

# Tolerância Evolucionária

LUÍS MONIZ PEREIRA

Centro de Inteligência Artificial — CENTRIA  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa  
2829-516 Caparica, Portugal

## **Resumo:** Tolerância Evolucionária

A Teoria dos Jogos Evolutivos, em parte com inspiração na Psicologia Evolucionária, tem vindo a abordar — matematicamente — os mecanismos da emergência e da evolução da cooperação em populações de indivíduos abstractos com estratégias diversificadas de comportamento em co-presença. O seu estudo sistemático recorre também a técnicas de implementação desses mesmos mecanismos em computadores paralelos, permitindo simulá-los numa variedade de condições, parâmetros e jogos virtuais alternativos. Os resultados teóricos e experimentais estão a ser surpreendentes, gratificantes e promissores.

No nosso trabalho mais recente deu-se início à introdução, nesses grupos de indivíduos, de capacidades cognitivas inspiradas em técnicas e teorias da Inteligência Artificial. De entre estas destacam-se as relativas ao Reconhecimento de Intenções, que abrange a modelação e implementação da tolerância/intolerância a erros alheios — deliberados ou não — bem assim como tolerância/intolerância ao eventual ruído na comunicação. Em resultado, a emergência e a estabilidade da cooperação nos referidos grupos de indivíduos, distintos e abstractos, surgem ambas reforçadas, comparativamente à ausência dessas capacidades cognitivas.

**Palavras-chave:** Teoria dos Jogos Evolutivos; Tolerância; Reconhecimento de Intenções.

## **Abstract:** Evolutionary Tolerance

The mechanisms of emergence and evolution of cooperation — in populations of abstract individuals with diverse behavioural strategies in co-presence — have been undergoing mathematical study via Evolutionary Game Theory, inspired in part on Evolutionary Psychology. Their systematic study resorts as well to implementation and simulation techniques in parallel computers, thus enabling the study of aforesaid mechanisms under a variety of conditions, parameters, and alternative virtual games. The theoretical and experimental results have continually been surprising, rewarding and promising.

Recently, in our own work we have initiated the introduction, in such groups of individuals, of cognitive abilities inspired on techniques and theories of Artificial Intelligence, namely those pertaining to Intention Recognition encompassing the modelling and implementation of a tolerance/intolerance to errors in others — whether deliberate or not — as well as tolerance/intolerance to possible communication noise. As an outcome, the emergence and stability of cooperation in said groups of distinct abstract individuals become both reinforced, comparatively to the absence of such cognitive abilities.

**Keywords:** Evolutionary Game Theory; Tolerance; Intention Recognition.

### **1. A Evolução e o Cérebro**

A hipótese de Darwin sobre a evolução biológica através da selecção natural foi uma das

teorias mais revolucionárias da história da ciência. Desde a publicação de *A Origem das Espécies* em 1859 até hoje, decorreu uma longa história de tentativas de aplicação dos conceitos evolutivos ao entendimento do comportamento humano e social. Algumas destas experiências, mais polémicas, tiveram interpretações e aplicações políticas desastrosas (como por exemplo a defesa da supremacia da raça ariana pelo Nazismo) e, em muitos meios intelectuais, criaram anticorpos relativamente à abrangência dos conceitos evolutivos. Outras tentativas revelaram-se mais frutuosas. Um dos exemplos é a teoria da vinculação desenvolvida por Bowlby (1971), extrapolada aos processos evolutivos por Kirkpatrick (2005), com sólidas provas empíricas e um vasto poder explicativo. Bowlby considerou a vinculação como um conjunto organizado de comportamentos, que evoluiu pelos mecanismos de selecção natural, para resolver um problema adaptativo recorrente: a necessidade de protecção dos membros imaturos tanto da espécie humana quanto de outras espécies.

Situa-se a emergência do *Homo sapiens sapiens* no Paleolítico Superior, há cerca de 45 mil anos — época em que se terão desenvolvido completamente a linguagem, o sedentarismo e o gregarismo. Assume-se que, em termos de morfologia cerebral, seríamos já essencialmente iguais ao que hoje somos. De há cerca de 40 anos a esta parte, desenvolveu-se a disciplina da Psicologia Evolucionária com base na aplicação dos conceitos evolutivos à compreensão dos mecanismos psicológicos que subentendem as condutas humanas. Ela fornece um modo de pensar sobre a evolução quando a vantagem de um dado comportamento depende do comportamento de outro indivíduo ou dum grupo. Segundo os seus subscritores, há vários comportamentos humanos que são melhor compreendidos se for reconstruído o modo como a selecção natural actuou no passado, e levou à emergência do *Homo sapiens sapiens*.

Os primeiros primatas bípedes estabeleceram a separação entre a espécie humana e os outros símios. Para abarcar as capacidades do cérebro humano é necessário compreender exactamente que problemas os nossos antepassados primatas estariam a tentar resolver, e o que os levou a desenvolver um cérebro tão extraordinariamente intrincado. Não podemos olhar para o moderno cérebro humano, e para a sua capacidade de criar ciência, como se os milhões de anos de evolução que o afinaram até ao seu formato presente não tivessem tido lugar. Entre os eventuais problemas há certamente os de *status*, territorialidade, acasalamento, gregarismo, altruísmo versus oportunismo, a construção de artefactos, e o mapeamento do mundo exterior. O cérebro do *Homo sapiens sapiens*, considerado anatomicamente indistinguível do nosso actual cérebro, possui aproximadamente a idade de

cem a duzentos mil anos, tendo a linguagem oral surgido há menos de 100 mil anos a esta parte. O Paleolítico Superior teve início há cerca de 45 mil anos, e durou até ao Neolítico cerca de 10 mil anos antes da actualidade — período durante o qual a linguagem se desenvolveu plenamente. Contudo, desde o início do Paleolítico Superior, o ritmo de evolução cultural acelerou dramaticamente. De acordo com a teoria da genética de populações, a maior parte das mudanças ocorreu de forma demasiado rápida para poder ser acompanhada de perto pela evolução genética.

Da mesma forma que um psiquiatra ou psicanalista tem de olhar para o historial de um paciente para melhor o compreender no presente, também é importante olhar para o passado da nossa espécie para apreender as nossas peculiaridades modernas.

A Psicologia Evolucionária começou com a sociobiologia e o estudo das sociedades de insectos. Procurava saber-se porque é que estes são gregários. As investigações foram desenvolvidas no início dos anos 60 por William D. Hamilton (1926-2000), Robert L. Trivers (n. 1943), e depois Edward O. Wilson (n. 1929). Essa pesquisa foi feita matematicamente, primeiro em termos da teoria dos jogos e simulações em computador, tendo continuado depois com contribuições de outras disciplinas.

Sobejamente altruístas, os insectos sociais gozam do chamado haplo-diploidismo (em vez do nosso diploidismo), que faz com que as irmãs tenham mais genes em comum do que o usual. Nas fêmeas desses insectos (abelhas, formigas, térmitas) metade do ADN é uma cópia exacta do ADN haplóide do pai e, a outra metade é da mãe diplóide — têm portanto, em média, 3/4 dos genes em comum. O facto de partilharem mais genes dá-lhes uma maior predisposição para se sacrificarem umas pelas outras. É este mecanismo genético que faz com que exista uma maior coesão social, e um maior altruísmo, já que são os genes que sobrevivem (os «genes egoístas») e não os veículos dos genes, os entes vivos que os transportam qual embalagem perdida (Hölldobler & Wilson, 2009).

O problema da selecção também é particularmente importante no que toca a considerar as componentes individual e grupal. Para além de uma simples sobrevivência individual — ou de uma família — encontra-se a sobrevivência de um grupo mais alargado o que, numa espécie gregária como a nossa, é de extrema importância.

E o problema de explicar a cooperação pela evolução é este: por que mecanismos somos fruto de uma evolução gregária, já que com o gregário todos podem ganhar mais. Até que ponto somos altruístas e cooperamos em sociedade, ou, se sendo altruístas, não seremos enganados por outros, os oportunistas, focados na selecção individual? A evolução de

qualquer espécie colectiva esbarra com este problema do equilíbrio altruísmo/egoísmo. É um tema forte da Psicologia Evolucionária, e para o qual se podem os usar computadores para a execução de prolongadas e repetidas simulações de evoluções conjuntas de estratégias de actuação em co-presença, por via da implementação de jogos matematizados típicos, misturando situações de competição e de cooperação, e de combinatória de estratégias.

A Psicologia Evolucionária não é tanto uma disciplina científica mas um quadro de referência meta-teórico, de pressupostos de base partilhados pelos investigadores que nela trabalham. Como ponto de partida considera que os cérebros humanos são órgãos resultantes do processo evolutivo e que este facto não pode deixar de ser tomado em conta na compreensão do funcionamento da mente e do comportamento.

