



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Marlon Santos Delai


**Modelagem sedimentar de sistemas deltaicos altamente eficientes: aplicação para o  
preenchimento sedimentar do Terciário Superior da Bacia de Bengala, porção Nordeste da  
Índia**

Rio de Janeiro

2011

Marlon Santos Delai

**Modelagem sedimentar de sistemas deltaicos altamente eficientes: aplicação para o preenchimento sedimentar do Terciário Superior da Bacia de Bengala, porção Nordeste da Índia**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias e Faixas Móveis.

Orientador: Prof. Dr. Egberto Pereira

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

D334 Delai, Marlon Santos.

Modelagem sedimentar de sistemas deltaicos altamente eficientes : aplicação para o procedimento sedimentar do terciário superior da bacia de Bengala, porção nordeste da Índia. / Marlon Santos Delai. – 2011.  
74f.

Orientador: Egberto Pereira.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia estratigráfica – Bengala, baía de (Índia) - Teses.  
2. Sedimentos (Geologia) – Bengala, baía de (Índia) - Teses. 3. Beicip FranlabDionisos (Programa de computador) – Teses. I. Pereira, Egberto. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.7 (540)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Assinatura

---

Data

Marlon Santos Delai

**Modelagem sedimentar de sistemas deltaicos altamente eficientes: aplicação para o preenchimento sedimentar do Terciário Superior da Bacia de Bengala, porção Nordeste da Índia**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias e Faixas Móveis.

Aprovado em 15 de setembro de 2011.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Egberto Pereira (Orientador)  
Faculdade de Geologia da UERJ

---

Prof. Dr. Hernani Aquini Fernandes Chaves  
Faculdade de Geologia da UERJ

---

Dr. Antonio Manuel Ferreira de Figueiredo  
Petrobras

Rio de Janeiro

2011

## AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio e compreensão.

À minha esposa pelo apoio, compreensão e pela revisão do texto.

Ao meu orientador Dr. Egberto Pereira, por toda a paciência e dedicação.

Ao geólogo Dr. Manuel Figueiredo, pelas revisões e correções.

Ao Prof. Dr. Hernani Chaves pelo espaço e computador cedidos em sua sala.

Ao técnico da Petrobras, Marcos F. Gualdi pela ajuda com a edição da evolução da Índia ao longo do tempo.

Agradeço ao Eng. Geólogo Renaud Trabi da BeicipFranlab pelo auxílio com a modelagem sedimentar, um dos principais objeto deste trabalho.

Ao geofísico João Alberto Bach pela ajuda com o mapa gravimétrico de Anomalia Bouguer.

Ao geofísico Aloísio Pellon de Miranda, pelo incentivo e encaminhamento ao mestrado.

Ao programa de Pós Graduação em geologia da UERJ, pela oportunidade de especialização.

Agradeço especialmente à PETROBRAS e meus gerentes Julius Heinerici e Marcos Vallério Galvão, pelo apoio e liberação parcial para o desenvolvimento de meu mestrado.

## RESUMO

DELAI, Marlon Santos. **Modelagem sedimentar de sistemas deltaicos altamente eficientes: aplicação para o preenchimento sedimentar do Terciário Superior da Bacia de Bengala, porção Nordeste da Índia.** 2011. Xxx f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

A bacia de Bengala, localizada a Nordeste da Índia tem uma história evolutiva extraordinária, diretamente controlada pela fragmentação do Gondwana. O início da formação desta bacia é considerada como sendo relacionada ao final do evento da “quebra”, datado em 126 Ma quando a Índia separou do continente Antártico e da Austrália. Desde então, a placa continental Indiana viajou do pólo sul a uma velocidade muito rápida (16 cm/a) chocando-se com o hemisfério norte e fundindo-se com a Placa Eurasiana. Durante a viagem passou por cima de um “*hot spot*”, onde hoje estão localizadas as ilhas Seicheles, resultando em um dos maiores derrames de lava basáltica do mundo, conhecido como Deccan Trap. Na região onde a bacia de Bengala foi formada, não houve aporte significativo de sedimentos siliciclásticos, resultando na deposição de uma espessa plataforma carbonática do Cretáceo tardio ao Eoceno. Após este período, devido a colisão com algumas microplacas e a amalgamação com a Placa Eurasiana, um grande volume sedimentar siliciclástico foi introduzido para a bacia, associado também ao soergimento da cadeia de montanhas dos Himalaias. Atualmente, a Bacia de Bengala possui mais de 25 km de sedimentos, coletados neste depocentro principal. Nesta dissertação foram aplicados conceitos básicos de sismoestratigrafia na interpretação de algumas linhas regionais. As linhas sísmicas utilizadas foram adquiridas recentemente por programa sísmico especial, o qual permitiu o imageamento sísmico a mais de 35km dentro da litosfera (crosta continental e transicional). O dado permitiu interpretar eventos tectônicos, como a presença dos “Seawards Dipping Reflectors” (SDR) na crosta transicional, coberto por sedimentos da Bacia de Bengala. Além da interpretação sísmica amarrada a alguns poços de controle, o programa de modelagem sedimentar Beicip Franlab Dionisos, foi utilizado para modelar a história de preenchimento da bacia para um período de 5,2 Ma. O nível relativo do nível do mar e a taxa de aporte sedimentar foram os pontos chaves considerados no modelo.

Através da utilização dos dados sísmicos, foi possível reconhecer dez quebras de plataformas principais, as quais foram utilizadas no modelo, amarrados aos seus respectivos tempos geológico, provenientes dos dados dos poços do Plioceno ao Holoceno. O resultado do modelo mostrou que a primeira metade modelada pode ser considerada como um sistema deposicional retrogradacional, com algum picos transgressivos. Este sistema muda drasticamente para um sistema progradacional, o qual atuou até o Holoceno. A seção modelada também mostra que no período considerado o total de volume depositado foi em torno de  $2,1 \times 10^6 \text{ km}^3$ , equivalente a  $9,40 \times 10^{14} \text{ t/Ma}$  ( $4,09 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{Ma}$ ).

Palavras-chave: Geologia estratigráfica. Baía de Bengala. Índia. Sedimentologia. Beicip Franlab Dionisos (Programa de computador).

## ABSTRACT

The Bengal Basin in Northeast India has a remarkable evolution history directly controlled by the Gondwana fragmentation. The Beginning of this basin is considered related to the final “break up” event, dated as 126 Ma when India finally became separated from Antarctica and Australia Continents. Since then, the India Continental Plate traveled from the South pole at very fast rate (16 cm/y) reaching the northern hemisphere and merging with Eurasia Plate. During the travel it passed over a hot spot, located where is today Seychelles Island, resulting in one of the biggest basalt leakage, know as Deccan Trap. In the area where the Bengal Basin was formed during the travel there wasn't any supply of siliciclastics, resulting in the deposition of a very thick section of carbonate platforms from Late Cretaceous to Eocene. After this period, due to the collision with some microplates and the amalgamation with Eurasia Plate a huge siliciclastic supply was introduced in the basin, associated with rising of the Himalayas Mountains. Therefore, the Bengal Basin today has more than 25 km of sediments, collected in its main depocenter. In this dissertation it was applied to the basic concepts of seismostratigraphy in the interpretation of some regional lines. These seismic lines were acquired recently by a special survey program that allowed having good quality data until more than 35 km in the lithosphere (continental and transitional crust). The data permitted to interpret tectonic events such as the presence of Seawards Dipping Reflectors (SDR) in the transitional crust, covered by the Bengal Basin sediments. Besides the seismic interpretation tied to some well data, it was used in the dissertation a Beicip Franlab Software, known as Dionisos, to model and develop a basin fill history. The eustatic relative sea level fluctuations and sediment rate of sediment influx are the key points to be considered in the model. Using the seismic data it was possible to recognize ten main platform breaks than were used in the model, tied to a geological time frame provided by the well data interpretation, from Pliocene to Holocene. The output of the model shown that a first half of the considered time predominated a major retrogradational system, with some minor transgression peaks. This changed to a very strong progradational system that is acting until the Holocene. The section modeled also shows a total of sediments deposited in the period considered was about  $2,1 \times 10^6 \text{ km}^3$  equivalent to a  $9,40 \times 10^{14} \text{ t/Ma}$  ( $4,09 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{Ma}$ ).

