Revista da Biologia (2013) 11(1): 19–27
DOI: 10.7594/revbio.11.01.04

Revisão

Bipedalismo: solução para carregar crias, correlacionada com a redução de pelos

Bipedality: solution for infant carrying, correlated with reduction of body hair

Lia Q. Amaral
Departamento de Física Aplicada, Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Contato do autor: amaral@if.usp.br

Resumo. Apresento o conteúdo de três artigos científicos meus, em que discuto o bipedalismo como consequência da necessidade de carregar com segurança as crias, correlacionado à diminuição de pelos do corpo na nossa linhagem evolutiva. Focalizo a forma como os primatas carregam suas crias, a pilosidade em primatas, propriedades mecânicas dos pelos de primatas e condições de equilíbrio para o transporte seguro das crias. Discuto o ambiente em que a evolução inicial ocorreu, as correlações entre bipedalismo e reprodução, e a proposta que tenho para dar uma explicação ao mistério de nossa origem, em termos de probabilidade de sobrevivência e da divergência com relação aos demais primatas. A conclusão menciona um retorno a Darwin, integrando o conhecimento acumulado no último século.
Palavras-chave. *Bipedalismo; Pelos; Carregar crias; Reprodução.*

Recebido 22mar12
Aceito 07nov12
Publicado 15jan14

Abstract. I present the content of three scientific articles I published, discussing bipedalism as a consequence of the necessity of safe carry of infants, correlated to the reduction of body hairs in our evolutionary lineage. I focus forms of infant carrying among primates, their hair density, mechanical properties of ape hairs and equilibrium conditions for safe carry of infants. I discuss the environment of the initial evolution, correlations between bipedality and reproduction, and the proposal I made to explain the mystery of our origin, in terms of survival probabilities and divergence in relation to other primates. The conclusion mentions a return to Darwin, integrating the knowledge obtained in the last century.
Keywords. *Bipedality; Hairs; Infant carrying; Reproduction.*

Introdução

Neste artigo de divulgação unifico as idéias que publiquei em três artigos científicos (Amaral, 1989; 1996; 2008), chegando a uma visão integrada sobre nossa evolução física inicial, quando nossa linha evolutiva se separa dos demais primatas. Ressalto que por ser um artigo de divulgação os leitores devem procurar as referencias cientificas nessas três publicações originais.

Todas as culturas humanas criaram mitos de origem que procuram explicar nosso início, ligados às crenças e valores de cada cultura. O relato bíblico sobre nossa origem, por exemplo, ainda tem uma força imensa, que resiste às descobertas científicas sobre a evolução biológica darwiniana. A ciência, quando coloca a questão em termos de genes, mas sem poder explicar sua ação específica, não consegue satisfazer nossa necessidade de encontrar um "sentido", que torne o processo compreensível e fundamente nossas crenças. O que nos faz "humanos", afinal?

Desenvolvo aqui uma proposta sobre nossa origem, que acredito pode se somar ao que a ciência vem descobrindo e ajudar a responder ao anseio de compreensão que existe em todos nós sobre esse assunto. Começo por localizar as características físicas básicas de nossa espécie.

O livro "O macaco nu" (Morris, 1967) tornou-se um sucesso de vendas muito popular por dar um tratamento zoológico às características humanas. A partir dele podemos dizer que se um ET biólogo chegasse ao nosso planeta, classificaria nossa espécie como "primata bípede pelado", ou seja, nossa pele e nossa forma de locomoção são as características biológicas que nos diferenciam dos demais primatas. O fato de não sermos peludos como eles pode ser considerado a característica mais importante, pois a camada de pelos serve como isolante térmico, necessária para manter a temperatura interna do corpo em animais de sangue quente, como são os mamíferos. Alem disso, os cabelos humanos têm importância estética e simbólica para praticamente todas as culturas e as características sexuais secundárias, envolvendo pelos em regiões específicas do corpo humano, exercem forte influência na atração entre os sexos.

As características diferenciadas de nossa espécie em relação aos pelos e pele, e sua conotação como caracteres sexuais secundários, são realmente impressionantes do ponto de vista de evolução biológica. Isso fez Darwin colocar a evolução humana num contexto separado da Ori-

gem das Espécies pela Seleção Natural, que foi tratada em seu livro de 1859. Darwin só se refere especificamente à Evolução Humana num livro publicado mais de 10 anos mais tarde (Darwin, 1871), em que focaliza "Seleção Sexual", propondo que nossa evolução biológica inicial se deu nesse contexto. Darwin propôs também que a evolução das vocalizações humanas, sexualmente diferenciadas, ocorreu no contexto de seleção sexual, inclusive porque as vocalizações nos símios ocorrem precisamente no contexto de sinalização e disputas sexuais.

Essa proposta de Darwin não teve aceitação na época, e foi revista na síntese da moderna genética estabelecida nos anos 50. A seleção sexual é agora estudada na evolução de várias espécies biológicas, mas não costuma ser levada em conta com a ênfase dada por Darwin no caso da evolução humana.

A importância da pele e dos pelos no imaginário humano é porem imensa, mesmo que sua importância para a evolução biológica não seja em geral reconhecida. Essas características específicas da pilosidade, que variam conforme a raça humana considerada, devem ser de evolução recente, pois somos todos de uma única espécie biológica, bastante recente em termos evolutivos.

Mas com relação ao processo de redução dos pelos no corpo inteiro e mudanças profundas na estrutura da pele, e de toda a circulação sanguínea, bem como a evolução correlata da camada sub-cutânea de gordura, sobretudo nas fêmeas, a evidência aponta para uma evolução biológica muito antiga, perdendo-se nos mistérios de nossa origem.

