

sugerem que a bacia se desenvolveu a partir de um sistema duplo de descolamentos intracrustais como resposta a uma extensão NW-SE. A estratigrafia da bacia, estrutura do embasamento e a ligação entre o embasamento exposto e refletores profundos indicam modelo de extensão litosférica baseado em *detachments* intracrustais, com cisalhamento simples na parte superior da crosta e cisalhamento puro na crosta inferior. O estiramento subcrustal foi mínimo. O *Graben* de Apodi exibe geometria inusitada, denominada meio-*grabens* conjugados, caracterizado por um arco estrutural definido por dois meio-*grabens* basculados em sentido oposto, controlados por um sistema duplo de falhas listricas intracrustais de baixo ângulo, claramente amostrado em perfis sísmicos profundos.

A deformação do *Graben* de Apodi foi modelada matematicamente, tanto a nível de geometria de bacia quanto às condições mecânicas para a ocorrência de falhas de baixo ângulo. Uma solução numérica para a deformação no bloco de capa acima de um conjunto de falhas listricas normais claramente indica a importância de cisalhamento inclinado na modelagem de falhamento listrico. Os resultados indicam que cisalhamento antitético é esperado em falhas normais listricas de alto ângulo, ao passo que cisalhamento sintético, ou próximo à vertical, melhor representa a deformação em blocos associados às falhas listricas de baixo ângulo. O modelo pode incorporar qualquer número de falhas listricas, com variável geometria de falha e ângulo de emergência. Uma segunda modelagem, de cunho teórico, prediz condições físicas pretéritas, necessárias para o desenvolvimento de zonas de descolamento na base de cunhas extensionais. Uma solução "dependente de escala" para a mecânica de cunhas extensionais foi obtida e aplicada ao *Graben* de Apodi, onde pressões de poros anormalmente altas estão associadas a falhas de baixo ângulo. Altas pressões de poros associados a baixos coeficientes de fricção ajudam a explicar o desenvolvimento de zonas de descolamento na base do *Graben* de Apodi, responsável pela acomodação de grande parte da extensão observada na área.

O FOLHELHO BURGESS E A EVOLUÇÃO DA VIDA NA TERRA - COMENTÁRIO SOBRE A OBRA DE STEPHEN JAY GOULD

THE BURGESS SHALE AND THE EVOLUTION OF LIFE ON EARTH - COMMENTS ABOUT THE WORK OF STEPHEN JAY GOULD

Almério Barros França¹

"One cannot hope to do anything significant or original in science unless one accepts the inevitability of substantial error along the way." Stephen Jay Gould (*Wonderful Life*, p. 196)

RESUMO

Stephen Jay Gould é o maior escritor na área de Geociências. Ele consegue, com simplicidade e estilo agradável, transmitir ao leitor, mesmo leigo, seus pensamentos sobre os mais diversos assuntos em Geociências e História Natural. É autor de diversos livros famosos (*Ever Since Darwin*, *Hen's Teeth and Horse's Toes*, etc.) e escreve periodicamente para a revista *Natural History*. Criou em 1972, juntamente com seu colega Niles Eldredge, a teoria do equilíbrio puntuado sobre a evolução das espécies. Em "*Wonderful Life*", Gould usa as criaturas exóticas do Folhelho Burgess para demonstrar que a presença do homem na terra é mera contingência na evolução das espécies, um acidente de percurso. O planeta terra, dentre diversas possibilidades, poderia estar sendo habitado, até hoje, pelos dinossauros, ou nunca ter havido dinossauro algum na Terra, ou, mais surpreendente ainda, nunca ter havido o Homem!

Os comentários aqui apresentados visam a atrair a atenção sobre o grande escritor que é Stephen Gould. Estes comentários estão quase sempre mesclados com traduções de frases e, às vezes, parágrafos de sua obra. Além disso, criaram-se situações e exemplos mais adequados à cultura brasileira.

1 - INTRODUÇÃO

Em 1970, a seleção brasileira disputava a Copa do Mundo no México. Foi o primeiro mundial de futebol transmitido ao vivo pela televisão, em preto e branco é claro, mas nem por isso deixou de ser fascinante na época. Hoje,

¹-Núcleo de Exploração da Bacia do Paraná (NEXPAR), Departamento de Exploração (DEPEX), Rua Padre Camargo, 285, CEP 80060-240, Curitiba, PR, Brasil

o vídeo cassete permite rever, em cores, os grandes momentos da seleção vitoriosa em copa do mundo. Quem não se recorda, por exemplo, do jogo Brasil e Inglaterra, sem dúvida o mais tenso e o mais difícil da competição. A jogada mais perfeita do mundial foi, talvez, a que deu ao Jairzinho o gol da vitória nesta partida. Tostão fez um "carnaval" na defesa britânica, chutando a bola por entre as pernas do grande Bob Moore e, mesmo sem olhar, cruzou. Pelé recebeu a bola e passou ao Jairzinho, que disparou o chute mais importante de sua carreira, sem a menor chance de defesa para o incrível Banks. Um primor, desde o lance individual de Tostão até o grande sentido de conjunto do time.

Com o mesmo vídeo cassete, pode-se voltar o *tape* e assistir à mesma jogada várias vezes. Imagine-se agora que este vídeo cassete é especial, mágico, e que, com ele, se possa brincar com o tempo e com fatos históricos. Suponha-se que, após assistir ao gol do Brasil, e ao se rebobinar o *tape* para rever o lance, também apagou-se seu registro e se recomeçou exatamente no momento em que o Tostão recebeu o passe dentro da área inglesa. Pressionou-se o botão *play* e viu-se a jogada feita exatamente como aconteceu, sem possibilidade de mudanças.

Mas imagine que, a cada rebobinada do *tape*, jogadas diferentes acontecessem. Suponha que, por exemplo, nesta outra versão, o Jairzinho perdesse o gol. Qual seria o resultado final do jogo? Quem ganharia a Copa do Mundo de 1970? Uma versão poderia mostrar a Inglaterra bi-campeã do mundo; outra, mais extravagante, mostraria a Romênia, pela primeira vez campeã do mundo!

Se se fizesse experiência semelhante com o *tape* da vida, qual seria a predição sobre a presença do homem na Terra? Ou a dos mamíferos? Dos vertebrados? Da vida nos continentes?

Stephen Gould chama este experimento, que naturalmente não se pode testar, de *replaying life's tape*. Um artifício impressionante, utilizado por ele para sugerir que a vida na Terra, no passado e presente, é apenas uma contingência, a evolução não possui *trend*, é imprevisível. O autor, entretanto, não vê a origem da vida da Terra como casual ou um evento sem previsão. Gould acredita que, dada a composição da atmosfera e oceanos primitivos, a origem da vida seria uma necessidade química. A contingência surgiria posteriormente, quando a complexidade histórica passa a fazer parte da evolução.