Keywords: 1. Stratigraphic Geology. Bay of Bengal. India. Sedimentology. Beicip Franlab Dionisos (Modeling computer program).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa geológico do continente indiano.....	13
Figura 2 -	Reconstituição do Gondwana com a localização dos países atuais.....	14
Figura 3 -	Deslocamento do continente Indiano desde a quebra do Gondwana a 90 Ma.....	15
Figura 4 -	Mapa de Localização da Bacia e Leque Submarino Profundo de Bengala, e bacias adjacentes.....	17
Figura 5 -	Diagrama esquemático da reconstituição plataformal do leste indiano com a Antártica a aproximadamente 126 Ma.....	20
Figura 6a / 6b / 6c / 6d -	Seção esquemática baseada em médias velocidades sísmicas de refração, representando os principais estágios tectono/deposicionais da bacia e mapa de isópacas referentes a cada estágio evolutivo.....	22
Figura 7 -	Coluna Estratigráfica da Bacia de Bengala, com os principais eventos tectônico associados e ambiente deposicionais envolvidos...	25
Figura 8 -	Localização da Bacia de Bengala e do Leque Marinho Profundo de Bengala.....	28
Figura 9 -	Mapa de localização das linhas e poços utilizados.....	30
Figura 10 -	Linha DIP 1700 PSDM.....	31
Figura 11 -	Linha DIP 1800 PSDM.....	32
Figura 12 -	Linha Strike 2000 PSDM.....	33
Figura 13 -	Linha Strike 4000 PSDM.....	34
Figura 14 -	Classificação de deltas por domínios do Triângulo de Galloway (1975) e estendido à granulação sedimentar.....	36
Figura 15 -	Ilustração da “Sismo-Camada Elementar”.....	39
Figura 16 -	Formulário representativo da técnica de Volume de Amplitude TecVa.....	40
Figura 17 -	Mapa gravimétrico de Anomalia Bouger.....	42
Figura 18a / 18b -	Interpretação da Transição da Crosta Continental para Transicional na linha 1800, marcada pelo SDR (Seaward Dipping Reflection).....	43
Figura 19 -	Linha sísmica 2000, projetando os poços MND-06 e MND-03 com idades disponibilizadas.....	44
Figura 20 -	Linha sísmica 1800 (TecVa) e interpretada em profundidade.....	45
Figura 21 -	Linha sísmica 1700 (TecVa) e interpretada em profundidade.....	46



Figura 22 -	Linha sísmica 2000 (TecVa) e interpretada em profundidade.....	47
Figura 23 -	Linha sísmica 4000 (TecVa) e interpretada em profundidade.....	48
Figura 24 -	Sessão sísmica enfatizando o Cretáceo (verde), interpretada na linha 1800, correlacionada com a história evolutiva.....	49
Figura 25 -	Sessão sísmica enfatizando o Paleoceno (rosa), interpretada na linha 1800, correlacionada com a história.....	50
Figura 26 -	Sessão sísmica enfatizando o Eoceno (azul escuro), interpretada na linha 1800, correlacionada com a história evolutiva.....	50
Figura 27 -	Sessão sísmica enfatizando o Oligoceno (laranja), interpretada na linha 1800, correlacionada com a história evolutiva.....	51
Figura 28 -	Sessão sísmica enfatizando o Mioceno (roxo), interpretada na linha 1800, correlacionada com a história evolutiva.....	51
Figura 29 -	Sessão sísmica enfatizando do Plioceno ao recente (azul claro), interpretada na linha 1800, correlacionada com a história evolutiva ..	52
Figura 30 -	Linha (1800) e secção sedimentar (Base do Plioceno ao recente – vermelho) escolhidas para modelagem sedimentar no software Dionisos.....	53
Figura 31 -	Principais quebras de plataforma dentro da sessão sedimentar do Plioceno (1 a 5 – Retrogradação do sistema deposicional e entre 6 - 10, progradação do sistema deposicional).....	54
Figura 32 -	Aba de opções do software Dionisos 4.0.....	55
Figura 33 -	Definições da geometria da malha área de trabalho.....	56
Figura 34 -	Horizonte da Base do Plioceno. Horizonte “base” para construção do modelo de evolução sedimentar da bacia de Bengala até o presente. Vista em planta e seção.....	56
Figura 35 -	Configuração do intervalo de tempo a ser modelado.....	57
Figura 36 -	Litologias envolvidas na modelagem.....	58
Figura 37 -	Principais quebras de plataforma desde a base do Plioceno até o recente.....	59
Figura 38 -	Ferramenta de conversão com base na configuração paleobatimétrica e atual para o cálculo da subsidência.....	60
Figura 39 -	Pseudo-poços de controle, representando cada uma das 10 principais quebras de plataforma.....	61

Figura 40 -	Idades inferidas em 0.9Ma (6) e 0.5 Ma (8).....	62
Figura 41 -	Pseudo poço de controle amarrando a primeira quebra de plataforma a 3 Ma.....	63
Figura 42 -	Parâmetros de aporte sedimentar e vazão, obtidos para a reconstrução sedimentar.....	64
Figura 43 -	Imagem sísmica original em profundidade com as quebras definidas (A) e seção sedimentar reconstruída no Dionisos com as principais quebras (B).....	66
Figura 44 -	Resultado da modelagem sedimentar entre o Plioceno e o Recente. A escala de cor representa a paleobatimetria/paleoambiente.....	67
Figura 45 -	Principais domínios evolutivos da Bacia de Bengala e seção modelada.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela da evolução tectônica da Bacia de Bengala.....	18
Tabela 2 - Linhas utilizadas, comprimento e direção.....	30
Tabela 3 - Poços utilizados para correlacionar as idades com a sísmica.....	35
Tabela 4 - Diferentes modelos de tratos e limites de sequência.....	37
Tabela 5 - Tabela de cor dos horizontes mapeados nas seções sísmicas, com amarração dos poços MND-03 e MND 06.....	44
Tabela 6 - Tabela de definição indireta das idades envolvidas desde o Plioceno até o recente.....	58
Tabela 7 - Pseudo poços de controle e suas idades de referência.....	61
Tabela 8 - Comparativo entre as taxas de aporte sedimentar obtidas na Modelagem com as descritas na literatura.....	70

