

Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira

Sedimentary Basins of the Brazilian Continental Margin

Webster Ueipass Mohriak

Petrobras

Summary

The Brazilian continental margin has been the object of study of several basin analysis projects in the last few decades. Technological advances in the acquisition, processing and interpretation of the large geological and geophysical datasets obtained by the petroleum industry resulted in outstanding advances in the geological interpretation and substantial development of new concepts related to the tectono-sedimentary evolution of the continental margin, with direct implications in the evaluation of the exploratory potential. This work presents an integrated review of the tectono-sedimentary evolution of the basins along the Brazilian continental margin, from the transform-related domains in the equatorial margin towards the divergent domains of the South American plate. This review focus on the sedimentary basins along the equatorial margin (Foz do Amazonas, Pará–Maranhão, Barreirinhas, Ceará, and Potiguar) and along the transversal and divergent domains of the plate, from the northeastern and eastern region (Pernambuco–Paraíba, Sergipe–Alagoas, Jacuípe, Camamu, Almada, Jequitinhonha, Cumuruxatiba), and extending to the southeastern and southern regions (Espírito Santo, Campos, Santos and Pelotas). A number of aborted rifts (example, Tacutu and Tucano) developed during the Gondwana breakup and during the continental drift phase are also discussed.

The syn-rift phase of the sedimentary basins along the continental margin is associated with extensional processes, which are responsible for synthetic and antithetic normal faults that formed half-grabens and grabens. These were filled with siliciclastic and carbonate lacustrine continental sediments deposited during the Neocomian and Barremian. The southeastern and southern segments of the margin are characterized by a large igneous province dated as Upper Jurassic to Early Cretaceous, with tholeiitic basalts underlying the syn-rift sediments, whereas in the northeastern Brazilian margin the syn-rift sediments are underlain by Paleozoic to Mesozoic pre-rift sediments.

The transitional phase (Aptian age) is associated with siliciclastic and carbonate sediments deposited above a regional unconformity (breakup unconformity) that heralds the continental drift phase, which is associated with evaporite sedimentation between the Sergipe–Alagoas and Santos basins, suggesting the occurrence of an elongated and shallow gulf, which was subsequently invaded by

marine waters during the first marine incursions of the nascent Atlantic Ocean. The presence of salt (halite) in the evaporites resulted in the development of a characteristic tectonic style marked by diapirs and extensional and compressional structures. The marine megasequence may be divided into a transgressive marine supersequence, with the establishment of a carbonate platform that grades into marls and shales (Albian to Turonian), and a regressive marine supersequence (Santonian to Tertiary), with carbonate and siliciclastic facies extending from the platform toward the deep water region.

The equatorial margin is characterized by a few aborted rifts along the continental platform and in the onshore region (for example, the Caciporé, Tacutu and S. Luís rifts), and by some sedimentary basins that are characterized by an extensional phase followed by transcurrent movements associated with wrench tectonics and transform faults, forming compressional structures (e.g., along the western part of the Ceará Basin). Following the inception of oceanic crust (whose limit with the continental crust is characterized by an abrupt segmentation by transform faults), the thermal subsidence sedimentation is affected by relatively few fault zones, the exception being gravitational collapse faults that occur in the depocenters near the shelf edge. This process resulted in extensional and compressional features in the slope and in the deep water region of several basins (for example, Foz do Amazonas, Pará–Maranhão, Barreirinhas).

Post-rift magmatic episodes are characterized notably in the Arolhos Volcanic Complex (northern part of the Espírito Santo Basin), and in the southern part of the Campos Basin (Cabo Frio region, near the limit with the northern Santos Basin), as well as along transform faults in the equatorial margin, forming linear chains of volcanic plugs and igneous intrusions. Reactivation of basement-involved faults are recorded in several intervals, notably in the Early Tertiary, with a marked association with alkaline magmatism and formation of aborted rifts along the border of the continental margin, as for example, the taphrogenic basins in the southeastern Brazilian region (e.g. the Taubaté Basin).

Introdução

O estudo das bacias sedimentares da margem passiva da placa sul-americana, relacionando sua evolução tectônica com estágios de subsidência rifte e subsidência termal, cada qual com diferentes seqüências estratigráficas, é de importância fundamental para a avaliação do potencial exploratório na pesquisa de hidrocarbonetos. À medida que a busca de novas reservas petrolíferas avança para a região de águas profundas, novos conceitos geológicos são incorporados ao acervo de dados geológicos e geofísicos, interpretados por exploracionistas e geocientistas de diversas instituições.