Vou inicialmente discutir um pouco o que se conhece hoje sobre a evolução do bipedalismo e da redução dos pelos, para em seguida situar meus trabalhos sobre esse assunto. Reuno os fatos conhecidos na literatura a partir dessas duas vertentes, conforme discutido e referenciado em meus três trabalhos já mencionados.

Fatos conhecidos sobre a evolução dos bípedes pelados

O feto humano tem uma camada de pelos que desaparece um pouco antes do nascimento, dando depois lugar ao "vellus", pelos miniaturizados que recobrem o corpo da criança. A pele humana se caracteriza não apenas pela redução dos pelos, mas pelo aparecimento das glândulas sudoríparas, responsáveis pela grande capacidade de transpiração e suor humanos. A função do suor é permitir o resfriamento do corpo e usualmente se associa às condições de vida nas savanas. Mas, ao mesmo tempo, a exposição ao sol na savana é extremamente danosa para a pele, e a inexistência da camada isolante de pelos leva a uma grande absorção de calor pelo corpo. A pele nua facilita a dissipação do calor, mas não existe evidência de que a redução dos pelos possa ser correlacionada de forma simples e trivial com o ambiente quente. Os macacos que habitam as savanas são todos bastante peludos, e desenvolveram a capacidade de variar sua condutividade térmica, em vez de reduzirem os pelos.

Um artigo muito interessante (Newman, 1970) faz uma análise dessas características, se perguntando por que o homem é um animal tão sedento e suarento, e conclui dizendo "o tempo e lugar óbvios onde uma denudação progressiva seria menos desvantajosa é o habitat da antiga floresta".

O estudo da evolução física inicial de nossa linhagem faz parte da Antropologia Física, bastante interdisciplinar. As descobertas científicas, baseadas em fósseis de milhões de anos, atestam sem dúvidas a evolução biológica. Nossa linha evolutiva começa com primatas do velho mundo, sem rabo, e as espécies próximas à nossa que existem atualmente incluem gibão e orangotango, asiáticos, e também gorila e chimpanzé, africanos (Reynolds, 1967). Nossa espécie é geneticamente mais próxima dessas espécies africanas. Em inglês, essas espécies de primatas sem rabo, nossos parentes, são chamadas "apes", enquanto os macacos com rabo são chamados "monkeys". Em português não foi estabelecida ainda uma nomenclatura diferenciada, mas foi sugerido o uso de "símio" para "ape".

Existe atualmente um consenso científico que coloca nossa forma de locomoção bípede como a mudança fundamental, ocorrida na diferenciação entre os demais primatas e a linha evolutiva que chega até o gênero Homo, ao qual pertencemos como espécie. Mas não existe consenso sobre a origem do bipedalismo.

As ideias especulativas popularizadas na segunda metade do século 20, enfatizando o papel da caça como atividade dos machos na evolução inicial de nossa espécie, foram abandonadas em função das pesquisas detalhadas efetuadas nas ultimas décadas. Um volume especial da revista Science (nº 326, de 2 de outubro de 2009) traz 11 artigos sobre a descoberta do mais antigo e completo fóssil bípede, dando a visão atual sobre nossa evolução biológica. O aumento do cérebro, relacionado com atividades humanas diferenciadas, é uma característica que surge muito depois da diferenciação em relação aos demais primatas, no gênero Homo, cerca de 1,5 a 2 milhões de anos atrás. Mas o bipedalismo existe há muito mais tempo, quando o cérebro ainda era menor, similar ao dos chimpanzés, nossos primos filogenéticos. Fósseis com 3 a 4 milhões de anos já apresentam características bípedes, como o da famosa Lucy, classificada como Australopithecus afarensis, e da Ardi, ainda mais antiga, recentemente descrita. Os resultados mais recentes confirmam que a evolução biológica inicial, com o aparecimento do bipedalismo, ocorreu em ambientes mistos, na borda de florestas, com alimentação à base de vegetais.

Mas, ao contrário do andar bípede, que pode ser reconhecido nos fósseis, as alterações na pele e pelos não deixam registros fósseis. Assim, não é possível ainda definir exatamente quando essas alterações ocorreram, e a antropologia física focaliza muito mais a forma de locomoção. O que ocorreu na diferenciação das linhas evolutivas, nos separando dos demais primatas, ainda é um mistério!