Quem não gosta de ficção? Com o *tape* da vida, rebobina-se o vídeo cassete até mais ou menos 65 milhões de anos atrás e vê-se o extermínio dos dinossauros após um domínio de mais de 150 milhões de anos. Esta versão mostra um cometa com cerca de 20 km de diâmetro caindo no planeta Terra. O choque é impressionante: nuvens de partículas cobrem a Terra, a luz solar é impedida de chegar às plantas e ao fitoplâncton, não há fotossíntese, a vegetação agoniza, perece, e, como consequência, acontece grande mortandade em cadeia, tanto nos continentes quanto nos

oceanos. A evolução que "preparou" os gigantescos répteis permitindo que, por tanto tempo, dominassem a Terra, parece falhar em não prever o choque de um cometa e a alteração ambiental súbita que ele provocara.

À medida que a nuvem de partículas se esvanece, a luz solar aos poucos volta à superfície terrestre e o vídeo mágico revela uma paisagem de ficção científica. Um hipotético espectador ambientalista não acreditaria: florestas em pé, mas sem vida; dos grandes dinossauros, apenas carcaças. De repente, a câmara mágica, que busca por um sinal de vida, visualiza pequenos animais, assustados, correndo por entre o que sobrou da grande catástrofe. A maioria dos sobreviventes terrestres são mamíferos, pequenos, que até então viviam sem espaço, sufocados pelo poderio dos grandes répteis; ainda sem entenderem o que se passara, mal sabiam que sua oportunidade chegara. O vasto ambiente terrestre estava aberto, livre para eles crescerem, diversificarem-se, dominarem o planeta e criarem uma espécie fantástica: o *Homo sapiens*.

Será que os primeiros mamíferos previam a catástrofe do fim do Cretáceo (por cometas ou não) e se "prepararam" para sobreviver ao evento e, então, dominar o planeta após os dinossauros? Difícil de acreditar.

Rebobinando o *tape* mais uma vez e retornando-se ao mesmo ponto de 65 milhões de anos atrás, vê-se o cometa agora passando distante da Terra. Os dinossauros continuam através do Cretáceo, e seu domínio, que já durava 150 milhões de anos, continua sem previsão de findar. Talvez fosse melhor desligar o vídeo, pois esta situação é perigosa para o *Homo sapiens*. Situação semelhante foi criada por Steven Spielberg em "De Volta para o Futuro". quando Marty McFly (Michael J. Fox) teve que voltar no tempo e reconstituir o passado como ele realmente ocorrera, pois, em viagem anterior, sua mãe, então uma adolescente, apaixonara-se por ele. McFly tinha que alterar esta situação, sob o risco de ser apagado da história, pois seus pais não se encontrariam.

Recorda-se, agora, um pouco de biologia elementar e alguns aspectos da origem da vida. A vida apareceu na Terra cerca de 3,5 bilhões de anos atrás, como sugerem alguns estromatólitos na África e Austrália. Os primeiros organismos eram unicelulares e estas células primitivas, denominadas células procarióticas, eram desprovidas de organelas - sem núcleos, sem cromossomas, sem mitocôndrios e sem cloroplastos. Hoje, apenas bactérias e algas verde-azuis são procarióticos. Todos os demais organismos unicelulares, incluindo *Amoeba* e *Paramecium*, são eucarióticos: possuem células com núcleos.

O advento das células eucarióticas no registro fóssilífero ocorreu há 1,4 bilhão de anos. Ou seja, por mais ou menos 2,1 bilhões de anos - cerca de dois terços de toda a história da vida na Terra -, os organismos eram unicelulares procarióticos! O aparecimento de células eucarióticas, provavelmente evoluídas de colônias procarióticas, marca um incremento na complexidade da vida. No entanto, os primeiros

organismos multicelulares só iriam aparecer muito mais tarde, cerca de 700 milhões de anos atrás, conforme registrado na fauna de Ediacara na Austrália. Mas, é no Cambriano, há 530 milhões de anos, que surge a primeira fauna de invertebrados com amplas variações anatômicas e que foi preservada, com detalhes impressionantes no Folhelho Burgess, localizado no Parque Nacional Yoho, nas Rochosas Canadenses, Columbia Britânica.

Segundo Stephen Jay Gould, o Folhelho Burgess contém o registro fóssil mais importante do mundo. Estes fósseis preservaram, com detalhes incríveis, desde filamentos das guelras de trilobitas até componentes da última refeição encontrada no "estômago" de diversos vermes! Entretanto, a importância maior dos fósseis do Folhelho Burgess não reside nestes detalhes, mas sim nas formas, algumas bizarras, que serão discutidas oportunamente, e em informações interessantes para a evolução da vida, que Gould consegue extrair do conjunto de organismos que habitaram o mar de Burgess e cuja maioria desapareceu sem deixar descendentes, sem encaixar-se em nenhum grupo de animais já classificados e sem antecessor conhecido.

O Folhelho Burgess foi descoberto em 1909 pelo paleontólogo americano Charles Doolittle Walcott, diretor do Instituto Smithsonian. Walcott foi o primeiro estudioso dos fósseis do Folhelho Burgess, seguido (1971) por Harry Whittington da Universidade de Cambridge e dois alunos seus, Derek Briggs e Conway Morris, e, mais recentemente, o próprio Stephen Gould da Universidade de Harvard.

Charles Darwin escreveu que o registro fóssil imperfeito é como um livro que se preservou com apenas algumas páginas, destas páginas apenas algumas linhas, destas linhas algumas palavras e destas palavras algumas letras. Como é que, de repente, aparece o Folhelho Burgess - possivelmente uma página inteira preservada? Os paleontólogos alemães chamam estas faunas de extraordinária riqueza e completude, de *Lagerstätten*, que Gould traduz para o inglês como *mother lodes*, e, em português, poder-se-ia traduzir como "lugar-mãe". *Lagerstätten* são raros, mas sua contribuição para o conhecimento da história da vida é desproporcional em relação à sua frequência, por diversas ordens de magnitude. Cerca de 20% dos principais grupos de organismos são conhecidos exclusivamente pela sua presença em três grandes *Lagerstätten*: o Folhelho Burgess (Cambriano), o Hunsrückschiefer (Devoniano), na Alemanha, e os Folhelhos Mezon Creek (Carbonífero), perto de Chicago.