Assim, a Psicologia Evolucionária está a tornar-se um exemplo de sucesso no âmbito da unificação científica em curso, concebida por via de uma combinação profunda e explicativa entre Psicologia, Antropologia, Biologia, Linguística, Neurociências, Teoria dos Jogos, e Inteligência Artificial (Laland & Brown, 2002; Buss 2005; Dunbar & Barrett, 2007; Gangestad & Simpson, 2007; Platek et al., 2007; Skyrms 1996, 2004, 2010). Dedicou-se ao estudo do cérebro e do comportamento a partir da perspectiva evolucionária, tendo dado origem a contribuições de extrema relevância. E tem sido apoiada, e influenciada, pela Arqueologia Antropológica no seu estudo empírico da evolução cultural da humanidade (Shennan, 2002). Nesta linha, a Psicologia Evolucionária foi-se revelando um paradigma de análise muito rico para a compreensão de diferenças sexuais universais nas estratégias utilizadas por homens e mulheres na demanda de um parceiro — em que os homens tendem a procurar várias mulheres jovens, enquanto as mulheres tendem a seleccionar um único parceiro com características associadas ao poder; para o facto de os homens serem mais violentos que as mulheres; etc. Quanto ao estudo do funcionamento dos cérebros através do seu rasto arqueológico, tanto arqueólogos teóricos quanto de campo (Mithen, 1996), estão a trazer à luz provas históricas e pré-históricas de que os nossos antepassados começaram por ter uma inteligência genérica, tal como hoje em dia a encontramos nos símios. Tem havido intensas e abrangentes discussões sobre o problema de a inteligência ser uma funcionalidade genérica, ou poder ser melhor compreendida pela divisão em componentes ou módulos de habilidades específicas. Quando surgiu pela primeira vez, a Psicologia Evolucionária desenvolveu uma linha, a que Chomsky tinha dado início, que insistia na existência de áreas no cérebro inatas e especializadas; foi genericamente aceite que existe uma abundância de módulos específicos para uma diversidade de funções cerebrais. No início, as opiniões de, David Buss, Leda Cosmides, Steven Pinker, John Tooby (Buss, 2005), apontavam para que

todas as funções cerebrais tivessem módulos específicos — para a linguagem, para o acasalamento, para a religião, etc.

Entretanto, por meio de registos históricos, os arqueólogos demonstraram que a espécie humana passou de uma primeira fase de inteligência genérica para uma segunda fase constituída por três grandes módulos especializados: um dedicado à história natural e rudimentos de física (conhecimento da Natureza); outro para o conhecimento e manufactura de instrumentos; e um terceiro para os artefactos culturais, i.e., as regras de vida em sociedade e as próprias políticas de coexistência. Estas três inteligências especializadas estiveram separadas. Porém, numa fase mais recente — correspondente ao *Homo sapiens*, com o aparecimento da língua falada — tornou-se necessário um módulo cúpula, que articulasse os outros três. Ficou a pergunta: de que forma se ligam os diferentes módulos especializados, e como comunicam as pessoas? A necessidade de responder a este problema deu origem à ideia de um módulo cúpula abrangente, uma forma mais sofisticada de inteligência genérica, a cola cognitiva que junta os módulos especializados e os leva a comunicar e a cooperar entre si.

Do nosso ponto de vista, a lógica em sentido lato fornece essa cúpula conceptual geral que, como módulo genérico, permite a articulação fluida dos módulos mais específicos. Existe uma aptidão humana óbvia para compreender o raciocínio lógico, capacidade que terá sido desenvolvida no decorrer da evolução do cérebro. Tem o seu símile na capacidade de executar qualquer programa possuída pelos computadores que criámos (Pereira, 2009).

## **2. Psicologia Evolucionária: Genes e Memes**

A noção principal, pela qual temos de começar, é que no humano há dois mecanismos darwinianos em co-evolução. Por darwiniano entende-se o grande paradigma da emergência que resulta das mutações, selecção e reprodução, que trouxe a vida na Terra até hoje e, em particular, deu origem aos seres humanos como espécie.

A vida surgiu na Terra há 3,8 mil milhões de anos sob a forma de bactérias; só 2 mil milhões de anos depois aparecem os organismos unicelulares com um núcleo — as células eucariótidas. Os componentes destas uniram-se graças à colaboração das bactérias e, ao longo da evolução, organismos cada vez mais complexos foram emergindo a partir dos mais simples, com milhões de células unindo-se em tecidos, diferentes tecidos cooperando para compor órgãos, estes interligando-se para formar sistemas. Semelhanças

espantosas podem ser encontradas entre a forma como se processa a complexificação biológica e o modo como evoluem as sociedades humanas. A importância da cooperação, biológica e social evidencia-se em ambos os domínios de complexificação (Damásio, 2010).

No humano existem dois sistemas reprodutores: o da reprodução sexual, na qual a unidade de replicação é o gene; o outro o da reprodução mental. Alguns autores da Psicologia Evolucionária construíram a noção de «meme», complementando a de gene. O segundo consubstancia o sistema reprodutor, sendo executado no cérebro — é a unidade mental correspondente ao gene. Os memes juntam-se em grupos, padrões ou cachos, de forma similar à união dos genes quando formam cromossomas e compõem-se em sequências. Os memes são característicos de ideologias, religiões, e ideias do senso comum. Certos memes só funcionam bem em conjunto, reforçando-se mutuamente, outros não, de forma que podem ser desencadeados certos dispositivos de correcção, e respectivos correctores. Também podem ser desencadeados mecanismos de **tolerância/intolerância**, detalhados adiante, e que funcionam a nível quer individual quer grupal.

Os dois mecanismos darwinianos em co-evolução são assim o genético e o memético (Dennett, 1995). Temos um sistema reprodutor genético e, apoiada nele, a Natureza — através da evolução — criou um segundo, que utilizamos na pedagogia. Reproduzimos ideias: normalmente as boas são propagadas e multiplicam-se, sendo favoravelmente seleccionadas em detrimento das más — embora nada nem ninguém garanta essa selecção. Os genes persistem porque se reproduzem, sendo os memes a unidade de reprodução paralela associada à mente — e o cérebro o seu órgão reprodutor. O que fazemos, em escolas e universidades, é reproduzir conhecimento. Os sistemas educativos consistem num meio de «infectar» os estudantes com memes, ideias que provaram serem suficientemente capazes de se reproduzirem e persistirem, enquanto se descartam outras que não conseguiram sobreviver. Claro que há muitas variantes correntes de sistemas educativos, por exemplo as madraças.

Quando as pessoas interagem entre si comunicam ideias, e as infecciosamente boas tendem a reproduzir-se. Como se referiu, há grupos de ideias, conjuntos de crenças, que se reproduzem em conjunto. Os memes que fazem parte de tais agregados — como os genes em cromossomas — estão em competição/cooperação entre si, e também com o depósito dos genes. Estes existem porque são parte de um mecanismo reprodutivo necessário para conseguir adaptações locais mais rápidas, dado os genes, em relação à escala temporal dos

indivíduos portadores dos memes, levarem demasiado tempo até se reproduzirem. Assim, o fenótipo individual rico em memes beneficia de mais uma hipótese de melhorar as condições para replicar o seu genótipo. Tal leva directamente à co-evolução meme-gene.

Contudo, os memes não poderiam espalhar-se se não fosse a valiosa tendência biológica que os indivíduos têm de imitar, algo de que o cérebro é neurologicamente capaz, nomeadamente por via dos neurónios-espelho (Rizzolatti & Sinigaglia, 2007). Há muito boas razões para que a imitação tenha sido favorecida pela convencional selecção natural que actua nos genes. Os indivíduos geneticamente mais predispostos a imitar podem tirar partido de um caminho mais curto para aprender habilidades que outros possam ter levado mais tempo a construir. Consequentemente, o cérebro e a mente que o acompanham são o resultado de uma profunda simbiose, um produto genético influenciado pelo mecanismo memético de reprodução. Com este sistema de adaptação mais rápido chegámos a um ponto em que somos capazes de prever as nossas próprias mutações meméticas, como medidas de mudança necessárias para nos prepararmos para o futuro, antecipando-o. Por tal imaginamos o futuro — criamos cenários hipotéticos, avaliamos destinos possíveis — e escolhemos caminhar em direcção a alguns deles, chamando-lhe «livre arbítrio».

Como consequência de existir o sistema memético, para além do simples sucesso reprodutivo sexual genético, há outras questões prementes no que toca à interacção social. Como seres comunitários precisamos de desenvolver um *status* para podermos ser respeitados, copiados ou obedecidos. Temos de preocupar-nos com a expansão territorial e sua defesa, se quisermos possuir os recursos necessários para ter descendentes e, o que é mais, se quisermos ter descendentes com descendentes seus. Precisamos de nos comprometer com acordos contratuais com quem partilhe a nossa ecologia social e cultural. E há também o importante requisito da oportunidade de expressão pessoal. Se não nos exprimirmos, ninguém copiará sequer os nossos mais preciosos memes, menos ainda as nossas teorias científicas constituídas por aglomerados de memes.

Nesta perspectiva, apesar de a uma distância espacial e temporal, o pensamento científico emerge a partir da interacção pessoal distribuída e nunca como acto isolado. Esta interacção tem de ser erigida a partir de várias confluências, ou em equipas, como é o caso em ciência. Na verdade, o conhecimento não é construído de forma autónoma; é antes tecido por redes de pessoas. Em ciência é importante trabalhar em equipa, e ela deveio institucionalizada e organizada com as suas próprias metodologias. Processa-se em ambientes próprios, um dos quais o educativo, onde se mecaniza a sua proliferação

memética.

### 3. A Lógica dos Jogos

A teoria dos jogos começou a ser desenvolvida pelos anos 40, e a primeira obra sobre o assunto foi *Theory of Games and Economic Behaviour* do matemático John von Neumann (1903-1957) e do economista Oskar Morgenstern (1902-1977), (Neumann & Morgenstern, 1944). Na época era dirigida à economia, mas subsequentemente foi aplicada à Guerra-fria, em resultado das questões levantadas pelo uso da bomba atómica e subtis meandros do «bluff». Quando uma situação se complica, há a necessidade de se recorrer a utensílios matemáticos sofisticados — e simulações em computador — para lidar com equações que já não podem ser resolvidas de outro modo.