Proposta que desenvolvo unindo bipedalismo e redução dos pelos

Neste artigo vou dar minha proposta, que pode ser

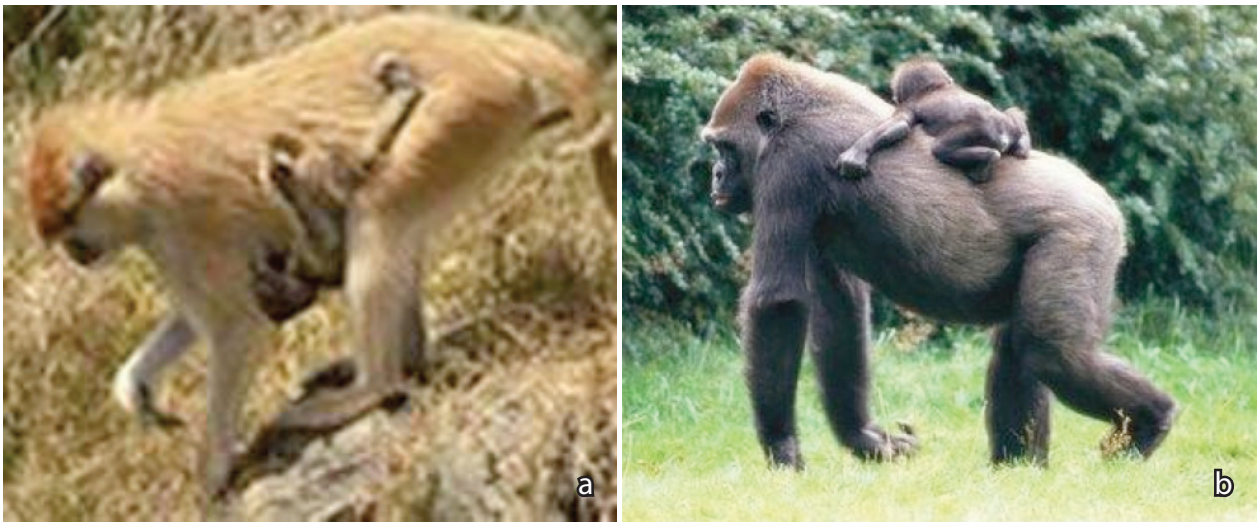

Figura 1. (a) Macaco com rabo, carregando filhote na posição ventral. Figura de livre acesso tirada da internet [credito Corel Corporation, Ottawa, Canada]. (b) Gorila carregando filhote no dorso. Figura de livre acesso tirada da internet [http://www.varbak.com/photo/baby-gorilla].

resumida em poucas palavras: "Os primatas carregam suas crias agarradas nos pelos da mãe. Nós não temos pelos para os filhos se agarrarem, e, portanto, a única saída é carregarmos nossos filhos nos braços, o que exige que sejamos bípedes".

Quando cheguei a esta explicação, que é em geral aceita sem maiores problemas por leigos, verifiquei que não existia como teoria científica, e comecei a pesquisar. Foram mais de 30 anos de pesquisa independente, que resultaram em três artigos científicos que publiquei em revistas especializadas (ver bibliografia no final). Fui ultrapassando a postura cética dos especialistas, principalmente dos homens especialistas, que acreditam que a evolução se fundamenta no comportamento dos machos humanos. Mas pretendo mostrar que não há como compreender a evolução biológica sem focalizar as fêmeas bípedes e sua relação com a maternidade.

Neste artigo não vou seguir a ordem cronológica dos trabalhos publicados, mas vou dar os argumentos numa sequência de mais fácil compreensão. Focalizo inicialmente o que se conhece sobre a forma como os primatas carregam suas crias e sobre a pilosidade em primatas, e em seguida faço um resumo do estudo que fiz e publiquei sobre as propriedades mecânicas dos pelos e condições de equilíbrio para o transporte seguro das crias. Finalmente, discuto o que se conhece sobre o ambiente em que a evolução inicial ocorreu, as correlações entre bipedalismo e reprodução, e a minha proposta explicando o mistério de nossa origem.

Primatas carregam suas crias agarradas nos pelos

Todos os primatas superiores (exceto os humanos) carregam suas crias agarradas nos pelos do corpo de um parente adulto (em geral a mãe). Em algumas espécies de macacos das Américas o macho também carrega as crias, mas isso não ocorre com os primatas do Velho Mundo, dos quais descendemos. Nos símios de nossa linha evolutiva é a mãe que carrega as crias, durante vários anos. Mesmo entre os gibões, monogâmicos, é a mãe que carrega as crias, sem auxílio do macho, e o mesmo ocorre nas espécies com outros padrões de relação entre os sexos (orangotangos, gorilas e chimpanzés).

Entre os primatas não humanos ocorre uma mudança na forma de carregar as crias à medida que elas crescem, e os dois padrões básicos são vistos na Figura 1. Os recém-nascidos são em geral carregados em contato com o ventre da mãe, ficando suspensos apenas pela sua capacidade de se agarrar nos pelos, e estes de suportarem o peso do recém-nascido. A figura 1(a) mostra uma espécie primata com rabo, bastante peluda, em que o filhote fica em posição ventral, de ponta cabeça. A fixação na mãe é dada pela capacidade preênsil (de agarrar e segurar) das mãos, pés e também do rabo do bebê, que se enrola no rabo da mãe. Após alguns meses, a cria muda de posição, passando a cavalgar o dorso ou o quadril da mãe, ainda agarrada aos pelos, e esta forma de locomoção permanece por longos períodos de tempo, até a cria se tornar independente. Mas existem algumas diferenças na forma de carregar as crias entre as várias espécies primatas.

A Figura 1 (b) mostra um gorila em locomoção quadrúpede típica (knuckle walking) em que os nós dos dedos das mãos são usados como apoio. Os braços são mais compridos do que as pernas, levando a um ângulo de inclinação, com dorso não horizontal. A cria vai montada no dorso, agarrando os pelos com as mãos, mas os pés não têm mais capacidade preênsil, devido à locomoção terrestre.

O método de carregar filhotes nas espécies asiáticas arbóreas de nossa linhagem (gibão e orangotango) é diferente da forma dos grandes símios africanos (gorila e chimpanzé). Os arbóreos carregam seus filhotes predominantemente de um dos lados da pélvis materna. Os gibões, menores (7 kg quando adultos) são muito peludos, o que dá segurança para carregar seus filhotes, leves, na sua vida arbórea acrobática. Os orangotangos, arbóreos mais

Figura 2. Mãe orangotango suspensa em arvore, mas segurando filhote com uma das mãos. Figura de livre acesso no site Arkive.

pesados (fêmeas e machos adultos com, respectivamente, 50 kg e 90 kg) têm uma cobertura peluda impressionante, com pelos muito longos, ainda que rarefeitos. Os filhotes de orangotango vivem com suas mães até completarem sete anos de idade. A Figura 2 mostra uma mãe orangotango suspensa numa árvore, mas segurando o filhote com uma das mãos.

Existe um problema específico para os grandes símios africanos terrestres, menos peludos, transportarem seus filhotes recém-nascidos, mais pesados e que não conseguem se sustentar sozinhos em posição ventral. Nos primeiros 1 ou 2 meses de vida, o bebê é suportado manualmente por sua mãe, que adota uma forma trípede de locomoção, apoiada nos dois membros traseiros e num dianteiro, usando o outro membro dianteiro para segurar a cria com uma das mãos. Essa forma de locomoção, bastante difícil, é usada sistematicamente por gorilas, mas também ocorre em chimpanzés, como pode ser visto na figura 3, em que uma mãe chimpanzé utiliza locomoção trípede carregando seu filhote com uma das mãos, em ambiente terrestre na figura 3(a) e em ambiente arbóreo na figura 3(b).

