

Teorias biológicas que justificam a necessidade de envelhecimento individual

Fabiana Regolin

Margô Gomes de Oliveira Karnikowski

RESUMO: Muitas vezes, a senescência é analisada sob uma perspectiva negativa, sendo considerada simplesmente como um processo de declínio gradual de vários processos de manutenção da vida. Entender, então, a vantagem desse processo de declínio torna-se essencial. Objetivo: realizar uma revisão bibliográfica a respeito das teorias biológicas as quais entendem a necessidade do envelhecimento individual sob um ponto de vista evolucionário. Materiais e métodos: foram utilizados 15 artigos e 6 livros. Conclusão: o envelhecimento é um fenômeno darwiniano: deter seu processo não acarretará vantagens às espécies.

Palavras-chave: human; evolution; aging.

ABSTRACT: *Senescence has been frequently analyzed from a negative point of view, being simply considered a process of gradual decline of the many processes that maintain life. Therefore, understanding the advantage of this process of decline becomes essential. Objective: To carry out a bibliographic review regarding biological theories which justify the necessity of individual aging from an evolutionary point of view. Material and method: 15 papers and 6 books were consulted. Conclusion: Aging is a Darwinian phenomenon: stopping this process will not be advantageous to the species.*

Keywords: *human; evolution; aging.*

Introdução

A senescência é uma característica universal de organismos multicelulares (Hughes et al., 2002). Pode ser definida como o conjunto

de mudanças morfofuncionais ao longo da vida que ocorrem após a maturação sexual. Essas mudanças, progressivamente, comprometem a capacidade de resposta dos indivíduos ao estresse e aos desafios ambientais e à manutenção da homeostasia (Jeckel-Neto e Cunha, 2006), diminuindo a probabilidade de sobrevivência gradualmente (Neri, 2005; Bonsall, 2006) e a capacidade reprodutiva (Bonsall, 2006; Baudish, 2005; Kirkwood, 2005a).

O processo de transformação do organismo em decorrência do envelhecimento é de natureza interacional, inicia-se em diferentes épocas da vida, além de acarretar resultados distintos para as diversas partes e funções do organismo (Neri, 2005). Muitas vezes, a senescência é analisada sob uma perspectiva negativa, sendo considerada simplesmente como um processo de declínio e insucesso graduais e inevitáveis de vários processos de manutenção da vida (Nausbawn, 1996). Qual seria, então, o propósito da natureza ao determinar esse processo de declínio representado pelo fenótipo envelhecido?

Uma provável resposta a essa questão pode ser encontrada quando analisamos a teoria darwiniana. Em 1859, o naturalista Charles Darwin publicou o seu mais importante livro, intitulado *A Origem das Espécies*. Neste livro, Darwin introduziu o conceito de “seleção natural”, além de afirmar que as espécies animais e vegetais podem modificar-se no decorrer do tempo segundo modificações ambientais: em outras palavras, as espécies têm a capacidade de evoluir (Darwin, 1994). Um aspecto destacado por Darwin como essencial para ocorrer a evolução é a diversidade: quanto maior, maior a capacidade de uma espécie em se adaptar a mudanças no meio no qual se vive, menor o risco de extinção desta espécie (Goldsmith, 2008).

Com o desenvolvimento da genética, novas descobertas foram introduzidas, determinando o aparecimento da chamada teoria sintética da evolução ou neodarwinismo. Nessa teoria, são três os fatores evolucionistas: a seleção natural, a recombinação gênica e as mutações genéticas. A primeira age favorecendo indivíduos cujas características

genéticas contribuam para a evolução da espécie, enquanto as duas últimas possuem função essencial na diversidade da vida e na adaptação dos animais e vegetais ao meio ambiente (Mazo et al., 2004).

Tendo em vista o conteúdo exposto, este artigo objetiva realizar uma revisão bibliográfica a respeito das teorias biológicas que justificam a necessidade do envelhecimento individual sob um ponto de vista evolucionário.

Materiais e método

O presente estudo constitui-se em uma revisão bibliográfica a respeito das teorias biológicas que justificam a necessidade do envelhecimento individual, sendo desenvolvido mediante pesquisa nas bases de dados SCIELO (Scientific Electronic Library Online) e PUBMED, utilizando como descritores as palavras “theories human evolution aging review”.

Para a redação do artigo, foram incluídos aqueles em português, espanhol ou inglês. Já em relação ao ano de publicação, foi dada preferência a artigos com, no máximo, 15 anos de publicação. A pesquisa realizou-se eletronicamente entre os dias 8 e 26 de março do ano de 2008.

Foram relacionados 51 artigos na base de dados PUBMED, dos quais foram recuperados 15 segundo avaliação do conteúdo do resumo apresentado, idioma e ano de publicação. Na base SCIELO não foi localizado nenhum artigo. A obtenção dos artigos foi por meio do Portal Capes. Foram utilizados 5 livros em português e 1 livro em inglês.

