperative variable-sum games, where a player decides to play a competitive strategic game, it seeks to optimize its objective function ignoring what the other players are doing or intending to do. If this solution exists, it is characterized by the situation where none of the players is able to improve its result by changing only its own decision-control. Such set of decisions is the *Nash equilibrium point*, defined below: A *Nash equilibrium point*

$$\hat{u}^* = (\hat{u}^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,\hat{u}^N) \in U \ ,$$

if it exists, for a non-cooperative game, with K=1, and variable sum, with N players, is defined if, for all $u^i \in U^i$, $i \in N$, it obeys simultaneously the N following objective function inequalities:

$J_1(\hat{u}^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,\hat{u}^N) \le J_1(u^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,\hat{u}^N)$, ... ,

$J_i(\hat{u}^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,\hat{u}^N) \le J_i(\hat{u}^1,\ldots,u^i,\ldots,\hat{u}^N)$, ... ,

$J_N(\hat{u}^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,\hat{u}^N) \le J_N(\hat{u}^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,u^N)$.

2.3 Cooperative Games – Pareto

For variable-sum games - at the right-center SGM cell - the cooperation among players may lead to results - for all of them - that are better than those they would obtain if each one tries to optimize its objective function without an *a priori* knowledge of other's decisions. When players decide to share information on the respective constraints and conditions, alternative actions and objective functions, it is possible for them to find a point of equilibrium, the '*Pareto optimum*', which is 'the best' possible for all players. This point, if it exists, is characterized by the fact that none of the players can improve its result without, with its action, harming the other's results. These are the so called 'win-win games'. This type of game requires good faith and loyalty among all participants. For a variable-sum cooperative game (K=1) with **N** players, the point $\hat{u}^* = (\hat{u}^1,\ldots,\hat{u}^i,\ldots,\hat{u}^N) \in U$ is defined as a *Pareto optimum* if there is no other point

$u = (u^1,\ldots,u^i,\ldots,u^N) \in U$ such that

$J_i(u^i) \le J_i(\hat{u}^i)$, $\forall i \in N$.

This condition requires that $J_i(u^i) \le J_i(\hat{u}^i)$, $\forall i \in N$, only if $J_i(u^i) = J_i(\hat{u}^i)$, $\forall i \in N$, with a strict inequality for at least one $i \in N$.

2.4 Leader-Follower Stackelberg Games

The strategies applicable to hierarchical games with a strongest player, the *leader*, and another weaker player, the *follower*, are called *Stackelberg strategies* and correspond to two opposed positions: center-upper and center-lower SGM cells. Consider a simplified *hierarchical game* between a player *M*, called *leader*, and a player *P*, called *follower,* with strategic decisions λ and u , and objective functions $R(\lambda,u)$ and $J(\lambda,u)$, associated to players *M* and *P*, respectively (Haimes and Li, 1988; Costa F°. and Bottura, 1990, 1991). Let us suppose also that, by the structure and rules of the game, player *M* selects first its strategic decision λ and, then, player *P* selects its strategic decision u , *knowing beforehand* the *M*'s decision. The pair $(\hat{\lambda},\hat{u}) \in (L,U)$, if it exists, defines a *Stackelberg equilibrium point* for which:

(a) There is a transformation $T : L \to U$ such that, for any given $\lambda \in L$, $J(\lambda, T\lambda) \le J(\lambda, u)$ for every $u \in U$, and (b) There is a $\hat{\lambda} \in L$ such that $R(\hat{\lambda}, T\hat{\lambda}) \le R(\lambda, T\lambda)$ for every $\lambda \in L$, where $\hat{u} = T\hat{\lambda}$. Note that, to obtain a *Stackelberg equilibrium point*, it is necessary that the *follower* be a rational agent, always making optimal decisions under its own game limitation. For this game structure, one can determine a pair of *Stackelberg* strategies - for the *leader* and for the *follower* - typically applied to situations of conflict of interests between a very strong player and another very weak, both with *individualistic* concurrent assumptions.

2.5 Dominant-Marginal Games

The Dominant-Marginal games are played by two players in two hierarchical antagonist strategic positions, both with rival posture assumption:

(1) Dominant strategic position: A *Dominant strategic position* - at the left-upper SGM cell - characterizes the player which has all strength and has the intention of destroying the smaller competitors. Its attitude may be of intimidation, blackmail, price war, for instance, to try to bankrupt the small ones. It may pressure its clients not to purchase from the small ones. A *Dominant equilibrium point* limit-case for this game can be obtained through the solution of a mono-criterion stochastic optimization problem in which the player in *Dominant position* ignores all the objective functions of its 'small' opponents and simply optimizes its own objective function. The player at a *Dominant* position could treat the possible actions of 'small' competitors simply as random noises.