Três fatores básicos se sobressaem como precondições na preservação de faunas sem carapaças duras, (*soft-bodied fauna*): rápido soterramento, deposição em ambiente livre de agentes destruidores, como oxigênio, bactérias e coprófagos; efeitos mínimos de metamorfismo e erosão. Considerando o oxigênio, ambientes pobres em oxigênio são excelentes para a preservação de partes orgânicas moles - não há oxidação e não ocorre deterioração por bactérias aeróbicas. Estas condições são comuns em

bacias estagnantes, onde se preservam, também, carbono orgânico, matéria-prima para a geração de petróleo. Mas, as condições essenciais para a preservação impedem que haja condições de vida diversificada. Logo, os ambientes que favorecem a preservação dificultam a proliferação da vida. O "truque" na formação de *Lagerstätten*, incluindo o Folhelho Burgess, está em um conjunto de circunstâncias peculiares que, subitamente, colocam uma fauna rica em um lugar inóspito. Por isso, os *Lagerstätten* são raros.

A pedra do Folhelho Burgess, que possui fósseis com mais disparidades anatômicas do que qualquer mar atual, não é maior do que um quarteirão, possui cerca de 3 m de altura e a maioria dos fósseis foi encontrada ao longo de 70 m de afloramento. Como pode uma riqueza tão grande se acumular em um espaço tão reduzido? Pesquisas detalhadas mostram que os animais do Folhelho Burgess viviam em um banco de lama, ao longo da base de uma parede quase vertical chamada Escarpa Cathedral - um recife de algas calcáreas, onde havia águas rasas e aeradas, *habitat* típico de fauna marinha com grande diversidade. Por outro lado, este ambiente também deveria favorecer rápida oxidação e ação de deterioradores. Para serem preservados como foram, os animais de Burgess tinham que ser removidos para outro lugar.

Talvez os bancos de lama se tornaram instáveis, promovendo deslizamentos e correntes de turbidez com nuvens de lama (contendo os animais de Burgess) talude abaixo, para uma bacia adjacente, estagnante, desprovida de oxigênio. Deste modo, uma fauna rica em organismos moles estaria sendo deslocada, de modo súbito, de um ambiente onde não teria condições de ser preservada para uma região onde o soterramento rápido e a ausência de oxigênio favoreceriam sua preservação.

A distribuição pontual dos fósseis em Burgess suportam a idéia de deslize de lama. Além disso, poucas espécies mostram sinais de deterioração, sugerindo rápido soterramento; não há rastros, ou pistas, ou outras marcas de atividade orgânica, indicando que os animais morreram e foram imediatamente sepultados pela lama.

1.1 - Os Animais Exóticos do Folhelho Burgess

O que faz a fauna de Burgess tão distinta? Quais as grandes diferenças entre os animais do Folhelho Burgess e dos demais *Lagerstätten*? Primeiro, os organismos de nenhum deles sequer se aproxima da variedade existente em Burgess, onde viveram animais nunca vistos, antes, ou depois; em segundo lugar, todos os fósseis famosos de *Mezon Creek* e *Hunsrückschiefer* se encaixam em grupos taxonômicos modernos. Ao contrário, raros animais de Burgess se encaixam, ou poderiam se encaixar em grupos taxonômicos conhecidos. Que animais são esses?

Só se irá entender ou pelo menos equacionar-se a fauna de Burgess se um pouco de taxonomia (a ciência da

classificação) for recordada. A taxonomia atual reconhece sete níveis classificatórios, quais sejam:

Níveis	Exemplos
1. Reino :	Animal
2. Filo :	Cordata
3. Classe :	Mamífera
4. Ordem :	Carnívora
5. Família :	Canídea
6. Gênero :	<i>Canis</i>
7. Espécie :	<i>Canis familiaris</i> (cão doméstico)

O filo é a unidade básica de diferenciação dentro dos reinos, do mesmo modo que, em litoestratigrafia, usa-se formação como unidade básica. No reino animal, por exemplo, o Homem pertence ao filo Cordata, juntamente com todos os vertebrados. Insetos, aranhas, lagostas e semelhantes pertencem ao filo Artrópoda. Os demais filios são os seguintes: Esponjas, Corais, Anelídeos, Moluscos e Equinodermas. O filo representa, então, os principais galhos da árvore da vida.

Em que galho desta árvore entra a fauna de Burgess? De antemão pode-se dizer que alguns organismos de Burgess são classificados como Artrópodos, apesar de únicos, sem descendentes. A maioria, no entanto, pertence a novos filios, ainda não denominados. Ou seja, a árvore da vida que se conhece hoje, com sete galhos principais, deve ser reestruturada, para encaixar os organismos do Folhelho Burgess, e não o contrário, como fora proposto (com os conhecimentos da época) pelo descobridor de Burgess - Charles Walcott, que "forçou" a classificação dos animais do Folhelho Burgess na árvore de sete galhos. Esta situação fica mais clara ainda traduzindo diretamente Gould: o Folhelho Burgess, uma pequena pedreira na Columbia Britânica, contém os remanescentes de cerca de 15 a 20 organismos tão diferentes um dos outros e tão distintos de qualquer ser vivo hoje, que, para cada um deles, deveria ser erigido um novo filo.

Dentre os organismos de Burgess, escolheram-se quatro julgados os mais excêntricos, para se apreciar o que Stephen Gould conta sobre eles.

1. *Marrella*: *Marrella Splendes* é o organismo mais comum no Folhelho Burgess, sobrepassa qualquer outro em abundância. Só Walcott coletou mais de 12 000 espécimens. *Marrella* foi o principal fóssil de Burgess a ser descrito pelo seu descobridor Charles Walcott em 1912. Trata-se de um animal pequeno, com tamanho variando de 2,5 mm a 19 mm (fig. 1). A única decepção provável ao se ler "Wonderful Life" é quando se descobre que a fauna do Folhelho Burgess é pequena. Seu maior animal tinha, aproximadamente, 50 cm, mas era uma exceção. Há a tendência de menosprezar quase tudo que é por demais pequeno. Se se pensa que *Marrella*, por ter apenas 19 mm, não era importante, então também ainda não se está consciente de que o microscópico vírus HIV pode dizimar a raça humana.

