

## 01192 - TEORIA DE JOGOS EVOLUTIVA E COOPERAÇÃO - POTENCIALIDADES PARA PLANEAMENTO E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Sara Encarnação<sup>1,2</sup>, Fernando P. Santos<sup>3,2</sup>, Francisco C. Santos<sup>4,2</sup>, Juval Portugali<sup>5</sup>, Jorge M. Pacheco<sup>6,2</sup>, Margarida Pereira<sup>1</sup>

1 sara.encarnacao@fcs.unl.pt, Interdisciplinary Centre of Social Sciences – CICS.NOVA – FCSH/UNL, Avenida de Berna, 26-C, 1069-061 Lisboa, Portugal

2 ATP-group, P1649-003 Lisboa Codex, Portugal

3 Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, New Jersey, USA

4 INESC-ID and Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, IST-Taguspark, 2744-016 Porto Salvo, Portugal.

5 ESlab Environmental Simulation Laboratory, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel

6 Centro de Biologia Molecular e Ambiental and Departamento de Matemática e Aplicações, Universidade do Minho, 4710 - 057 Braga, Portugal.

**Abstract.** As concepções pós-modernistas da teoria do planeamento territorial consubstanciam, de uma forma geral, perspectivas de colaboração e participação entre os diversos actores envolvidos, como contraponto a um planeamento centralizado, regulador e normativo dominado pelo Estado. O interesse público passa a ser objecto de negociação e da construção de consensos e a natureza do plano assume um carácter estratégico e potencialmente mais resiliente a contextos de incerteza. Contudo, a integração de um número crescente de actores amplia a multiplicidade de interesses e posições nem sempre convergentes e até conflitantes. Paralelamente, as transformações rápidas, e por vezes imprevisíveis, ao nível tecnológico, financeiro e político reforçam a complexidade inerente às dinâmicas territoriais e para as quais o ordenamento do território carece de resposta(s) em tempo útil. Nestes contextos instáveis, a tomada de decisão é confrontada com uma pluralidade de perspectivas e tendências de desenvolvimento não lineares que envolvem uma tensão permanente entre cooperação e competição – muitas vezes dificultado quando as soluções envolvem alterações ao status quo ou a padrões de comportamento estabelecidos na sociedade colocando em confronto o interesse colectivo ou de bem comum com os interesses individuais ou corporativos. No contexto desta problemática é notória a necessidade de desenvolvimento de processos e abordagens analíticas de suporte à teoria e prática de planeamento. A Teoria de Jogos Evolutiva permite a análise de transformações socio-territoriais onde os vários agentes interagem e adotam diferentes estratégias ao longo do tempo. Este processo dinâmico depende do sucesso percebido de cada estratégia, e também das estratégias adotadas por outros. Neste sentido, é possível analisar a evolução da adopção de estratégias ao longo do tempo procurando antecipar o (in)sucesso das soluções desenhadas. Na comunicação são apresentados modelos teóricos de aplicação de teoria de jogos evolutiva em problemas que envolvem agentes de diferentes sectores da sociedade e onde se procura perceber de que forma a cooperação pode emergir e persistir ao longo do tempo, em função do grau e tipo de interacção entre as várias partes envolvidas. A reflexão crítica sobre os resultados encontrados permitirá identificar potencialidades de aplicação no âmbito do planeamento e ordenamento do território, quer ao nível teórico, quer ao nível operativo.