Neste capítulo, são revistos alguns conceitos relacionados à evolução tectono-sedimentar das bacias da margem continental brasileira, incluindo desde riftes abortados na borda da plataforma e mesmo na região continental até a região de águas profundas e ultra-profundas, próximo do limite entre crosta continental e crosta oceânica. Discute-se o contexto geodinâmico do Atlântico Sul, destacando-se as principais feições tectônicas, e também é apresentada análise sucinta das características estruturais e estratigráficas dos diversos segmentos da margem, analisando-se as principais bacias sedimentares entre o limite com a Guiana na margem equatorial e o limite com as águas territoriais do Uruguai, na margem sul brasileira.

O Brasil é um país com uma das maiores extensões de margem continental do mundo, englobando diversos segmentos com bacias sedimentares com características geológicas distintas e diferentes graus de conhecimento do potencial

exploratório (e.g., Asmus e Pontes, 1973; Ponte *et al.* 1980; Ojeda, 1982; Asmus, 1984; Guardado *et al.* 1989; Mohriak *et al.* 1990 a; Mohriak *et al.* 1990 b; Chang *et al.* 1992; Matos, 1992). O principal objetivo deste trabalho é o de analisar e discutir algumas dessas feições à luz de novos conceitos geológicos advindos da interpretação da região de águas profundas e ultra-profundas (Cainelli e Mohriak, 1998; Mohriak *et al.* 2000).

Base de Dados

Com a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP), o banco de dados geológicos e geofísicos das bacias sedimentares da margem continental brasileira, anteriormente levantado primordialmente pela PETROBRAS durante os trabalhos de investigação do potencial de hidrocarbonetos, passou a ter acréscimos substanciais com dados de levantamentos não-proprietários (*spec surveys*) adquiridos por diversas companhias ligadas à indústria de petróleo e também por instituições de pesquisa. Nesse contexto de base de dados multidisciplinar, são utilizados neste trabalho dados geológicos (principalmente resultados estratigráficos de poços exploratórios perfurados pela PETROBRAS) e dados geofísicos (principalmente métodos sísmicos e potenciais) que subsidiam a interpretação da evolução tectono-sedimentar dos diversos segmentos da margem, incluindo análise de levantamentos de sísmica profunda executados pela PETROBRAS (e.g., Mohriak e Latgé,

1991; Mohriak *et al.* 1993), e também levantamentos regionais da margem continental, ou efetuados por instituições governamentais (*e.g.*, Projeto Leplac) ou por instituições ligadas à indústria de petróleo em levantamentos especulativos (*e.g.*, Fainstein, 1999; Fainstein *et al.* 2001). Utilizam-se também mapas regionais de batimetria, gravimetria (*free-air* e Bouguer) e magnetometria (Munis, 1997), resultado de compilações de dados de métodos potenciais da PETROBRAS e da CPRM integrados com dados do Geosat, de domínio público (Sandwell e Smith, 1997).

Evolução Tectono-Sedimentar da Margem Atlântica

Principais feições morfoestruturais do Atlântico Sul

O supercontinente Gondwana (vide Cap. I deste volume) formou-se no Proterozóico Superior como resultado da assembléia de terrenos acrescidos aos crátons Amazonas e São Francisco durante a orogenia Brasiliana ou Pan-Africana (Almeida *et al.* 1976; Almeida *et al.* 2000, Heilbron *et al.* 2000). Os cinturões de dobramento separando massas cratônicas pré-cambrianas (Fig. III.1 e Cap. V) são caracterizados por estruturas de direção NE–SW na margem leste e sudeste brasileira, principalmente ao longo do segmento entre as bacias de Espírito Santo e Santos, estando associados à transpressão dextral ao longo da zona de cisalhamento Além-Paraíba (Radambrazil, 1983; Szatmari *et al.* 1984; Cobbold *et al.* 2001). No nordeste brasileiro, destaca-se o alinhamento leste–oeste de Pernambuco–Paraíba, que exerce papel fundamental no controle tectônico das bacias formadas no Mesozóico (Cordani *et al.* 1984; Chang *et al.* 1992). Na margem norte brasileira destaca-se o lineamento Transbrasiliano, de direção NE–SW, que atravessa a Bacia do Parnaíba e separa o segmento extensional da bacia do Ceará (Bacia de Mundaú, a leste) dos segmentos transpressionais da bacia de Piauí–Camocim (Cordani *et al.* 1984; Cordani *et al.* 2000).