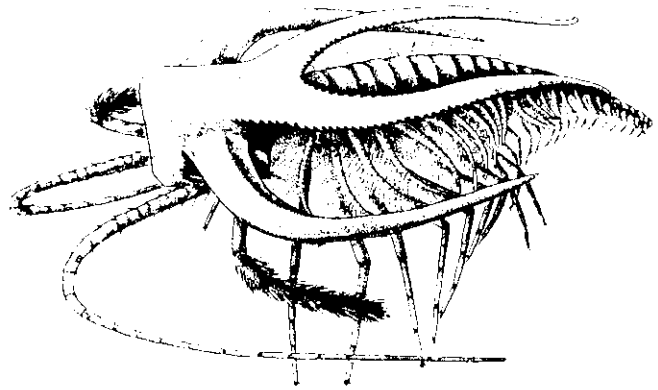


Fig. 1 - Vista lateral de *Marrella splendens*. Fóssil mais comum no Folhelho Burgess, com mais de 12 000 exemplares já coletados. Foi inicialmente interpretado como um trilobita. Atualmente, é considerado um Artrópoda único. Desenhado por Marianne Collins, de acordo com Gould (1989)

Fig. 1 - Side view of *Marrella splendens*. The most common fossil present in the Burgess Shale, more than 12 000 specimens have already been collected. It was first thought to be a trilobite. Nowadays it is considered as a unique Arthropod. Sketch by Marianne Collins, according to Gould (1989).

Para Walcott, *Marrella*, apesar de não se "parecer" com um trilobita convencional, foi classificado como tal. Walcott, naquela época, não poderia visualizar a importância do material que tinha em mãos e simplesmente encaixou todos os animais de Burgess dentro de um *phylum* em que eles mais "pareciam" se encaixar: Artrópodos (ou em sua versão da época - como Crustáceos). Posteriormente, Harry Whittington, em 1971, começou a redescrever estes organismos, e percebeu que não só *Marrella*, mas praticamente todos os animais de Burgess tinham sido "forçados" a uma taxonomia moderna.

Um dos dilemas de Harry Whittington era a memória do grande paleontólogo Charles Walcott, que havia "estabelecido" a classificação dos organismos de Burgess alguns anos atrás. Mas, à medida que analisava os fósseis do Folhelho Burgess, mais certeza ele tinha que Walcott cometera, inconscientemente, um erro científico. A partir desta constatação e com toda a fauna de Burgess para ser reinterpretada, Whittington caminhou então no rumo certo. Nada muito diferente da evolução de qualquer ciência. Walcott, nem outro cientista, jamais deve ser punido ou criticado por erros desta natureza. Whittington sim poderia ser criticado caso, percebendo o erro de Walcott, se deixasse levar pelo dogma criado por um grande cientista e distorcesse tudo aquilo que ele, Whittington, havia descoberto.

Mesmo Whittington, naquela época, estava ainda preso ao conceito de que fósseis antigos têm necessariamente que ser primitivos, ou seja, de uma maneira ou outra, devem ser ancestrais de organismos atuais. Assim, apesar de não classificar *Marrella* como um trilobita, ele pensava, no início de seus trabalhos, que *Marrella* fosse um ancestral dos trilobitas. Por fim, ele abandonou a idéia e considera *Marrella* um Artrópoda único, sem vínculo algum

com os trilobitas, ou qualquer outro Artrópoda conhecido.

2. *Opabinia*: *Opabinia* (fig. 2) é um animal raro em Burgess, com apenas 10 espécimens encontradas até agora (Walcott encontrou nove delas). *Opabinia* possui comprimento variando de 4 cm a 7 cm, corpo segmentado e cinco olhos. Para Walcott, *Opabinia* era o mais primitivo dos Artrópodos de Burgess. Porém, Gould pergunta: que feições de Artrópodos Walcott encontrara em *Opabinia*? Walcott admitia "nenhuma das cabeças encontradas mostrava antenulas, antenas ou mandíbulas. Se estes apêndices fossem grandes, deveriam, então, estar quebrados e separados do corpo; se pequenos, deveriam, então, estar escondidos por debaixo da cabeça que foi achatada".

A frase seguinte de Gould, que se mantém em inglês, retrata muito bem um tipo de erro que se comete, às vezes inconscientemente:

"Walcott 'knew' that *Opabinia* was an arthropoda, so the animal had to have appendages on its head. Since he didn't find any, he provided explanations for their absence - either they were so large that they always broke off, or they were so small that they became hidden beneath the head. He never even mentioned the obvious third alternative - that you don't see them because they didn't exist."

Talvez se devesse fazer um pausa e ligar o videocassete mágico e rebobinar o *tape* da exploração de petróleo no Brasil até o ano de 1978, Floresta Amazônica, Poço Juruá número 1 (descobridor do Campo de Juruá). Como seria a versão mostrada pelo vídeo para a exploração na Bacia do Solimões, caso Domingos Negrão, então geólogo do poço, juntamente com outros colegas da ex-Renor não mantivessem a firme decisão de testar o intervalo que, para muitos, era sem interesse para hidrocarbonetos?

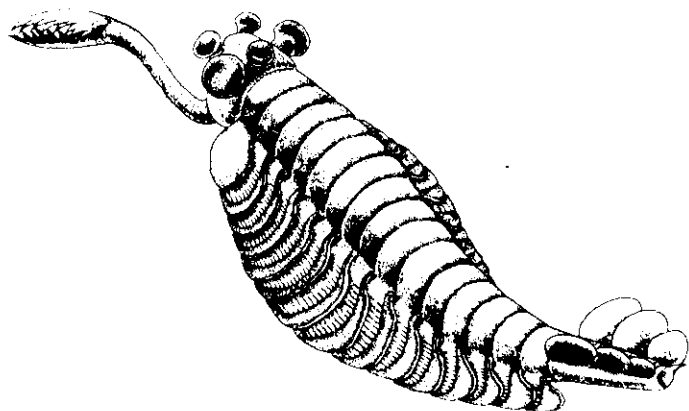


Fig. 2 - *Opabinia*. Notar os cinco olhos na cabeça, corpo segmentado com guelras e uma garra terminal. *Opabinia* foi erroneamente interpretado como um Artrópoda. Na realidade necessita de um novo filo. Desenhado por Marianne Collins, segundo Gould (1989).

Fig. 2 - *Opabinia*. Notice the five eyes in the head, segmented body with gill and a terminal claw. It was erroneously mistaken for an Arthropod. Actually, it needs a new phylum. Sketch by Marianne Collins, after Gould (1989).

Pode-se parar o *tape* no final da década de 70 na cidade de Mossoró, interior do Rio Grande do Norte. Nesta versão, um certo empresário hoteleiro decide não mais se instalar na região e, portanto, cancela a perfuração do poço para "água" mais famoso deste País. Seguindo o filme, nota-se que o Rio Grande do Norte ocupa um dos últimos lugares na produção de petróleo do Brasil, ao invés do invejável primeiro lugar em produção terrestre, que ocupa hoje.