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1	<b>GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	12
1.1	<b>Origem e Evolução do Continente Indiano</b> .....	12
1.2	<b>Origem e Evolução da Bacia de Bengala</b> .....	16
1.2.1	<u>Sedimentação da Bacia de Bengala</u> .....	19
1.2.2	<u>Considerações sobre o fluxo e suprimento sedimentar</u> .....	21
1.2.3	<u>Evolução Sedimentar da Bacia de Bengala</u> .....	24
2	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	28
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
3.1	Linhas sísmica utilizadas.....	29
3.2	Poços analisados.....	35
3.3	Conceitos empregados.....	35
4	<b>PROCESSAMENTO ESPECIAL –TecVa</b> .....	38
5	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	41
5.1	<b>Geotectônico</b> .....	41
5.2	<b>Sedimentologia e evolução do complexo deltaico</b> .....	44
5.3	<b>Modelagem Sedimentar</b> .....	52
5.3.1	<u>Fatiamento da sessão sedimentar</u> .....	54
5.3.2	<u>Fluxo de trabalho dentro do software Dionisos</u> .....	55
5.3.2.1	Importação do horizonte da Base do Plioceno.....	55
5.3.2.2	Definição da malha de trabalho.....	55
5.3.2.3	Definição do tempo geológico envolvido.....	57
5.3.2.4	Definição das litologias.....	57
5.3.2.5	Fatiamento da seção em idades.....	58
5.3.2.6	Subsidência.....	59
5.3.2.7	Paleobatimetria e Eustasia.....	60
5.3.2.8	Distribuição das quebras.....	60
5.3.2.9	Determinação do volume de sedimento aportado.....	63
5.3.3	Resultados obtidos.....	63
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	68
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71

## INTRODUÇÃO

A Bacia de Bengala encontra-se em um contexto geológico único, devido à magnitude dos eventos tectônicos e deposicionais envolvidos em sua evolução. O soerguimento da maior cadeia de montanhas do mundo, os Himalaias, resulta em uma área fonte para o delta de Bengala, que é também a maior construção deltaica do mundo, a qual é o responsável pela formação do maior leque marinho profundo conhecido, com mais de 2000 km de extensão.

A motivação desta dissertação está relacionada à possibilidade de se realizar um estudo detalhado com base em um levantamento sísmico inédito e, relativamente recente, obtido na costa indiana, pela empresa GX Technology. A Índia foi meu objeto de estudo profissional na Petrobras desde 2005. Essas linhas foram adquiridas em 2007, pela Petrobras, em uma campanha para melhorar o conhecimento do *offshore* indiano, objetivando-se procurar nessas áreas prospectos análogos a exemplos brasileiros. Essas linhas sísmicas, que imageiam a costa leste indiana, mostraram pela primeira vez as porções mais profundas da Bacia de Bengala e do delta que se instalou sobre esta bacia, chegando a imagear mais de 35 km de profundidade (linha 1800). Deste modo, observamos o quão importante seria aprofundar os estudos envolvendo o contexto tectônico/estratigráfico presentes na formação do maior delta do mundo (Delta de Bengala), buscando prover algum análogo ou comparação entre as bacias brasileiras.

Desse modo, o presente estudo sobre o delta da Bacia de Bengala, a partir de um novo imageamento sísmico profundo, é importante, pois permitirá compreender e visualizar, de forma mais detalhada, a evolução dessa bacia e do conjunto deltaico nela inserido. Assim, novas análises, mais consistentes, permitirão uma correlação acurada entre as taxas de erosão/denudação e de soerguimento da Cordilheira do Himalaia com o processo de sedimentação.

## Objetivos

Os objetivos principais deste trabalho são:

- 1 - Identificar nas seções sísmicas os principais eventos evolutivos da Bacia de Bengala;
- 2 - Associar os maiores eventos sísmicos à história evolutiva da bacia;
- 3 - Definir os litotipos dominantes em cada fase evolutiva;
- 4 - Determinar o registro sísmico dos eventos mais importantes causados pelo soerguimento da cadeia Himalaiana, fazendo um balanço sedimentar entre o aporte sedimentar o espaço deposicional;
- 5 - Analisar a eficácia da utilização da modelagem de bacia para o estudo de sistemas deltaicos, a fim de servir de base para a aplicação em seções deltaicas das bacias sedimentares brasileiras entre outras.

## 1 GEOLOGIA REGIONAL

O continente indiano é constituído em sua maior parte por terrenos Pré-Cambrianos, sendo posteriormente coberto por sedimentos mais recentes, bem como por um dos maiores derrames de lava básica do Mundo o *Deccan Trap* no oeste/noroeste indiano, durante o final do Cretáceo e o início do Terciário entre 60 e 65 milhões de anos (HOFMANNA e FERAUDB , 2000), como pode ser observado no mapa geológico da Índia (Figura 1).

A região peninsular da Índia é constituída por um dos mais proeminentes escudos Pré-Cambrianos do mundo (Figura 1). A geologia e tectônica da Índia são complexas, contendo registros da história da evolução crustal desde o Arqueano até a colisão ativa entre placas continentais no Cenozóico. O subcontinente indiano possui hoje 3,2 milhões de km<sup>2</sup>, sendo o mesmo subdividido em três unidades maiores:

- 1- Escudo Peninsular;
- 2- Planície Indo-Gangetic (rios Indus e Ganges/Brahmaputra);
- 3- Os Himalaias.

