

GEOMETRIA DE CORDÕES LITORÂNEOS E ESPAÇO DE ACOMODAÇÃO SEDIMENTAR NA ILHA COMPRIDA, LITORAL SUL PAULISTA: MODELO BASEADO EM AEROFOTOINTERPRETAÇÃO

Paulo C.F. Giannini¹; Carlos C.F. Guedes²; Rodolfo J. Angulo³; Mario L. Assine⁴; Maria C. de Souza⁵; Eva K. Mori⁶.

1. Professor Doutor GSA-IG-USP (pcgianni@usp.br); 2. Bolsista Iniciação Científica IG-USP FAPESP 3. Professor Adjunto Degeol-UFPR, Pesquisador CNPq; 4. Professor Doutor IGCE-Unesp; 5. Bolsista Doutorado Degeol-UFPR CNPq; 6. Bolsista Iniciação Científica IG-USP CNPq

RESUMO

Com base na geometria de alinhamentos de cordões litorâneos, a evolução da ilha Comprida durante a regressão holocênica pode ser dividida em quatro fases principais, em que duas componentes de crescimento, uma longitudinal, para NE, e outra transversal, para SE, alternaram-se em importância relativa. A primeira fase caracterizou-se por certo equilíbrio entre estas duas componentes. A segunda fase foi marcada pela acentuação relativa da componente de crescimento longitudinal. A terceira fase, relacionada ao bloqueio exercido pelo morro de Icapara (Iguape) sobre a deriva litorânea longitudinal, teve o predomínio franco do crescimento transversal. Na quarta fase, a ilha atingiu largura suficiente para que o morro de Icapara não mais funcionasse como obstáculo para a deriva longitudinal. A barreira retomou assim seu crescimento rumo NE, como pode ser observado historicamente através da migração da desembocadura de Icapara. A oscilação nas taxas de crescimento transversal e longitudinal pode ser atribuída a variações de aporte e/ou de espaço de acomodação, incluídas aí a variação do nível do mar e o fetch da deriva litorânea. Na ausência de evidências de oscilações de nível do mar afetando toda a ilha, supõe-se que as quatro fases refletem variações graduais no balanço entre aporte e acomodação.

ABSTRACT

The Holocene evolution of Comprida island, in the southwestern coast of São Paulo State, Southeast Brazil, can be divided, with basis on the aerophotographic pattern analysis of beach-ridges alignments, in four main phases with different intensity of longshore (to NE) and transverse (to SE) growth components. The first phase was characterized by a certain equilibrium between these two components. The second phase had a relative increasing of the longshore growth. The third phase, related to the blockade of the longshore currents by Icapara hill (Iguape), had the predominance of transverse growth. In the fourth phase, the island reached width enough to Icapara hill no more act as obstacle to longshore drift. The barrier retaken thus the growth towards NE, as can be historically observed through the migration of Icapara inlet. The oscillations in the rates of longshore and transverse growth can be attributed to variations in sedimentary supply and/or accommodation space. The late includes the sea level variation and the longshore wave fetch. In the absence of evidences of sea level oscillations affecting the whole island coastline, it's possible suppose that the four evolutive phases of Comprida island reflect gradual variations in the supply/accommodation balance.

Palavras-Chave: deriva longitudinal, cordões litorâneos, Ilha Comprida.

1. INTRODUÇÃO

A ilha Comprida, situada no município homônimo do litoral sul paulista, estende-se por 72 km paralelamente à linha de costa, na direção aproximada SW-NE, desde a desembocadura de Cananéia até a de Icapara (Figura 1). Formada essencialmente por sedimentos arenosos quaternários, desempenha o papel de barreira geográfica separando mar aberto de laguna (Mar de Cananéia / Mar Pequeno). Uma divisão tripartite desta barreira tem sido admitida com base em aspectos aerofotogeológicos e de campo. A parte mais antiga, ou “ilha primitiva”, situada no interior do terço sudoeste, teria sido formada “durante a Transgressão Cananéia” (Martin & Suguio 1978), correlata ao interglacial Riss-Würm. Segundo Martin & Suguio (1978), a “ilha primitiva” apresenta cotas inferiores ao nível relativo do mar (NRM) máximo holocênico admitido para a região (~4,5 m em 5100 anos A.P.). Seria, desse modo, um testemunho de erosão da transgressão holocênica. As outras duas partes da ilha corresponderiam a gerações distintas de cordões litorâneos holocênicos depositados após o término da Transgressão Santos (Formação Ilha Comprida de Suguio & Martin 1994). A geração interior, ancorada a SW num