A orogenia do Pré-Cambriano Superior a Paleozóico Inferior é seguida por uma fase de sedimentação intracratônica nas bacias sedimentares paleozóicas (Paraná, Parnaíba, Amazonas), com diversos ciclos deposicionais (Milani e Zalán, 1999; Milani e Thomaz Filho, 2000). No Mesozóico essas bacias foram afetadas pela ruptura continental (quebra do Gondwana), resultando em feições extensionais de riftes superpostos aos sedimentos anteriormente depositados (*e.g.*, Bacia de São Luís e Bacia Sergipe–Alagoas), e também cobertas por derrames basálticos associados à abertura do Atlântico Sul (Misuzaki *et al.* 2002).

A Fig. III.2 apresenta uma composição de figuras reconstituindo a fisiografia do Atlântico Sul atual com os riftes das bacias marginais na época pré-deriva continental. A Fig. III.2a mostra um mapa fisiográfico com as principais feições do Oceano Atlântico, destacando-se o centro de espalhamento atual entre o continente sul-americano e africano. A Fig. III.2b apresenta uma reconstituição palinspástica com as principais bacias sedimentares formadas com a separação das placas sul-americana e africana (Mohriak *et al.* 1998a). O sistema de riftes da margem continental brasileira (principalmente no segmento entre Sergipe–Alagoas e Santos) formou-se como consequência de processos extensionais datados de Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior (Asmus e Porto, 1980; Asmus e Baisch, 1983; Szatmari *et al.* 1985; Chang *et al.* 1992). Há evidências de esforços extensionais polifásicos nas regiões extremas da placa sul-americana, com idades de sedimentos preenchendo grábens que atingem até o Triássico, corroboradas por datação geocronológica de rochas intrusivas e extrusivas precedendo a fase principal de rifteamento (Conceição *et al.* 1988; Mizusaki *et al.* 2002).

As principais bacias da margem continental brasileira e suas principais feições tectônicas estão mostradas na Fig. III.3. A Fig. III.3a mostra as principais estruturas da margem equatorial, e a Fig. III.3b as estruturas da margem nordeste, leste e sudeste–sul do Brasil. Na margem sul destacam-se as estruturas e bacias da margem continental argentina, que apresentam um padrão de rifteamento distinto do observado na margem brasileira (Milani e Thomaz Filho, 2000).

A ruptura do Gondwana é caracterizada por alguns riftes abortados na região emersa intracontinental (*e.g.*, no norte do Brasil, destacam-se os riftes de Tacutu e Marajó; na margem equatorial, ocorrem também pequenos riftes na plataforma continental do Ceará, *e.g.*, Jacaúna); no nordeste, destaca-se o sistema de riftes Recôncavo–Tucano–Jatobá; e na região sudeste, registram-se vários pequenos grábens localizados entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Os riftes ao longo da margem continental, que evoluíram até formar as bacias sedimentares da margem passiva, formam um conjunto de bacias sedimentares que se estende desde o limite com a Guiana até o limite com as águas territoriais do Uruguai.

Baseando-se principalmente em dados do Leplac (Russo, 1999), observa-se que os depocentros das bacias sedimentares da margem continental apresentam uma espessura total de sedimentos (entre o fundo do mar e o embasamento pré-cambriano ou vulcânico) bastante variável. As maiores espessuras sedimentares da margem são observadas nos depocentros do Cone do Rio Amazonas, na Bacia de Barreirinhas, no segmento das bacias de Espírito Santo a Santos e no Cone do Rio Grande, na Bacia de Pelotas.

A Tab. III.1 mostra as principais características das bacias sedimentares da margem continental (Tab. III.1a) e dos riftes abortados (Tab. III.1b) no interior do continente brasileiro.