O tema dos jogos é tão complexo quanto interessante e está pleno de enseadas diversas. Já falámos de genes, memes, das suas combinações e evolução, de temáticas relacionadas com sobrevivência e vencedores. Já referimos a evolução combinatoria de estratégias, e mutações dessas mesmas estratégias de acordo com diferentes condições, que podem ser outros parceiros de jogo ou as próprias circunstâncias do tabuleiro. Na noção de jogo há a incerteza e, quando há incerteza tem de haver estratégia, jogadas a fazer com uma certa probabilidade. Quando existe a co-presença de estratégias em evolução de vários parceiros, conjuntamente com a ideia de ganho, estamos a lidar com a noção de jogo evolutivo, o qual pode ser examinado de maneira abstracta e matemática.

Tal como possuímos estratégias genéticas de reprodução, toda a nossa vida está imbuída de estratégias culturais, ou civilizacionais. E, de uma forma geral, poderemos ver a nossa espécie através destas lentes sem, no entanto, desvalorizar as restantes perspectivas, igualmente importantes.

Existem jogos de soma nula e de soma não nula. Os de soma nula são aqueles em que, pelas suas regras, o que uns ganham os outros perdem. Na evolução da Natureza as condições não são de soma nula — todos podem ganhar ou perder. Robert Wright (2001) analisa o evoluir da cultura e da civilização tendo por base a ideia de, na Natureza, serem possíveis jogos de soma não nula, onde o ganho é geral, conduzindo ao altruísmo iluminado.

Por sua vez, as estratégias em co-presença tendem a atingir um equilíbrio táctico. Considere-se a relação entre predador/presa: nem o predador pretende exterminar a presa por completo, nem esta se pode multiplicar indefinidamente, porque esgotaria os recursos do



ambiente. Alguns destes estudos são usados pela Economia para perceber qual o resultado global da soma das interações entre os vários parceiros em jogo.

É relevante ter em consideração se o jogo se dá uma única vez com um determinado parceiro, ou se o mesmo parceiro pode ser reencontrado noutras ocasiões, quanta memória há de se ter jogado com ele, e se existe a possibilidade se recusar um parceiro. Vamos ver algumas destas situações em pormenor. Começaremos pelo famoso dilema do prisioneiro, típico do paradoxo do altruísmo. Temos dois prisioneiros, A e B, acusados de alguma coisa. Qualquer deles pode denunciar o outro, confessar, ou permanecer silencioso.

	Prisioneiro B – silêncio	Prisioneiro B – confissão
Prisioneiro A – silêncio	<b>Pena de 6 anos cada</b>	<b>A = Pena de 10 anos</b> <b>B = Pena de 2 anos</b>
Prisioneiro A – confissão	<b>A = Pena de 2 anos</b> <b>B = Pena de 10 anos</b>	<b>Pena de 8 anos cada</b>

Seja um quadro ou matriz de pagamentos 2x2, onde nas linhas temos o comportamento de A (fica silencioso ou confessa); nas colunas o comportamento de B (fica silencioso ou confessa). Na intersecção da coluna «confissão» do prisioneiro B com a linha «confissão» do prisioneiro A, ambos recebem uma pena de 8 anos. Se A confessa e B não, A só terá uma pena de 2 anos, mas B de 10, e vice-versa. Há um incentivo para que cada um deles confesse a fim de diminuir a pena respectiva. Desta forma, eventualmente teriam vantagem em não continuar silenciosos. Se um deles trai, só fica preso por 2 anos e o outro ficará encarcerado por 10. Mas se ambos confessarem ficarão detidos 8 anos cada um. A tentação de confessar é grande, mas também o é o risco inerente, pelo que, afinal, teriam mútua vantagem em ficarem ambos silenciosos, com penas de 6 anos cada um.

Os prisioneiros conhecem as regras do jogo, só não sabem como vai agir o outro. Têm vantagem em manter-se em silêncio, mas não sabem se o outro vai confessar. Basta que um fale para que o outro seja condenado por 10 anos. Instala-se então um dilema: é proveitoso permanecer calado, mas há o risco da denúncia; e o que se adiantar tirará maior proveito. Na pior das hipóteses, confessando os dois, sofrem 8 anos de prisão — nenhum irá arriscar. Este é um jogo clássico, em que os intervenientes terão tendência para confessar — e não beneficiar do que seria uma vantagem mútua, mas da qual não conseguem tirar

proveito. Primeiro, porque não têm ocasião de conversar; depois porque, mesmo que o fizessem, correriam o risco de uma traição. Não têm solução no sentido em que A e B nunca poderão escolher o melhor para ambos, onde exista uma vantagem acrescida para os dois.

Tudo se complica quando se imagina A e B a jogarem sucessivas vezes, tendo em conta a experiência dos seus mútuos comportamentos no passado. Por esta via podem ir ganhando confiança, ou não. Se um traiu uma vez, a reacção do outro será a vingança, ou simples **intolerância**, numa próxima oportunidade. Visualizemos agora uma situação em que existam múltiplos parceiros e perguntemo-nos qual será no tempo, de entre de todas as possíveis a melhor estratégia — por simulação em computador. Claro que uma coisa é pressupor que qualquer estratégia pode sempre cruzar-se com qualquer outra, que seja a hipótese de base, para se passar para uma situação em que já só nos queremos encontrar com alguns parceiros. Através dessas situações, mais realistas, começa a desenvolver-se uma teoria dos jogos em que passa a ser incluída a estrutura social.

No princípio dos anos 80, Robert Axelrod (1984) lançou uma competição mundial em computador, estabelecendo o seguinte jogo: cada indivíduo programa, no computador, a estratégia que entende para o seu jogador-programa; há pois uma população de jogadores-programas dos participantes, cada qual com a sua estratégia específica. Em cada passo sucessivo do jogo a decorrer no computador, cada jogador encontra-se com um outro jogador, tirado ao acaso, e jogam «coopero» ou jogam «traio», consoante o ditado pela sua estratégia. Se cooperarem, ganham os dois, segundo o quadro de pagamento estabelecido para o jogo; se um trair o outro então beneficia, mas o traído irá poder reformular o seu comportamento para o futuro. Qual será a melhor estratégia a seguir quando este jogo é repetido milhares de vezes em co-presença com as outras? A melhor estratégia depende de facto de quais as outras em presença, mas verificou-se — e a experiência foi repetida com uma diferente colecção de estratégias — que a melhor opção era a que foi chamada de «Tit-For-Tat (TFT)» — em português será algo como «toma lá, dá cá». A estratégia consiste em começar por cooperar e, a partir de então, repetir o que o adversário fizer. Se alguém me trai, à partida, irei também trair porque estou a imitar. Se à partida se cooperar, receber-se-á em troca cooperação por parte de quem tenha a mesma estratégia. Dentro de todas as opções possíveis — cooperar três vezes, trair duas, etc. — mostrou-se então que a modalidade TFT é, por excelência, uma tática vencedora que tende a invadir uma população de estratégias. «Invasão» porque perante alguém com uma estratégia vencedora, irei imitá-la, e se todos jogarmos TFT, todos ganharemos mais. Iniciam a cooperar, continuam, e estão sempre a ganhar o que resulte da cooperação. Só há uma circunstância em que o TFT não invade a

população: quando todos os outros são traidores e só um coopera — porque então não tem ninguém com quem cooperar. Porém, basta existirem dois jogadores TFT para que ganhem quando se encontrarem e comecem a invadir a população.

Em alternativa à imitação dos que mais ganham, pode-se ao invés disso reproduzi-los mais, isto é, fazer deles proporcionalmente mais cópias, e manter um tamanho fixo da população, sorteando a eliminação. Isto porque os que perdem mais facilmente são eliminados por existirem deles menos cópias, e porque só os que ganham mais que um certo patamar têm direito a reproduzir-se. O sentido desta interpretação é que se pretende, através do jogo, conquistar recursos e ocupar o espaço vital da população. Tal significa ter energia para se reproduzir, enquanto que perder é não poder insistir na continuidade genética/memética.

As estratégias vencedoras invadem a população e, como se auto suportam, são chamadas de evolutivamente estáveis. As coisas complicam-se naturalmente. A partir do momento em que se introduz mais memória, já é possível recordar quanto um dado indivíduo traiu, e quem o não fez, e avaliá-los face às nossas próprias traições, exercendo então **tolerância**, ou não. A estratégia não é aplicada cegamente a cada indivíduo que se encontra, mas para tal é preciso ter alguma memória, mesmo se limitada. Se alguém jogar o «Tit-For-Tat» e, de quando em vez, trair, pode arrecadar mais benefícios, na medida em que poderá existir por parte do outro um esquecimento **tolerante** desse dolo. Até hoje, com memória apenas da última jogada, a estratégia com maior êxito, superior ao TFT porque resiste ao erro ou ruído, é a «Win Stay, Lose Shift (WSLS)». Isto é, se ganhei com o último encontro, repito o que joguei; se perdi, mudo de jogada; de início coopero (Sigmund, 2010).

É ainda importante que, por parte de uma estratégia que se quer evolutivamente estável, haja ainda **tolerância** ao inevitável ruído evolutivo ou comunicação imperfeita, de modo a que possa recuperar de ciclos intermináveis de vingança e contra-vingança. Claro que haverá estratégias oportunistas que quererão fazer passar por ruído aquilo que foi traição deliberada, e beneficiar do perdão da dúvida. A **tolerância** necessita de policiamento. Começa então também a ser importante o reconhecimento de intenções, incluindo como as intenções alheias são afectadas pelo modo como elas reconhecem e **toleram** as nossas próprias intenções (Pereira & Han, 2010). No nosso trabalho recente (Han *et al.*, 2010), desenvolvemos uma estratégia reconhedora de intenções (IR), ganhadora à WSLS e a todas as outras, que é evolutivamente estável na presença de ruído substancial. Com apenas cerca de 10% de jogadores IR iniciais, a estratégia invade uma população de jogadores do

Dilema do Prisioneiro, ou de outros jogos clássicos — tal como o «Stag Hunt» ou «Caça ao Veado» — mesmo nas condições mais desvantajosas da matriz de pagamentos, ou seja quando nela o ganho em trair, e portanto a tentação de o fazer, é muito grande comparativamente a outros ganhos.