(2) Marginal strategic position: Countering the *Dominant position* as described above, is the *marginal strategic position* - at the left-lower SGM cell -, where a weaker however courageous and competitive player in the game does everything it understands as necessary to survive, trying, as much as possible, to obtain some advantages upon causing losses to the major game dominator. A *marginal equilibrium point* limit-case for this game can be obtained through the solution of an optimization problem in which the *Marginal* position player, for instance, instead of minimizing, tries to *maximize* the main and stronger competitor's objective function

with the purpose of infringing upon it the maximum possible damage.

2.6 Paternalistic-Solidary Games

This game is played also by two players in two hierarchical antagonist strategic positions, both with associative posture assumption:

(1) Paternalistic strategic position: The *paternalistic strategic position* **-** at the upper-right SGM cell - occurs in games where a more powerful player, by its own decision, shapes its own actions and those of the remaining weaker players in the game, seeking preservation and development of the system as a whole. It is a game similar to the situation of a family father, supposed to have complete authority over the small children: he does all he comprehends to be necessary to promote the development, growth and harmony within his family, in a paternalistic way. A *paternalistic equilibrium point* limit-case game can be found as follows: Let $0 \leq \alpha_i \leq 1$ be a relative importance weight for the player $\mathbf{P_i}$ such that $\sum_{i=1}^{N} \alpha_i = 1$, and let $z = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i J_i^{(\ldots)}$ be a multi-criteria objective function, encompassing all the objective functions of all the N players, the new function to be optimized. A *paternalistic equilibrium point* for this limit-case game can be found as a solution to a multi-criteria optimization problem (Bryson and Ho, 1975) where the new objective function is a linear combination of all the objective functions for all players. Otherwise, the *Paternalistic* player should take in account, on its decision, the 'risk' of a *Solidary* player decision for an alternative *solitary strategy*, leaving the game.

(2) Solidary strategic position: In opposition to the *paternalistic position* described above is the *Solidary position* - at the right-lower SGM cell -, that represents the situation of a player, in a game, in a weaker, however associative position which, without the power to impose its interests upon the others, seeks to follow the rules established by the 'ruling power', looking for some individual advantage. Otherwise it prefers to leave the game. This is how a member behaves in relation to its cooperative organization: it simply needs to decide whether it should join the 'collective' and obtain some advantage or, alternatively, it should rather act on its own. A *solidary equilibrium solution* for this limit-case game can be treated as a simple *decision tree problem* with only two branches, representing the alternative decisions: '*join the collective*', or '*work alone*'.

3 HIERARCHICAL GAMES

Departing from classic concepts and formulations from *dynamic game theory*, a formal conceptual platform for multilevel multiple decision-control problem formulation is built. A *deterministic dynamic game* (DDG) with several participants and multiple stages can be modeled as a systems optimization problem with multiple decentralized and autonomous decision-makers, called the '*players' –or intelligent autonomous agents.* From the point of view of *systems control theory*, a DDG is associated with a particular problem of *optimal control* with *multiple intelligent autonomous controllers, or agents* (Bryson and Ho, 1975).

In this type of games, each one of the N agents - or *players* - receiving information progressively disclosed by the structure of the game and considering the possible decisions of other agents, makes a sequence of decisions, stage by stage, attempting to optimize one's *objective function* - while obeying the game constraints. For a formal presentation of the optimization problem introduced above, let us adopt the notation derived from the terminology of *systems theory* (Başar and Olsder, 1999). Hierarchical architectures games with two levels, designed by HG2, and with three levels, designed by HG3, for multiple intelligent autonomous agents control strategies, are here described. A two-level hierarchical game, HG2, can be modeled through a similar process of forming a group of subsystems, each one representing a competing agent – for instance, a company. Each company - the i^{th} - here represented by a subsystem CS_i, vies in the market for raw materials, specialized production manpower, managerial resources, financial resources, technology, and other supplies. On the other hand, it also competes in the market for clients' preferences. The market, in the broader sense, also interferes in the game, acting upon prices and quantities transacted by the N agents with their clients and providers. The formulation of this concept can be obtained through a convenient partition and segmentation process of the DDG game: The HG2 is formed by two types of subsystems: the ***Companies Subsystems, CS_i,*** and the ***Market Coordinator Subsystems, MCS***. The CS_i modules communicate with the market coordinator subsystem, MCS, which informs to each one of them, at the beginning of each new period, its decision parameter. The CS_i, in turn, informs the MCS about their coordinated decisions for the next period. The dynamic hierarchical game HG-2 can be similarly expanded applying to each subsystem CS_i a segmentation process, where each i^{th} competing