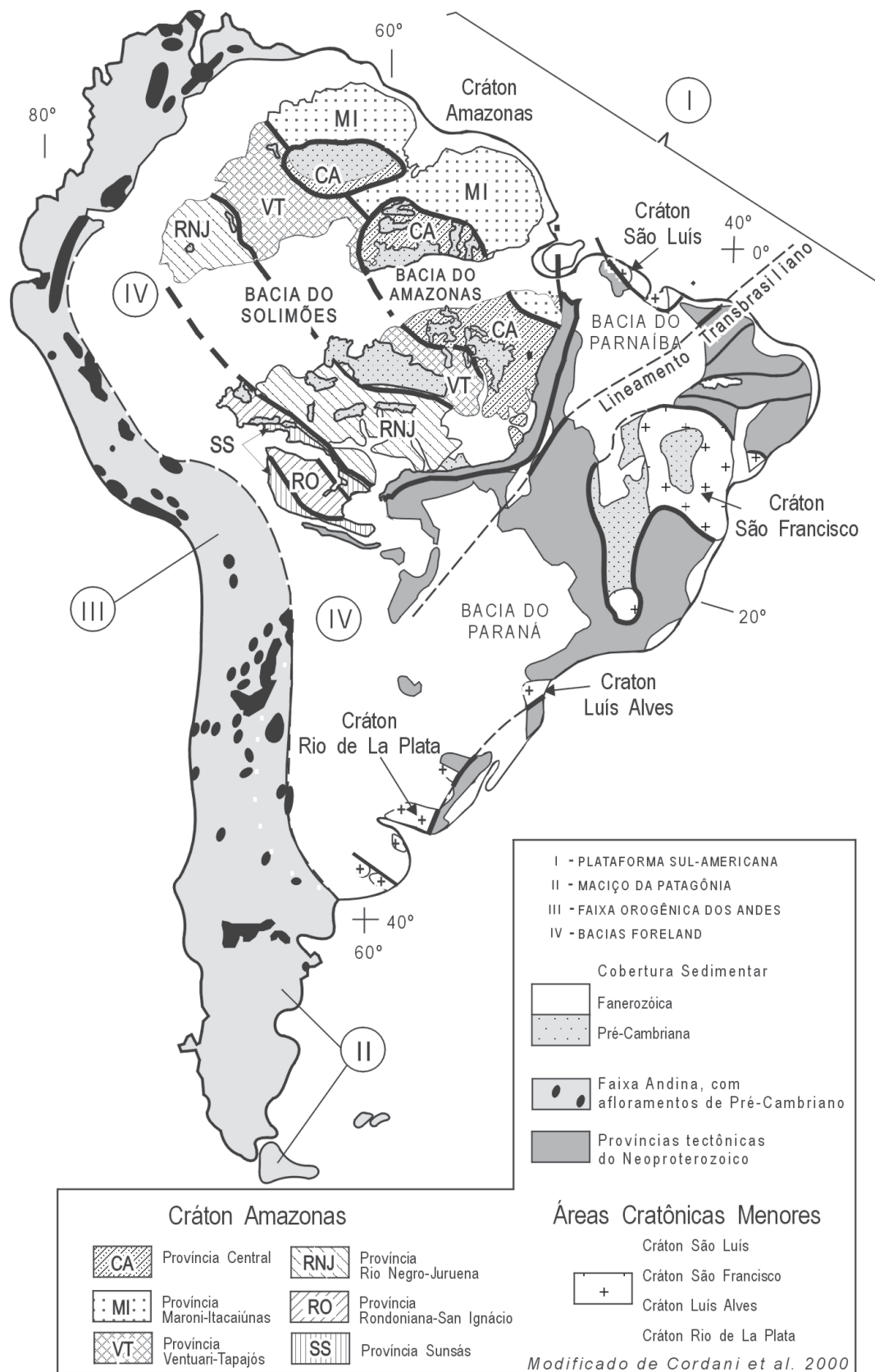


Figura III.1 – Principais elementos tectônicos da América do Sul