**Keywords.** Teoria de Jogos Evolutiva; Ordenamento do Território; Cooperação; Política Pública; Tomada de Decisão

### RESUMO ALARGADO

A teoria de jogos (TJ) clássica teve o início com os trabalhos de John von Neumann e Oskar Morgenstern (1944) com a aplicação de modelos matemáticos para a resolução de situações de conflitos de interesses. As áreas de aplicação percorrem um espectro amplo de áreas científicas como a economia, ciências militares, engenharia e ciência política, psicologia, ciência da computação, matemática, etc (Vincent & Brown, 2005). Esta abordagem estuda, fundamentalmente, a(s) tomada(s) de decisão entre agentes racionais quando estas são mutuamente condicionadas. A teoria de jogos evolutiva (TJE) surge como uma extensão da teoria de jogos clássica e é iniciada com o trabalho de John Maynard Smith e George R. Price (Smith & Price, 1973). Neste, os autores procuravam demonstrar que determinados comportamentos registrados em situações de conflito animal resultavam de uma vantagem evolutiva ao nível do indivíduo. Assim, os resultados colocavam em causa explicações alternativas baseadas na vantagem evolutiva de grupo (Smith & Price, 1973).

A abordagem de Maynard e Smith possibilitou a generalização do método no entendimento de processos dinâmicos evolutivos (Smith, 1982), no qual o critério de racionalidade da teoria de jogos clássica é substituído por uma medida do sucesso reprodutivo de uma dada estratégia, i.e., a aptidão (*fitness*). Em TJE a estratégia é entendida como o fenótipo comportamental, i.e., uma especificação do comportamento de um indivíduo numa qualquer situação. Uma dada estratégia é evolucionariamente estável quando é usada na população e não pode ser invadida por nenhuma outra estratégia mutante (Smith, 1982). Um modelo de TJE procura assim perceber como se estabelecem na população determinadas estratégias em função das vantagens competitivas que trazem ao indivíduo. Deste modo, e na perspectiva de (Vincent & Brown, 2005), um modelo em TJE é composto por i) um jogo interior semelhante a um jogo clássico onde os indivíduos interagem e recebem retornos (*payoffs*) em função das estratégias adoptadas e condicionadas às escolhas de outros indivíduos e ii) um jogo exterior onde os retornos são traduzidos em alterações da frequência de estratégias

na população - ou seja, a aptidão dos indivíduos evolui à medida que outros indivíduos da mesma população adoptam (ou não) determinada estratégia (Nowak, 2006).

A adequação deste tipo de modelos e abordagens rapidamente se difundiu nas áreas disciplinares das ciências sociais. Nestes é possível operacionalizar, por exemplo, o conceito de limitação da racionalidade (*bounded rationality*) desenvolvido por Herbert A. Simon (Simon, 1957) e de imitação e aprendizagem social desenvolvidos por Albert Bandura (Bandura, 1976). O primeiro refere-se às limitações dos indivíduos na tomada de decisões racionais resultado do acesso a informação limitada e disponível no momento da decisão e das limitações psicológicas destes mesmos indivíduos. O segundo preconiza que a adopção e difusão de determinados comportamentos sociais é dependente do contexto socio-económico e, não raras vezes, resultado da imitação de comportamentos percebidos como de sucesso ou vantajosos.

A aplicação da teoria de jogos em planeamento e ordenamento do território tem sido residual. Uma revisão da literatura situa em 1977 um dos trabalhos pioneiros ligados a problemas no domínio do planeamento territorial. (Batty, 1977) procura entender os conflitos emergentes num processo de expansão urbana em Droitwich (Reino Unido) envolvendo autoridades de âmbito local e regional. O problema é retratado a três níveis: 1) na definição de compromissos face ao problema da redistribuição espacial da população, 2) na negociação de localizações das áreas de expansão e 3) na negociação de questões locais relativas (rede de estradas, área de habitação, densidades, etc). O problema é formalizado em três tipos de jogos onde se testam os resultados de jogos competitivos em comparação com jogos cooperativos. Nestes últimos, a cooperação é operacionalizada através de coligações de jogadores nas quais a definição de um plano é uma tomada de decisão conjunta. Os resultados revelam que a cooperação aumenta os retornos de cada jogador (Batty, 1977) e neste sentido a concepção de uma solução desenhada e imposta por um poder regional ou central pouco favorece a resolução dos conflitos existentes.