Seleção natural e envelhecimento

A seleção natural tem como princípio a adequação de uma determinada característica de uma dada espécie ao meio ambiente. A frequência desta característica torna-se favorável na medida em que beneficia a sobrevivência e a reprodução da espécie em seu meio. Uma vez favorável à espécie, a característica é transmitida, hereditariamente, para as gerações subsequentes por meio da reprodução; quando desfa-

genéticas contribuam para a evolução da espécie, enquanto as duas últimas possuem função essencial na diversidade da vida e na adaptação dos animais e vegetais ao meio ambiente (Mazo et al., 2004).

Tendo em vista o conteúdo exposto, este artigo objetiva realizar uma revisão bibliográfica a respeito das teorias biológicas que justificam a necessidade do envelhecimento individual sob um ponto de vista evolucionário.

Materiais e método

O presente estudo constitui-se em uma revisão bibliográfica a respeito das teorias biológicas que justificam a necessidade do envelhecimento individual, sendo desenvolvido mediante pesquisa nas bases de dados SCIELO (Scientific Electronic Library Online) e PUBMED, utilizando como descritores as palavras “theories human evolution aging review”.

Para a redação do artigo, foram incluídos aqueles em português, espanhol ou inglês. Já em relação ao ano de publicação, foi dada preferência a artigos com, no máximo, 15 anos de publicação. A pesquisa realizou-se eletronicamente entre os dias 8 e 26 de março do ano de 2008.

Foram relacionados 51 artigos na base de dados PUBMED, dos quais foram recuperados 15 segundo avaliação do conteúdo do resumo apresentado, idioma e ano de publicação. Na base SCIELO não foi localizado nenhum artigo. A obtenção dos artigos foi por meio do Portal Capes. Foram utilizados 5 livros em português e 1 livro em inglês.

Seleção natural e envelhecimento

A seleção natural tem como princípio a adequação de uma determinada característica de uma dada espécie ao meio ambiente. A frequência desta característica torna-se favorável na medida em que beneficia a sobrevivência e a reprodução da espécie em seu meio. Uma vez favorável à espécie, a característica é transmitida, hereditariamente, para as gerações subsequentes por meio da reprodução; quando desfa-

vorável, a característica torna-se cada vez menos frequente, não sendo transmitida para as gerações futuras, não se perpetuando. Atuando diretamente sobre o fenótipo, a seleção natural permite mais ênfase aos aspectos favoráveis, resultando em melhor adaptação ao meio no qual se sobrevive (Goldsmith, 2008).

Hayflick (1998) e Le Bourg (1998) descrevem que Peter Medawar (1915-1987) foi o primeiro pesquisador a afirmar que a força da seleção natural tende a surtir menos efeito após o sucesso reprodutivo, porque as espécies não irão se beneficiar de membros favorecidos por uma maior longevidade: durante a infância até o início da idade reprodutiva, a força da seleção natural sobre a sobrevivência em uma determinada população é 100%; do início até o fim da idade reprodutiva, a força da seleção natural tende a decair progressivamente, atingindo valores mínimos em idades mais avançadas.

A reprodução sexuada permite a recombinação gênica, a qual possibilita o surgimento de características que podem ou não favorecer uma espécie. A seleção natural é o mecanismo pelo qual uma ou mais características são identificadas como favoráveis a determinada espécie num dado intervalo de tempo. Assim, a reprodução é o meio pelo qual as espécies transmitem suas características favoráveis às gerações futuras após essas características terem sofrido ação da seleção natural. Com o avançar dos anos, a reprodução tende a diminuir, chegando a taxas mínimas ou mesmo a ser nula, não apresentando fator sobre o qual a seleção natural possa agir (Martin, 2006).

Tomando como base a relação existente entre seleção natural e envelhecimento estabelecida por Peter Medawar, Michael Rose et al. (2006) demonstraram em laboratório a diminuição da força de seleção natural utilizando populações de moscas de frutas do gênero *Drosophila*. A pesquisa consistiu em descartar os ovos provenientes de moscas mais jovens, permitindo-se apenas o desenvolvimento de ovos de moscas mais velhas. Assim, só era possível a reprodução de animais aptos o suficiente para a reprodução em idades mais avançadas. Foram obtidas moscas que sustentaram funções biológicas por mais tempo, apresentando-se mais resistentes a estresses ambientais como falta de água e fome. Esse

resultado poderia ser encarado como uma solução antienvelhecimento. No entanto, para a obtenção de resultados similares dentro da espécie humana seriam necessários séculos, tornando-se inviável.

Baudish (2005) descreve que a força da seleção natural chega a ser nula em idades mais avançadas, enquanto Golsmith (2008) e Kirkwood (2005a) afirmam que ela decai a valores mínimos, nunca atingindo o valor zero.