Figure III.1 – Main tectonic elements of the South American continent

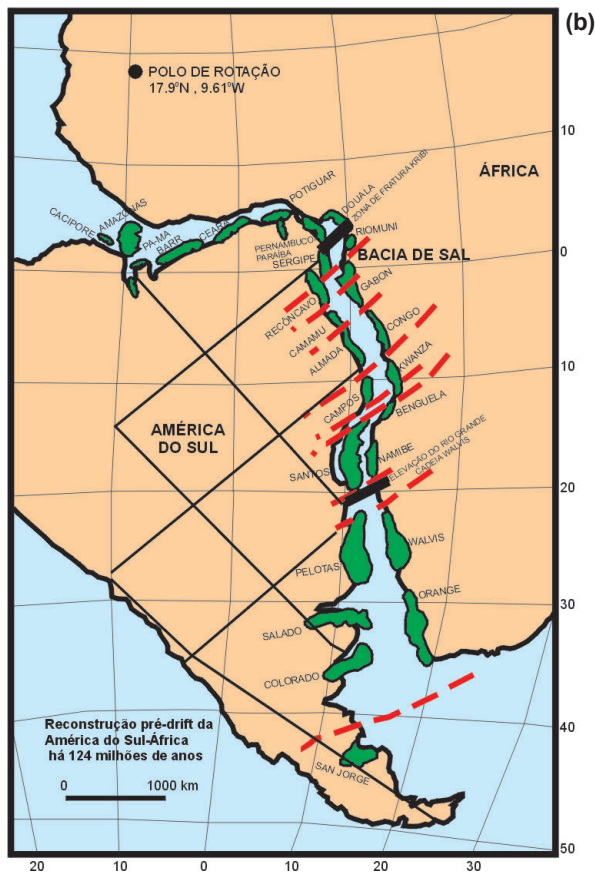