Schaeffer & Hopkins (1987) conceptualizam a decisão de planeamento como uma actividade produtiva estruturada sequencialmente em função dos objectivos estratégicos dos indivíduos envolvidos na decisão de planear. A modelação do comportamento de agentes privados revela que a decisão de iniciar um processo de desenvolvimento urbano ocorre quando os benefícios espectáveis da concretização do processo se revelam superiores aos custos de produção de informação envolvidos nas etapas de planeamento. Ou seja, a antecipação de possíveis comportamentos de promotores privados deve internalizar custos que reflectam em si mesmos a acção do sector público, nomeadamente ao nível do grau de incerteza na atribuição de licenças de construção, morosidade de processos, etc. Este tipo de análise é depois estendida para incluir explicitamente também o sector público (Knaap, Hopkins, & Donaghy, 1998). Os promotores privados formulam estratégias após observarem as decisões tomadas no sector público e este, por sua vez, define estratégias tendo em conta a reacção dos privados. Ambos agem de forma racional e procuram maximizar as suas funções de utilidade. A formalização é apresentada como uma ferramenta de apoio à decisão de planear, na medida em que permite promover uma série de testes empíricos de validação e avaliação do efeito dos planos no desenvolvimento urbano.

Só a partir do fim da primeira década do século XXI surgem novas aplicações de TJ no domínio do planeamento, nomeadamente relacionadas com o desenvolvimento e expansão urbana (Blokhuys et al, 2012; Glumac, Han, & Schaefer, 2013; Steinacker, 2002; Tan et al, 2015; Weiler, 2000; Zhang et al., 2013), tomada de decisão em diferentes regimes de políticas (Chiu & Lai, 2008; Lord & O'Brien, 2017) e áreas protegidas (Ghods, Kerachian, & Zahmatkesh, 2016; Lin & Li, 2016). Na sua generalidade, estes trabalhos incluem como jogadores agentes do sector público, privado ou ambos e são na sua totalidade modelos de teoria de jogos clássica onde os jogadores procuram a optimização das suas funções de utilidade. Nas variadas aplicações procura-se perceber a natureza e origem dos conflitos analisando a decisão estratégica dos jogadores e a forma como a cooperação pode emergir, por exemplo, através de instrumentos de política pública ou alteração ao papel dos actores envolvidos.

Esta aceção da modelação de decisão estratégica em problemáticas de planeamento territorial é conducente com os desenvolvimentos da teoria e prática do planeamento ao longo do tempo e também decorrentes de mudanças societais multi-escalares (de globais a locais). O planeamento é, segundo (Friedmann, 1987), aquele que ocorre em sociedades organizadas territorialmente e nas quais a racionalidade de mercado (interesse individual de empresas e indivíduos) e a racionalidade social (interesse colectivo) estão em constante competição. A acção do planeamento, assente num ideal de interesse público (determinado num dado espaço e tempo) e legitimado pelos poderes do Estado, procuraria assim, e de forma geral, resolver as externalidades negativas associadas a acções do mercado que colocassem em causa a racionalidade social e o interesse colectivo (Friedmann, 1987). Esta generalização do objecto do planeamento é verdade hoje como o era no planeamento pós segunda grande guerra – então entendido como uma função quase exclusiva do Estado, numa visão centralizada, reguladora e normativa. No entanto, Friedmann alertava que, em última análise, a legitimidade do Estado depende da mobilização política do povo em defesa de seus interesses coletivos e enquanto instrumento de orientação social, a prática de planeamento reflete esse papel complexo e conflituoso (Friedmann, 1987). A influência das mudanças societais (globalização, inovação tecnológica, privatização, enfraquecimento do Estado-nação, estruturas de poder multi-nível, etc.) na mobilização política promoveram alterações significativas na teoria e prática do planeamento. É reconhecida a natureza política do planeamento (Taylor, 1998) e a ideia de que o interesse público será objecto de negociação e de construção de consensos dificilmente alienados de um conjunto de valores prevalentes (Davidoff & Reiner, 1962). A natureza do plano assume então um carácter estratégico e potencialmente mais resiliente a contextos de incerteza. As bases de negociação alargam-se para agentes fora da esfera pública, nomeadamente para o sector privado. Contudo, o cada vez maior e mais diverso número de actores amplia também a multiplicidade de