Mas após alguns meses, as crias, tanto de gorilas como de chimpanzés, passam para cima do corpo da mãe, que retoma a locomoção quadrúpede. As mães chimpanzés carregam suas crias de forma permanente durante os primeiros 2 anos de vida, e sempre que necessário para locomoções maiores durante cerca de 4 anos. Foi visto em pesquisas de campo com chimpanzés que existem duas causas primárias de morte de crias de chimpanzés: inadequação da ligação mãe-criança e feridas devidas a quedas do corpo da mãe. As mães chimpanzés, como padrão, se locomovem lenta e cuidadosamente quando estão transportando suas crias.

A mudança da locomoção quadrúpede para trípede ou mesmo bípede ocorre sistematicamente entre os grandes símios quando a segurança da cria requer suporte manual. Está claro que a segurança no processo de carregar as crias leva a mudanças de forma de locomoção, dependendo do peso das crias, da capacidade dos pelos e da pele em aguentar a pressão e da capacidade preênsil das crias.

Pilosidade dos primatas

A grande variabilidade nos pelos dos primatas desperta uma grande curiosidade. Um extenso trabalho foi feito nos anos 30 do século 20 (Schultz, 1931; 1968), medindo a densidade de pelos em várias espécies primatas. Os resultados em geral não dependem do sexo, mas variam com a região do corpo, com uma densidade maior na cabeça e menor na região ventral do que na região dorsal do tronco. A densidade de pelos no dorso de primatas varia de mais de 1000 pelos/cm^2 nas espécies menores (macacos com rabo e gibões) até cerca de 100 pelos/cm^2 nos grandes símios de nossa linha evolutiva (orangotangos, gorilas e chimpanzés).

Nos anos 80, uma análise desses resultados de densidade de pelos mostrou que existe um comportamento de escala, ou seja, a densidade relativa de pelos (definida como densidade de pelos dividida pela área total do corpo do primata) diminui em escala logarítmica com o aumento do peso do primata (Schwartz and Rosenblum, 1981). Essa lei de escala foi correlacionada com restrições térmicas impostas pelo decréscimo da razão entre a área da superfície do corpo e o volume do corpo. É por isso que os mamíferos muito grandes, como o elefante, têm poucos

Figura 3. (a) Mãe chimpanzé carregando seu filhote com uma das mãos, utilizando locomoção trípede terrestre. Desenho feito por João Carlos Terassi (IFUSP), a partir de foto de Jane van Lawick-Goodal, (Goodall van Lawick J . 1967). (b) Mãe chimpanzee carregando seu filhote com uma das mãos, utilizando locomoção trípede em galho de arvore. Desenho feito por João Carlos Terassi (IFUSP), a partir de foto de Jane van Lawick-Goodal, (Goodall van Lawick J . 1967).

pelos, mas têm um couro e não uma pele sensível.

As várias espécies de primatas apresentam, porém, desvios em relação a essa lei geral. Em particular, os chimpanzés têm uma densidade de pelos menor que a esperada, sendo praticamente igual à dos gorilas, que são, no entanto, maiores. Nossa espécie não pode ser colocada nessa lei geral, pois houve uma miniaturização dos pelos do corpo, além do aparecimento de pelos relacionados com o sexo dos adultos. Também nossa pele escapa totalmente da classificação biológica normal, tendo clara correlação com as zonas erógenas do corpo da mulher. Essa evolução diferenciada da pele e dos pelos humanos ainda não tem explicação, nem biológica nem antropológica.

A mecânica do processo de carregar as crias nos primatas

A função dos pelos como suporte do processo de carregar as crias nos primatas não-humanos é crucial para a sobrevivência das espécies e existe também uma correlação com a variação da pilosidade nos primatas, mas nenhum estudo científico havia sido feito até então. No meu terceiro trabalho (Amaral, 2008) fiz uma análise mecânica detalhada do problema. Obtive amostras de peles com pelos de três espécies de primatas de nossa linha evolutiva: gibão, orangotango e gorila, com o objetivo de estudar os limites para carregar com segurança suas crias. Além de obter os parâmetros mecânicos dos pelos, fiz uma análise teórica do equilíbrio mecânico na locomoção quadrúpede dos gorilas. A Figura 4 mostra um desenho esquematizando a forma de os gorilas carregarem suas crias, com ângulo dorsal de inclinação θ. O problema mecânico foi equacionado em termos de equilíbrio num plano inclinado, com parâmetros dados pelo peso suportado que os pelos agüentam e pelo coeficiente de atrito para evitar escorregamento da cria.

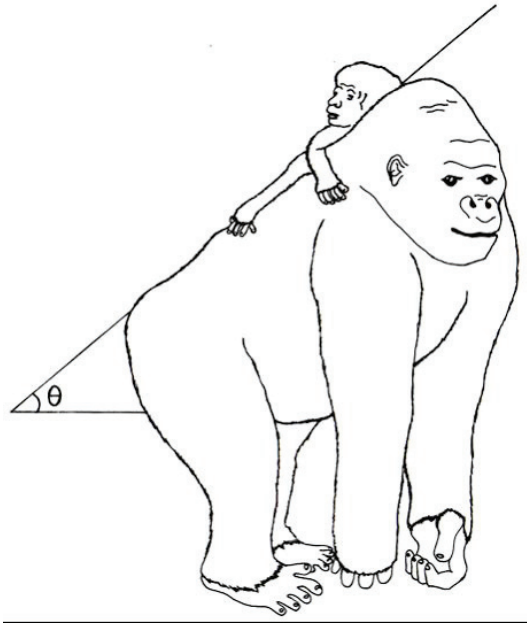

Figura 4. desenho esquematizando o problema de carregar filhote no dorso, com ângulo de inclinação θ (teta). Feito por João Carlos Terassi (IFUSP) a partir de idéia da autora. O problema mecânico foi equacionado em termos de equilíbrio num plano inclinado, com parâmetros dados pelo peso suportado por pelos e pelo coeficiente de atrito para evitar escorregamento da criança.