O declínio da força de seleção natural após o sucesso reprodutivo é a base para uma das principais teorias evolucionárias do envelhecimento: Pleiotropismo Antagônico. Idealizada por George Willians em 1957, essa teoria explica a senescência como sendo o preço pelo qual se paga por uma boa saúde em épocas mais jovens do desenvolvimento: os genes exercem efeito (codificam) em várias características (pleiotropismo); esse efeito é diferente nas diferentes épocas da vida: um gene com efeito benéfico em idades jovens pode exercer efeito não benéfico em idades mais avançadas (Andreu e Hernandez, 2003). Na juventude, momento no qual mais se reproduz, o gene benéfico não se expressa, sendo passado à próxima geração devido ao declínio da força da seleção natural após o sucesso reprodutivo (Gavrilov e Gavrilova, 2002; Le Bourg, 1998; Martin, 2006). Em ambiente natural, os organismos morrem especialmente por causas extrínsecas, e esses genes nunca ou raramente se manifestariam.

Vantagem evolucionária do envelhecimento

Para compreender a vantagem que o envelhecimento proporciona para a evolução de uma espécie, faz-se necessário relembrar o conceito do termo envelhecimento ou senescência apresentado no início deste artigo.

De uma maneira mais simplista, podemos afirmar que o envelhecimento aproxima os indivíduos da morte, uma vez que há um dano generalizado e progressivo da função, aumentando a vulnerabilidade aos desafios ambientais (Kirkwood, 2005a). A morte proporciona renovação em uma espécie: na medida em que os mais velhos são substituídos por animais mais jovens, a natureza tem a chance de recombinar caracte-

resultado poderia ser encarado como uma solução antienvelhecimento. No entanto, para a obtenção de resultados similares dentro da espécie humana seriam necessários séculos, tornando-se inviável.

Baudish (2005) descreve que a força da seleção natural chega a ser nula em idades mais avançadas, enquanto Golsmith (2008) e Kirkwood (2005a) afirmam que ela decai a valores mínimos, nunca atingindo o valor zero.

O declínio da força de seleção natural após o sucesso reprodutivo é a base para uma das principais teorias evolucionárias do envelhecimento: Pleiotropismo Antagônico. Idealizada por George Willians em 1957, essa teoria explica a senescência como sendo o preço pelo qual se paga por uma boa saúde em épocas mais jovens do desenvolvimento: os genes exercem efeito (codificam) em várias características (pleiotropismo); esse efeito é diferente nas diferentes épocas da vida: um gene com efeito benéfico em idades jovens pode exercer efeito não benéfico em idades mais avançadas (Andreu e Hernandez, 2003). Na juventude, momento no qual mais se reproduz, o gene benéfico não se expressa, sendo passado à próxima geração devido ao declínio da força da seleção natural após o sucesso reprodutivo (Gavrilov e Gavrilova, 2002; Le Bourg, 1998; Martin, 2006). Em ambiente natural, os organismos morrem especialmente por causas extrínsecas, e esses genes nunca ou raramente se manifestariam.

Vantagem evolucionária do envelhecimento

Para compreender a vantagem que o envelhecimento proporciona para a evolução de uma espécie, faz-se necessário relembrar o conceito do termo envelhecimento ou senescência apresentado no início deste artigo.

De uma maneira mais simplista, podemos afirmar que o envelhecimento aproxima os indivíduos da morte, uma vez que há um dano generalizado e progressivo da função, aumentando a vulnerabilidade aos desafios ambientais (Kirkwood, 2005a). A morte proporciona renovação em uma espécie: na medida em que os mais velhos são substituídos por animais mais jovens, a natureza tem a chance de recombinar caracte-

rísticas genéticas, proporcionando a manutenção da diversidade, além de auxiliar na adaptação dos organismos a mudanças ambientais e, conseqüentemente, auxiliando a evolução da espécie (Kirkwood, 2005a; Bowles, 1998). Assim, a taxa de mortalidade de adultos (mais velhos e que já procriaram) seria a taxa na qual a natureza conduz diferentes testes de recombinação de características genéticas: quanto mais testes, mais rápido a evolução pode se processar (Goldsmith, 2008).

Sob essa perspectiva, o envelhecimento auxilia a adaptação dos organismos a ambientes em constante transformação (Kirkwood, 2005a). O envelhecimento acarreta uma desvantagem individual representada pela diminuição do preparo físico. No entanto, acarreta uma vantagem à espécie representada pela recombinação de características genéticas proporcionada pela recombinação gênica, aumentando a diversidade e a probabilidade de evolução, diminuindo o risco de extinção (Bowles, 1998).