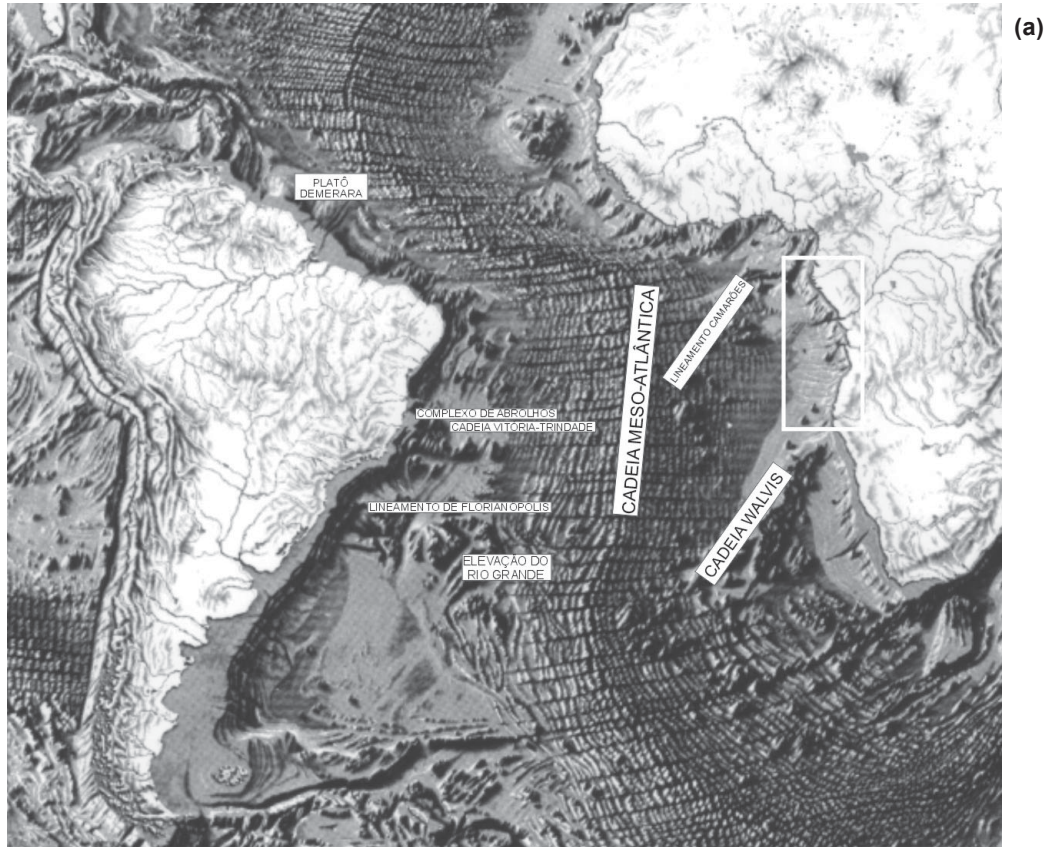
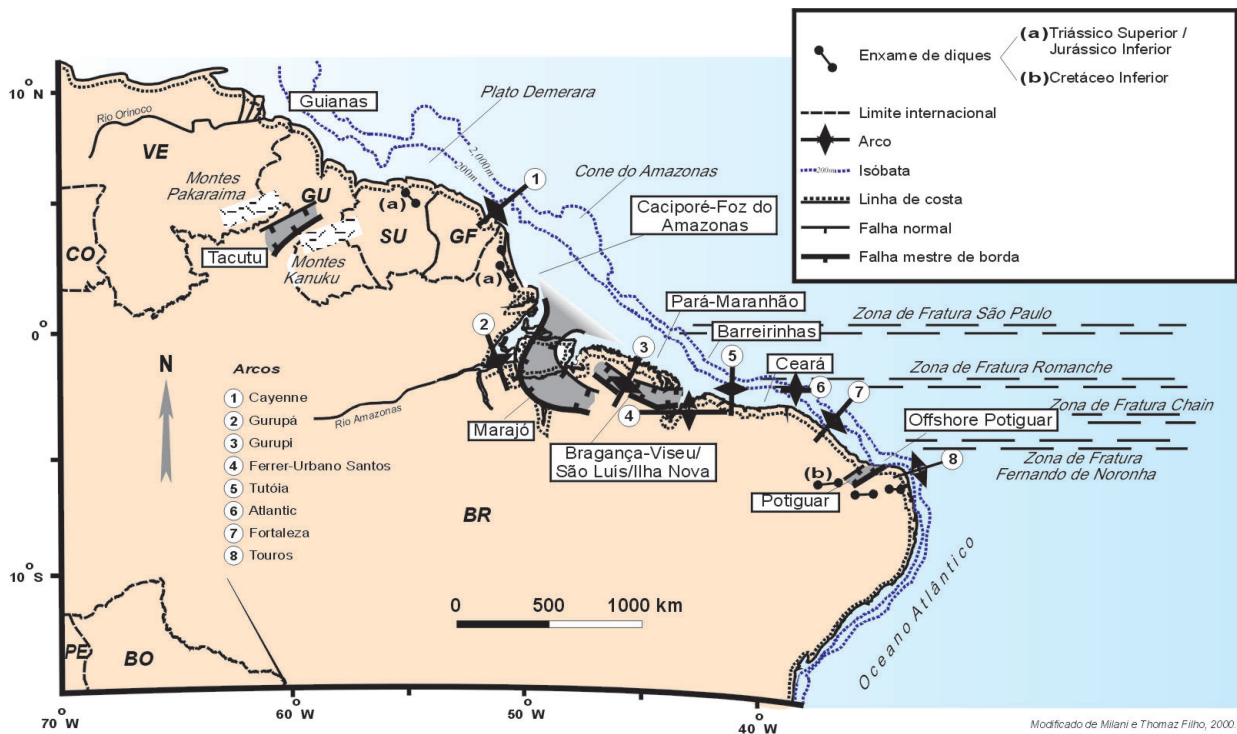
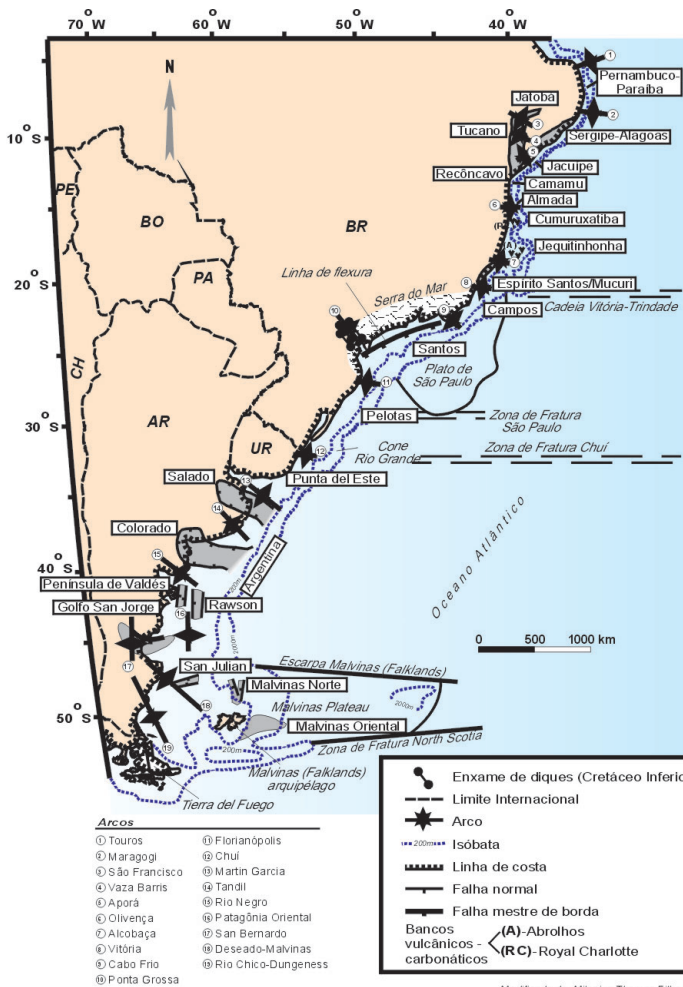