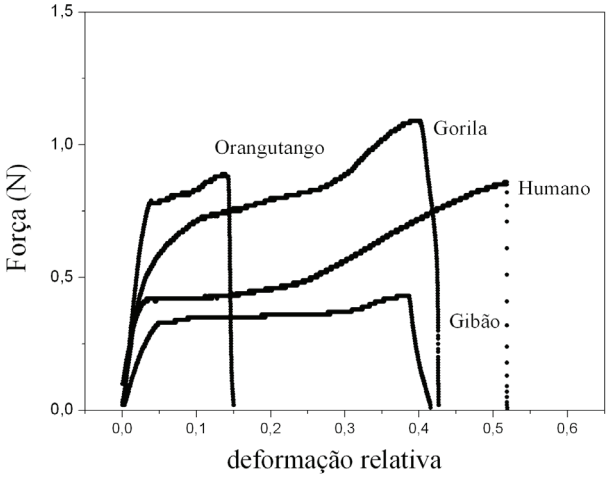

Figura 5. Curvas de elasticidade de pelos, mostrando a deformação (dada como fração do comprimento original) devida à aplicação de uma força (dada em Newtons) para três espécies de primatas e para cabelo humano. A subida inicial é linear, e define o limite elástico, seguido por uma parte plástica. O final da curva assinala a ruptura do fio.

O pelo animal é uma fibra composta de três partes, uma cutícula fina externa, um córtex com proteínas fibrosas (queratina) e uma medula central porosa. Os pelos de primatas que estudei, quando vistos no microscópio óptico, são similares aos da lã e de cabelos humanos. A figura 5 mostra curvas típicas de elasticidade para pelos das três espécies primatas e para cabelo humano. As curvas mostram a deformação (dada como fração do comprimento original) devida à aplicação de uma força (dada em Newtons), até que o fio arrebente. Existe uma região elástica inicial, que segue uma lei linear (de Hooke), até cerca de 1% de deformação, seguida de uma região plástica, que corresponde à alteração da conformação da molécula de queratina, e que é fortemente influenciada pela quantidade de água. A força necessária para arrancar os pelos da pele também foi medida, e é pouco superior ao limite elástico.

As diferenças entre as espécies são claras e a análise dessas curvas permitiu determinar o limite elástico, dando o peso suportado por um fio, o que depende de sua espessura. Foram medidos 10 pelos de cada espécie e os resulta-

Tabela 1. Resultados de medidas feitas em peles com pêlos de três espécies de primatas. O limite elástico obtido para o cabelo humano é 29 ± 2 gf, intermediário entre o do gibão e o do gorila.

	Gorila	Gibão	Orang.
Espessura da pele	~ 1.5 mm	~ 0.6 mm	~ 2.3 mm
Compr. do pelo	~ 6 cm	~ 4 cm	~ 10 cm
Diâmetro	66 ± 2 μm	52 ± 2 μm	120 ± 4 μm
Limite elástico	39 ± 3 gf	18 ± 2 gf	50 ± 2 gf

dos estatísticos estão na Tabela 1, onde também constam o diâmetro e o comprimento dos pelos e a espessura da pele. Os valores medidos para os gorilas são intermediários entre os obtidos para o gibão e o orangotango. O valor para cabelo humano é intermediário entre os valores de gibão e gorila.

Os resultados mostram que os parâmetros mecânicos dos pelos dependem da espécie e têm significado evolutivo, correlacionado com a função dos pelos como suporte no processo de carregar as crias. Os pelos do orangotango são capazes de suportar um peso muito maior que os pelos do gorila, levando em conta não apenas a força elástica maior, mas também a diferença no comprimento dos pelos, oferecendo uma área maior para o filhote agarrar.

A conclusão é que um punhado com cerca de 100 pelos é necessário para aguentar o peso de uma cria primata de poucos quilos. As mãos da cria podem agarrar os pelos existentes em alguns cm^2 de pele, de forma que a segurança no padrão usual dos primatas carregarem suas crias depende criticamente da densidade de pelos.

Além de medidas nos pelos individuais, testei a capacidade do conjunto de pelos em 1 cm^2 de pele de gorila (da ordem de 140 pelos) em suportar peso, levando em conta inclusive sua fixação na pele, resultando em um limite máximo de 1 kg/cm^2.

A observação da locomoção nos símios africanos sugere que um peso de 5 kg pode ser considerado como o limite para suporte apenas por pelos e filhotes com peso maior exigem transporte dorsal, em que a cria se apóia no corpo da mãe. Por outro lado, tanto gorilas como chimpanzés carregam suas crias até elas atingirem cerca de 20 kg.

Além dessas medidas, o coeficiente de atrito para contato entre as peles com pelos foi obtido, com resultados compatíveis com o esperado em fibras naturais.

Com os valores obtidos, foi possível equacionar o problema de plano inclinado esquematizado na figura 4, obtendo-se a condição de equilíbrio θ menor que 30^o, acima do qual a combinação do peso suportado por fios com a força de atrito não consegue mais impedir o escorregamento da cria, levando à sua queda. Analisando fotos de símios, verifica-se que o ângulo de inclinação natural pode ser estimado como 26^o, dentro do limite de equilíbrio mecânico

O perigo de escorregar da mãe impõe restrições à forma de locomoção da espécie e o bipedalismo é incompatível com o processo usual de símios carregarem suas crias, agarradas aos pelos das mães. Além disso, os resultados que obtive mostram que o coeficiente de atrito diminui com a redução da umidade, chegando a diminuir 50% entre o estado úmido e o seco, pois o atrito entre os pelos é diferente do atrito entre superfícies sólidas. A redução de umidade pode destruir o balanço delicado de forças que seguram a cria por fricção, levando à necessidade de prolongar uma forma manual de segurar as crias.