Ao analisarmos o caso de uma espécie que não envelhece e que morre devido a causas extrínsecas, a necessidade do envelhecimento torna-se mais clara. Como exemplo, consideraremos um grupo de animais de uma espécie animal que não envelhece. Nesse grupo há um macho dominante que acasala com todas as fêmeas. Qualquer macho que se apresente como rival do dominante é morto ou forçado a sair do grupo. A proteção conferida ao macho dominante associada à dinâmica de grupo, à maior experiência e à melhor imunidade adquiridas deixam o macho dominante em vantagem em relação aos demais machos: apenas o macho dominante, vivendo por mais tempo, tem a chance de repassar suas características genéticas para as gerações futuras. Haveria pouca diversidade genética nesse grupo, uma vez que o “pai” de todas as proles seria o mesmo (o macho dominante), apenas variando a “mãe”. Nesse grupo, características não genéticas como a experiência, a imunidade adquirida e a dinâmica do grupo se sobrepõem a características genéticas: o macho rival, talvez com uma genética favorável, seria impedido de repassá-la para gerações futuras, só tendo chance em caso de morte por acidente do macho dominante (Goldsmith, 2008).

Teorias biológicas e a necessidade de envelhecimento

Hamilton (2002) descreve duas teorias que justificam a necessidade do envelhecimento individual: a Teoria da Senescência Programada e a Teoria do Soma Descartável.

A Teoria da Senescência Programada é atribuída a August Weismann (1891), um dos primeiros biólogos a explicar o envelhecimento sob uma perspectiva evolucionária no século XIX. Para elaborar os princípios dessa teoria, ele baseou-se em anotações de Alfred Russel Wallace, contemporâneo de Charles Darwin e corresponsável pela introdução do mecanismo de evolução por seleção natural. Dentro da teoria proposta, o envelhecimento é descrito como um processo geneticamente programado para ocorrer (Gavrilov e Gavrilova, 2002).

Kirkwood (2005a) afirma que são escassas as evidências da existência de genes responsáveis por determinar o envelhecimento: indivíduos nos quais os genes do envelhecimento fossem desativados por mutações genéticas se beneficiariam em detrimento do sacrifício de outros. Essas mutações teriam a possibilidade de se disseminar pelo acervo genético de toda uma espécie, comprometendo a ocorrência do envelhecimento a longo prazo. Assim, havendo um gene que determine a senescência, esta poderia não ser desencadeada por uma ou mais mutações genéticas.

Estudos evidenciam que, ao invés dos organismos vivos serem programados para envelhecer e morrer, eles são programados para sobreviver: os ratos morrem, em média aos 10 meses de idade. No entanto, eles podem sobreviver por até 3 anos desde que vivam em ambientes protegidos tal como ocorrem com os animais de estimação (cachorros e gatos) e com os de zoológicos (Kirkwood, 2005a). Nesse sentido, pesquisadores têm afirmado que o envelhecimento é um processo característico de ambientes protegidos pela espécie humana (Hayflick, 1998).

A Teoria da Senescência Programada apresenta duas versões bem conhecidas. Na primeira versão afirma-se que à medida que vão envelhecendo, os membros de uma espécie vão enfraquecendo, tornando-se

Teorias biológicas e a necessidade de envelhecimento

Hamilton (2002) descreve duas teorias que justificam a necessidade do envelhecimento individual: a Teoria da Senescência Programada e a Teoria do Soma Descartável.

A Teoria da Senescência Programada é atribuída a August Weismann (1891), um dos primeiros biólogos a explicar o envelhecimento sob uma perspectiva evolucionária no século XIX. Para elaborar os princípios dessa teoria, ele baseou-se em anotações de Alfred Russel Wallace, contemporâneo de Charles Darwin e corresponsável pela introdução do mecanismo de evolução por seleção natural. Dentro da teoria proposta, o envelhecimento é descrito como um processo geneticamente programado para ocorrer (Gavrilov e Gavrilova, 2002).

Kirkwood (2005a) afirma que são escassas as evidências da existência de genes responsáveis por determinar o envelhecimento: indivíduos nos quais os genes do envelhecimento fossem desativados por mutações genéticas se beneficiariam em detrimento do sacrifício de outros. Essas mutações teriam a possibilidade de se disseminar pelo acervo genético de toda uma espécie, comprometendo a ocorrência do envelhecimento a longo prazo. Assim, havendo um gene que determine a senescência, esta poderia não ser desencadeada por uma ou mais mutações genéticas.

Estudos evidenciam que, ao invés dos organismos vivos serem programados para envelhecer e morrer, eles são programados para sobreviver: os ratos morrem, em média aos 10 meses de idade. No entanto, eles podem sobreviver por até 3 anos desde que vivam em ambientes protegidos tal como ocorrem com os animais de estimação (cachorros e gatos) e com os de zoológicos (Kirkwood, 2005a). Nesse sentido, pesquisadores têm afirmado que o envelhecimento é um processo característico de ambientes protegidos pela espécie humana (Hayflick, 1998).