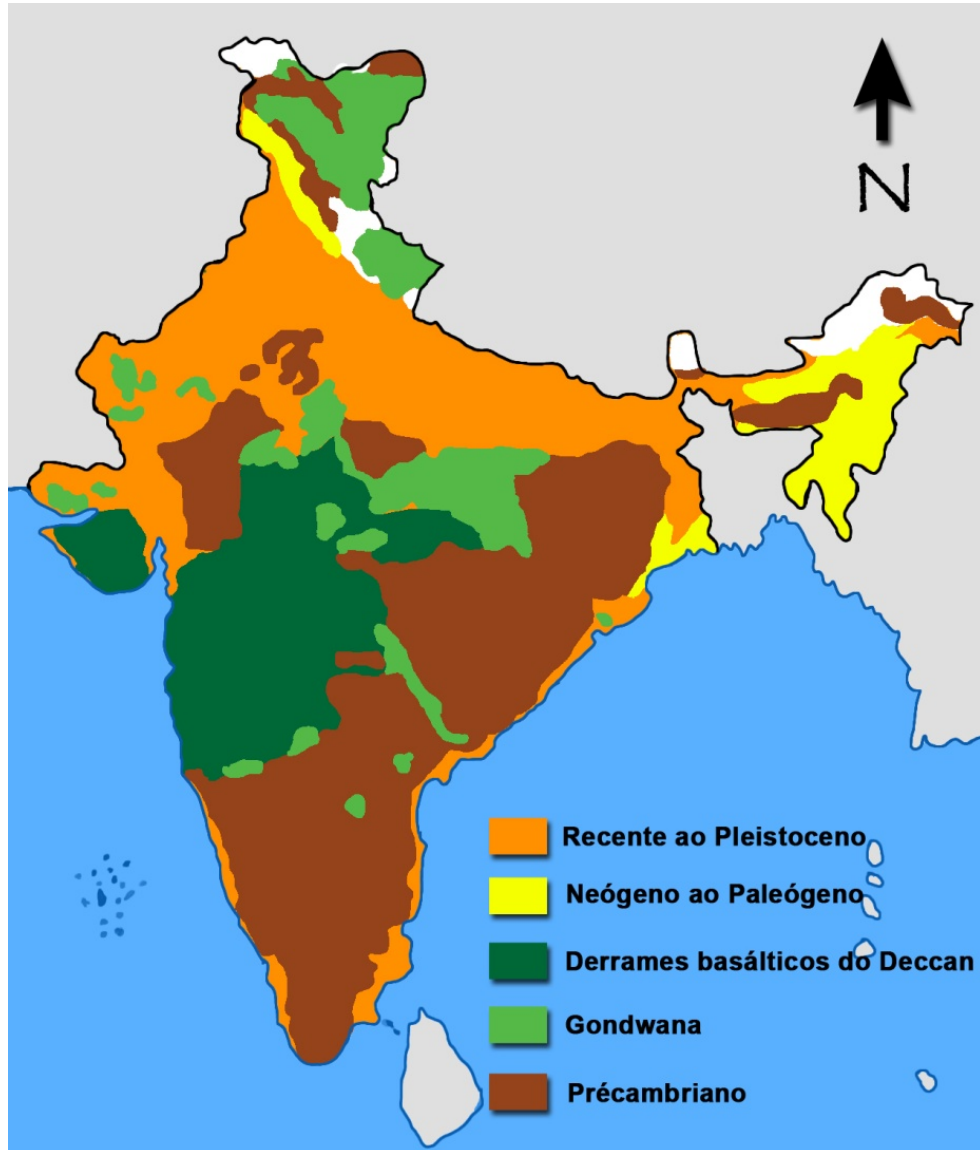


Figura 1 - Mapa geológico do continente indiano

Fonte: <http://www.mapsofindia.com>. (modificado do mapa geológico da Índia)

Cada uma destas três unidades é caracterizada por distintas morfologias, feições estruturais e estratigráficas e por estruturas crustais profundas. Enquanto os Himalaias fazem parte de uma região de domínio tectônico compressional, o Indo-Ganges é uma região com poucos acontecimentos tectônicos, permanecendo praticamente passivo desde a quebra com o Gondwana, sendo afetado indiretamente pelo grande fluxo sedimentar decorrente da erosão dos Himalaias. O Escudo Peninsular é uma região marcada por amalgamação de diversos terrenos pretéritos com das formações Pré-Cambrianas com rochas cristalinas, as quais cobrem aproximadamente 2/3 da península, sendo a mesma ainda forte alvo de modelos especulativos entre diversos autores.

## 1.1 Origem e Evolução do Continente Indiano

Originalmente, a Índia fazia parte do Gondwana, juntamente com o que hoje seria África, Oriente Médio, Antártica e Austrália conforme visualizado na Figura 2.

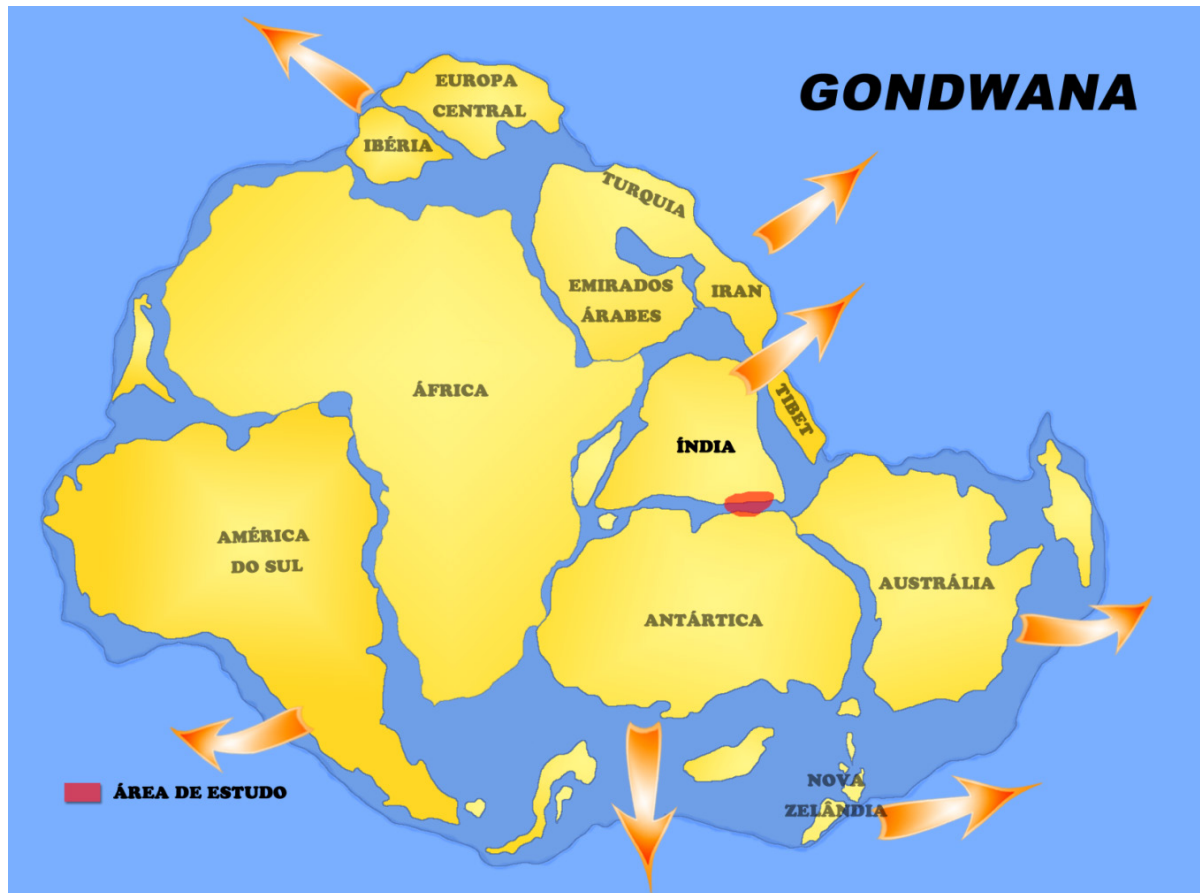


Figura 2. Reconstituição do Gondwana com a localização dos países atuais. Assinalado o local de estudo em vermelho. Modificado de site da internet (<http://gondwanaman.wordpress.com/about/5/>).

Os principais terrenos constituintes da placa indiana são: os crátons do Arqueano (Dharwar, Singhubhum, Rajastão – Budelkhand e Bastar); os cinturões móveis de idade Proterozóica no sul indiano ( Eastern Ghat e Satpura); as grandes bacias sedimentares (Cuddapah, Vindhya e Pakhal); as bacias do Gondwana, do Triássico; e os vulcanismos Deccan e Tajmahal, de origem plataformal.

Após a quebra do Gondwana, a cerca de 90 milhões de anos, a Índia se separou de Madagascar e partiu, em um rápido deslocamento (15 - 20 cm/ano), para norte/nordeste em direção a Placa Asiática (Figura 3), começando a colisão por volta de 50-65 Ma (ROWLEY, 1996). Este deslocamento é considerado o mais rápido conhecido até hoje e é atribuído ao fato



do Continente indiano estar ligado a uma enorme e espessa placa de crosta oceânica (Mar de Thetis), a qual foi subduzida pela margem sul da Ásia/Laurásia.