Figura III.2 – Mapa de localização do Atlântico Sul. (a) Mapa geomorfológico do Oceano Atlântico, ilustrando principais feições tectônicas. (b) Reconstrução tectônica das bacias sedimentares na configuração pré-deriva continental

Figure III.2 – Location map of the South Atlantic. (a) Geomorphologic map of the Atlantic Ocean, illustrating the main tectonic elements. (b) Tectonic reconstruction of the sedimentary basins in the pre-drift configuration



(a)



(b)

Figura III.3 – (a) Mapa geológico esquemático da região norte brasileira, mostrando as bacias sedimentares da margem equatorial transformante; e (b) Mapa geológico esquemático da região nordeste, leste, sudeste e sul do Brasil, mostrando as bacias sedimentares da margem continental divergente

Figure III.3 – (a) Schematic geological map of the northern Brazilian region, showing the sedimentary basins along the equatorial transform margin; and (b) Schematic geological map of the northeastern, eastern, southeastern and southern Brazilian regions, showing the sedimentary basins along the divergent margin

Tabela III.1a Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira
 Tabela III.1a Brazilian Continental Margin Sedimentary Basins

BACIA	AREA (km ²)	LIMITE NORTE	LIMITE SUL	ROCHAS PRE-RIFTE	TECTÔNICA RIFTE	TECTÔNICA SAL - FOLHELHO	VULCANISMO PÓS-RIFTE
PELOTAS	250.000	Plataforma Florianópolis	Limite territorial (Uruguai)	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico (Bacia do Paraná)	alto ângulo alta rotação falhas antitéticas	Ausente a incipiente (parte norte) cinturão de dobramento	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
SANTOS	350.000	Arco de Cabo Frio	Plataforma de Florianópolis	Rochas vulcânicas Cretáceo Inferior	alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas e antitéticas bacia sag	Intensa a muito intensa falhas antitéticas diápiros / muralhas de sal	Cabo Frio Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
CAMPOS	120.000	Arco de Vitória	Arco de Cabo Frio	Rochas vulcânicas Cretáceo Inferior	alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas bacia sag	Intensa a muito intensa falhas sintéticas falhas reversas	Cabo Frio Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
ESPÍRITO SANTO / MUCURI	18.000 (emerso) 200.000 (submerso)	Complexo Vulcânico Abrolhos	Arco de Vitória	Rochas vulcânicas Cretáceo Inferior	alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas bacia sag	Reduzida (plataforma) intensa (talude) falhas listricas sintéticas	Abrolhos Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
CUMURUXATIBA	7.000 (emerso) 14.000 (submerso)	Complexo Vulcânico Royal Charlotte	Complexo Vulcânico Abrolhos	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	baixo ângulo alta rotação falhas sintéticas bacia sag	Reduzida (plataforma) intensa no talude faixas extensionais e compressionais	Royal Charlotte Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
JEQUITINHONHA CAMAMU-ALMADA JACUIPE	3.000 (emerso) 30.000 (submerso)	Alto de Jacuípe	Complexo Vulcânico Royal Charlotte	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	baixo ângulo alta rotação falhas sintéticas bacia sag	Reduzida (plataforma) intensa no talude faixas extensionais e compressionais	Royal Charlotte Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
SERGIPE/ ALAGOAS	13.000 (emerso) 40.000 (submerso)	Alto de Maragoji	Alto de Jacuípe	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	baixo ângulo alta rotação falhas sintéticas	Reduzida a pouco intensa na plataforma	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal cunhas de SDR
PERNAMBUCO/ PARAÍBA	9.000 (emerso) 30.000 (submerso)	Alto de Touros	Alto de Maragoji	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas	Reduzida a pouco intensa na plataforma	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal zonas de fraturas
POTIGUAR	24.000 (emerso) 36.000 (submerso)	(Limite oeste) Alto de Fortaleza	(Limite leste) Alto de Touros	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	alto ângulo baixa rotação	Tectônica de folhelho cinturão de dobramento	Diques E-W (onshore) vulcânicas próximo do limite crustal
CEARÁ	1.000 (emerso) 30.000 (submerso)	(Limite oeste) Alto de Tutóia	(Limite leste) Alto de Fortaleza	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	baixo ângulo falhas reversas falhas com deslocamento horizontal	Tectônica de folhelho reduzida cinturão de dobramento	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal zonas de fraturas
BARREIRINHAS	10.000 (emerso) 30.000 (submerso)	(Limite oeste) Plataforma de Ilha de Santana	(Limite leste) Alto de Tutóia	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	Alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas	Tectônica de folhelho intensa cinturão de dobramento	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal zonas de fraturas
PARÁ-MARANHÃO	26.000 (0 - 400 m) 24.000 (> 400 m)	(Limite oeste) Plataforma de Ilha de Santana	(Limite leste) Plataforma de Ilha de Santana	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	Alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas	Tectônica de folhelho intensa cinturão de dobramento	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal zonas de fraturas
FOZ DO AMAZONAS	350.000 (submerso)	(Limite oeste) Platô de Demerara	(Limite leste) Plataforma de Ilha de Santana	Sedimentos Mesozóico	alto ângulo alta rotação falhas normais sintéticas	Tectônica de folhelho intensa cinturão de dobramento	Intrusões vulcânicas próximo do limite crustal zonas de fraturas