A Teoria da Senescência Programada apresenta duas versões bem conhecidas. Na primeira versão afirma-se que à medida que vão envelhecendo, os membros de uma espécie vão enfraquecendo, tornando-se

alvos mais fáceis para ação de predadores, enquanto os mais jovens (ainda capazes de procriar) são poupados como alvos. Essa versão baseia-se em um argumento criticado, uma vez que o programa de autodestruição só seria ativado em idades mais avançadas e poucos são os animais que conseguem atingir idade avançada em seu habitat natural (Kirkwood, 2005a e 2005b; Gavrilov e Gavrilova, 2002). Além do mais, se mantermos um membro de uma espécie em seu ambiente natural e outro em um ambiente cativo, observamos que a morte desses membros pode ocorrer em diferentes idades: o primeiro estaria submetido a fatores tais como fome, sede, frio e ataque de predadores os quais comprometem a longevidade (Gavrilov e Gavrilova, 2002).

A segunda versão da Teoria da Senescência Programada afirma que o organismo está programado para decair e morrer a fim de dar lugar aos membros mais jovens da espécie, evitando o problema da superpopulação (Hamilton, 2002). Nesse sentido, Joshua Mitteldorf, biólogo evolucionista da Temple University (USA), descreve os benefícios do envelhecimento relacionados à dinâmica populacional: o envelhecimento, na medida em que aproxima os indivíduos da morte, ajuda a prevenir crescimento populacional excessivo, prevenindo a exaustão de fontes ecológicas e reprimindo o risco de competição. Assim, constitui-se em um mecanismo pelo qual uma espécie pode ter controle de sua taxa de mortalidade, ajudando a manter o tamanho populacional abaixo de um nível caótico (Goldsmith, 2008; Kirkwood, 2005a e 2005b).

Em relação à disponibilidade de fontes ecológicas, Holliday (1997) assinala que os organismos produzem mais membros do que o meio pode tolerar: o ambiente é hostil e os indivíduos competem para sobreviver. Indivíduos mais velhos representam fontes de consumo de recursos alimentares. Um limite para a sobrevivência dos indivíduos mais velhos favorece a sobrevivência de seus genes repassados por meio da reprodução sexuada, uma vez que mais recursos estarão disponíveis para a sobrevivência de seus descendentes (Baudish, 2005; Nausbawn, 1996).

Outra teoria descrita por Hamilton (2002) é a Teoria do Soma Descartável: a melhor estratégia evolucionária é manter os órgãos reprodutivos em excelentes condições às custas de estruturas somáti-

cas (não reprodutivas). O corpo no qual os genes se encontram tem importância secundária, o importante é que o animal se reproduza tanto quanto possível a fim de repassar suas características genéticas. Desse ponto de vista, é mais interessante para a espécie um membro que morra aos 20 anos e que tenha deixado 30 filhos do que um que morra aos 100 anos sem filhos.

A Teoria do Soma Descartável descreve o envelhecimento como o resultado do acúmulo de danos aleatórios em nível celular e molecular consequente a limitações ou insucessos em processos de reparos e de manutenção somáticos (Kirkwood, 2005b; Bowles, 1998). Segundo essa teoria, é mais vantajoso investir sua energia para se desenvolver rapidamente e produzir muitas proles, garantindo o sucesso reprodutivo, ao invés de investir em reparos que garantirão uma maior sobrevivência individual (Hayflick, 1998; Holliday, 1997), uma vez que os mecanismos necessários para combater a deterioração intrínseca determinada pelo envelhecimento requerem recursos metabólicos, os quais são escassos (Kirkwood, 2005b).

Recentemente, Reznick et al. (Abrams, 2004) demonstraram a Teoria do Soma Descartável em laboratório utilizando populações de lebiste (*Poecilia Reticulata*), uma espécie de peixe tropical. Ao transferir peixes de regiões onde a ação predatória é alta para ambientes livres de predadores, Reznick et al. (ibid.) observaram que houve um aumento na reprodução em 40% em relação às populações de lebiste de regiões com baixa ação predatória. Seus achados revelam que se o risco de morte por fatores extrínsecos (ação de predadores, fome, frio, por exemplos) é alto, menos recursos são alocados para reparar, maior é o dano celular (mortalidade intrínseca), menor a probabilidade de sobreviver em determinada idade. Assim, uma alta mortalidade extrínseca favorece baixo investimento em reparo e alto investimento em reprodução, a fim de perpetuar a espécie (Baudish, 2005; Abrams, 2004). Além do mais, elevada probabilidade de morte por fatores externos no habitat natural indica que poucos indivíduos sobreviverão até idades mais avançadas (Bonsall, 2005), havendo pouca seleção a favor de um nível alto de manutenção e reparo: qualquer recurso é usado para a repro-

cas (não reprodutivas). O corpo no qual os genes se encontram tem importância secundária, o importante é que o animal se reproduza tanto quanto possível a fim de repassar suas características genéticas. Desse ponto de vista, é mais interessante para a espécie um membro que morra aos 20 anos e que tenha deixado 30 filhos do que um que morra aos 100 anos sem filhos.