Proponho que a linha dos símios asiáticos evoluiu na direção da pele e dos pelos tornarem-se mais fortes, para suportar o peso das crias na vida arbórea dos orangotangos, enquanto a linha dos símios africanos evoluiu na direção de redução dos pelos, junto com a vida terrestre.

Esses resultados não chegam a esclarecer completamente a evolução do bipedalismo, mas dão apoio à proposta de que essa forma de locomoção emerge ligada ao problema mecânico de carregar as crianças diante de um processo paralelo de redução dos pelos.

Ambiente da evolução inicial

A discussão científica mais debatida em antropologia física diz respeito à definição da época e do ambiente em que ocorreu o início da evolução de nossa linhagem. Durante muito tempo foram focalizados os primeiros representantes do gênero Homo, que viveram nas savanas. Embora as informações tenham avançado muito, não existem bases para inferências sólidas sobre comportamento e estrutura social. Assim, os estudos se tornaram mais interessantes à medida que foram sendo descobertos fósseis muito mais antigos, de espécies já bípedes, mas anteriores às alterações no cérebro, vivendo em ambientes mais próximos da floresta ancestral. Na década de 80 foram levantadas hipóteses de que tanto o bipedalismo como a redução dos pelos tiveram início quando nossos ancestrais saíram da floresta e penetraram nas savanas, e que isso seria associado com adaptações ao ambiente quente. Foi inclusive proposto que a pele nua traria vantagens no que se refere a diminuir a necessidade de água, e que teria ocorrido só depois do bipedalismo. Questionei essa proposta e discuti a ambivalência entre vantagens e desvantagens da redução dos pelos e a questão do ambiente externo em que essa evolução biológica ocorreu no meu segundo trabalho (Amaral, 1996). A análise detalhada da questão mostra que a grande capacidade de suar dos humanos compensa a grande absorção de calor num ambiente com alta exposição solar. Com relação à necessidade de água, mostrei que a nudez só traz vantagens se a temperatura ambiente se mantiver menor que a temperatura do corpo. Isso não ocorre numa savana, que atinge temperaturas mais altas durante o dia.

A análise detalhada que fiz comparando quadrúpedes com bípedes, e também peludos com pelados, mostra que o caminho para a nudez existiu para quadrúpedes muito ativos vivendo num ambiente não muito quente, como é o caso de uma borda de floresta, onde ainda existe proteção contra a radiação solar direta. Ou seja, a redução dos pelos viria junto com a evolução do bipedalismo, e não depois dele. Um ponto importante a considerar na compreensão das alterações da pele e pelos é que os mecanismos de aclimatização ao exercício físico e ao calor são diferentes (Ebling, 1985), o resfriamento em ambientes quentes não é o mesmo problema que dissipar calor metabólico produzido por exercício temporário. O desenvolvimento das glândulas sudoríparas ocorre já nos grandes símios, portanto sua evolução se insere na evolução geral dos primatas e parece preceder o bipedalismo. Ebling ressalta que o desenvolvimento do suor junto com a redução na densidade de pelos fornece um mecanismo para dissipação do calor resultante de rompantes de ati-

vidade muscular. Uma particularidade da pele humana é um fornecimento de sangue acima do exigido pelo nosso metabolismo (Montagna, 1982; 1985). Comparando a pele humana com a dos símios, Montagna conclui que a redução de pelos nos humanos deve ter acompanhado a evolução do bipedalismo "pari passu" (passo a passo).

Correlação entre Bipedalismo e Reprodução

Como discuti em meu primeiro trabalho (Amaral, 1989), a análise dos custos energéticos da locomoção bípede e quadrúpede nos primatas mostra que não existem restrições energéticas contra o bipedalismo. Mas a raridade do bipedalismo em mamíferos, o quadrupedalismo dos demais primatas e a evolução de uma forma bastante ineficiente de locomoção terrestre nos grandes símios africanos apontam para a existência de restrições ao bipedalismo. Essas restrições tornam-se claras quando se analisa a questão da reprodução e do parto, fortemente correlacionada com a postura e a locomoção (Robinson, 1972).

A forma de locomoção bípede exigiu mudanças na pélvis que se correlacionam com o processo obstétrico de reprodução, tornando o parto humano difícil. Embora o aumento do cérebro tenha intensificado essas dificuldades, é a forma bípede de locomoção a origem do problema, por exigir uma pélvis mais estreita. Existem desvantagens claras no que diz respeito à gravidez, ao parto e à sobrevivência do recém-nascido, e acredito que isso explique por que as demais espécies primatas não adquiriram a forma bípede como locomoção permanente, embora todos os primatas possam andar de forma bípede por curtos períodos de tempo.

A mortalidade materna (mortes relacionadas com a gravidez e o parto) e também mortes de crianças devido ao trauma do parto são problemas que acompanharam a evolução e a história da espécie humana até recentemente, persistindo ainda em muitas regiões.

Essas restrições ao bipedalismo relacionadas a problemas obstétricos não costumam ser levadas em conta nos modelos mais conhecidos de evolução humana, centrados em geral no comportamento dos machos. Mas existe uma análise detalhada do parto humano num contexto evolutivo (Rosenberg and Trevathan, 1995; 2003).

A proposta que desenvolvi analisa a correlação entre o sucesso reprodutivo e o bipedalismo, focalizando as fêmeas e a relação mãe-cria.