O vídeo mágico sugeriu que parte da história do descobrimento de petróleo no Brasil foi mera contingência, sem desmerecer as grandes descobertas que foram feitas com previsões científicas. É válido relembrar que não se deve raciocinar com base em dogmas, sob o risco de se errar, como o fez Charles Walcott, um erro que levou mais de meio século para ser corrigido.

3. *Hallucigenia*: Gould afirma que se alguma criatura tivesse que ser selecionada para simbolizar a mensagem do Folhelho Burgess - a estonteante disparidade e singularidade anatômica criada tão precocemente e tão rapidamente na história da vida multicelular moderna - esta criatura seria *Hallucigenia* (fig. 3). Primeiro, porque *Hallucigenia* é um organismo deveras estranho e, em segundo lugar, porque seu nome, escolhido por Conway Morris, já sugere que o aparecimento desta criatura mais parece fruto de alucinações do que uma realidade. Impressão que muitos têm ao estudar Burgess.

"Como descrever um animal que não se sabe sequer que parte está para cima, ou mesmo de que lado está a cabeça?" Assim é *Hallucigenia*, cujo maior espécime mede cerca de 2,5 cm e cuja excentricidade leva, segundo Gould, a entrar em um mundo perdido. Trata-se de mais um organismo que necessita de um novo filo.

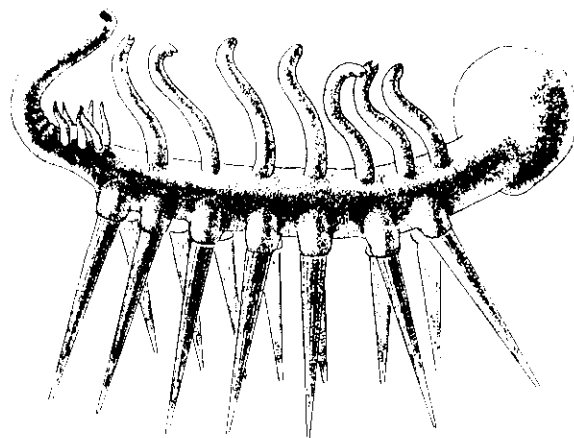


Fig. 3 - *Hallucigenia*, sustentado por sete pares de "estacas" em sua mais provável posição de vida no fundo do mar. Não se sabe ainda qual extremidade é sua cabeça. Desenhado por Marianne Collins, segundo Gould (1989). *Hallucigenia* necessita de um novo filo.

Fig. 3 - *Hallucigenia*, show in the most probable living position in the sea bottom, it is supported by seven pairs of "stakes". It is not know which end contains the head. *Hallucigenia* needs a new phylum. Sketch by Marianne Collins, after Gould (1989).

Conway Morris, que descreveu *Hallucigenia*, encontra ainda muitas dificuldades para explicar como este animal "funcionaria". Como se alimentava? Como se locomovia? Talvez ele não seja um animal completo, mas sim um complexo apêndice de uma criatura maior, ainda não descoberta. O curioso é que este animal, se descoberto, poderá ser ainda muito mais estranho do que já é a própria *Hallucigenia*! Isto já aconteceu antes em Burgess. Em 1911, Walcott descreveu o que seria o único cnidário de Burgess, denominando-o *Peytoia*. Posteriormente, descobriu-se que *Peytoia* era a boca de um outro animal (*Anomalocaris*), que era o terror dos trilobitas nos mares cambrianos.

4. *Anomalocaris*: *Anomalocaris*, que significa "Camarão anômalo" (fig. 4), alcançava cerca de 50 cm de comprimento e foi o maior de todos os animais conhecidos do Cambriano. Sua boca (*ex-peytoia*), contendo cerca de quatro fileiras de dentes, funcionava como um quebra-nozes, o que o ajudava a triturar trilobitas ou o que julgasse apetitoso na época. Era o *dream species* do Cambriano, em alusão a um famoso time de basquete que se formou recentemente.

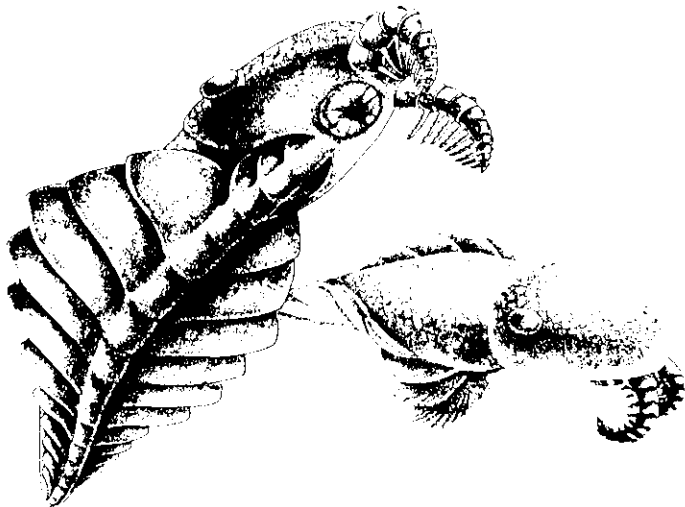


Fig 4 - *Anomalocaris nathorsti* - frente, e *Anomalocaris canadensis* - atrás. Notar a boca circular e o par de apêndices alimentadores que traziam a presa até a sua boca - comparada a um quebra-nozes pela sua eficiência em triturar trilobitas nos mares cambrianos. Necessita de novo filo.

Fig. 4 - *Anomalocaris nathorsti* - front, and *Anomalocaris canadensis* - in back. Notice the circular mouth and the pair of feeding appendages that helped to take the prey to the mouth - it is compared to a nutcracker due to its efficiency to crush trilobites in Cambrian seas. It needs a new phylum.

A história de *Anomalocaris* é curiosa, pois este animal foi "montado" a partir de três outros animais descritos anteriormente: o próprio *Anomalocaris* (ou parte dele); *Peytoia*, que era tido como um *jellyfish*; e o restante de um corpo que fora antes descrito como uma esponja e denominado *Laggania*. Muita coisa estranha pode acontecer no Folhelho Burgess. Gould acha que não se teve ainda a última e nem tampouco a maior surpresa contida no Folhelho

Burgess.