Um outro problema também se levanta quanto à possibilidade de se reencontrar, ou não, a pessoa que se trai. Se só a vir uma vez, a hipótese de traição aumenta. Mas se, pelo contrário, souber que a vou encontrar várias vezes, essa hipótese diminui. E sei que esse tipo de memória pode ser comunicada aos outros — posso dizer a alguém: «podes confiar naquele tipo, vai por mim» e a outra pessoa pode acreditar no que lhe digo porque adquirir alguma credibilidade. Se nunca traí uma pessoa, sou amigo — os nossos amigos podem acreditar em nós — e posso passar essa informação sobre a credibilidade dos outros, garantindo-lhes um certo grau de **tolerância** para com eles.

Quando é dada a opção de jogar, ou não, com um parceiro, a situação do jogo já se alterou. Pode, por exemplo, explorar-se a evolução da estrutura social. Isto quer dizer que começo por estruturar camadas de jogadores que gostam das respectivas estratégias. Os cientistas gostam de jogar com outros cientistas, os advogados com advogados — têm a mesma psicologia, já sabem com o que podem contar. Conseguem ter-se um ganho maior sabendo com quem é que cada um se pode relacionar. Tende-se, pois, a jogar com quem podemos ter uma relação de confiança, e cujo tipo de estratégia de pensamento nos seja familiar, para nossa própria defesa.

Relaciona-se isto com o jogo memético e também com o jogo genético. É a evolução da «pool» civilizacional para além da «pool» genética que importa. O problema não pode ser visto em termos de reprodução do indivíduo, mas sim como a reprodução de certos moldes e configurações de genes e memes que fazem com que uma sociedade, no seu todo, beneficie da coexistência dessa variedade de estratégias em co-presença. Também se pode provar que, em certos jogos, o que ganha é a combinação de estratégias, mantendo-se um equilíbrio entre elas — se uma for retirada o todo ficará prejudicado. Em geral os sistemas ecológicos funcionam assim. Trata-se de uma combinação de estratégias de vários organismos — uns parasitam os outros, que são por sua vez parasitados — para que o sistema possa viver, sobreviver e continuar a evoluir à custa desses múltiplos equilíbrios.

A dita cultura do altruísmo, desde que partilhada pelos elementos de um grupo, pode ser uma estratégia vencedora. Nestas condições, como já referi, pode sempre nascer um oportunista, um parasita, aquele que diz: «já percebi o jogo e vou fazer assim». Os outros,

entretanto, descobrem-lhe a artimanha e criam mecanismos para o detectar e não o **tolerarem**. Porém, cada adaptação fará dele um oportunista ainda mais sofisticado — por exemplo, o que descobre um buraco na lei para se aproveitar dela. É muito necessário saber se poderemos ser detectados quando se prepara uma traição aos elementos do grupo. Pelo contrário, se estamos prestes a ser descobertos, cresce o sentimento de culpa que pode, inclusive, levar-nos a confessar antes de sermos apanhados — uma outra forma de obter benefícios. A geração de um sentimento de culpa pode ser vista como uma estratégia para uma situação deste tipo.

O querer ser simplesmente altruísta, mesmo quando não esperamos nada em troca — porque as trocas não têm de ser imediatas — pode ser vantajoso pois, por vezes, pode interessar apenas que nos vejam a ser abnegados. Se alguém me vir a ser altruísta estarei a aumentar a minha credibilidade. E a melhor maneira de ganhar essa fama é sê-lo efectivamente, ou então fingir. Mas ao entrar num processo de fingimento poderemos chegar ao ponto de não termos consciência disso. Isto porque engano melhor se me enganar a mim próprio, caso contrário estarei demasiado consciente de que estou a enganar e poderei denunciar-me com um gesto, e deixar de ser **tolerado** no jogo. Claro que isto cria problemas de convivência, justamente porque aquele que engana está convencido que não está a enganar, em mercê deste mecanismo de eliminação da consciência.

A situação pode complicar-se de muitas formas. Temos interesse em ser altruístas na medida em que estamos a apostar pelo seguro. Numa sociedade em que o altruísmo é benéfico, mostrar que se cumprem as regras do jogo dará direito a recompensas, se chegar um dia em que se precise delas, desde que haja uma medida de **intolerância** para com os oportunistas. Temos os sistemas de segurança social, subsídios de desemprego etc., mas haverá também sempre um indivíduo que se aproveitará de uma maneira ou de outra; e nomeadamente aqueles que asseveram que tais sistemas são inúteis, de modo a não contribuírem.

Porém, há certas culturas e níveis culturais — e estou a pensar em dois — em que o mais importante é «dar». Na Nova Guiné, de seis em seis meses, há uma cerimónia em que se oferecem porcos, e onde quem conseguir presentear o maior número se torna, por uma época, o grande senhor. Os outros sentem-se na obrigação de dar porcos de volta, então criam muitos porcos — o que é sempre difícil por ser preciso alimentá-los seis meses antes de os oferecer — mas quem conseguir brindar mais obtém maior reconhecimento social. Desta forma o altruísmo e a dádiva são usados como mecanismos sociais para medir o

estatuto, saber quem é mais importante. Sucede outro tanto com os esquimós, nas cerimónias «potlatch» — um ritual de oferta de bens e distribuição da riqueza — que são igualmente a celebração de quem dá mais. Outro exemplo ainda são os cientistas — trabalham para mais investigar e mais publicar grátis, para serem mais considerados e obter retorno social. O jogo é conseguir dar mais, não o de dar o mínimo para receber o máximo, já que o ganho é medido com diversa moeda.

Outra faceta do jogador é a noção de honra, mais exacerbada no século XIX, que é a ideia de conquistar reputação e de saber mantê-la, se necessário pela coragem da força. Quando tal indivíduo é ofendido, saca da luva e riposta com duas bofetadas naquele que o ofendeu — mesmo que não se trate de nada em especial. O que está em causa é saber que aquele indivíduo responde sempre. Numa sociedade pouco organizada — em que o altruísmo não seja generalizado e onde nem todos retribuam — é preciso o tal sinal que defina: «eu sou daqueles que retribuo, e em nome da minha credibilidade e da minha honra comporto-me assim».

Perceber estes mecanismos e, oportunamente, usufruir até destas teorias em proveito próprio, permite a quem as conhece aproveitar-se da credulidade alheia.

Já referi que um passo seguinte é haver um sistema de linguagem, de compromisso pela linguagem e, claro, de engano. Poder dizer-se: «Eu sou pela estratégia A» e o outro responde: «Sou pela estratégia B», tendo cada um certos gestos ou rótulos que os identificam. Ficam dados os sinais, o que é estrategicamente benéfico pois evita confusões, problemas de traição ou surpresas. Brian Skyrms (Skyrms 1996, 2004, 2010), actualmente um dos grandes estudiosos desta área, mostra como aparece um sistema de sinais que, quanto a ele, evoluem e estão na origem das linguagens. Os sinais correspondem à necessidade de determinar que tipo de jogador se é, e quais os códigos secretos a que se tem acesso. Se for da Maçonaria, e outra pessoa disser que também é, vou pedir-lhe que o comprove, pelo que ela me dará um aperto de mão especial. E só quem o conhece saberá responder correctamente, o que permite identificá-lo como elemento legítimo do grupo. Claro que também surgem os imitadores, e onde há imitadores há quem os detecte e os não **tolere**. No fundo, esta “corrida às armas” põe um prémio na evolução dos nossos cérebros através dos jogos em que estamos envolvidos. Mas, repito, que as estratégias não são de um indivíduo só, mas de toda uma sociedade ou grupo — que pode ser político, religioso, etc. Por outras palavras, é muito importante saber com que parceiros é que jogamos.

Essa capacidade de escolher o parceiro, a priori, põe a questão de sabermos com que

tipo de companheiro é que podemos contar. A emissão de sinais identificadores dos grupos que já referi é muito económica, em termos de jogos; é mais económica do que uma jogada, e pode ser muito compensadora. Assim, nasce a teoria dos jogos com sinais. Mas quando há sinais, há aqueles que fingem o que são, há códigos que têm de ser secretos.

A escolha de parceiros cria assim grupos preferenciais, com suas vantagens unificadoras e de protecção. Mas o lado negativo disso é a definição de fronteiras entre grupos, e a instauração de uma competição grupal por recursos, a qual coloca e repete a um novo nível e escala a problemática do altruísmo/oportunismo e da **tolerância/intolerância**.

#### **4. Equilíbrios Estratégicos**

A teoria dos jogos preocupa-se com a expectativa de ganho média. Ninguém prevê o futuro e há que simular todas as hipóteses, tendo uma ideia de qual a probabilidade de elas ocorrerem. Um tópico de estudo é o chamado «Equilíbrio de Nash». Trata-se de um ponto de estabilidade estratégico em que nos prejudicaremos se um de nós alterar a percentagem de ganho, para mais ou para menos. Vamos ilustrar alguns fenómenos da evolução para um equilíbrio, observados experimentalmente em jogos de laboratório e de campo concebidos para o efeito.