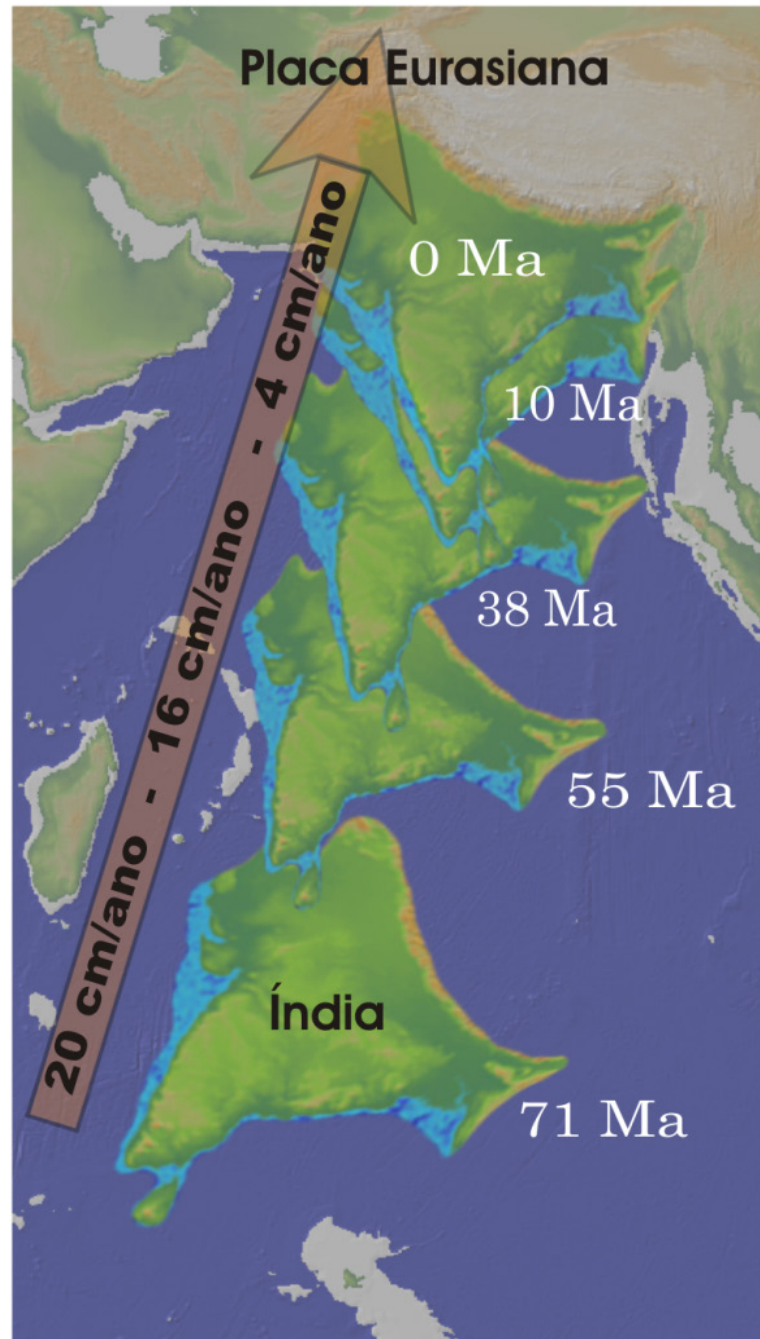


Figura 3. Deslocamento do continente Índiano desde a quebra do Gondwana a 90 Ma Modificado de Himalaya formation – <http://www.USGS.org>

Com o movimento da Índia em direção ao norte, a sua margem oeste passou sobre o *Hot Spot* de Kerguelen (hoje conhecido como Platô de Seicheles) entre 60-65 Ma, o que ocasionou um dos maiores derrames basálticos do Globo Terrestre, e foi denominado de

*Deccan Trap*. O mesmo possui uma espessura variando de 500 a mais de 2000 metros. O deslocamento da Índia também criou um cordão de ilhas ao longo da margem sudeste.

Entre 50 e 40 Ma teve início o choque entre as placas Indiana e Asiática, que se iniciou pela porção NW da placa Indiana, a qual equivaleria à porção norte para aquela época. Devido à trajetória de colisão algumas micro-placas foram englobadas durante o percurso, como é o caso da Placa do Tibete, a qual foi posteriormente, amalgamada na orogenia himalaiana.

## **1.2 Origem e Evolução da Bacia de Bengala**

Localizada na porção NE do Subcontinente Indiano (Figura 4), a Bacia de Bengala encontra-se localizada entre o Escudo Indiano e a Cadeia de Montanhas Indo-Burma. A bacia engloba três principais províncias geotectônicas:

- 1) Plataforma Rasa;
- 2) Bacia Profunda Central, estendendo-se desde a depressão Sylhet, a nordeste até a depressão Hatia, ao sul;
- 3) Cinturão de dobramento Chittagong-Tripura.

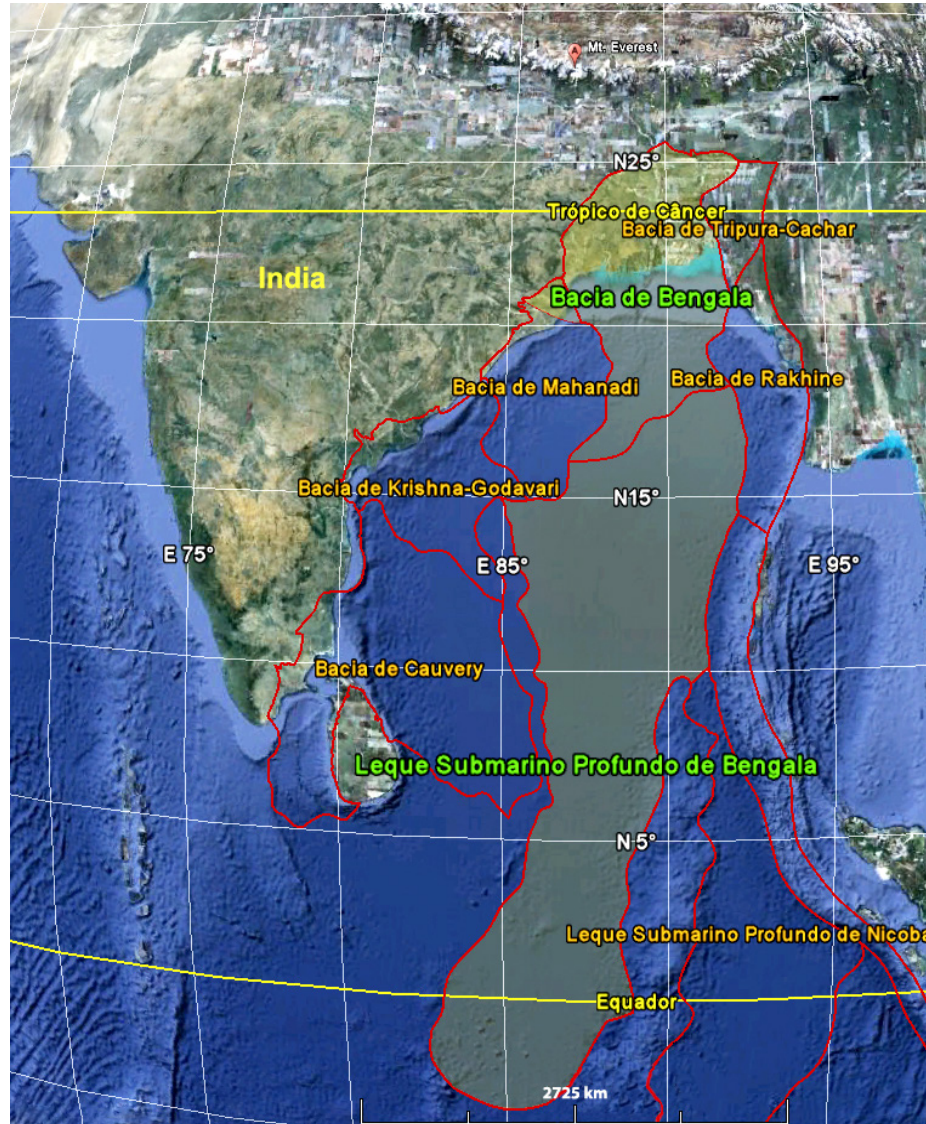


Figura 4. Mapa de localização da Bacia e Leque Submarino Profundo de Bengala, e bacias adjacentes

Fonte: DGH – Directorate General of Hydrocarbons, IHS Energy e Googlearth.