morro testemunho do embasamento cristalino (Morrete, 42 m de altitude), seria caracterizada por cordões cuja extremidade nordeste é curvada “em gancho”, com convexidade voltada para NE, padrão interpretado como resultante do crescimento longitudinal da ilha nesse rumo, por volta de 5.100 A.P.. A geração de cordões externa apresentaria geometria inteiramente paralela à linha de costa atual, interpretada como resultante de fase de crescimento transversal ou “engorda lateral” (Barcelos 1975; Barcelos et al. 1976; Martin & Suguio 1978; Tessler 1988). O limite entre estas duas gerações de cordões seria um baixo terraço ou faixa pantanosa com cerca de 100 m de largura, encontrado “por quase toda a extensão da ilha” e formado por erosão e afogamento durante um segundo pico do NRM holocênico admitido por Martin & Suguio (1978) e Suguio et al. (1985) para a região (+3,5 m em 3.500 anos A. P.). Sobre o feixe de cordões externo, reconhecem-se quatro alinhamentos de dunas com 7 a 8 m de altitude (Barcelos 1975; Barcelos et al. 1976; Martin & Suguio 1978), e idade TL de até 7400 (! 1600) anos (Suguio et al. 1999).

A meta principal proposta para nortear o enfoque deste artigo é rever os critérios de definição e delimitação das três partes da

ilha Comprida e investigar o modo como elas se relacionam com a evolução e interação de sistemas deposicionais quaternários, no âmbito da variação de NRM. Para buscar alcançar esta meta geral, estabeleceram-se dois objetivos: 1 - reconstituir a geometria do feixe de cordões da ilha Comprida, com ênfase aos truncamentos de cordões, através de aerofotointerpretação em escala 1:25.000; e 2 - analisar as relações de morfologia e posição dos feixes de alinhamentos com referência à praia atual, ao sistema paleolagunar e ao espaço disponível para acomodação de sedimentos.

2. MATERIAIS, MÉTODOS E PREMISSAS

Utilizaram-se fotografias aéreas de 1962, por tratar-se do fotomosaico mais antigo cobrindo a região, e, portanto, com melhor preservação de alinhamentos de cordões. O estudo aerofotográfico foi realizado utilizando-se duas técnicas complementares. A primeira consistiu no mapeamento de unidades e na reconstituição de alinhamentos de cordões a partir de critérios, essencialmente descritivos, de contraste fototextural. Esta técnica mostrou-se insuficiente para a reconstituição segura da geometria dos cordões e evolução sedimentar da ilha, uma vez que variações de densidade e tipo de vegetação associadas a unidades fototexturais ou a alinhamentos não necessariamente resultam de fatores geológico-geomorfológicos. Desse modo, o melhor entendimento do processo de construção sedimentar dependeu de uma segunda etapa de trabalho, cuja finalidade foi minimizar a influência da vegetação no mapeamento de unidades sedimentares e, principalmente, no traçado de alinhamentos de cordões. Para tanto, estabeleceram-se as seguintes normas metodológicas: 1. definir as direções de alinhamento onde não ocorra contraste de cobertura vegetal, ou seja, onde a direção possa ser reconhecida por meio de contrastes de altitude em terrenos com mesmo tipo de cobertura vegetal; 2. a partir das direções de alinhamento assim delineadas, mapear os sucessivos truncamentos de cordões; 3. com base nos conjuntos de alinhamentos concordantes, reconhecer as principais fases de evolução sedimentar da ilha.

Os alinhamentos de cordões litorâneos podem informar sobre a evolução espacial da linha de costa no tempo. Nesse contexto, supõe-se que os truncamentos representem interrupções ou mudanças na geometria de crescimento da ilha, resultantes de variações de um ou mais dentre três fatores possíveis: NRM, volume ou direção de aporte sedimentar e espaço de acomodação.