Suponhamos o seguinte jogo, em que alguém com um bolo diz: «Tenho um bolo para ser dividido entre nós», o bolo é 100% e cada um vai ter de escrever a percentagem que quer. Se um indivíduo escrever que quer 80%, e eu também, tal ultrapassará os 100% e ficaremos sem o bolo — volta para o dono. Se a soma não ultrapassar os 100%, se totalizar 80%, restam 20% que regressam para o dono. Mas ganhamos os dois pois, se não ultrapassar 100%, dividimos consoante a percentagem. Se ambos escreverem 0 ficam sem bolo nenhum. É para dividir de acordo com a percentagem. Ora se um indivíduo disser 30% e eu disser 70% ficamos com o bolo completo e partilhamos desta forma — é um exemplo do «Equilíbrio de Nash». Se qualquer um de nós a aumentar, nem que seja 1% a ultrapassar os 100%, perdemos tudo. Se diminuirmos, a soma sendo menor, o que resta do bolo volta para trás e perdemos-lo nessa parte os dois. Este jogo tem infinitas soluções, desde que o total some em 100 — cumpre-se o equilíbrio e nada impede que joguemos assim. Mas se vir alguém a comer 70% pedirei mais um bolo, e a divisão encaminhar-se-á para 50/50. Porquê? A questão é que, normalmente, a estratégia ocorre no meio de um grupo. Somos muitos, há muitas pessoas com bolos e estamos todos a comê-los. Quando vejo que um par fez 50/50, e comprovo que resulta, o meu mecanismo de imitação vai intuitivamente levar-me a copiá-lo.

Há um mecanismo de imitação porque os que optam por 50/50 ficam com o bolo todo, engordam e têm mais filhos com seu investimento. Se se reproduzem mais, esta estratégia tende a invadir as outras. Os que optarem apenas por 30% do bolo, ficam mais magros, vão definhando comparativamente, não se podem dar ao luxo de ter filhos — e, a longo prazo, a sua estratégia é excluída. Os 50/50 tendem a invadir o campo não apenas por imitação mas também por mutação genética.

De facto, as estratégias não são fixas. Hoje digo 30%, amanhã 35% e, enquanto ser vivo, automaticamente faço explorações em torno de um equilíbrio. Experimento outras estratégias e as mais benéficas permanecem. A divisão 70/30 só é instável se houver outros a utilizar diferentes estratégias, se se preconizar a imitação e o cruzamento. A componente evolutiva de mutação, o baralhar e dar de novo, é essencial para se atingir um «Equilíbrio de Nash» e permitir que se evolua para outra solução. Regressemos ao jogo do bolo, mas vamos substituí-lo por uma nota de 100 dólares a ser dividida por dois. Suponhamos que peço 30, outra pessoa 70. Mas modifiquemos isto um pouco — será um árbitro a decidir quem terá os 70 e quem terá os 30. Se conhecer o árbitro e o corromper direi 99% ou mesmo 100%, e ele consentirá. Mas se, pelo contrário, ele for justo e meu desconhecido, é óbvio que direi 50%. Por outro lado, se em vez de pelo árbitro fosse decidido ao acaso, ou decidido arbitrariamente por um computador, o resultado seria diferente. O facto de haver, ou não, um árbitro, bem como o tipo de árbitro, vai fazer uma grande diferença — a tal igualdade de distribuição prende-se agora com a necessidade de um sistema de justiça com avaliadores — é assim que ele nasce. Encontraremos o surgimento dos 50/50, que a nossa intuição afirma ser correcto, tal nos está marcado nos genes. Tão geral e comum é esta problemática que teve de ser resolvida durante milhões de anos, revirada e tornada a resolver.

Há um outro jogo a considerar, envolvendo quatro pessoas. Inicialmente um cientista, numa experiência de laboratório, divide uma dada quantidade de dinheiro igualmente por 4 pessoas, e estas devem decidir com quanto vão contribuir para um depósito comum, o qual o cientista duplicará para nova distribuição. Suponhamos que eu ponho 10% e os outros fazem o mesmo e o bolo resultante será de novo dividido irmãmente. O problema é evidente. Contribui-se com um valor total, e o cientista iguala o que está nele, duplicando-o e distribuindo-o depois pelos quatro. Ou seja, há vantagem em contribuir para o montante comum porque toda a prestação será duplicada. Mas também posso ter regalias se não contribuir para o bolo comum — porque os outros o vão fazer e, de qualquer forma, irei beneficiar.



São estas as regras explícitas, e acontece que a maioria dos testados tem tendência para arriscar ceder metade da quantia que recebeu para o bem comum o qual, sendo duplicado, fica a 100%; sendo depois dividido por quatro, resulta em 25% para cada e, no desfecho, só se perdeu um quarto. Também se sabe durante quantas jogadas isto vai acontecer — umas 10 ou 20. Mas, para o final, os participantes já têm tendência para depositar menos dinheiro. Assim, de início contribuem, pretendendo ganhar a confiança dos outros, mas depois começam a retroceder, para ver se beneficiam um pouco mais antes de o jogo terminar.

Poderemos ainda complicar o jogo. Posso querer punir alguém que não pôs nada ou que, em média, está a depositar menos do que deveria. Isso, no entanto, irá acarretar um custo pessoal. Se quiser punir alguém em 70%, tenho de entrar com 30% de modo a somar 100% de uma quantia total devolvida ao experimentador, por mim e pelo punido. Para punir tenho de pagar, e para isso tenho de estar efectivamente disposto a cumprir o meu intento. Acontece que se começa a punir aqueles que põem menos, de forma a que o culpado aumente as suas prestações. O jogo assim alterado — verifica-se experimentalmente — faz aumentar as contribuições até 100%, tanto para duplicar o resultado como para evitar a punição. O facto sucede mesmo que haja vários grupos, e que cada pessoa mude sempre de grupo e nunca reencontre os antigos parceiros — o comportamento de punição mantém-se. O que se conclui é que não é uma punição educacional, pois os grupos nunca se refazem, mas que já existe em nós uma tendência para punir o infractor, para o obrigar a cumprir. Pode também argumentar-se que algo faz com que as regras do altruísmo permaneçam num grupo alargado. Não se pretende educar um indivíduo particular, mas apenas manter uma cultura geral de grupo. No entanto, é também por vingança, e há um mecanismo de retaliação de tal modo forte que, mesmo quando se muda de grupo, esse «traço» continua a funcionar. O aparecimento da emoção da vingança é explicado nestes termos.

Há ainda a referir mais um outro jogo, dito do «ultimato». Alguém aparece com 100 dólares e dá-mos. Destes ofereço 70 dólares a outro indivíduo. Se ele aceitar, sabendo que fico com 30, faz-se a divisão. Se não aceitar, ficamos ambos sem nada. Eu poderia ter tendência para oferecer 1 dólar ao outro, que o aceitaria pensando: «assim como assim, não ia ganhar nada, nem tão pouco o esperava, portanto aceito». Mas a maioria das pessoas não aceita, e só o faz se o dinheiro oferecido for entre 40 e 50 dólares. Grande parte dos donatários também costuma oferecer à roda dessa quantia, ficando com um pouco mais do que os outros. Se se oferece menos do que 40 os outros tendem a rejeitar, justificando-se com algo como: «nessas circunstâncias não quero nada». Estão «irracionalmente» dispostos a

abdicar de um puro ganho adicional pois, racionalmente, deveria haver desinteresse pelo não ganho do outro que provocam. Em virtude da nossa tendência inata, já sabemos que os jogos sociais são repetidos. Mesmo que se diga às pessoas que o jogo é só por uma vez, a nossa programação genética — e memética — recusa aceitar pequenas quantias, para fazer com que os outros não sejam tão egoístas, para manter a dita cultura altruísta do grupo. Porém, quando a percentagem é decidida por um computador — entra alguém que me dá 100 dólares e eu apenas carrego no botão para ouvir as instruções de distribuição do computador — a pessoa normalmente aceita tudo por considerar ter havido um decisor impessoal.

Nas tribos Machiguenga da Amazônia, e Papua da Nova Guiné, oferecem mais. Na civilização ocidental o hábito é aceitar 45%, na Amazônia contentam-se com 26% e na Nova Guiné oferecem acima de 50%, pois já estão habituados a presentear os tais porcos, onde entra em acção o conceito da dívida para com o outro e do respeito social. O jogo está a ser visto num contexto mais vasto, não apenas como uma experiência que nasce e morre ali, como nos habituaram as transacções dos mercados comerciais.

É curioso que, nestes jogos experimentais, certos fenómenos são congeminados para trazer ao de cima aspectos que variam com a idade. Um exemplo é a auto-estima, responsável pela rejeição da quantia baixa de forma a ninguém ficar marcado como aquele que se contenta com pouco e a quem não é preciso dar muito. A auto-estima impele-nos, mesmo quando sem consciência clara de uma estratégia da recusa, como o empregado de restaurante que rejeita uma gorjeta pequena.

Regressemos ao jogo do bolo comum com possibilidade de punição. Mesmo circulando entre vários grupos, nunca reencontrando os antigos parceiros, e excluindo a noção de, por educação — pondo essa variável entre parênteses —, a punição mantém-se. Do ponto de vista dos jogos, a vingança é o sentimento que conduz à punição e é extremamente útil, sobrevivendo por tal memeticamente.

Muitas das nossas emoções são estratégias de engano porque, a partir do momento em que existem, e cientes da sua característica indissociável do ser humano, podemos tentar provocá-las e passar para o segundo nível: o do jogo emocional. Mas, primeiro, o jogo tem de ser visto do ponto de vista da sobrevivência pelo uso da melhor estratégia. Os que ganham recursos sobrevivem, os que não o fazem extinguem-se. Mas a essência do jogo é que podem dois ganhar ao mesmo tempo ou então nenhum ganhar. As simulações computacionais, em jogos de grande sofisticação e complexidade topológica, mostram qual a melhor estratégia que sobrevive, se multiplica e é estável, e demonstram que o altruísmo e a cooperação

emergem e se espalham, em condições muito latas.