interesses e posições nem sempre convergentes e até conflitantes. Neste contexto, a antecipação de cenários, intervenções ou planos de acção carece de métodos e abordagens que permitam a identificação de conflitos existentes e formas de os atenuar – e para as quais contribuam as aplicações de teoria de jogos clássicas acima referidas. Mas manifestações públicas sobre as falências do sistema rapidamente demonstravam as limitações de uma visão racional do processo de planeamento (Taylor, 1998) e a necessidade de incluir na sua acção a sociedade civil, por exemplo, através de modelos de planeamento colaborativo ou comunicativo (Healey, 1996; Innes, 1995). Porém, a estas abordagens não são alheios os problemas associados com a limitação da racionalidade dos agentes e actores envolvidos e sistematizados em (Forester, 1982). Problemas que se agravam quando maior o número de indivíduos envolvidos e sobretudo em problemas onde sejam necessárias alterações ao *status quo* e onde os benefícios, assim como os custos, percebidos não são imediatos.

Os graus de incerteza e a escala dos problemas requerem abordagens analíticas que permitam a antecipação das interdependências e possíveis conflitos existentes. Neste sentido, e recorrendo a teoria de jogos evolutiva (Encarnação et al., 2016; Santos et al., 2016) desenvolvem um modelo geral de 3 populações para a análise das dinâmicas entre actores em processos de alteração de paradigmas. Cada população representa um sector da sociedade (público, privado e civil) e os indivíduos de cada população podem adoptar uma de duas estratégias disponíveis, i.e., a de favorecer ou não a mudança de paradigma. Os retornos dos indivíduos são dependentes de parâmetros que podem reflectir diferentes medidas ou acções características de cada sector, em função da sua estratégia (*jogo interno*) e traduzidos numa matriz de retornos, mas também das decisões tomadas por outros indivíduos dentro de cada população (*jogo externo*). A matriz de retorno pode ser adaptada a cada problema em estudo. A análise no tempo das estratégias adoptadas em função das inter e intra dependências entre indivíduos permite conhecer quer os efeitos de medidas e instrumentos de política pública (ex. subsídios, taxas, etc.) nas populações afectas aos mesmos, quer antecipar como a dinâmica evolutiva destas populações podem em si mesmo condicionar a tomada de decisão do sector público. A construção e modelação de diferentes cenários possibilita assim a redução da incerteza e a antecipação de efeitos não esperados ou perversos (Churchman, 1967).

A operacionalização de modelos de teoria de jogos clássica e de teoria de jogos evolutiva em situações reais tem assim o potencial de contribuir para estreitar a ligação entre a teoria e prática em planeamento territorial.