A história de preenchimento desta bacia varia consideravelmente ao longo do tempo, devido a mesma estar localizada na junção de três placas tectônicas (Indiana, de Bourma e Tibetana -Eurasiana), as quais interagiram de forma distinta.

A Bacia de Bengala é ladeada pelas bacias de Mahanadi, Krishna Godavari e Cauvery a oeste, e pelas bacias Tripura-Cachar, Rakhine e pelo leque Submarino de Nikobar, a leste. As rochas mais antigas, de idade Pré-Cambriana (Figura 1) e do Permiano-Carbonífero têm sido encontradas somente em poços perfurados na plataforma rasa da porção NW do continente Indiano. A Tabela 1 resume os principais estágios da evolução tectônica e os eventos estruturais da Bacia de Bengala.

Tabela 1. Tabela da evolução tectônica da Bacia de Bengala									
Evento	Cronografia	Cronologia	Litoestratigrafia	Localização na placa	Ambiente Tectônico	Magmatismo			Eventos Estruturais
						Eventos plutônicos	Eventos ígneos	Eventos	
<b>Embasamento</b>	Precambriano	4570 Ma - 570 Ma	Embasamento	Intra-Cratônica	Embasamento			granito, dolerito, diorito	
<b>Sin Rift 1</b>	Permiano inferior - Triássico inferior	290 Ma - 241.1 Ma	Grupo Baixo Gondwana; Fm. Talchir; Grupo Gondwana; Fm. Kuchma, Fm. Barakar; Fm. Raniganj; Fm. Paharpur; Fm. Panchet	Intra-Cratônica	Rift				Canais regionais, grabens e meio-grabens
<b>Sin Rift 2</b>	Neocomiano - Aptiano	145.6 Ma - 112 Ma	Fm. Rajmahal Trap; Grupo Rajmahal;	Margem continental divergente ativa	Rift	basalto, dolerito, andesito;	basalto, dolerito, andesito, tuffos		grabens, horsts, canais regionais, blocos falhados, meio grabens
<b>Pós Rift</b>	Turoniano - Eoceno Superior	90.4 Ma - 35.4 Ma	Grupo Rajmahal; Fm. Sibganj; Fm. Dhananjaypur; Fm. Bolpur; Fm. Ghatal; Grupo Jaintia; Fm. Tura; Fm. Jalangi; Fm. Cherra; Fm. Kalighat; Fm. Sylhet Formation; Fm. Kopili; Fm. Hooghly	Margem continental divergente passiva	Sag marginal				falhas normais, falhas listricas, rollover
<b>Foredeep 1</b>	Oligoceno - Mioceno	35.4 Ma - 5.2 Ma	Fm. Burdwan Formation; Fm. Bogra; Grupo Barail; Fm. Laisong; Fm. Jenam; Fm. Renji Formation; Fm. Matla; Fm. Diamond Harbour; Fm. Jamalganj; Grupo Surma; Fm. Bhuban; Fm. Pandua; Fm. Boka Bil	magem convergente compressional foreland	Cinturão de dobramento				falhas normais, falhas listricas, rollover, dobramentos, cavalgamentos
<b>Foredeep 2</b>	Plioceno - Holoceno	5.2 Ma - 0 Ma	Grupo Tipam; Fm. Tipam Sandstone; Grupo Dupi Tila; Fm. Lower Dupi Tila; Fm. Debagram; Fm. Ranaghat; Fm. Girujan; Fm. Bengal Alluvium; Fm. Upper Dupi Tila; Grupo Barind; Fm. Dihing Formation; Fm. Madhupur Clay; Fm. Barind Clay; Fm. St. Martin's limestone	magem convergente compressional foreland	Cinturão de dobramento				falhas normais; listricas; rollovers; dobramentos; cavalgamentos; movimentação lateral;

No Permiano ocorre uma sedimentação marinha rasa e glacial com conglomerados e arenitos passando para um ambiente fluvial deltaico pertencente à fase 1 do *sin-rift*, resultado de um efeito compressivo do Gondwana, onde se formaram sinclinais (*downwarping*). Uma segunda fase rifte é caracterizada pela quebra do Gondwana no Cretáceo e é dominada por intrusões e extrusões ígneas intercalada com sedimentação predominantemente em ambiente fluvial. Somente no Santoniano se observam registros de sedimentação marinha rasa que se sobrepõe a uma deposição aluvial/fluvial e fluvial/deltaica na fase *pós-rift*. A sedimentação prossegue com a formação de uma plataforma carbonática e posterior afogamento no final do Eoceno. Na fase de *foredeep* (margem passiva/ plataformal) ocorre a colisão da placa Índia com a Ásia, ocorrendo o desenvolvimento dos Himalaias ao norte e das cunhas de acreção a leste, com rápida subsidência e gradual tectonismo compressional, o qual não afetou a porção indiana da bacia, pois esta continuou predominantemente sob um registro extensional. O processo de subsidência da bacia pode ser atribuído a vários fatores tais como: ajustes diferenciais da crosta, colisão contra as várias placas e sub-placas do sul asiático e, mais tardiamente, ao soerguimento dos Himalaias e da cadeia de montanhas do Indo-Burma, assim como pelo peso da sessão sedimentar. Movimentos ao longo de falhas foram iniciados com a fragmentação do Gondwana e durante o estabelecimento da bacia no Cretáceo.

### 1.2.1 Sedimentação da Bacia de Bengala

A sedimentação na Bacia de Bengala começa efetivamente por meio de uma fase pré-rift da segunda fase de rifteamento (Tabela 1), que foi controlada por grábens esculpidos no embasamento com idade variando do Valangiano ao Barremiano (140 a 126 Ma) e caracterizados por uma sedimentação lacustre. Neste período ocorrem às separações do continente Indiano do Antártico (Figura 5). No final do Barremiano (126 Ma) teve início efetivo a movimentação da placa Indiana para norte e começa a ser gerado espaço deposicional na bacia devido ao processo de rifteamento, o qual segue até topo do Aptiano (112 Ma). Este período é dominado por cunhas de progradação clásticas, depositadas em ambiente marinho restrito.