3. RESULTADOS

A apresentação e discussão dos resultados de análise fotogeológica da ilha Comprida é aqui dividida em três partes, para referir-se aos três sistemas deposicionais costeiros ali reconhecidos: o de ilha-barreira regressiva, com seus cordões litorâneos, o lagunar e o eólico. Dentro de cada sistema, apresentam-se os resultados de SW para NE, seguindo o rumo provável de crescimento da ilha-barreira.

3.1. Cordões litorâneos

No extremo sudoeste da ilha Comprida, é possível separar quatro regiões distintas quanto à orientação dos cordões litorâneos (Figura 1). Estas regiões apresentam forma *grosso modo* triangular, com alongamento subparalelo à linha de costa, e seus alinhamentos de

cordões curvam-se ligeiramente para o interior junto à desembocadura de Cananéia. A grande variabilidade na orientação dos cordões nesta área específica provavelmente está relacionada à intensa dinâmica local da linha de costa, em contexto de margem de desembocadura. Há registro de variações na linha de costa nesta área em tempos históricos (Geobras, 1966).

Rumo NE, entre os quatro feixes de cordões do extremo sul da ilha e o primeiro estreitamento a norte da ponta do Frade, segue uma área onde a visualização dos cordões litorâneos é muito prejudicada pela alta densidade da vegetação, arbórea. Os cordões apresentam-se subparalelos à praia atual, não sendo possível observar truncamentos.

Na região da ponta do Frade, inicia-se o padrão de alinhamentos “em gancho” cortados ao interior pela laguna Mar de Cananéia, o qual se estende até o estreitamento da ilha junto ao morro de Icapara (Iguape). Os alinhamentos de cordões apresentam-se aí muito bem marcados, o que se deve à presença de cobertura vegetal menos densa e, principalmente, à alternância entre tipos de vegetação. Pode-se distinguir pelo menos sete gerações de cordões, demarcadas por sucessivos truncamentos nas extremidades curvas dos alinhamentos externos. Os truncamentos observados caracterizam-se por ângulos agudos abertos para NE. Estes ângulos crescem gradualmente de SW para NE, o que se traduz no aumento de nitidez dos truncamentos. Este aumento gradual de ângulos de truncamento leva a supor que cada etapa de crescimento da ilha para NE (sotamar) foi acompanhada de engorda simultânea para SE.

Nas proximidades do morro de Icapara, encontra-se a zona de estreitamento máximo da ilha, associada ao centro de uma reentrância semicircular de cerca de 5 km de corda. Nesta zona, a curvatura dos cordões e seus respectivos truncamentos tornam-se sutis. A interpretação para este padrão é que a maior parte dos encurvamentos foi erodida pela dinâmica de meandramento do canal lagunar que gerou a reentrância. A NE da zona de estreitamento máximo, o padrão de curvatura dos cordões litorâneos para NE reaparece, e com ele, uma série de truncamentos. A associação do padrão de cordões encurvados com o crescimento rumo NE é aí historicamente observado (Geobras 1966). A idade mais recente desta porção da ilha Comprida explica a escassez de vegetação e a consequente facilidade de visualização dos truncamentos.

Os cordões mais próximos da face lagunar encontram-se aparentemente melhor preservados, sendo possível diferenciar cristas e calhas. Já junto à face oceânica, os alinhamentos de cordões apresentam sinais de modificação do relevo original, associados a zonas alagadiças de largura variável (até 300 m) com drenagens encaixadas ativas. Estas zonas estendem-se por dezenas de quilômetros e são muito visíveis através de sua cobertura vegetal rala em meio à vegetação arbórea (densa). Não se encontra uma zona pantanosa que se destaque das demais por sua continuidade ou largura. Também não se encontram truncamentos de cordões, nem feições deposicionais que permitam associar as zonas alagadas ao sistema lagunar. Desse modo, interpreta-se que o alagamento se deu por afloramento do nível freático

nas porções mais baixas da planície sedimentar, e não por subida do NRM em escala secular.

