



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA: PETRÓLEO E MEIO AMBIENTE
- POSPETRO

DANIELE VASCONCELOS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL E CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE
APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA**

Salvador

2017

DANIELE VASCONCELOS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL E CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE
APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – Pospetro, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Geoquímica do Petróleo e Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a Gisele Mara Hadlich

Salvador

2017

DANIELE VASCONCELOS DO NASCIMENTO

AVALIAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL E CARACTERIZAÇÃO
GEOQUÍMICA DE APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em
Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – POSPETRO, Instituto de Geociências,
Universidade Federal da Bahia.

BANCA EXAMINADORA

PROF^a DR^a GISELE MARA HADLICH – ORIENTADORA (PRESIDENTE)
IGEO/UFBA

PROF. DR. JOSÉ MARTIN UCHA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA – IFBA

DR^a SARAH ADRIANA ROCHA SOARES
LEPETRO/IGEO/UFBA

SALVADOR
2017

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – Pospetro.

À Professora Dr^a. Gisele, pela oportunidade e ensinamentos e sobretudo por não desistir de mim, mesmo quando eu mesma havia desistido, muito obrigada.

Aos Professores Dr. Ucha, MSc. Gilson Dourado, pelas inúmeras contribuições no campo e nas análises dos resultados.

Aos professores Dr^a. Juliana Leonel e Dr. Guilherme Lessa, pelas intervenções e sugestões.

A todos os meus colegas da Pospetro, em especial à equipe técnica do laboratório: Gisele (Gigi), Jorginho, Jucineide, Sarah e Marcos (Marcão).

À Carollina, Jade e Gabriel, pelo apoio como bolsistas de Iniciação Científica.

À CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado.

À Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) e à Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER), pelas imagens de fotografias aéreas cedidas para a realização desse estudo.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo avaliar a variação espaço temporal (1954-2015) e caracterização geoquímica em apicuns situados nos municípios de Jaguaripe (JP), Madre de Deus (MD), Saubara (SB) e Vera Cruz (VC), localizados na Baía de Todos os Santos (BTS). Os apicuns são áreas planas de elevada salinidade, presentes na região de supramaré e desprovidas de vegetação ou com vegetação rasa; estão necessariamente associados a manguezais e são encontrados nas regiões intertropicais em todo o mundo. Na BTS os manguezais e apicuns ocupam, respectivamente, 177,6 km² e 10,2 km². Esse trabalho foi dividido em duas etapas: (1) o estudo multitemporal dos apicuns, realizado através do uso de geotecnologias, que consistiu em fazer a sobreposição de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite de diferentes anos (1954, 1989, 2010 e 2015), e (2) uma caracterização geoquímica desses ambientes, através da análise de 49 amostras de sedimentos coletadas em diferentes profundidades, ao longo de um transecto com três pontos, definido em um apicum para cada município estudado, totalizando quatro apicuns. As análises realizadas nos sedimentos foram: salinidade; pH; carbono orgânico total (COT); nitrogênio (N); enxofre (S); fósforo assimilável (P); granulometria; elementos químicos (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Na, Ni, Mg, Mn, Pb, Zn). Quanto à evolução espaço – temporal, foi constatada a predominância de redução das áreas de apicum em decorrência do avanço dos manguezais sobre os apicuns, bem como devido às ocupações urbanas e aterros. Variações nas áreas de apicum podem estar indicando variações no nível do mar, haja vista sua elevação nas últimas décadas. Entretanto, o estudo realizado mostrou que, em uma mesma baía, localidades diversas podem apresentar comportamento evolutivo espacial dos apicuns diferenciado. Geoquimicamente, os apicuns diferem significativamente. Apesar dos apicuns serem predominantemente arenosos (em média 80% de areia considerando todos os apicuns), a granulometria varia, sendo menor na parte norte da BTS (MD, SB) em relação à área mais próxima à entrada da Baía (JP e VC). Os parâmetros físico-químicos e concentração de metais também variam entre os apicuns, bem como apresentam variações dentro de cada apicum, e podem dar indicações de ações antrópicas.