A evolução biológica darwiniana fundamenta-se na sobrevivência da espécie, proporcional à probabilidade de sobrevivência da geração seguinte, que depende do produto de vários fatores. Focalizei duas probabilidades (Amaral, 1989):

- sobrevivência da fêmea e seu feto da concepção até o período pósnatal (fator obstétrico)

- sobrevivência do recém-nascido durante a infância (fator pediátrico)

O bipedalismo não é favorecido no fator obstétrico. Assim, a mudança para o bipedalismo só pode ter ocorrido devido a um processo paralelo que afetou o fator pediátrico, mas que foi favorecido na locomoção bípede.

Minha proposta é que o processo de redução dos pelos foi o fator paralelo que levou ao bipedalismo, dando segurança ao transporte das crias nos braços de suas mães. Dessa forma é possível correlacionar o processo de redução dos pelos com o surgimento do bipedalismo, unificando os dois maiores mistérios da evolução física dos bípedes pelados, a partir da necessidade de carregar as crias.

Numa análise preliminar, baseada em estimativas de sobrevivência das mães e das crias, cheguei à conclusão de que o bipedalismo torna-se vantajoso quando a redução dos pelos leva a uma redução de cerca de 15% na sobrevivência das crias de chimpanzés, sem o bipedalismo (Amaral, 1989). Uma mudança para o bipedalismo ocorreria como uma consequência necessária do processo de redução dos pelos, numa competição entre as desvantagens do bipedalismo para as mães e as vantagens na segurança em carregar as crias.

Essa análise de probabilidades está focalizada na fêmea, porque nela estão as restrições ao bipedalismo. Como a forma de locomoção é uma característica da espécie, e não do sexo, é a pressão seletiva na fêmea que define a possibilidade de mudança para o bipedalismo. Mas existem detalhes que dependam do sexo, como a largura dos quadris, relacionada com a eficiência do andar bípede e com desvantagens obstétricas.

Divergência de nossa linha evolutiva

Estamos agora em condições de começar a discutir, ainda que de forma hipotética, as circunstâncias em que pode ter ocorrido a divergência entre nossa linha evolutiva e a dos demais primatas, e também o tipo de estrutura social que existiria durante esse processo.

Além das características físicas já consideradas, existe uma modificação no registro fóssil da dentição que merece ser focalizada. Os caninos são menores, em ambos os sexos, já nos primeiros fósseis bípedes. Isso indica alterações nas relações sociais e sexuais, ainda não esclarecidas. Os primatas não humanos têm caninos grandes, e nas espécies com forte competição entre os machos existe dimorfismo sexual, ou seja, os machos têm caninos maiores que as fêmeas, além de terem peso maior que elas. Os gibões, monogâmicos e com defesa de território, não apresentam dimorfismo sexual, machos e fêmeas são do mesmo tamanho e ambos apresentam caninos grandes. Mas todos os grandes símios têm dimorfismo sexual acentuado, no tamanho do corpo e dos caninos, atribuído à seleção sexual.

A questão dos caninos grandes tem também forte apelo no imaginário humano, e os vampiros, atual febre do imaginário adolescente, por exemplo, se caracterizam por grandes caninos.

A diminuição dos caninos foi atribuída por alguns a uma possível monogamia original, mas isso contradiz tanto o dimorfismo no tamanho de machos e fêmeas Australopithecus como as características dos símios filogeneticamente mais próximos a nós.

Uma alternativa mais interessante foi proposta (Hutchinson, 1963), correlacionando a redução dos caninos

com mecanismos de apaziguamento nas competições intra-espécie, quando gerações sucessivas começam a coexistir no mesmo grupo. Foi enfatizada a inevitabilidade desse processo, principalmente se um processo de redução dos pelos já existir, aumentando o perigo das feridas causadas pelos caninos.

Dentro dessa perspectiva, propus no meu primeiro trabalho que o processo de redução dos pelos estaria ligado ao processo de redução dos caninos. Essa hipótese explicaria o resultado de lutas físicas reais substituírem os mecanismos de intimidação por posturas agressivas, bastante comuns nos demais animais, que em geral já definem o vencedor da contenda, evitando lutas reais (Amaral, 1989). Este processo levaria finalmente a formas específicas de comunicação sócio-sexual pelo toque e formas não triviais de coexistência social de adultos, características da linhagem humana.

É tentador fazer a hipótese de que a necessidade de resfriamento do corpo deriva da exacerbação de conflitos sócio-sexuais na transição de grupos com um único macho (em que machos adultos não se toleram, como ocorre nos gibões, orangotangos e gorilas) para grupos com vários machos, nos quais a promiscuidade é a solução trivial (como existe nos chimpanzés). É interessante notar que esse padrão de agressão primitiva, principalmente entre os sexos, existe nos filmes de ficção sobre nossas origens. E sabemos todos que na história da humanidade as guerras de poder e sexo são uma constante. As agressões intra-espécie são uma característica básica humana e são bem maiores do que entre outros animais.

Minha proposta leva a considerar as interações sócio-sexuais dentro da espécie como o fator determinante para a evolução, e o meio ambiente atua dando as condições de contorno em que essas interações dentro da espécie ocorrem. É uma visão do sistema sócio-sexual como um sistema de unidades interagentes, com condições de contorno definidas, como é considerado em sistemas estudados na Física.

Ou seja, desde nosso mais longínquo início nossa evolução se move na direção de conquistar o ambiente externo pela capacidade de moldar as interações dentro da espécie, adquirindo maleabilidade nessas interações.

Nossa linha evolutiva se desenvolveu tendo como condições de contorno as alternativas dos símios (monogamia, um único macho dominante, promiscuidade com vários machos), e diversas formas de relações entre os sexos são testadas nas civilizações humanas!