Não se podem ignorar as mutações. A qualquer altura uma estratégia pode ser alterada e o indivíduo experimentar outras. Pode haver uma mutação evolutiva em que as pessoas desempenhem de maneira diferente as suas tarefas de participação. Face a mutações, não estamos já perante os jogos clássicos em que pode haver infinitos pontos de equilíbrio imutáveis, nos quais cada ponto de equilíbrio surge porque, uma pequena alteração do valor de jogada da estratégia em curso, não traz benefícios ou evita malefícios adicionais. Por definição, todos estes pontos são de equilíbrio. Mas não será de equilíbrio clássico se houver mutações que façam aparecer estratégias variantes inesperadas. Neste caso, e se o ponto de equilíbrio mesmo assim resistir, a estratégia diz-se evolutivamente estável, generalizando-se deste modo o conceito de equilíbrio de Nash. A Teoria dos Jogos Evolucionários estuda tais circunstâncias.

Mesmo em situações simuladas, onde não haja o factor ensino nem o factor aprendizagem, e em que os indivíduos saibam que, a cada jogo, não vão voltar a estar com os mesmos parceiros, continuam a executar determinadas estratégias que já estão impressas no nosso cérebro e na forma como nos comportamos. Não tem a ver com a consciência de querer influenciar, mas sim com algo já relacionado com sentimentos e cognições mais profundas.

Na verdade a estrutura dos jogos, a estrutura das repetições e a estrutura dos encontros — o escolher ou não com quem nos encontramos, a casa de quem vamos e quem recebemos na nossa — todo esse jogo, todo esse espaço de jogos possíveis, foi jogado durante a aprendizagem da espécie. Há uma aprendizagem genética ou memética que desenvolve esses quadros. A evolução em si é um jogo de estratégia.

A própria racionalização pode fazer parte de uma estratégia. Um indivíduo, se quiser disputar alguma coisa, racionaliza. A culpa tende a aparecer quando começa a sentir que poderá ser apanhado e, como já se disse, essa culpa acaba por poder levar à confissão prévia. O próprio riso é uma estratégia que evoluiu de uma demonstração de agressividade para uma estratégia de apaziguamento do outro. Podemos olhar para as características fisiológicas do riso e tentar perceber quais foram as primeiras motivações que fizeram com que, fisicamente, o nosso corpo se tivesse adaptado à produção de determinadas substâncias e posteriores consequências.

Os jogos podem ser tratados como tipificações de organização social, como se fossem equações lógicas sujeitas a avaliação teórica e/ou experimental. O seu conhecimento

é, ele próprio, um jogo em que poderemos todos ganhar porque as suas conclusões fornecem um melhor conhecimento da realidade a partir do qual poderíamos avançar para outro jogo melhor. Há resultados cumulativos que nos fazem passar para o grau seguinte, vamos complexificando o nosso conhecimento e beneficiamos daquele conjunto. Este tipo de jogo tem de ser jogado com uma tática muito rigorosa.

Começámos por dizer que existe um jogo combinatório composto por genes, e que certas estruturas estáveis conseguem complexificar-se e dar origem a uma combinação geradora, a um sistema nervoso com capacidade de reprodução de ideias, bem assim como de modelação de exterioridades, de fazer retrospectivas, almejar previsões futuras, etc. Como é que a cognição chegou aqui através da evolução? Hoje a ciência já tem capacidade para prognosticar e dar algumas respostas ponderadas a estas questões. Mas podemos ver que, em larga escala, o jogo é sobreviver e multiplicar-se, quiçá por mera cópia — pois só conseguindo essa reprodução genético/memética há um futuro em que o jogo continua a fazer sentido. Só assim se pode ainda complicar mais, e só complicando mais é que se pode aspirar a ser um melhor jogador e a tirar melhor proveito dos piores jogadores, fazendo-os evoluir para melhores, de modo a alcançar benefícios máximos comuns, impossíveis sem a cooperação generalizada.

Estamos inseridos em jogos, estratégias, convivências de estratégias evolutivas. Enquanto a psicologia e a psicanálise se preocupam muito com o passado do indivíduo, nunca olharam verdadeiramente para o passado da espécie. Os jogos fazem com que haja fantasmas escondidos em termos de certas cognições, pois no jogo evolutivo pode haver vantagem potencial em enganar o outro enganando-se até a si próprio. Em termos de competição evolutiva coexistem, no entanto, outras variantes como os jogos em que todos podem ganhar, mas envolvendo os problemas do altruísmo intra e inter-grupo, sempre sujeito ao emotivo individual. Os comportamentos das sociedades humanas, em termos de fenómenos, emergentes ou não, são tão subjacentes que muitas vezes nem os próprios actores se dão conta deles, e expressam-se porque tal corresponde a uma evolução cognitiva codificada no inconsciente colectivo, que é circunstancialmente activável. As próprias emoções, que vulgarmente se vêem opostas à racionalidade, acabam por poder ser estratégias compiladas, que sobreviveram enquanto tal num determinado tipo de jogo. Pode imaginar-se, então, como os comportamentos emocionais e sexuais em geral cumprem com tais propósitos.

Percebemos com facilidade, através de simulações em computador das populações

em competição e respectivos planeamentos, que as estratégias vencedoras se vão alterando. Variam de acordo com as probabilidades de se vir a encontrar um oponente com uma tática diferente, ou quando já nos encontramos organizamos para lidar com sujeitos que partilham os nossos «ardis» de forma a poderem cooperar a fim de obter melhores resultados. Descobre-se aqui a organização social, e é por estes motivos que surgem os sinais exteriores — de entre eles, a linguagem revela-se ser um dos mais importantes — identificadores dos tipos sociais, onde se inclui a figura dos oportunistas que fingem cooperar para retirar um qualquer proveito. As estratégias, no entanto, também progrediram no sentido de detectar os ditos oportunistas, havendo quem sustente que o cérebro evoluiu para uma adaptação complexa ao sistema social, com as suas vicissitudes e abusadores, já que para viver neste mundo natural não é preciso um cérebro muito sofisticado, como comprovam muitos dos animais.

É muito interessante que hoje em dia todos estes assuntos se tenham começado a estudar por via de modelos matemáticos e algoritmos, usando o computador para simular estas estratégias e permitir-nos compreender os seus fenómenos emergentes. No estado actual, começamos a instilar nos participantes dos jogos capacidades cognitivas mais flexíveis, oriundas da Inteligência Artificial, como o mencionado reconhecimento de intenções, permitindo desse modo alcançar novos níveis de sofisticação dos jogos e de estudo do sucesso cooperativo, neles incluindo a **tolerância** individual e grupal.

## 5. Altruísmo/Oportunismo Grupal

Como referimos, sempre que há altruísmo, há oportunismo. Imaginemos, por exemplo, o que pode acontecer com o modelo social europeu. Tem reformas garantidas, tem um sistema de saúde para todos — a sociedade criou mecanismos de altruísmo. Obviamente, há pessoas a meter baixas falsas, que se aproveitam de todos os interstícios para beneficiar desse altruísmo. Tem que se estar não só a reprimir os transgressores, mas também aqueles que estão encarregues de os reprimir e o não fazem: os corruptos. Há indivíduos que são comprados pelos prevaricadores porque, obviamente, o transgressor tira do seu benefício uma fatia para pagar a quem o devia detectar e não o fez. Este jogo entre altruísmo e parasitismo é inevitável — tão inevitável quanto a força da gravidade. Porque sempre que há mutações que promovem o altruísmo, há mutações que criam oportunistas que se vão valer da sua existência. E muitas vezes vingam.

Tem sido provado, em modelos matemáticos dos jogos evolutivos, que a selecção do

grupo tem a ver com a pressão memética para o cumprimento das regras do jogo. Mas que tal cumprimento só se estabelecerá se também forem penalizados aqueles que não velarem por isso quando têm oportunidade de o fazer. Tal é o caso porque cuidar e penalizar têm um custo que, se pudermos, evitamos, se não nos disser directamente respeito, caso não sejamos nós próprios penalizados por não o fazer.

Temos essa experiência pessoal no trânsito — muitas vezes reprimimos ou impedimos preventivamente outro de fazer uma manobra, perante um carro que não sabemos se está, ou não, a tentar entrar na fila violando uma lei de trânsito. Pelo sim pelo não, impedimos-lhe o caminho — estamos a velar pelas regras do sistema, estamos a dizer aos oportunistas, manifestos ou aos potenciais, que existem regras e que não são tolerados violadores.

Em termos das sociedades humanas, o acima quer dizer que o altruísmo não pode ser para todos. Uma pessoa é altruísta para com o grupo a que pertence. É evidente que, se pertence a um grupo, há grupos exteriores ao seu que vão tentar aproveitar-se dele.

Imagine-se um grupo humano no Paleolítico Superior que cultiva, que tem seu gado domesticado, tem já o seu milho também controlado, até já fez algum apuramento — usou os mecanismos da selecção natural, de forma artificial, para melhorar as espécies do seu gado. Vive com uma certa riqueza, tem a sua sociedade montada, tem o seu ciclo de reprodução, as suas mulheres capazes de gerar crianças com boa saúde. É óbvio que um outro grupo terá sempre a tentação de atacar este para lhe retirar os recursos que aquele construiu. Porque os recursos correspondem a um investimento, a organização social também corresponde a um investimento, e quem não faz esse investimento melhor fará se roubar.