"A linha de montagem" do *Anomalocaris* funcionou da seguinte maneira: o primeiro fóssil de *Anomalocaris* foi descoberto em 1866 (portanto, antes de se descobrir Burgess), em uma pedreira próxima à Pedreira Burgess. Na época, o que o paleontólogo canadense J. F. Whiteaves chamou *Anomalocaris* foi uma parte, sem cabeça, do corpo de um Artrópodo semelhante a um camarão. Posteriormente, esta parte foi identificada corretamente como sendo um dos pares de apêndices alimentadores do animal completo. Harry Whittington e Derek Briggs são os responsáveis pela "montagem" do *Anomalocaris*, juntando peças de um surpreendente quebra-cabeças. Na realidade, Whittington e Briggs contaram com uma certa dose de sorte.

Tudo começou quando o Serviço Geológico Canadense encontrou um fóssil peculiar para Burgess, pois era muito maior do que qualquer outra coisa até então encontrada no Folhelho Burgess. A princípio, os dois paleontólogos não deram muita atenção ao "gigante". Quando analisaram o espécime em detalhe com técnicas de "dissecamento", encontraram o quebra-cabeças montado com todas as peças no seu devido lugar. Só tiveram que reconstruir o verdadeiro animal, que é considerado hoje o maior predador do Cambriano, e que também necessita um novo filo.

As descrições de outros animais do Folhelho Burgess poderiam preencher mais quatro ou cinco páginas deste comentário. Entretanto, *Marrella*, *Opabinia*, *Hallucigenia* e *Anomalocaris* dão ao leitor uma visão do que foi o Mar Cambriano de Burgess. Pode-se, assim, focalizar outros assuntos abordados por Stephen Gould em "Wonderful Life".

1.2 - Os Dois Grandes Problemas do Folhelho Burgess

Quando se estuda o Folhelho Burgess, notam-se pontos antagônicos a respeito da história da vida no planeta: primeiro, como é que tamanha disparidade pôde surgir tão rapidamente? E segundo, que aspectos anatômicos e que mudanças ambientais ditariam quem sairia vencedor e quem perderia? Ou seja, como se originou a fauna de Burgess e como houve uma sobrevivência diferencial e sua conseqüente propagação? Gould faz pequenos comentários sobre o primeiro problema com possíveis explicações com relação à origem da fauna de Burgess. No entanto, é sobre o segundo problema - sua dizimação, que o autor se alonga e faz deste assunto o cerne de seu livro.

Uma das possíveis explicações para a origem da fauna de Burgess, tem como base, as condições ambientais singulares dos mares cambrianos. Sob este ponto de vista convencional, Gould comenta que o Cambriano foi uma época única, de raras oportunidades - qualquer um podia achar seu lugar ao sol. A vida multicelular explodia e ocupava lugares vazios (aqui, pode-se falar de mares inteiros vazios) e qualquer forma de vida podia proliferar a taxas logarítmicas.

Neste período único da vida na terra, a competição ainda não se fazia presente.

Entretanto, Gould mostra que há uma objeção óbvia a esta idéia de “barril vazio”, como causa da explosão no Cambriano. Trata-se da extinção em massa no Permiano, que eliminou 95% ou mais das espécies marinhas e, mesmo assim, o fenômeno Burgess não se repetiu. A vida, é verdade, reocupou o barril logo após a grande mortandade permiana, mas não surgiu nenhum novo filo; todos os recolonizadores se mantiveram dentro de *designs* anatômicos prévios. Nenhuma disparidade.

Gould acha que o “barril ecológico vazio” foi o principal fator na disparidade anatômica de Burgess, e que tamanha explosão jamais poderia se repetir em um mundo já cheio. Mas, por outro lado, o autor acredita que a ecologia externa, por si só, não pode explicar todo o fenômeno de Burgess. Se os animais sempre tiveram potencial para se diversificar, por que só o mar singular do Cambriano permitiu a explosão do fenômeno Burgess?

Deve-se mencionar que, após os tempos de Burgess, nunca mais surgiu um novo filo. É lógico que os mares nunca mais foram tão vazios quanto no Cambriano, mas algumas situações locais foram bastante próximas.

1.3 - A Dizimação do Folhelho Burgess

Em uma visão convencional, poder-se-ia dizer que a extinção em Burgess preservou os mais “adaptados” e eliminou “einentes” perdedores. A princípio, deve-se apontar vencedores pela sua excelência anatômica e/ou pela competitividade. Numa situação ideal, diz Gould, uma visita à fauna de Burgess em seus dias de glória deveria ser feita para se escolherem espécies vencedoras, baseando-se em vantagens estruturais destes organismos privilegiados.

Entretanto, se se encarar honestamente a fauna do Folhelho Burgess, admite-se que não há evidências, por menor que sejam, de que os perdedores na grande dizimação eram sistematicamente inferiores em desenhos adaptativos. Quem escolheria, por exemplo e por que motivos, o *Anomalocaris*, então o rei dos mares Cambrianos, como um perdedor? Ultimamente, os cientistas que estudam o Folhelho Burgess têm escrito cada vez menos sobre perdedores previsíveis e começam a escrever cada vez mais sobre sorte! Não se sabe por que alguns animais de Burgess são primos de grupos vivos nos mares atuais, ao passo que outros são memórias congeladas no Folhelho Burgess. O observador hipotético do Cambriano não teria meios de provar quem iria passar adiante e quem iria se ‘congelar’ nas lamas de Burgess.

Os três arquitetos da revisão de Burgess (Morris, Whittington e Briggs) começaram sua obra com a visão convencional de que os vencedores conquistariam seu espaço por adaptação superior, mas concluíram que não se têm evidências para ligar o sucesso com melhores desenhos adaptativos. Ao contrário, os três acreditam que a dizimação

em Burgess foi uma loteria e não o final previsível como o de uma guerra entre os Estados Unidos e a Ilha de Granada.

Dentre os Artrópodos, por exemplo, quatro grupos teriam enorme sucesso, incluindo os animais dominantes do mundo atual. Os demais Artrópodos (21) em Burgess desapareceram sem descendentes. Os Artrópodos hoje possuem mais de 775 000 espécies, ou seja, mais de 75% das espécies animais conhecidas. Seus antepassados em Burgess não continham nenhuma marca que pudesse identificá-los como vencedores. Não eram mais abundantes (*Marrella*, de longe o mais comum dos organismos em Burgess, extinguiu-se), mais eficientes, ou mais volúveis do que os demais.

Quem escolheria *Sanctacaris* como vencedor? - um animal raríssimo em Burgess. Por que não *Marrella*? Se se rebobinar o *tape* até os tempos de Burgess, por que não se teria um conjunto de vencedores diferentes? Um conjunto onde os sobreviventes são extremamente bem adaptados para a vida na água, mas não para invadir os continentes - neste mundo alternativo não haveria mosquitos, baratas, percevejos - mas também seria sem abelhas e, por fim, sem flores.