agent is assumed to consist of *G Managerial Units*, MU_{ij}, where $j \in \{1,2,...,G\}$, introducing *G* new intelligent autonomous agents for each company. These managerial units, MU_{ij}, represent the main functional or managerial areas of the company. In this sense, each MU_{ij}, as any intelligent autonomous agent, has its own state transition equation, information structure, strategy, decision, and specific objective function to be optimized. Therefore, the segmentation described produces a *three-level hierarchical game* HG-3 wherein the coordination, at the second level, is achieved by a new module called CSC_i, representing the coordination of all the MU_{ij}, by the i^{th} company's chief executive.

4 SGM APPLICATIONS

Let us apply, now, with illustrative purposes, the SGM methodology for a complex structure analysis to some HG-3 structured games.

4.1 Structure with One Coordinator

Suppose a complex business-economic structured system, with three decision hierarchical levels. Proceeding accord to this methodology the following results can be obtained:

(A) The four sub-games identified are: $\{CS_1,\ldots,CS_i,\ldots,CS_N\}$ competing - or cooperating - sub-game; $\{MU_{i1},\ldots, MU_{ij}, MU_{iG}\}$ competing - or cooperating - subgame; $\{MCS, CS_i\}$ hierarchical coordination sub-game; $\{CSC_i, MU_{ij}\}$ hierarchical coordination sub-game.

(B) The application of one or another equilibrium strategy on each specific sub-game depends on each particular situation of conflict of interests and on the postures and assumptions present in each case:

(i) The competitive sub-game among CS_i companies could be treated as a game where the agents are supposed to work in a *variable-sum* objective function environment, acting independently from each other and prevented from sharing information and from cooperating with each other. They are forbidden to make coordinated decisions to optimize together their objective functions; consequently, for this sub-game, the *Nash equilibrium strategy* is the applicable, as in subsection 2.2.

(ii) Among those responsible for the MU_{ij} Managerial Units on the same company, a sub-game is played where the agents aim to optimize a *variable-sum objective function* for which cooperation among the unit managers in charge is expected; hence, for this sub-game, the *Pareto equilibrium strategy* is the applicable, as in subsection 2.3.

(iii) The relationship between the agent MCS, the market coordinator, representing the market action, and each CS_i company could be interpreted as a sub-game with hierarchical coordination among them; therefore, the *Stackelberg equilibrium strategies* pair is applicable, considering the market coordinator as the *Leader* and each CS_i as a *Follower*, as in subsection 2.4;

(iv) The relationship between the agent CSC_i, internal coordinator of each company, and each MU_{ij} could be considered as a hierarchical coordination sub-game; so, the Stackelberg equilibrium strategy pair is applicable, considering the coordinator CSCi as the Leader and each MUij as a Follower, as in subsection 2.4.

(C) The structured mapping resulting from the fourth stage, easy to obtain in this case, is also indicated in Figure 2. Classic ways of solving these types of *optimal control problems* could use, for instance, *Pontryagin's Minimum Principle*, or *Calculus of Variations,* or *Dynamic Programming* (Bryson and Ho, 1975), depending on the case.

4.2 Structure with Two Coordinators

This subsection presents, in a summarized form, another illustrative application of this methodology for analysis of another type of hierarchic structure. Let us take the former HG-3 as a basis and introduce a second coordinator agent at the first level, as shown in Figure 2.

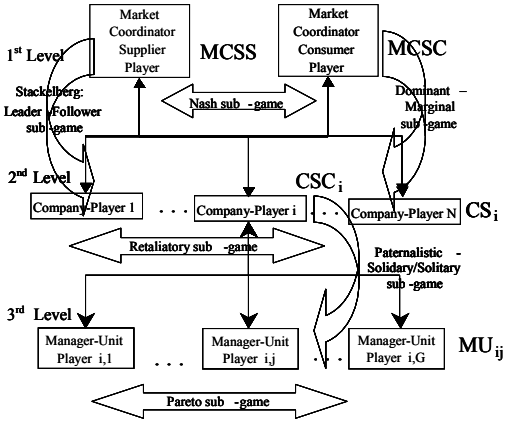


Figure 2: Game equilibrium strategies applied to a three-level multiple decision control architecture with two coordinators.

This structure has now two market coordinators, one representing the *market coordinator –supplier–*,