Palavras-chave: apicuns, geotecnologias, estudos multitemporais, geoquímica, metais.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the space and temporal variability (1954 - 2015) and geochemistry analysis of saltflats located on the cities of Jaguripe (JP), Madre de Deus (MD), Saubara (SB) and Vera Cruz (VC), in Todos os Santos Bay (BTS). Saltflats are flat areas with high salinity, present in the supra-tide region that devoid of vegetation or with shallow vegetation; they are always associated with mangroves and can be found in intertropical regions around the world. At BTS mangroves and saltflats occupy, respectively, 177.6 km² and 10.2 km². This research was split in two steps: (1) multitemporal study of the saltflats through the application of geotechnologies, consisting in areal photographs and/or satellite imagery overlapping on different years (1954, 1989, 2010 and 2015), and (2) geochemical analysis through analysis of 49 sediment samples collected at different depths in three points transect. Each transect was defined in a apicun at each city, so there were four at total. The sediment analysis were: salinity, pH, Total Organic Carbon (COT), Nitrogen (N), Sulfur (S), assimilable phosphorus (P), granulometry, chemical elements (Al, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Na, Ni, Mg, Mn, Zn). In the spacial and temporal evolution there was a predominant reducing saltflats area as a result from them being taken over by mangroves, as well as urban development and landfills. This area variability can be related to variability in the sea level considering its elevation at the last decades. However, this study shows that, at the same bay, different locations can present a variable evolutionary spacial behavior of the saltflats. Geochemically speaking, the saltflats have little difference. Even though they are predominantly sandy (at an average of 80% of sand considering all saltflats), the granulometry varies, with finer grains at the BTS' nothern region (MD, SB) in contrast to coarser granulometry close to the bay's entry (JP and VC). The phisical and chemical parameters and metal concentration also vary among the saltflats, as well as they present internal variability, and may indicate some antropic interpherence.

Key-words: saltflats, geotechnologies, temporal studies, geochemistry, metals.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	ÁREA DE ESTUDO: BAÍA DE TODOS OS SANTOS.....	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	MATERIAIS E METODOS	17
3.1	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.2	ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPACIAL DE APICUNS NA BTS.....	17
3.2.1	Seleção das imagens.....	17
3.2.2	Processamento das imagens e elaboração de mapas temáticos	19
3.3	CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA	22
3.3.1	Coleta de amostras	22
3.4	ANÁLISES EM LABORATÓRIO.....	25
3.5	ANÁLISES, DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	27
4	VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA	28
4.1	INTRODUÇÃO	28
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.4	CONCLUSÃO	50
5	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA	51
5.1	INTRODUÇÃO	51
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS	54
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.4	CONCLUSÕES.....	65
6	CONCLUSÕES GERAIS	66
	REFERENCIAS	67
	APÊNDICE A	75
	APÊNDICE B	77
	B.1 PRÉ-PREPARO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO.....	77
	B.2 ANÁLISES REALIZADAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

Apicum, do tupi *apecu*, “coroa de areia feita pelo mar”, designa zona geralmente arenosa com pobre ou nenhuma cobertura vegetal; é considerado tanto um ecossistema da zona costeira associado a manguezais quanto um ecótono integrante destes. Manguezais são ecossistemas recentes sob aspecto geológico-geomorfológico, encontrados no litoral brasileiro entre Cabo Orange (AP) e Laguna (SC), ocupando 25 mil km² (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989); são conhecidos pela sua relevância ecológica e também pela sua importância socioeconômica devido às atividades de mariscagem desenvolvidas por comunidades próximas e estão incluídos entre as Zonas Úmidas definidas pela Convenção de Ramsar, da qual o Brasil é signatário, reconhecendo-as como recurso de grande valor econômico, cultural, científico e recreativo, cuja perda seria irreparável (RAMSAR, 1971; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995, 1999; PROST, 2001). Os apicuns, assim como os manguezais, também tem sua importância social, inclusive para lazer (figura 1.1a) e aquiculturas (figura 1.1b)(JESUS; HADLICH, 2009). Além disso, os apicuns perto de casas dos pescadores podem ser usados para criação de gado e de cabra (ACKERMANN et al., 2006).

As zonas úmidas são ecossistemas transicionais entre os ambientes terrestres e aquáticos que ocorrem em áreas onde os solos são naturalmente ou artificialmente tomados pela água devido à saturação de água subterrâneas ou superficiais. Além disso, a saturação pode ocorrer durante uma parte ou todo o ano. Estes ecossistemas são comumente encontrados em deltas de rios, estuários, planícies aluviais e planícies de maré, e são importantes em termos da biogeoquímica global, equilíbrio de água, animais selvagens, fonte de alimento, e dinâmica de carbono cobrindo aproximadamente apenas 5% - 7% da área de superfície do mundo (NEUE et al., 1997).

Figura 1.1 – Exemplo de apicum usado como (a) recreação (campo de futebol) e (b) aquicultura em Jaguaripe (setas em vermelho), Bahia



Fonte: (a) autora e (b) Google Earth (2015).

Os apicuns são considerados ecossistemas de transição entre ambientes aquáticos e terrestres. Em geral, a ocorrência de apicuns é associada a zonas marginais de manguezais, na interface médio/supra litoral, localizados geralmente entre manguezais e terras elevadas adjacentes (MACIEL, 1991; UCHA et al., 2004; BRASIL, 2005a; GUADAGMIN, 1999; LEBIGRE, 2007; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010), e essas características os diferenciam dos demais ambientes arenosos salgados (ALBUQUERQUE et al., 2013). Entretanto, existem mapeados apicuns no interior de bosque de mangue, chamados apicuns inclusos (CAMARGO; PELLERIN; PANITZ, 2000; LEBIGRE, 2007; HADLICH; UCHA; OLIVEIRA, 2009).