As variações de padrão de truncamento de cordões permitem inferir quatro fases para a evolução progradacional da ilha Comprida durante o Holoceno. Na primeira fase, predominou o crescimento para NE, pela adição de cordões litorâneos curvados para esse rumo, com um componente de engorda rumo SE bastante pronunciado (tempos 1 a 3 na Figura 1). A fase seguinte caracterizou-se pelo crescimento mais pronunciado para NE, tornando subordinada a componente de engorda da ilha (tempos 4 a 6). Na terceira fase, o crescimento para NE teria sido temporariamente interrompido pelo morro de Icapara, que funcionou como obstáculo para a corrente de deriva litorânea e assim ocasionou fase dominada por engorda (tempo 7). Na quarta fase, o alargamento da ilha atingiu o ponto em que o morro de Icapara não mais funcionava como obstáculo para a corrente de deriva litorânea longitudinal. A barreira retomou assim seu crescimento rumo NE, como pode ser observado hoje em dia com a migração da desembocadura de Icapara (tempo 8). Não se conhece se há registro em superfície da “fase zero”, correspondente à barreira transgressiva. Considerando o aporte sedimentar constante, o início da barreira regressiva (primeira fase) provavelmente ocorreu quando a velocidade da subida do NRM diminuiu, e a taxa de acumulação de sedimentos superou a taxa de criação de espaço de acomodação.

Em parte da área, no nordeste da ilha, considerada como pleistocênica por Martin & Suguio (1978), foram observados cordões litorâneos com terminações voltadas para NE, característica idêntica à encontrada em cordões considerados holocênicos.

3.2. Depósitos lagunares

A face lagunar da ilha Comprida caracteriza-se pela alternância de saliências e reentrâncias de extensão quilométrica. As saliências apresentam, como regra, relevo muito plano e mais baixo em relação às reentrâncias e ao restante da ilha. Os contatos entre seus depósitos sedimentares e os terraços adjacentes (com ou sem cordões litorâneos visíveis) evidenciam muitas vezes relação erosiva. Correspondiam, portanto, a antigos fundos lagunares, atualmente emersos e em parte submetidos a inundações regulares ou ocasionais pela maré. As áreas inundadas regularmente correspondem a antigos bancos submersos de areia, hoje tomados por mangue.

A morfologia das zonas paleolagunares das porções sudoeste e nordeste da ilha é diferenciada. A sudoeste, estas zonas estendem-se por centenas de metros ilha adentro (para SE), cortadas por pequenos canais meandrantes perpendiculares à linha de costa, com caráter de canais de escoamento de maré. A relação de truncamento com a planície de cordões litorâneos é aí geralmente nítida. A nordeste, principalmente a partir da ponta do Frade, as áreas interpretadas como paleolagunas não estão associadas a drenagens importantes e apenas acompanham a margem lagunar e os cordões litorâneos. A NE de Pedrinhas, a margem da laguna exibe padrão recortado, em zigue-zague, evidenciando intercalação de

fases de inundação das calhas dos cordões, com fases de progradação para NE. A interpretação para estas feições é que a orientação dos cordões encurvados, transversal à borda da ilha, foi propícia à entrada de água através das calhas, durante eventos de inundação lagunar que acompanharam o crescimento longitudinal da ilha e a migração sucessiva da desembocadura lagunar para NE. A mudança gradual da morfologia paleolagunar de SW para NE estaria relacionada à idade mais antiga, à maior cota e ao caráter mais dissecado da parte sudoeste.

3.3. Dunas eólicas

Em quase toda a extensão da linha de costa, observa-se ao exame aeroftográfico a presença de áreas esbranquiçadas, com cobertura vegetal escassa. No campo, nas partes menos urbanizadas da ilha, verifica-se que estas áreas correspondem a dunas frontais incipientes e estabelecidas. Em muitos trechos da costa, estas áreas avançam 100 a 300 m ao interior, sob a forma de pequenos corpos em U com convexidade voltada para NW, os quais fazem parte de um ou mais alinhamentos ou conjuntos de alinhamentos com direção NNE, paralela à linha de costa. Por sua geometria, alinhamento e disposição relativa, estes corpos em U podem ser interpretados como lobos deposicionais, formados por reativação eólica e ruptura deflacionar (blowout) de cordões de dunas frontais ativos e/ou fósseis.