Não se tem certeza que a dizimação em Burgess foi uma loteria. Mas também não se têm evidências que seus vencedores eram mais adaptados do que os perdedores. Tudo o que se sabe hoje de anatomia situa os perdedores de Burgess como adequadamente especializados e eminentemente capazes.

A idéia da dizimação por pura loteria converte a nova iconografia do Folhelho Burgess em uma visão radical a respeito dos caminhos da vida e da natureza da história.

1.4 - O Folhelho Burgess e a Natureza da História

O Folhelho Burgess, por conter o máximo de possibilidades anatômicas logo de início, é marco zero para o poder de controle de contingências que estabeleceu a história da vida e sua composição atual.

Caso se aceite que contingência não só é explicável e importante, mas também fascinante, entenderemos porque Burgess reverte nosso modo de pensar sobre a origem da vida na Terra e nos surpreende ao se imaginar que o Homem poderia simplesmente não ter surgido.

Onde colocar o limite entre previsibilidade e contingência? Tradicionalistas, como Walcott, colocariam este limite tão baixo que todos os principais eventos da história da vida ficariam acima desta linha divisória, dentro do domínio da previsibilidade. Na visão de Gould, entretanto, a linha divisória entre previsibilidade e contingência está tão alta que praticamente todos os eventos interessantes na história da vida caem no domínio da contingência. A nova interpretação do Folhelho Burgess é, para o autor, o principal argumento para situar este limite assim tão alto. Deste modo, a origem do *Homo sapiens*, como um pequeno broto, em um improvável galho de um tronco contingente, em uma

árvore fortuita, situa-se bem abaixo, no domínio da contingência.

Provavelmente, deve-se a existência do Homem à pura sorte. Pequenos animais, por razões ainda desconhecidas, parecem ter tido trunfos na maioria das extinções em massa, particularmente no Cretáceo, quando os dinossauros foram extintos. Os mamíferos sobreviveram à catástrofe aparentemente por serem pequenos, não porque possuíam alguma virtude anatômica intrínseca que os dinossauros não tinham. Os mamíferos eram pequenos não porque eles previam alguma vantagem futura em ser pequenos, mas, provavelmente, porque os grandes répteis dominavam o ambiente entre os vertebrados terrestres.

Gould cita um exemplo interessante sobre diatomácias - plantas unicelulares que habitam o plâncton marinho - e como elas sobreviveram ao extermínio do Cretáceo. Os paleontólogos ficaram por muito tempo questionando como as diatomácias conseguiram sobreviver, praticamente intactas, ao passo que a maioria de outros elementos do plâncton pereceram. As diatomácias contam, para seu crescimento e reprodução, com a disponibilidade sazonal de nutrientes que sobem à superfície, oriundos de águas profundas em zonas de *upwelling* (*blooms* de diatomácias). Quando estes nutrientes se escasseiam, as diatomácias podem mudar sua forma para um "esporo dormente" - essencialmente paralisam seu metabolismo e mergulham para águas profundas. Este período de dormência cessa com o retorno de nutrientes.

Os pesquisadores atribuem o sucesso das diatomácias no episódio de extinção do Cretáceo a uma consequência incidental de dormência. Os esporos dormentes evoluíram como uma estratégia para lidar com as flutuações sazonais e previsíveis de nutrientes e, claramente, não para eventos catastróficos de extinção em massa. No entanto, a habilidade de mergulhar em um estado dormente, muito certamente, salvou as diatomácias da escuridão do Cretáceo, que eliminou temporariamente a fotossíntese e propagou extinções ao longo da cadeia alimentar dependente de produção primária. Enquanto isso, as diatomácias - com seu trunfo - entraram em dormência e fugiram da "tempestade negra", estabelecendo-se temporariamente abaixo da zona fótica.

Se o sucesso a longo prazo depende, acima de tudo, de aspectos incidentais de feições evoluídas por razões diferentes, então como seria possível saber, se ao se rebobinar o *tape* da vida para um passado distante, quais grupos estariam determinados ao sucesso? E como se pode saber qual tipo de visto o próximo episódio de extinção em massa irá exigir nos passaportes?

Esta nova visão abre uma porta a mundos alternativos que não emergiram, mas que poderiam ter se concretizado com pequenas e sensíveis alterações em alguns eventos do passado. Estes universos, que não se concretizaram, seriam tão organizados e explicáveis como o mundo em que se vive hoje, mas tão diferentes que não se pode especificar em detalhes. A enumeração de possíveis mundos não

concretizados é um jogo sem fim - quem pode contar todas as possibilidades?

A vida surgiu na Terra há cerca de 3,5 bilhões de anos, tão logo o planeta se tornou suficientemente frio para tal. No entanto, a vida multicelular só apareceu cerca de 570 milhões de anos atrás. Logo, mais da metade da história da vida se resume na história de células procarióticas. Somente 1/6 desta história inclui os multicelulares.

O que pode ser dito a respeito da possibilidade de algo como a evolução do homem ocorrer em um mundo alternativo? Quanto tempo duraria esta evolução? Sabe-se que, no mundo, o primeiro evento que originou o Homem demorou mais da metade da história da vida conhecida. Se a Terra durar por mais centenas de bilhões de anos, então deve-se aceitar a probabilidade de uma eventual origem de inteligência superior - assim, este passo inicial teria gasto apenas uma fração mínima do potencial de tempo da Terra. No entanto, sabe-se que o Sol está na metade de sua existência e que explodirá dentro de, aproximadamente, cinco bilhões de anos, destruindo a Terra. A vida na Terra findará de qualquer modo.

Desde que a inteligência humana surgiu, apenas um segundo geológico atrás, encara-se a realidade de que a evolução de autoconsciência requereu mais ou menos metade do tempo potencial do planeta. Em outras versões do *tape*, que certeza ter-se-ia da eventual origem das habilidades mentais do Homem? Em uma outra versão, mesmo que todos os caminhos seguidos na evolução fossem os mesmos que se conhecem, a jornada poderia durar muito mais tempo, por exemplo, 20 bilhões de anos - exceto se a Terra já tivesse sido destruída pelo Sol bilhões de anos antes. Rebobina-se o *tape* mais uma vez e agora a evolução das células procarióticas leva 12 bilhões de anos, ao invés de dois bilhões e os estromatólitos são a única testemunha muda do Armagedon.