A Teoria do Soma Descartável descreve o envelhecimento como o resultado do acúmulo de danos aleatórios em nível celular e molecular consequente a limitações ou insucessos em processos de reparos e de manutenção somáticos (Kirkwood, 2005b; Bowles, 1998). Segundo essa teoria, é mais vantajoso investir sua energia para se desenvolver rapidamente e produzir muitas proles, garantindo o sucesso reprodutivo, ao invés de investir em reparos que garantirão uma maior sobrevivência individual (Hayflick, 1998; Holliday, 1997), uma vez que os mecanismos necessários para combater a deterioração intrínseca determinada pelo envelhecimento requerem recursos metabólicos, os quais são escassos (Kirkwood, 2005b).

Recentemente, Reznick et al. (Abrams, 2004) demonstraram a Teoria do Soma Descartável em laboratório utilizando populações de lebiste (*Poecilia Reticulata*), uma espécie de peixe tropical. Ao transferir peixes de regiões onde a ação predatória é alta para ambientes livres de predadores, Reznick et al. (ibid.) observaram que houve um aumento na reprodução em 40% em relação às populações de lebiste de regiões com baixa ação predatória. Seus achados revelam que se o risco de morte por fatores extrínsecos (ação de predadores, fome, frio, por exemplos) é alto, menos recursos são alocados para reparar, maior é o dano celular (mortalidade intrínseca), menor a probabilidade de sobreviver em determinada idade. Assim, uma alta mortalidade extrínseca favorece baixo investimento em reparo e alto investimento em reprodução, a fim de perpetuar a espécie (Baudish, 2005; Abrams, 2004). Além do mais, elevada probabilidade de morte por fatores externos no habitat natural indica que poucos indivíduos sobreviverão até idades mais avançadas (Bonsall, 2005), havendo pouca seleção a favor de um nível alto de manutenção e reparo: qualquer recurso é usado para a repro-

dução (Kirkwood, 2005a). Esta, por sua vez, pode auxiliar a evolução otimizando a alocação de recursos metabólicos: por meio da produção de progenes e pela ação da seleção natural, a espécie tem a oportunidade de melhorar o preparo físico de futuras gerações (Kirkwood, 2005a). Outro aspecto relacionado ao estudo de Reznick et al. é o fato de que os peixes alocados das regiões de alta ação predatória sobreviveram 35% mais. Isso corrobora com o princípio de que o nível de mortalidade por fatores extrínsecos determina a longevidade de uma espécie.

A desvantagem evolucionária para a espécie de investimentos que aumentem a sobrevivência individual fica clara quando analisamos a duração do ciclo de vida de camundongos: 90% destes morrem com 10 meses de vida; investimentos para uma maior longevidade só beneficiariam 10% da espécie. Se esta última tiver a oportunidade de “repensar” a alocação de energia a ser gasta nas diferentes funções biológicas deve priorizar, além da reprodução, a termogênese: falhas no mecanismo de regulação térmica perante temperaturas mais baixas são a causa principal de morte de camundongos em seu habitat natural (Kirkwood, 2005a e 2005b).

Relação entre potencial reprodutivo e longevidade

As espécies podem adotar duas estratégias evolucionárias: a primeira consiste em desenvolver-se e produzir muitas proles rapidamente, objetivando a preservação dos genes dos organismos, o que reforça a Teoria do Soma Descartável. Em situações catastróficas, para populações de porte semelhante, a espécie que se desenvolve e se reproduz rapidamente dominaria mais rapidamente o ambiente em relação a que possui um ciclo de vida maior. Já a segunda estratégia apoia-se em investir pesado em crescimento e ter um ciclo de vida mais longo, podendo ou não garantir o sucesso reprodutivo (Hayflick, 1998).

Os recursos podem ser utilizados em três diferentes funções: metabolismo, reprodução e manutenção. A proporção reservada para a primeira é uma constante (a manutenção somática precisa de energia suficiente para manter o organismo em condições fisiológicas satisfató-

rias), havendo graus diferentes de sobreposição entre os dois últimos nas diferentes espécies (Kirkwood, 2005a). Fatores ecológicos, tais como a disponibilidade de alimentos, determinam a proporção de energia a ser direcionada a cada função biológica, diferenciando os ciclos de vida entre as espécies (ibid.).

Tomemos como exemplo 3 espécies diferentes: “A” representa uma espécie com potencial imortalidade; “B”, espécies com ciclo de vida curto e “C”, espécies com ciclo de vida longo. A primeira reserva 50% da energia disponível para as funções metabólicas normais (FMN), 30% para funções relacionadas a reparos (FRR) e 20% para a função reprodutiva (FR). Para a espécie “B” a diferença estaria na proporção relacionada à reprodução, para a qual estão destinados 30% da energia. Já a espécie “C” mantém 50% de sua energia a favor das FMN, dividindo em partes iguais a proporção destinada a FRR e a FR. “B” é uma espécie que cresce e se reproduz rapidamente, dispondo de poucos recursos para manutenção, tendo um ciclo de vida curto. Já as espécies “A” e “C” representam espécies que investem alto em manutenção, tendo um ciclo de vida maior, reproduzindo-se a menores taxas (Holliday, 1997). São organismos dotados de alta capacidade de reparo molecular, capazes de lidar de uma maneira mais eficiente com estresses impostos pelo meio no qual vivem (Kirkwood, 2005a).