Distinguem-se pelo menos dois alinhamentos de dunas na porção sudoeste da ilha e até seis na parte nordeste. A nitidez e a continuidade destes alinhamentos são variáveis ao longo da ilha, na relação inversa da fusão de alinhamentos vizinhos por rupturas de deflação. Eles podem restringir-se à faixa de largura métrica, bem definida, ou ocorrerem dispersos ao largo de uma faixa com algumas dezenas de metros de largura. Podem ser observados assim desde alinhamentos individuais em alguns locais e conjuntos de alinhamentos semifundidos em outros até a fusão total de vários alinhamentos parabolizados formando pequenos campos de dunas transgressivos ativos, caso específico do estreitamento nordeste da ilha (junto a Icapara).

Considerando que mesmo os alinhamentos de dunas frontais mais antigos, situados a até 300 m da linha de costa, encontram-se afetados por rupturas de deflação, duas hipóteses podem ser formuladas sobre a dinâmica de parabolização e fusão de cordões dunares na ilha Comprida. A primeira hipótese é a de que as rupturas de deflação sejam feições recentes e que haja portanto um evento de reativação de paleodunas frontais em andamento. A segunda hipótese, mais provável, é a de que os cordões de dunas frontais antigas tenham sofrido parabolização para NW à medida em que se formavam. Neste caso, a presença de um pequeno campo de dunas transgressivo ativo na parte nordeste da ilha seria explicada pelo fato deste trecho da ilha Comprida ter-se desenvolvido mais recentemente, nos últimos dois séculos.

Paleodunas ocorrem por vezes junto à praia, expostas em falésias vivas de erosão pelas ondas. Distinguem-se das dunas frontais ativas pela evidente cimentação das areias, pela descontinuidade lateral, e pelas maiores dimensões, alcançando com freqüência altura de vários (até 8) metros.

São colonizadas por vegetação arbustiva e arbórea. Variações rápidas de altura, 2 a 3 m em distâncias de 10 m ao longo da praia, devem-se provavelmente a antigos *blowouts* e frentes parabólicas, atualmente cortados pela abrasão das ondas na altura de seus lobos deposicionais. Tanto na morfologia como na altura, as paleodunas apresentam semelhanças com as dunas do campo transgressivo ativo observado no nordeste da ilha.

Suguió *et al.* (1999) atribuem as dunas a trabalho eólico superficial de cristas praiais. A partir de datações por TL, estes autores definiram as atividades eólicas mais importantes da ilha como holocénicas, e separaram-nas em duas fases principais, uma anterior ao estágio de culminação do nível do mar holocênico a aproximadamente 5100 anos A.P. (idades de até 7000 anos), e a outra após a nova fase de elevação do nível do mar, por eles admitida em, aproximadamente, 3500 anos A.P.. Considerando que as paleodunas datadas ocorrem restritas à faixa correspondente aos 200m mais externos da ilha, e supondo-se o modelo de Martin & Suguió (1978), em que a ilha se divide em uma porção regressiva gerada por crescimento longitudinal (pré 3500 AP), e outra, formada por engorda lateral (pós 3500AP), as idades obtidas permitiriam interpretar que a ilha Comprida, em quase a totalidade de sua largura, é mais antiga que o máximo NRM holocênico. Assim, os dados de Suguió *et al.* (1999) aparentemente contrariam a suposição de uma segunda fase de regressão (engorda lateral) após 3500 anos AP, admitida por Martin & Suguió (1978).

4. CONCLUSÕES

1. A fotointerpretação permitiu identificar várias faixas pantanosa, de diferentes larguras e extensões, ao longo da porção regressiva (com cordões litorâneos) da ilha Comprida. Desse modo, não parece haver sustentação para a idéia, existente na literatura, de uma única faixa pantanosa de 100m de largura que dividiria duas gerações de cordões litorâneos. A diferenciação segundo critérios morfológicos entre estas duas gerações de cordões admitidas em trabalhos prévios não foi possível, pois aparentemente todos os cordões presentes na ilha possuem forma de gancho, mesmo os mais novos e externos.