Há mecanismos para os grupos se entenderem, até porque têm de trocar genes entre si. Há genes de uns que são exportados para os outros e há intercâmbio. Há mecanismos de permutas comerciais que são muito importantes. A troca comercial vai criando relações de confiança, o que instaura o problema da credibilidade: afinal, com que parceiro é que estou a jogar; afinal, com que indivíduos prefiro transaccionar. Mas há sempre os piratas, e ainda hoje há pirataria nos mares, lá onde não há fiscalizadores da lei.

O altruísmo recíproco é para com um grupo que sabemos se está a comportar segundo certas regras. Não vamos ser altruístas para com desconhecidos, sobretudo se de outro grupo, cujas regras de jogo ignoramos completamente. Não sabemos se estão a enganar-nos, se têm segundas intenções, e quais as suas atitudes para com outros enquanto grupo. É necessário criar uma confiança prévia, que deverá passar pela declaração de

identidades e intenções, e pela manutenção de coerência.

Já se referiu a selecção natural do indivíduo, mais relacionada com os genes. Mas, quando os indivíduos se agrupam em unidades, pode dizer-se que também há uma selecção grupal. No entanto, dizer não basta, é preciso prová-lo matematicamente e com simulações em computador. Durante muito tempo rejeitou-se esta noção de selecção grupal, excepto em circunstâncias muito específicas e raras. Na verdade, prova-se com simulações matemáticas que, na verdade, os indivíduos dos grupos tinham de trocar genes para diversificarem a sua «pool», para evitarem as doenças hereditárias. Porque, quando temos duas hélices, o gene que está em frente de outro que apresente uma mutação maléfica, pode corrigi-lo. Porém, se são os dois iguais, manifesta-se uma qualquer doença congénita. Por isso há todas as regras de proibição do incesto, que aparecem espontaneamente. Os grupos que não aplicavam essas regras não resistiam às enfermidades resultantes desse «inbreeding». Há que trocar genes. O grupo tem de estar sempre com as fronteiras abertas.

Só muito recentemente se começou a olhar para modelos mais sofisticados e a fazer os memes entrar nas simulações. Porque os memes codificam algoritmos, rotinas sociais, que dão uma identidade comportamental e uma unidade ao grupo, e são interpretáveis em variadas e sobreponíveis alianças relacionais e seus distintos mecanismos.

O reverso da medalha da unidade do grupo é naturalmente a competição entre grupos. Por exemplo, um grupo pode, por via da sua ideologia memético-religiosa — através duma vinculação divina partilhada —, ser mais aguerrido, mais agressivo, e aproveitar todas as oportunidades para devassar os outros. O comportamento do grupo, para dentro e para fora de si próprio, passa agora a ser também determinado pelos memes, um mecanismo reprodutor mais rápido e flexível que o genético — como já referimos, os genes demoram uma geração a transmitir-se enquanto os memes gastam apenas o tempo de uma aculturação. O que sobrevive é essa combinação memética do grupo face aos outros grupos e respectivas estratégias. Claro que os genes não deixam de lá estar. E existe toda a problemática de como é que estes dois níveis reprodutores co-habitam.

Começamos a entrar em terra incógnita, a da problemática da interacção entre memes e genes. Porque, por um lado, em algumas ocasiões, eles são antagonistas, mas noutras ocasiões têm interesse em cooperar. Os memes são relativamente recentes em termos evolutivos. Foi a nossa espécie quem os levou a um refinamento progressivo que só foi possível por termos uma linguagem. A linguagem — e não tem de ser necessariamente a palavra falada, pode ser uma linguagem gestual — é a forma por excelência de transmitir os

memes. Essa reprodução memética, nas nossas sociedades de hoje em dia, tende a dizer que os indivíduos devem ser tratados de maneira igual seja qual for a sua combinação genética (seja qual for a cor da pele, sejam ou não deficientes, etc.). A nossa cultura memética diz que não interessa a diferença genética — são todos tratados memeticamente da mesma maneira. Numas sociedades é assim, noutras será diferente. Percebe-se que os próprios memes conseguem já controlar os genes: pela manipulação genética podem manusear-se, no bom sentido, curando doenças transmissíveis hereditariamente; ou também no mau, dado que poderiam ser usados para programas de eugenia e melhoramentos da raça.

Ainda estamos muito no princípio de saber como é que funcionam, em articulação, os dois mecanismos reprodutores referidos. De uma perspectiva computacional, no fundo, poderão ser encarados em termos de estratégias em co-presença — e pouco interessa se o seu suporte é bioquímico, se é a linguagem de programação C++ ou outra coisa qualquer. Em abstracto, o que estamos a estudar são certas funcionalidades em co-presença. Mas pode dizer-se que a evolução humana é cada vez mais memética (Richerson & Boyd, 2006).

## **6. Redes Complexas de Entidades Mentais: um domínio novo de investigação**

Com a nossa investigação sobre estas redes pretendemos compreender, e explicar, de que modo alguns comportamentos colectivos sociais emergem a partir de capacidades cognitivas dos agentes individuais, em comunidades onde os indivíduos são nós de redes adaptativas complexas, as quais se auto-organizam como resultado da referida cognição dos agentes individuais. Portanto, necessitamos investigar que capacidades cognitivas têm impacto na emergência de propriedades da população e, como resultado, quais as capacidades cognitivas que determinam a emergência de um dado comportamento social colectivo. Assim, a inovação chave consiste na articulação de dois níveis distintos de simulação, individual e social, e na sua dinâmica combinada. Isto tem que ser realizado tanto ao nível da modelação como ao nível da implementação computacional.

A evolução biológica é caracterizada por um conjunto de processos altamente enovelados, os quais produzem um tipo de inovação combinatória extraordinariamente complexa. Um termo genérico frequentemente usado para descrever esta vasta categoria de processos geradores de ordem espontâneos, e fracamente previsíveis, é «emergência». Este termo tornou-se um tipo de sinal para referir os paradigmas de investigação sensíveis a factores sistémicos. Conjuntos dinâmicos complexos podem assumir espontaneamente padrões de comportamentos ordenados que não são previamente imagináveis a partir das



propriedades dos seus elementos componentes ou dos seus padrões de interacção. Existe imprevisibilidade nos fenómenos auto-organizáveis — de preferência denominados «evolucionários» —, com níveis de complexidade consideravelmente diversos e variáveis.

O que é que emerge? A resposta não é algo de definido mas antes alguma coisa como uma forma, ou padrão, ou função. O conceito de emergência aplica-se a fenómenos em que as propriedades relacionais predominam sobre as propriedades dos elementos componentes na determinação das características do conjunto. É com respeito a configurações e topologias, e não a propriedades dos elementos, que se registam processos de emergência (Deacon, 2003).

Como atrás se referiu, duzentos anos depois do nascimento de Darwin, e 150 depois de *A Origem das Espécies*, várias questões fundamentais sobre a evolução permanecem por responder. O problema da evolução da cooperação e emergência da acção colectiva — atravessando áreas tão diversas como Biologia, Economia, Inteligência Artificial, Ciência Política, ou Psicologia — é um dos maiores desafios interdisciplinares que a ciência enfrenta hoje em dia. Compreender os mecanismos evolucionários que promovem e mantêm o comportamento cooperativo é tanto mais complexo quanto mais intrincada a complexidade intrínseca dos indivíduos participantes. «Complexidade» reporta-se ao estudo da emergência de propriedades colectivas em sistemas com muitas componentes interdependentes. Estas componentes podem ser átomos ou macro moléculas num contexto físico ou biológico, e pessoas, máquinas ou organizações num contexto socioeconómico.

Esta complexidade foi explorada em trabalhos recentes, onde é mostrado, entre várias outras propriedades, que a diversidade associada às estruturas de interacção, de aprendizagem e de reprodução de uma população, é determinante nas escolhas dos agentes e, em particular, para o estabelecimento de acções de cooperação (Santos *et al.*, 2006, 2008). Estes estudos foram baseados no quadro de referência providenciado pela Teoria dos Jogos Evolucionários (Maynard-Smith, 1982) — atrás referida — e pelas teorias da Ciência das Redes (Dorogotsev & Mendes, 2003), combinando instrumentos de modelação dos sistemas de multi-agentes e dos sistemas adaptativos complexos.

«Egoísmo» diz respeito à lógica por detrás do incessante dar-e-receber que impregna a nossa vida em sociedade. Não significa cobiça cega, mas sim interesse individual esclarecido. Assim, «A evolução da cooperação» tem sido considerada um dos problemas do século mais desafiantes. Pensadores através dos tempos têm ficado fascinados pela questão da consideração por si próprio versus consideração pelo outro, mas a utilização de modelos

formais e jogos experimentais é relativamente recente. Desde que Robert Trivers (Trivers, 1971) introduziu a abordagem evolucionária à reciprocidade, os jogos têm servido de modelos para explorar a questão.

A modelação de sociedades artificiais baseada no indivíduo expandiu muito o leque da teoria dos jogos. As sociedades são compostas por sujeitos fictícios, cada um equipado com uma estratégia especificada por um programa. Os indivíduos encontram-se aos pares ao acaso, num jogo conjunto iterado.

A comparação das recompensas acumuladas é usada para actualizar a população: os indivíduos com mais sucesso produzem mais descendentes, os quais herdaram a sua estratégia. Alternativamente, em vez de herdarem estratégias, os novos indivíduos podem adaptar-se copiando, dos indivíduos conhecidos, as estratégias que melhores resultados obtiveram. Em ambos os casos, a frequência de cada estratégia na população varia ao longo do tempo, e o conjunto pode evoluir para uma situação estável. Podem também introduzir-se pequenas mutações minoritárias, e estudar o modo como elas se disseminam.