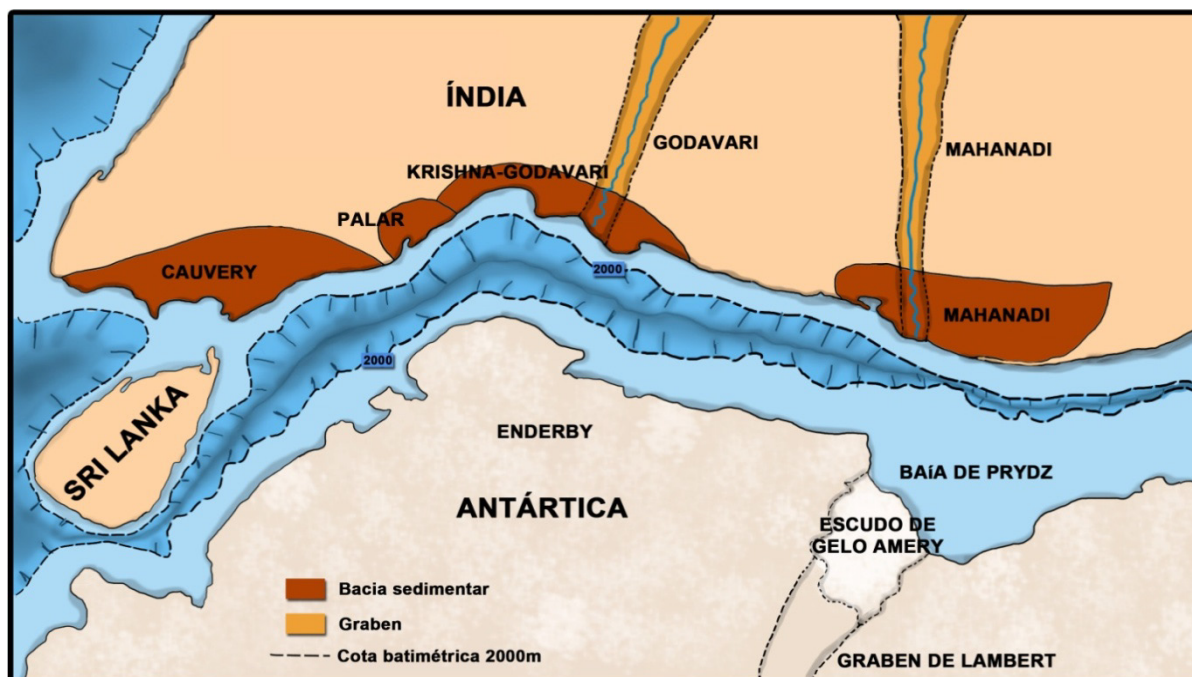


Figura 5. Diagrama esquemático da reconstituição plataformal do leste indiano com a Antártica a aproximadamente 126 Ma. Modificado de C. SUBRAHMANYAM (1999).

No Albiano, o ambiente deposicional muda rapidamente de marinho restrito para de mar aberto, o que não permitiu a formação de evaporitos. Do Cenomaniano ao Turoniano ocorreu um período de Mar Baixo (Trato de Sistema de Mar Baixo - TSMB), predominante de latitudes temperadas. O mesmo iniciou-se com cunhas de progradação clástica migrando para um sistema misto clástico/carbonático até o domínio da plataforma carbonática no Trato de Sistema de Mar Alto (TSMA), devido à baixa taxa sedimentar. Do Maastrichtiano até o Paleoceno (68 Ma – 59 Ma) observam-se cunhas de progradação clásticas em condições marinho-abertas com configuração sedimentar de latitude equatorial. Isto ocorre devido à existência de um maior aporte sedimentar, provavelmente, ocasionado por fatores climáticos de maior pluviosidade. No Eoceno Inferior implementa-se novamente um sistema carbonático intercalado com siliciclástico nas porções mais proximais das plataformas. No Eoceno Médio, devido a uma grande transgressão marinha, a plataforma rasa começa a sofrer influência de um regime carbonático, onde as áreas profundas da bacia são dominadas por sedimentação marinha profunda. Este sistema plataformal é posteriormente parcialmente erodido gerando uma progradação em um TSMB. A principal troca do padrão sedimentar ocorreu durante o Eoceno Médio e o Mioceno Inferior, resultante da colisão da Índia contra os blocos de Burma e a placa Eurasiana (Tibete), onde por volta de 40 Ma, ocorreu um dramático aumento do aporte sedimentar colmatando o sistema carbonático em um novo TSMA, por volta de 30 Ma.

Desde então, o influxo de sedimentos clásticos originários dos Himalaias e da cadeia de Montanhas Indo-Burma tem aumentado, gerando um conseqüente aumento na taxa de subsidência da bacia. (LINDSAY et al, 1991).

No Mioceno, com os eventos colisionais contínuos entre as placas envolvidas e o soerguimento dos Himalaias e da cadeia Indo-Burma, um grande influxo sedimentar foi direcionado para a bacia, proveniente de fluxos situados a NE e E. Por volta de 13 Ma (Mioceno Médio), um evento eustático de mar baixo (TSMB) foi responsável pela erosão de grande parte das seqüências depositadas anteriormente, variando do marinho nas porções mais profundas ao marinho raso e costeiro nas porções marginais da bacia. A partir do Plioceno, um grande aporte sedimentar vem preenchendo a Bacia de Bengala com fontes situadas a oeste e noroeste. A construção deltaica continuou a se desenvolver até o presente.

Em resumo, desde o Cretáceo a arquitetura da Bacia de Bengala sofreu mudanças devido aos padrões de movimento das principais placas da região. Dentre todas, três mudanças principais puderam ser reconhecidas na bacia, durante o Eoceno Superior, Mioceno Médio e Plio-Pleistoceno quando também fatores paleogeográficos e de origem sedimentar contribuíram para as mudanças que são observadas nestes três períodos. A presente configuração do sistema deltaico do Ganges-Brahmaputra, ao norte e do Leque Marinho Profundo de Bengala posicionada ao sul, foi estabelecido durante a parte tardia do Plioceno e Pleistoceno. A progradação do delta a partir destes episódios tem sido fortemente afetada pelos eventos orogênicos do leste do Himalaia. Eventos glaciais durante o Pleistoceno, ao norte, acompanhado por mudanças relativas do nível do mar também podem ser reconhecidas na Bacia de Bengala.

### 1.2.2 Considerações sobre o suprimento sedimentar

Devido à colisão e ao soerguimento dos Himalaias (entre 56/45 Ma) a taxa de sedimentação na Bacia de Bengla foi drasticamente alterada, com grandes influxos sedimentares preenchendo a bacia (Figuras 6a, 6b, 6c e 6d) formando um coluna sedimentar com mais de 22 km de espessura (CURRAY et al., 1994). Esta secção sedimentar é uma das mais profundas do globo terrestre e, provavelmente, uma das que possuem maior volume sedimentar. Isso se deve em grande parte ao enorme aporte sedimentar resultante dos diversos eventos orogênicos. Atualmente, o complexo fluvial Ganges-Brahmaputra constitui o segundo maior suprimento sedimentar do globo terrestre com aproximadamente  $2,60 \text{ m}^3/\text{ka}$  de

sedimento, ficando atrás somente do Rio Amazonas com  $5,75 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{ka}$  (BURGESS E HOVIUS, 1998). Desde o início da formação da bacia estima-se a deposição de aproximadamente  $1,69\text{E}+07 \text{ km}^3$  de sedimentos com massa total em torno de  $4,03 \times 10^{16} \text{ t}$  (CURRAY et al., 1994). Estas estimativas levam em consideração a evolução geológica da bacia, com a variação de temperatura e pressão e está dividida em duas partes:

1) Eoceno – Holoceno: referente ao período pós-colisional onde grande parte dos sedimentos fazem parte do leque de Bengala, com  $1,25\text{E}+07 \text{ Km}^3$  de volume e massa  $2,88 \times 10^{16} \text{ t}$ ;

2) Cretáceo – Paleoceno: referente ao evento pré-colisional com rochas sedimentares e metassedimentares de baixo grau, apresenta volume estimado de  $4,36\text{E}+06 \text{ Km}^3$  e  $1,15 \times 10^{16} \text{ t}$  em massa.