A partir dessa melhor capacidade, a espécie humana adaptou-se melhor ao ambiente, reduzindo os fatores de mortalidade extrínseca, como fome e doenças (Hayflick, 1998), aumentando sua longevidade. Viver mais pode ser entendido como uma estratégia para melhor criar e nutrir os descendentes, garantindo uma melhor sobrevivência da “prole” (Nausbawn, 1996). Biólogos evolucionistas afirmam que a ampliação da longevidade dos humanos é uma vitória da espécie em relação à força da seleção natural (Neri, 2005), em especial em países subdesenvolvidos onde as condições socioeconômicas constituem obstáculos a serem vencidos em qualquer faixa etária.

rias), havendo graus diferentes de sobreposição entre os dois últimos nas diferentes espécies (Kirkwood, 2005a). Fatores ecológicos, tais como a disponibilidade de alimentos, determinam a proporção de energia a ser direcionada a cada função biológica, diferenciando os ciclos de vida entre as espécies (ibid.).

Tomemos como exemplo 3 espécies diferentes: “A” representa uma espécie com potencial imortalidade; “B”, espécies com ciclo de vida curto e “C”, espécies com ciclo de vida longo. A primeira reserva 50% da energia disponível para as funções metabólicas normais (FMN), 30% para funções relacionadas a reparos (FRR) e 20% para a função reprodutiva (FR). Para a espécie “B” a diferença estaria na proporção relacionada à reprodução, para a qual estão destinados 30% da energia. Já a espécie “C” mantém 50% de sua energia a favor das FMN, dividindo em partes iguais a proporção destinada a FRR e a FR. “B” é uma espécie que cresce e se reproduz rapidamente, dispondo de poucos recursos para manutenção, tendo um ciclo de vida curto. Já as espécies “A” e “C” representam espécies que investem alto em manutenção, tendo um ciclo de vida maior, reproduzindo-se a menores taxas (Holliday, 1997). São organismos dotados de alta capacidade de reparo molecular, capazes de lidar de uma maneira mais eficiente com estresses impostos pelo meio no qual vivem (Kirkwood, 2005a).

A partir dessa melhor capacidade, a espécie humana adaptou-se melhor ao ambiente, reduzindo os fatores de mortalidade extrínseca, como fome e doenças (Hayflick, 1998), aumentando sua longevidade. Viver mais pode ser entendido como uma estratégia para melhor criar e nutrir os descendentes, garantindo uma melhor sobrevivência da “prole” (Nausbawn, 1996). Biólogos evolucionistas afirmam que a ampliação da longevidade dos humanos é uma vitória da espécie em relação à força da seleção natural (Neri, 2005), em especial em países subdesenvolvidos onde as condições socioeconômicas constituem obstáculos a serem vencidos em qualquer faixa etária.

Conclusão

Quando se trata de envelhecimento, não se deve apenas pensar em seus aspectos negativos, representados pela palavra declínio e sinônimos: sendo o envelhecimento individual um fenômeno darwiniano, natural e comum, deter seu processo não acarretará vantagens às espécies, uma vez que foi constatada sua importância para a manutenção da sobrevivência da espécie. No caso dos humanos, enquanto espécie animal, a estratégia adotada foi a de apresentar uma menor capacidade reprodutiva sobrevivendo por mais tempo. Devemos, então, empenhar nossos esforços em tornar esses anos de vida a mais em anos melhor aproveitados, melhor vividos, iniciando esses esforços em idades mais jovens.

Referências

- ABRAMS, P. A. (2004). Mortality and life span. *Nature*, v. 431, pp. 1048-1049.
- ANDREU, G. Pe HERNANDEZ, R. D. (2003). Senescencia celular y envejecimiento. *Rev Cubana Invest Bioméd*, v. 22, n. 3.
- BAUDISH, A. (2005). Hamilton's indicators of the force of selection. *PNAS*, v. 102, n. 23, pp. 8263-8268.
- BONSALL, M. B. (2006). Longevity and ageing: appraising the evolutionary consequences of growing old. *Phil Trans R Soc B*, v. 361, pp. 119-135.
- BOWLES, J. T. (1998). The evolution of aging: a new approach to an old problem of biology. *Med Hypotheses*, v. 51, pp. 179-221.
- DARWIN, C. (1994). *A origem das espécies*. Belo Horizonte, Villa Rica.
- GAVRILOV, L. A. e GAVRILOVA, N. S. (2002). Evolutionary theories of aging and longevity. *ScientificWorld Journal*, v. 2, pp. 339-356.
- GOLDSMITH, Teodoro. (2008). *The evolution of aging*. 2 ed. (<http://www.azinet.com/aging/AgingBook.pdf>). Acesso em 8 de março de 2008.
- HAMILTON, I. A. (2002). *A psicologia do envelhecimento*. 3 ed. Porto Alegre, Artmed.