2. O padrão geométrico de truncamentos entre alinhamentos de cordões litorâneos revela que o crescimento da ilha Comprida para NE foi acompanhado simultaneamente pela engorda lateral da ilha, para SE, através da adição de cordões litorâneos curvos, com convexidade voltada para NE. Este padrão só não se encontra aparente no terço sudoeste da ilha (a SW de Pedrinhas).

3. O padrão de crescimento da ilha Comprida para NE teria sido parcial e temporariamente interrompido por um obstáculo natural, o morro de Icapara, e não necessariamente por um outro máximo NRM, como comumente admitido na literatura. A inexistência de espaço de acomodação no sotamar das correntes de deriva no rumo NE, devido à interposição do morro de Icapara, criou condições para o crescimento transversal da ilha, acelerado pela disponibilidade adicional de sedimentos impedidos de avançar para NE.

4. Pode-se propor um esquema evolutivo para a ilha Comprida, no Holoceno, independente da eventual e polêmica ocorrência de oscilações de nível do mar nos últimos 5ka. De acordo com este esquema, a ilha atravessou quatro fases principais, em que as componentes de crescimento longitudinal, para NE, e transversal, para SE, alternaram-se em importância relativa. A primeira fase caracterizou-se por equilíbrio entre estas duas componentes. A segunda fase foi marcada pela acentuação relativa da componente longitudinal. A terceira fase, relacionada à redução de espaço de acomodação a sotamar das correntes de deriva longitudinal devido ao bloqueio exercido pelo morro de Icapara (Iguape), teve o predomínio franco do crescimento transversal. Na fase atual, com o restabelecimento do espaço de acomodação a NE, o intenso retrabalhamento por deriva longitudinal foi retomado.

5. Cordões dunares fósseis e ativos são encontrados numa faixa mais externa da barreira, com largura de até 300m, por quase toda a extensão da linha de costa. Trata-se de dunas frontais, com grau variável de modificação morfológica por rupturas de deflação. Na parte nordeste, mais recente, da ilha, as rupturas são numerosas e ativas, caracterizando a iniciação de um pequeno campo de dunas transgressivo.

6. Em função dos diferentes graus de modificação morfológica por rupturas de deflação, os alinhamentos de cordões dunares possuem continuidade e nitidez muito variável ao longo da ilha, podendo distinguir-se até seis alinhamentos em alguns locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARCELOS, J.H. 1975. Sedimentação e Subambientes Depositionais da Ilha Comprida, São Paulo. São Paulo, IG-USP, Dissert. de Mest. (inéd.), 155p..
- BARCELOS, J.H.; SUGUIÓ, K.; COIMBRA, A.M. 1976. Sedimentação e subambientes deposicionais da Ilha Comprida, São Paulo. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Camboriú, SC. Anais... Florianópolis, SBG, v.2, p. 107-135.
- GEOBRÁS 1966. Complexo Vale Grande, Mar Pequeno e rio Ribeira de Iguape. Relatório GEOBRÁS S/A., Engenharia e Fundações para o Serviço do Vale do Ribeira do Departamento de Águas e Energia Elétrica/SP, 2 volumes.
- MARTIN, L. & SUGUIÓ, K. 1978. Ilha Comprida: um exemplo de ilha barreira ligada às flutuações do nível marinho durante o Quaternário. In: CONGR. BRAS. GEOL, Recife. Anais... Recife, SBG, v.2, p. 905-912.
- SUGUIÓ, K. & MARTIN, L. 1994. Geologia do Quaternário. In: F. F. Falconi & A. Nigro Jr. (eds.) Solos do Litoral de São Paulo. Mesa Redonda ABMS/ASSECOP:69-97.
- SUGUIÓ, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e sua implicações na sedimentação costeira. Rev. Bras. Geocien. 15(4), 273-286.
- SUGUIÓ, K.; TATUMI, S.H.; KOWATA, E.A. 1999. As cristas de dunas inativas e os seus possíveis significados na evolução holocênica da Ilha Comprida, Sul do litoral

paulista. In: CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 7, Porto Seguro, BA. Anais... (cd). Salvador, Abequa. 3p.