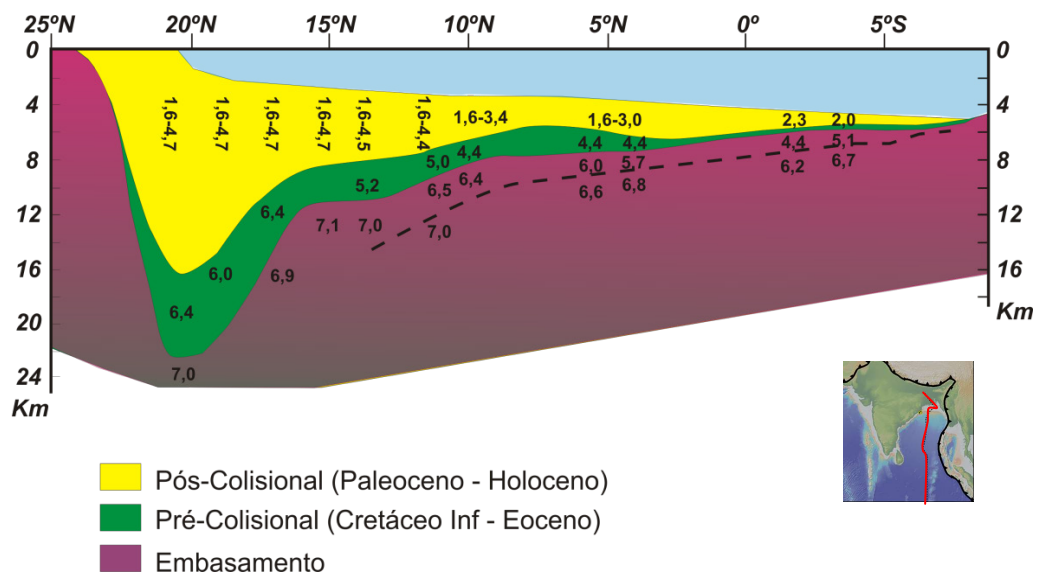


Figura 6a. Seção esquemática baseada em médias velocidades sísmicas de refração, representando os principais estágios tectono/deposicionais da bacia. Modificado de CURRAY et al., 1994.



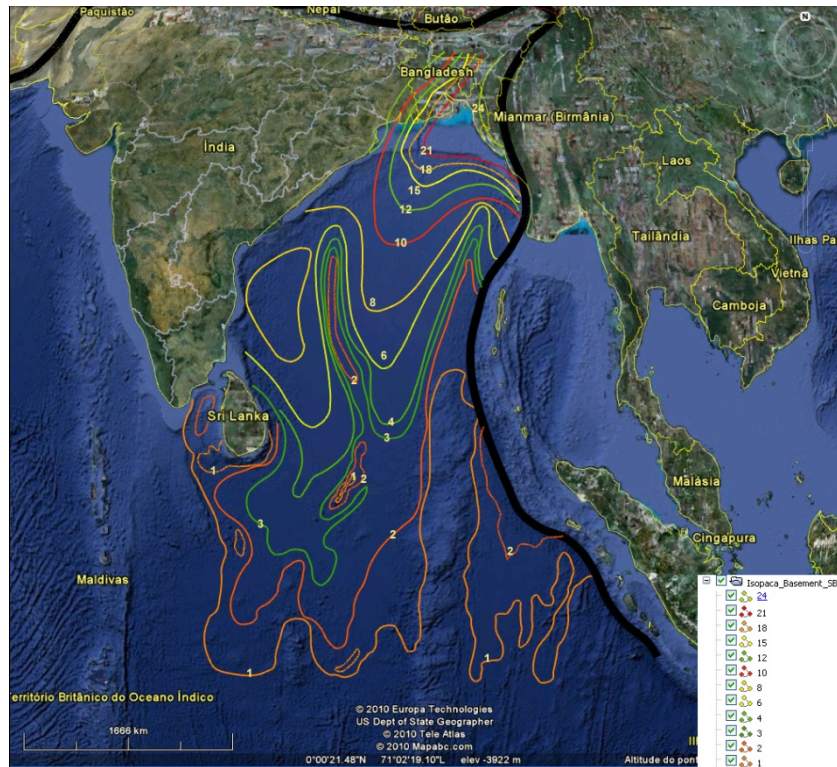


Figura 6b. Mapa de isópacas, mostrando a espessura sedimentar total da Bacia/Leque de Bengala e dois principais depocentros: Krishna/Godavari e Ganges Brahmaputra. Modificado de CURRAY et al.,1994.

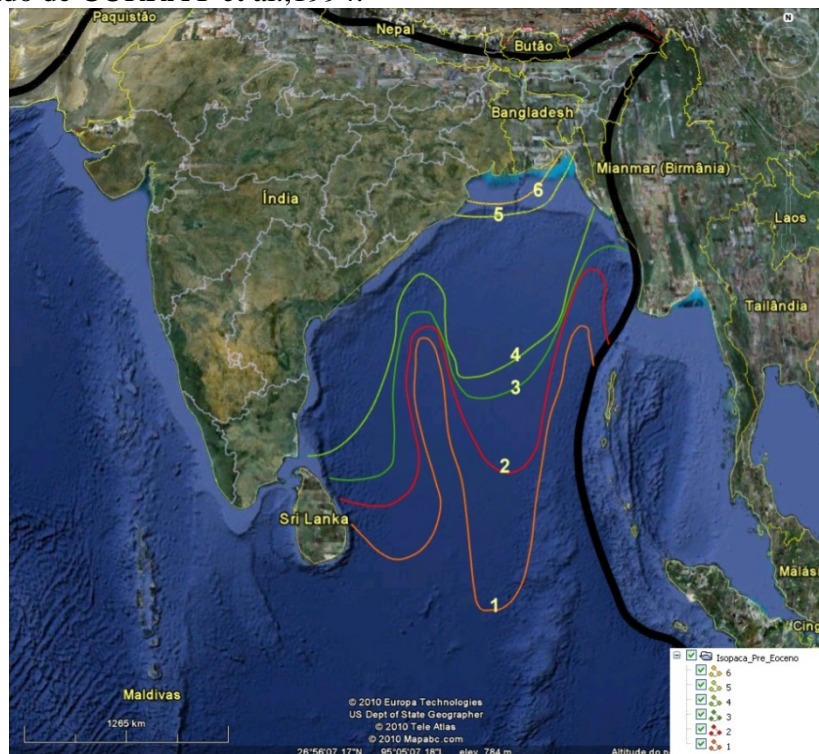


Figura 6c. Mapa de isópaca sedimentar para a Bacia de Bengala, representando a sessão pré-colisional (Pré-Eoceno), com dois principais depocentros: Krishna/Godavari e Ganges Brahmaputra . Modificado de CURRAY et al.,1994.