Tabela III.1b Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira – Riftes Abortados
 Tabela III. 1b Brazilian Continental Margin Sedimentary Basins – Aborted Rifts

BACIA	ÁREA (km ²)	LIMITE NORTE	LIMITE SUL	ROCHAS PRÉ-RIFTE	TECTÔNICA RIFTE	TECTÔNICA SAL - FOLHELHO	VULCANISMO PÓS-RIFTE
TACUTU	12.500	Linha de charneira Mau	Falha mestre Lethem	Rochas vulcânicas Jurássico	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas e antitéticas	incipiente	ausente
CASSIPORÉ	30.000	Platô Demerara	Plataforma do Pará	Rochas do Mesozóico	alto ângulo alta rotação falhas antitéticas	ausente	Intrusões locais diques ígneos
MARAJÓ	40.000	Plataforma do Pará (W)	Plataforma paleozóica Bacia do Parnaíba	Rochas do Paleozóico	alto ângulo baixa rotação falhas sintéticas e antitéticas	ausente	Intrusões locais
BRAGANÇA - S. LUÍS	25.000	Rochas do Pré-cambriano	rochas paleozóicas Bacia do Parnaíba	Rochas do Paleozóico	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas e antitéticas	ausente	Basaltos do Cretáceo Inferior
JACAÚNAS	1.000	Plataforma do Ceará	Plataforma do Ceará	Rochas do Pré-cambriano	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas e antitéticas	ausente	ausente
POTIGUAR	24.000	Plataforma de Baraunas	Plataforma Leste	Rochas do Pré-cambriano	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas e antitéticas	ausente	Diques de diabásio e rochas vulcânicas
JATOBÁ	5.000	Falha Ibimirim Lineamento PE-PB	Arco de Vaza-Barris	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas	ausente	ausente
TUCANO	30.000	Arco de Vaza-Barris	Rochas do Pré-cambriano granulitos do cinturão Atlântico	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas	Diápiros de folhelho	ausente
RECÔNCAVO	10.000	Cráton do São Francisco	Alto de Jacuípe	Sedimentos Paleozóico/ Mesozóico	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas	Diápiros de folhelho	ausente
BARRA S. JOÃO	1.000	(Limite oeste) rochas do Pré-cambriano	(Limite leste) Plataforma de Campos	Rochas vulcânicas Mesozóico (?)	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas e antitéticas	ausente	Intrusões alcalinas próximas
TAUBATÉ	3.500	(Limite norte) falhas Buquira Piedade Pinheiros	(Limite sul) Falhas Jambreiro Fartura	Rochas vulcânicas Mesozóico (?)	alto ângulo alta rotação falhas sintéticas e antitéticas	ausente	Intrusões alcalinas próximas