## REFERÊNCIAS

- Bandura, A. (1976), *Social Learning Theory* (Facsimile edition). Englewood Cliffs, New Jersey: Pearson.
- Batty, S. E. (1977), "Game-Theoretic Approaches to Urban Planning and Design", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 4(2), 211–239.
- Blokhuys, E. G. J., Snijders, C. C. P., Han, Q., & Schaefer, W. F. (2012), "Conflicts and Cooperation in Brownfield Redevelopment Projects: Application of Conjoint Analysis and Game Theory to Model Strategic Decision Making", *Journal of Urban Planning and Development*, 138(3), 195–205.
- Chiu, C.-P., & Lai, S.-K. (2008), "A Comparison of Regimes of Policies: Lessons from the Two-Person Iterated Prisoner's Dilemma Game", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(5), 794–809.
- Churchman, C. W. (1967), "Wicked Problems", *Management Science*, 14(4), B-141.
- Davidoff, P., & Reiner, T. A. (1962), "A Choice Theory of Planning", *Journal of the American Institute of Planners*, 28(2), 103–115.
- Encarnação, S., Santos, F. P., Santos, F. C., Blass, V., Pacheco, J. M., & Portugali, J. (2016), "Paradigm shifts and the interplay between state, business and civil sectors". *Royal Society Open Science*, 3(12), 160753.
- Forester, J. (1982), "Planning in the Face of Power", *Journal of the American Planning Association*, 48(1), 67–80.
- Friedmann, J. (1987), *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action*, Princeton University Press.
- Ghods, S. H., Kerachian, R., & Zahmatkesh, Z. (2016), "A multi-stakeholder framework for urban runoff quality management: Application of social choice and bargaining techniques", *Science of The Total Environment*, 550, 574–585.
- Glumac, B., Han, Q., & Schaefer, W. F. (2013), "An interactive decision choice model to support brownfield redevelopment partnerships", *Proceedings of CUPUM 2013: 13th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management - Planning Support Systems for Sustainable Urban Development*, 1–24.
- Healey, P. (1996), "The communicative turn in planning theory and its implications for spatial strategy formations", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 23(2), 217–234.
- Innes, J. E. (1995), "Planning Theory's Emerging Paradigm: Communicative Action and Interactive Practice", *Journal of Planning Education and Research*, 14(3), 183–189.
- Knaap, G. J., Hopkins, L. D., & Donaghy, K. P. (1998), "Do Plans Matter? A Game-Theoretic Model for Examining the Logic and Effects of Land Use Planning", *Journal of Planning Education and Research*, 18(1), 25–34.
- Lin, J., & Li, X. (2016), "Conflict resolution in the zoning of eco-protected areas in fast-growing regions based on game theory", *Journal of Environmental Management*, 170, 177–185.
- Lord, A., & O'Brien, P. (2017), "What price planning? Reimagining planning as "market maker"", *Planning Theory & Practice*, 18(2), 217–232.
- Neumann, J. V., & Morgenstern, O. (1944), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.
- Nowak, M. A. (2006), *Evolutionary Dynamics: Exploring the Equations of Life*, first Edition, Cambridge, Mass: Belknap Press.
- Santos, F. P., Encarnação, S., Santos, F. C., Portugali, J., & Pacheco, J. M. (2016), "An Evolutionary Game Theoretic Approach to Multi-Sector Coordination and Self-Organization", *Entropy*, 18(4), 152.
- Schaeffer, P. V., & Hopkins, L. D. (1987), "Behavior of Land Developers: Planning and the Economics of Information", *Environment and Planning A: Economy and Space*, 19(9), 1221–1232.
- Simon, H. A. (1957), *Models of Man: Social and Rational- Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*, Wiley.

- Smith, J. Maynard, & Price, G. R. (1973), "The Logic of Animal Conflict", *Nature*, 246(5427), 15–18.
- Smith, John Maynard. (1982), *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Steinacker, A. (2002), "The Use of Bargaining Games in Local Development Policy", *Review of Policy Research*, 19(4), 120–153
- Tan, R., Liu, Y., Zhou, K., Jiao, L., & Tang, W. (2015), "A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: A case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China", *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 15–29.
- Taylor, N. (1998), *Urban Planning Theory since 1945*, London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications Ltd.
- Vincent, T. L., & Brown, J. S. (2005). *Evolutionary game theory, natural selection, and Darwinian dynamics*, Cambridge University Press.
- Weiler, S. (2000), "Pioneers and Settlers in Lo-Do Denver: Private Risk and Public Benefits in Urban Redevelopment", *Urban Studies*, 37(1), 167–179.
- Zhang, J., Wang, K., Song, G., Zhang, Z., Chen, X., & Yu, Z. (2013), "Application of multi-agent models to urban expansion in medium and small cities: A case study in Fuyang City, Zhejiang Province, China", *Chinese Geographical Science*, 23(6), 754–764.