A Teoria dos Jogos Evolucionários (Evolutionary Game Theory - EGT) é necessária para compreender o porquê e o como do que leva agentes com interesses individuais a cooperarem para o bem comum. A EGT enfatiza as dinâmicas determinísticas e os processos estocásticos. As interações repetidas permitem a exploração da reciprocidade directa entre dois jogadores (Sigmund, 2010).

Na abordagem EGT as estratégias com maior sucesso tornam-se mais frequentes na população. Laços familiares, relações de vizinhança, e diferenças individuais, podem ou não ser tidas em conta. Na reciprocidade indirecta (Nowak & Sigmund, 2005), os jogadores interactivam no máximo uma vez, mas têm conhecimento do comportamento passado dos parceiros. Isto introduz a preocupação com a reputação, e eventualmente o julgamento moral (Pacheco *et al.*, 2006; Pereira & Saptawijaya, 2009).

As estratégias baseadas na avaliação das interações entre partes terceiras permitem a emergência de tipos de cooperação imunes à exploração, porque são canalizadas apenas para os que cooperam. Questões de justiça e confiança, com os seus incentivos negativo (castigo) e positivo (ajuda), são fundamentais em jogos com grandes grupos diversificados de indivíduos dotados de capacidades de reconhecimento de intenções. Permitindo-lhes optar por comportamentos distintos com base em informação sugestiva das intenções dos seus parceiros de interacção, são também, por sua vez, influenciadas pelo comportamento do próprio indivíduo, e ficam sujeitas à **tolerância** ao erro e ao ruído na comunicação.

Esperamos que estas capacidades de compreensão possam ser transformadas em mecanismos de organização e controlo espontâneo de enxames de agentes robóticos autónomos.

Com este objectivo, estudámos o modo como as estratégias dos jogadores se adaptam em populações envolvidas em jogos de cooperação. Utilizámos as técnicas da EGT e consideramos jogos como o «Dilema do Prisioneiro» e a «Caça ao Veado» sucessivamente repetidos, e mostramos como os actores participando em iterações destes jogos podem beneficiar em possuir a capacidade de reconhecer a intenção dos outros actores, conduzindo a uma aumento de cooperação (Han *et al.*, 2010).

O reconhecimento de intenções é realizado utilizando «Redes de Bayes» (Bayesian Networks — BN) e tomando em conta a informação de sinalização actual, bem com as confiança e **tolerância** construídas a partir de jogadas anteriores. Experimentamos com populações com fracções diferentes de diversas estratégias de modo a calcular, em particular, qual é a fracção mínima de Indivíduos com Reconhecimentos de Intenções para a cooperação emergir, invadir e prevalecer.

## 7. Direcções para o Futuro

O facto de, numa população em rede, os indivíduos poderem ter mais capacidades cognitivas e escolher dinamicamente as suas regras de comportamento — em vez de agir a partir de um conjunto predeterminado — fornece ao sistema uma dinâmica muito mais rica e realística, que vale a pena explorar. No âmbito deste novo paradigma, os indivíduos deverão ser capazes de colocar hipóteses, olhar para futuros possíveis, preferir probabilisticamente, deliberar, enviar e responder a sinais, ter em conta a história e a confiança, formar coligações, adoptar e afinar estratégias de jogo.

Na verdade, o estudo das propriedades emergentes de populações em rede complexa ainda tem a investigar o cerne cognitivo de cada um dos átomos sociais. Dada a pleora de possibilidades de modelação das capacidades cognitivas, têm que ser identificadas as características intrínsecas que, por si só, providenciam o comportamento individual mais proeminente, e conducente a um comportamento colectivo emergente não antecipado, mas cooperativo e **tolerante**. É necessário considerar a delimitação do número de parâmetros disponível, de modo a tornar o estudo tratável, e torná-lo também susceptível de implementação em «robots» futuros, no domínio da engenharia e não apenas da simulação.

Tudo considerado, dever-se-ão ter em conta tipos diferentes de dinâmica de

cooperação individual e social, quer determinísticas quer estocásticas, e utilizar interações de N-pessoas modeladas em termos de jogos evolutivos que constituem metáforas dos dilemas sociais de cooperação. Parece-nos que o Reconhecimento de Intenções, e seu uso no abranger da **tolerância**, é uma pedra basilar por onde começar, naturalmente seguido da capacidade de estabelecer e honrar «compromissos», como ferramenta em direcção à sucessiva construção das intenções colectivas e da organização social (Searl, 2010).

## 8. Coda

A Psicologia e a Teoria dos Jogos Evolucionárias providenciam um enquadramento teórico e experimental para o estudo das trocas sociais, onde **tolerância** para com o grupo de dentro e discriminação e **intolerância** para com o grupo de fora são o verso e anverso da mesma moeda. A receita estratégica «ama o teu próximo» contem amiúde e paradoxalmente a génese do ódio e da guerra, porque o próximo refere-se à «tribo», e os deuses são árbitros que estão do nosso lado.

O reconhecimento das intenções alheias, que inclua imaginar o reconhecimento que os outros têm das minhas, com **tolerância** a erros, poderá conduzir a equilíbrios evolutivos de ganho/ganho entre grupos. A manifestação de intenções será um facilitador para tal. Além disso, por meio de objectivos conjuntos com comprometimento, pode promover-se a inclusão de grupos num outro mais global. A ultrapassagem da **intolerância** beneficiará desses dois níveis de interacção manifesta.

**Agradecimentos.** Agradeço a Helena Barbas e Francisco C. Santos a inestimável ajuda na melhoria do texto final.

## Referências

- Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Cambridge: Basic Books.
- Bowlby, J. (1971). *Attachment and Loss*, vol 1: *Attachment*. London: Penguin Books.
- Buss, D.M. (2005). *The Handbook of Evolutionary Psychology*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Damásio, A. (2010). *O Livro da Consciência*. Lisboa: Círculo de Leitores.
- Deacon, T.W. (2003). The Hierarchic Logic of Emergence: Untangling the Interdependence of Evolution and Self-Organization, in: Weber, H.W. & Depew, D.J., *Evolution and Learning: The Baldwin Effect Reconsidered*. Cambridge: MIT Press.
- Dennett, D.C. (1995). *Darwin's Dangerous Idea – Evolution and the Meanings of Life*. New York: Simon & Schuster.
- Dorogotsev, S.N., Mendes, J.F.F. (2003). *Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW*. Oxford: Oxford University Press.

- Dunbar, R.I.M., Barrett, L. (2007). *Oxford Handbook of Evolutionary Psychology*. Oxford: Oxford University Press.
- Gangestad, S.W., Simpson, J.A. (2007). *The Evolution of Mind*. New York: The Guilford Press.
- Han, T.A., Pereira, L.M., Santos, F.C. (2010). Intention Recognition Promotes The Emergence of Cooperation. (*submitted*).
- Hölldobler, B., Wilson, E.O. (2009). *The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*. New York: W.W. Norton.
- Kirkpatrick, L.A. (2005). *Attachment, Evolution, and the Psychology of Religion*. New York: The Guilford Press.
- Laland, K.N., Brown, G.R. (2002). *Sense & Nonsense: Evolutionary Perspectives on Human Behaviour*. Oxford: Oxford University Press.
- Maynard-Smith, J. (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mithen, S. (1996). *The Prehistory of Mind*. London: Thames & Hudson Ltd.
- Nowak, M.A., Sigmund, K. (2005). Evolution of indirect reciprocity. *Nature*, 437, 1291-8.
- Pacheco, J.M., Santos, F.C., Chalub, F.A. (2006). Stern-judging: A simple, successful norm which promotes cooperation under indirect reciprocity. *PLoS Comput. Biol.*, 2, e178.
- Pereira, L.M. (2009). Evolving Towards Evolutionary Epistemology, *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems*, 1(1-2):68-76.
- Pereira, L.M., Saptawijaya, A. (2009). Modelling Morality with Prospective Logic, *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems*, 1(3/4):209-221.
- Pereira, L.M., Han, T.A. (2010). *Intention Recognition with Evolution Prospection and Causal Bayesian Networks*, "Computational Intelligence for Engineering Systems vol. 3: Emergent Applications", Berlin: Springer.
- Platek, S.M., Keenan, J. P., Shackelford, T.K. (2007). *Evolutionary Cognitive Neuroscience*. Cambridge: The MIT Press.
- Richerson, P.J., Boyd, R. (2006). *Not By Genes Alone: How Culture Transforms Human Evolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2007). *Mirrors in the Brain: How our Minds Share Actions and Emotions*. Oxford: Oxford University Press.
- Santos, F.C., Pacheco, J.M., Lenaerts, T. (2006). Evolutionary dynamics of social dilemmas in structured heterogeneous populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*, 103, 3490-4.
- Santos, F.C., Santos, M.D., Pacheco, J.M. (2008). Social diversity promotes the emergence of cooperation in public goods games. *Nature*, 454, 213-6.
- Searl, J. (2010). *Making the Social World: The Structure of Human Civilization*. Oxford: Oxford University Press.
- Shennan, S. (2002). *Genes, Memes and Human History – Darwinian Archaeology and Cultural Evolution*. London: Thames & Hudson Ltd.
- Sigmund, K. (2010). *The Calculus of Selfishness*. Princeton: Princeton University Press.
- Skyrms, B. (1996). *Evolution of the Social Contract*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Skyrms, B. (2004). *The Stag Hunt and the Evolution of Social Structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Skyrms, B. (2010). *Signals – Evolution, Learning, & Information*. Oxford: Oxford University Press.
- Trivers, R.L. (1971). The evolution of reciprocal altruism. *Quarterly Review of Biology*, 46, 35-57.
- von Neumann, J., Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton: Princeton University Press.
- Wright, R. (2001). *NonZero – The Logic of Human Destiny*. New York: Vintage.