Conclusão

Foram mais de 30 anos de pesquisa independente, em paralelo com minhas atividades de pesquisa em física, para chegar a uma proposta muito simples, que consegue fazer sentido inclusive para o público leigo. Mas que também tem lógica e rigor científico. O bipedalismo emerge como uma consequência necessária do processo de redução dos pelos, e mostrei que as propriedades físicas dos pelos variam com a espécie primata considerada, e se inserem num padrão evolutivo ligado à segurança em carregar as crias de cada espécie. E a interação entre os sexos precisa se adaptar às exigências da ligação mãe-cria.

O que parece faltar para uma compreensão real de nossa evolução biológica é um investimento definido para descobrir a base genética das alterações na pele e pelos, e como ocorre sua regulação via hormônios. Sabemos que a forma de locomoção bípede tem substrato biológico e genético, mas também é um comportamento aprendido pelos humanos depois do nascimento. Já as características da pele dependem apenas dos genes e da regulação hormonal. As diferenças básicas entre os humanos e os demais primatas parecem estar localizadas realmente na pele humana, com todos os seus mistérios e conotação erógena.

Quanto ao problema de carregar crianças ao longo de nossa linha evolutiva, o mais provável é que inicialmente tenha sido uma tarefa exclusivamente das fêmeas, por milhões de anos, seguindo o padrão usual dos símios. Acredito, porém, que na emergência do gênero Homo ocorreram alterações específicas nas relações entre os sexos, que levaram a novas formas de relacionamento, junto com o aumento do cérebro. Em particular, o aumento de população deve ter sido definido pela possibilidade de diminuição do intervalo de nascimentos de uma mesma fêmea, o que só pode ter sido obtido pelo auxílio dos machos no transporte das crianças mais velhas. Um padrão de crianças pequenas carregadas nos braços de suas mães e de crianças mais velhas sendo carregadas nos ombros dos homens eretos é bastante provável, tendo em vista o que ocorre nas sociedades humanas primitivas.

Minha proposta corresponde, na verdade, a um retorno a Darwin e ao naturalismo do século XIX, mas integrando todo o conhecimento acumulado no último século. Na época atual os especialistas focalizam apenas os detalhes, sem chegar a uma visão de conjunto. Esta nova visão que apresento aqui, com um olhar feminino, ainda não alterou os modelos centrados na visão masculina, que permanecem dominantes. Mas é uma visão que se insere nas mudanças radicais que estão ocorrendo na humanidade, e que nos deixam perplexos, porque não temos ainda uma base para entender os novos rumos. O futuro está chegando, trazido pelas mudanças nas complexas relações sócio sexuais de nossa espécie, que determinam nossa evolução!

Agradecimentos

Agradeço aos amigos que leram este artigo, e me ajudaram a encontrar um tom de divulgação menos árido.

Referencias

Amaral, L. Q. 1989. Early hominid physical evolution. Human Evolution (Firenze, Italy) 4:33–44.

Amaral, L. Q. 1996. Loss of body hair, bipedality and thermoregulation. Comments on recent papers in the journal of human evolution. J.Hum. Evol. 30:357–366.

Amaral, L. Q. 2008. Mechanical analysis of infant carrying in hominoids, Naturwissenschaften, 95 (4): 281-292. Pode ser baixado livremente da internet no site: http://www.springerlink.com/content/q77m6056jm25230h/?p=ef0f6e

70afa0472d97a9709c29b495d7&pi=1
Darwin, C. 1871. The descent of Man and Selection in relation to sex. London: John Murray. 1st ed. (2 volumes). Tradução em português: A Origem do Homem e a Seleção Sexual, Hemus, São Paulo, 1974.
Ebling, I. 1985. The mythological evolution of nudity. J. Human Evolution, 14: 33-41.
Hutchinson, G.E. 1963. Natural selection, social organization, hairlessness, and the Australopithecine canine. Evolution, 17: 588-589.
Goodall van Lawick J . 1967. Mother–offspring relationship in free ranging chimpanzees. In: Morris O (ed) Primate ethology. Aldine, Chicago, pp 287–346
Montagna W. 1982. The evolution of human skin. In: Chiarelli AB, Corrucini RS (eds) Advanced views in primate biology. Springer, Berlin, pp 35–41
Montagna W. 1985. The evolution of human skin (?). J Hum Evol 14:3–22
Morris, D. 1967. The Naked Ape: A Zoologist's Study of the Human Animal. New York McGraw-Hill. Tradução em português: O Macaco Nu, ed. Rio de Janeiro: Record, 1967.
Newman, R. 1970. Why man is such a sweaty and thirsty animal : a speculative review. Human biology 42: 12-27.
Reynolds, V. 1967. The apes. Harper Colophon Books, New York.
Robinson, J.T. 1972. Early hominid Posture and Locomotion. Chicago, The University of Chicago Press.
Rosenberg, K.R. e Trevathan, W.R. 1995. Bipedalism and Human Birth: The Obstetrical Dilemma Revisited. Evolutionary Anthropology 4:161-168.
Rosenberg, K.R. e Trevathan, W.R. 2003. The Evolution of Human Birth. Scientific American 13:80-85. Tradução em português : A evolução do nascimento humano, Scientific American Brasil. Pode ser baixado do site (visto em 16/8/2012): http://www.icb.ufmg.br/lbem/aulas/grad/evol/humevol/evol-nasc-humano.html
Schultz, A.H. 1931. The density of hair in primates. Hum Biol. 3:303–321
Schultz, A.H. 1968. The recent hominoid primates. In: Washburn SL, Jay PC (eds). Perspectives on human evolution-1. Holt, Rimehart and Winston, New York, pp 122–195.
Schwartz, G.G. e Rosenblum, L.A. 1981. Allometry of primate hair density and the evolution of human hairlessness. Am. J. Phys. Anthropol. 55:9–12