O nosso espectador hipotético, observando o mar Cambriano de Burgess, notaria alguma forma de vida que pudesse lhe sugerir ser a precursora dos vertebrados, e por fim, o Homem? A resposta é sim. Trata-se de *Pikaia gracilens* (fig. 5) - um cordado, ou seja, um membro do filo do Homem. Na verdade, o registro mais antigo de seu ancestral.

Morris e Whittington escreveram sobre *Pikaia*: "*The superb preservation of this Middle Cambrian organism gives it a landmark in the history of the phylum to which all the vertebrates, including man, belong*".

É verdade que não se pode provar que *Pikaia* foi o real precursor dos vertebrados. Outros cordados, ainda não descobertos, podem ter habitado outros mares cambrianos. No entanto, a raridade de *Pikaia* e a ausência de cordados em outros *Lagerstätten* do Paleozóico Inferior sugerem fortemente que *Pikaia gracilens* é o elo perdido e a ligação final nesta história de contingência - a conexão direta entre a dizimação de Burgess e a eventual evolução humana. Se se voltar o *tape* aos tempos de Burgess e *Pikaia* não sobreviver nesta versão, então os vertebrados estariam banidos da história futura.

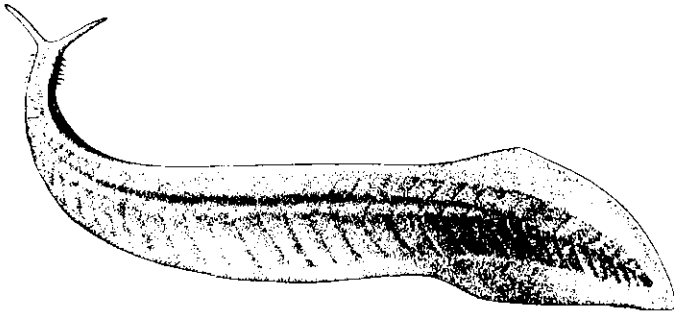


Fig. 5 - *Pikaia gracilens*, o primeiro cordata conhecido no mundo. Observar as feições: o notocórdio que evoluiu para a coluna vertebral e as ligaduras musculares em zigue-zague. Desenhado por Marianne Collins, segundo Gould (1989).

Fig. 5 - *Pikaia gracilens*, first cordate known in the world. Notice the features of our phylum: the notochord that evolved to our spinal column and the zigzag muscular ligatures. Sketch by Marianne Collins, after Gould (1989).

Portanto, se, após tudo o que foi aqui comentado, se fizer a pergunta capital: "por que o Homem existe?" A resposta deve ser: "porque *Pikaia* sobreviveu à dizimação de Burgess, e sua sobrevivência foi contingência da história".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOULD, S. J. *Wonderful Life : the Burgess Shale and the Nature of History*. New York : W.W. Norton, 1989.

GEOMETRIA E CINEMÁTICA DO RIFT RECÔNCAVO-TUCANO-JATOBÁ, NORDESTE DO BRASIL GEOMETRY AND KINEMATICS OF THE RECÔNCAVO-TUCANO-JATOBÁ RIFT, NE BRAZIL

Luciano Portugal Magnavita¹

Um modelo para a evolução geométrica e cinemática do rift Recôncavo-Tucano-Jatobá é aqui proposto. O rift evoluiu durante o Cretáceo Inferior como um braço abortado do rifteamento do Atlântico Sul, antecedendo ao espalhamento do assoalho oceânico na margem adjacente. Fases tectônicas pré-, sin-, e pós-rift são reconhecidas, com os sedimentos continentais sin-rift consistindo em depósitos

lacustres sobre os quais um sistema flúvio-deltaico progrediu. Cronoestratigrafia local, tentativamente correlacionada à carta internacional, indica uma fase sintectônica de cerca de 22 M.a., do Berriasiano Inferior ao Aptiano Inferior.

A unidade tectônica fundamental do rift é um meio-graben, o qual, ao longo do comprimento, muda de estilo estrutural passando de falhas internas antitéticas para sintéticas. Cada unidade constitui bacias, sub-bacias e compartimentos separados por zonas de acomodação, as quais podem, localmente, inverter a polaridade dos meio-grabens. Mais particularmente, a arquitetura do rift é determinada pela disposição espacial relativa de falhas de borda, bordas flexurais, patamares de borda, baixos estruturais, plataformas, zonas de acomodação e grabens menores.

A anisotropia do embasamento controlou a maioria das falhas de borda, zonas de acomodação e falhas internas ao rift. Entretanto, onde uma superfície preexistente possuísse orientação desfavorável à reativação, quando comparada a valores de um certo ângulo crítico θ_c , uma nova falha era criada. Predominantemente, as falhas exibem movimentos oblíquos de alto ângulo, embora componentes de baixo ângulo, ou mesmo direcionais, sejam importantes na terminação norte do rift. Pouca distensão e rotação dos estratos são associadas a falhas planares de alto ângulo, comumente mergulhando entre 60° e 80° . O estiramento mínimo varia entre $\beta = 1,03 - 1,17$, com menores valores em ambas terminações; na terminação norte, as diferenças em quantidade de distensão são acomodadas por meio de uma ampla zona, denominada Arco do Vaza-Barris.

Zonas de falhas em arenitos aflorantes ocorrem como cristas alongadas de falhas agrupadas em padrões poligonais ou anastomosados. A geometria do fraturamento, tanto no campo como em seções delgadas, obedece a uma distribuição fractal, indicando invariância em várias escalas (*scale-invariant*). Cruzando-se uma falha individual, a rocha é texturalmente caracterizada por uma zona de *gouge* bordejada por zonas de brecha, resultando numa geometria *gouge*-brecha característica. A largura do *gouge* tende a aumentar devido à deformação progressiva pelo lascamento (*spalling*) dos grãos das paredes em movimento e incorporação dos mesmos à zona de falha.

A evolução dessas falhas, provavelmente, envolveu uma fase inicial de deslizamento friccional entre grãos de arenitos inconsolidados, seguida de mecanismos de fraturamento e transferência de massa por difusão na rocha litificada. Critérios de fraturamento sugerem que a deformação progrediu de um período inicial de *strain-softening* para uma fase de *strain-hardening*, esta última enfatizada pela cicatrização de microfraturas abertas por cimentação silicosa quase simultânea. Essa cimentação próxima às margens das falhas sugere que estas tenham exercido papel significativo nos caminhos de migração secundária dentro

1-E & P-A BA/GEXP/GEINT. Av. Antonio Carlos Magalhães, 1113, CEP 41856-900, Pituba, Salvador, BA, Brasil. Tese de doutorado, Maio de 1992, Universidade de Oxford.