- HAYFLICK, L. (1998). How and why do we age? *Experimental Gerontology*, v. 33, n. 7-8, pp. 639-653.
- HOLLIDAY, R. (1997). Understanding ageing. *Phil Trans R Soc Lond B*, v. 352, pp. 1793-97.
- HUGHES, K. A.; ALIPAZ, J.A.; DRMEVICH, J. M. e REYNOLDS, M. R. (2002). A test of evolutionary theories of aging. *PNAS*, v. 99, n. 22, pp. 14286-91.
- JECKEL-NETO, E. A. e CUNHA, G. L. (2006). “Teorias biológicas do envelhecimento”. In: FREITAS, E. V. et al. *Tratado de Geriatria e Gerontologia*. 2 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- KIRKWOOD, T. B. L. (2005a). Evolution of ageing. *Mech Age Dev*, v. 123, pp. 737-745.
- (2005b). Understanding the odd science of aging. *Cell*, v. 120, pp. 437-447.
- LE BOURG, E. (1998). Evolutionary theories of aging: handle with care. *Gerontology*, v. 44, pp. 345-348.
- MARTIN, G. M. (2006). Keynote lecture: na update on the what, why and how questions of ageing. *Exp Gerontol*, v. 41, pp. 460-463.
- MAZO, G. Z.; LOPES, M. A. e BENEDETTI, T. B. (2004). *Atividade física e o idoso: concepção gerontológica*. 2 ed. Porto Alegre, Sulina.
- NAUSBAWM, N. J. (1996). What good is it get old? *Med Hypotheses*, v. 47, pp. 77-79.
- NERI, A. L. (2005). *Palavras-chave em Gerontologia*. 2 ed. Campinas, SP, Alínea.
- ROSE, M. (2006). “Presente de grego da evolução”. In: *A ciência em busca da juventude*. *Scientific American Brazil*, n. 6. São Paulo, Manole.

Data de recebimento: 30/10/2008; Data de aceite: 3/5/2009.

Fabiana Regolin – Fisioterapeuta e aluna do Programa *Strictu Sensu* em Gerontologia da Universidade Católica de Brasília (UCB). E-mail: fabiregolin@bol.com.br

Margô Gomes de Oliveira Karnikowski – Professora adjunto da Universidade de Brasília e Pesquisadora do Programa *Strictu Sensu* em Gerontologia da Universidade Católica de Brasília. Doutora pela Universidade de Brasília. E-mail: margokarnika@aol.com

- HAYFLICK, L. (1998). How and why do we age? *Experimental Gerontology*, v. 33, n. 7-8, pp. 639-653.
- HOLLIDAY, R. (1997). Understanding ageing. *Phil Trans R Soc Lond B*, v. 352, pp. 1793-97.
- HUGHES, K. A.; ALIPAZ, J.A.; DRMEVICH, J. M. e REYNOLDS, M. R. (2002). A test of evolutionary theories of aging. *PNAS*, v. 99, n. 22, pp. 14286-91.
- JECKEL-NETO, E. A. e CUNHA, G. L. (2006). “Teorias biológicas do envelhecimento”. In: FREITAS, E. V. et al. *Tratado de Geriatria e Gerontologia*. 2 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- KIRKWOOD, T. B. L. (2005a). Evolution of ageing. *Mech Age Dev*, v. 123, pp. 737-745.
- (2005b). Understanding the odd science of aging. *Cell*, v. 120, pp. 437-447.
- LE BOURG, E. (1998). Evolutionary theories of aging: handle with care. *Gerontology*, v. 44, pp. 345-348.
- MARTIN, G. M. (2006). Keynote lecture: na update on the what, why and how questions of ageing. *Exp Gerontol*, v. 41, pp. 460-463.
- MAZO, G. Z.; LOPES, M. A. e BENEDETTI, T. B. (2004). *Atividade física e o idoso: concepção gerontológica*. 2 ed. Porto Alegre, Sulina.
- NAUSBAWM, N. J. (1996). What good is it get old? *Med Hypotheses*, v. 47, pp. 77-79.
- NERI, A. L. (2005). *Palavras-chave em Gerontologia*. 2 ed. Campinas, SP, Alínea.
- ROSE, M. (2006). “Presente de grego da evolução”. In: *A ciência em busca da juventude*. *Scientific American Brazil*, n. 6. São Paulo, Manole.

Data de recebimento: 30/10/2008; Data de aceite: 3/5/2009.

Fabiana Regolin – Fisioterapeuta e aluna do Programa *Strictu Sensu* em Gerontologia da Universidade Católica de Brasília (UCB). E-mail: fabiregolin@bol.com.br

Margô Gomes de Oliveira Karnikowski – Professora adjunto da Universidade de Brasília e Pesquisadora do Programa *Strictu Sensu* em Gerontologia da Universidade Católica de Brasília. Doutora pela Universidade de Brasília. E-mail: margokarnika@aol.com