TESSLER, M.G. 1988. Dinâmica Sedimentar Quaternária no Litoral Sul Paulista. São Paulo, IG-USP, Tese de Doutoramento (inéd.), 1 mapa, 276p..

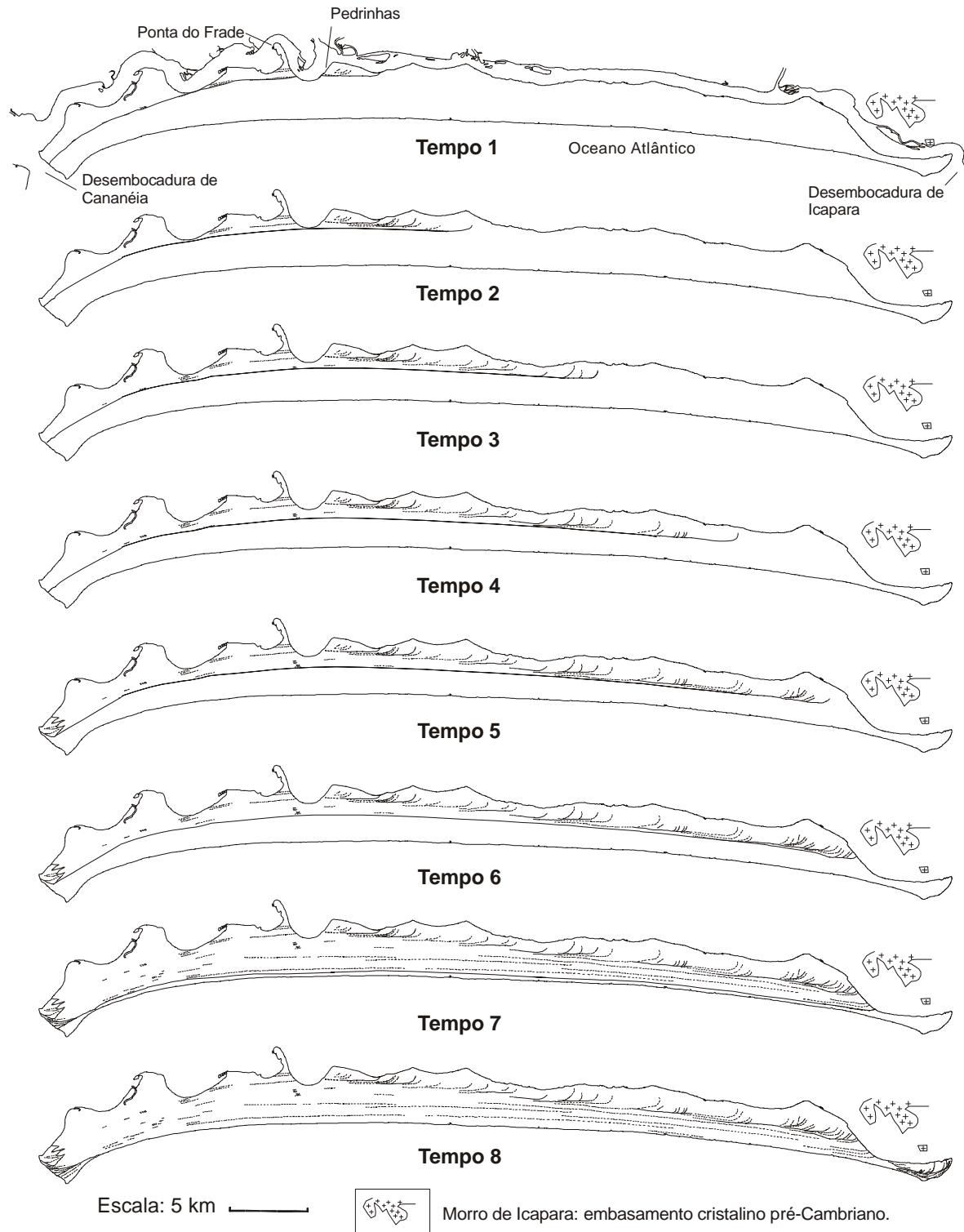


Figura 1: Modelo de crescimento da ilha Comprida baseado no padrão de truncamento de alinhamentos de cordões litorâneos.