Na Baía de Todos os Santos (BTS) foram realizados primeiros estudos sobre algumas características geoquímicas dos apicuns, diferenciando encostas, apicuns e manguezais (BOAVENTURA; HADLICH; CELINO, 2011; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010) e foi evidenciada variação sobretudo da salinidade dos apicuns ao longo do ano, em função da variação da precipitação (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010). As análises realizadas nesse estudo foram: granulometria, pH, matéria orgânica (M.O.), nitrogênio (N), fósforo (P), sais solúveis, metais, datação de ^{14}C e complexo sortivo (cálcio - Ca, magnésio - Mg, potássio - K, sódio - Na, alumínio (Al), H^+ Al, Saturação de Al e Na), usado para calcular a capacidade de troca catiônica (CTC). Algumas das características geoquímicas foram também mapeadas (com uso de geoestatística) e publicadas, sobre o município de Madre de Deus (ASSUMPÇÃO; HADLICH, 2011; ASSUMPÇÃO; HADLICH; UCHA, 2011; ASSUMPÇÃO; UCHA; HADLICH, 2013). Em alguns apicuns estudados foram encontrados materiais de antigos manguezais soterrados (NASCIMENTO, 1999; UCHA et al., 2003, 2004; HADLICH, 2008; HADLICH; UCHA, 2009; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010). Quanto à localização dos apicuns, a quase totalidade encontra-se nas bordas dos manguezais, sendo raros os apicuns inclusos. Sua distribuição, entretanto, apresenta grandes variações espaciais. Enquanto os manguezais se distribuem em toda a BTS, à exceção da área urbana de Salvador e das áreas litorâneas abertas ao mar (faixa oriental da Ilha de Itaparica, parte sul de outras ilhas menores e proximidades da foz do rio Paraguaçu), os apicuns da BTS concentram-se nas áreas SW-W (faixa ocidental da Ilha de Itaparica e junto dos manguezais dos rios Jacuruna e Santana, em Jaguaripe) e, em menor quantidade, na Baía de Iguape, em Saubara e ao norte da BTS, em São Francisco do Conde e em Madre de Deus (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; HADLICH; UCHA; OLIVEIRA, 2009; HADLICH; UCHA, 2009).

Os apicuns participam da dinâmica geoambiental nos ambientes litorâneos cuja evolução depende dos fluxos de matéria e energia associados aos processos hidrodinâmicos derivados das oscilações de marés, vinculando trocas proporcionadas pela interação e interdependência entre os componentes do manguezal e de ecossistemas

adjacentes (MEIRELES, 2004; BRASIL, 2005a), podendo, inclusive, indicar variações nos níveis marinhos locais (ADAM, 2002; DALE et al., 2007; HADLICH; UCHA, 2009).

Schaeffer-Novelli (1999) considera que o apicum é constituído por depósitos arenosos resultantes da deposição de areias finas por ocasião da preamar (marés de sizígia), constituindo parte dos manguezais e formando uma fase de sucessão natural do ecossistema. Esta proposição baseia-se em estudos de Bigarella que, ao pesquisar o litoral paranaense na década de 40, afirma que, estando o manguezal em constante modificação, “durante as enchentes de preamar são depositados, sobre os manguezais, areias finíssimas [...]. Tais areias assim depositadas tornam o banco de manguezal cada vez mais arenoso provocando a morte do mangue” (BIGARELLA, 2001, p. 74). Schaeffer-Novelli (1999), entretanto, afirma que os apicuns podem ser colonizados por espécies de mangue, e “as marés altas de sizígia seriam responsáveis pela preparação desses substratos no que se refere à diluição dos sais acumulados. Posteriormente, os propágulos seriam trazidos pelas preamares, colonizando o ambiente previamente modificado”. Esta ideia é corroborada por Brasil (2005a) ao tratar de aspectos geoambientais e ecodinâmicos ligados à expansão ou regeneração de manguezais em áreas de apicum.

Hadlich, Ucha e Celino (2008) também realizaram um estudo acerca da distribuição dos apicuns e manguezais ao longo da BTS, destacando a importância dos apicuns serem obrigatoriamente associados aos manguezais, o que os diferencia de outros ambientes com características semelhantes, como os *saltmarshes*, *supratidal flats*, *hipersaline tidal flats*, ou *unvegetated flats*. Os apicuns raramente são alvos específicos de pesquisas nas áreas costeiras (LEBIGRE 2007; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; ALBUQUERQUE et al., 2013). Os *sabkhas*, por exemplo, são planícies hipersalinas que ocorrem apenas em regiões áridas (não necessariamente próximos a manguezais), são colonizadas por cianobactérias e diferem dos apicum na composição mineral dos sedimentos, composto de evaporitos bem desenvolvidos (ATTIA, 2011).

Ucha et al. (2003, 2004) e Hadlich e Ucha (2009), definindo apicuns como planícies arenosas hipersalinas, concordam com Bigarella (1947) ao afirmar que os apicuns são formas naturais de destruição do manguezal, porém discordam no que se refere ao processo de origem. Afirmam que a formação dos apicuns deve-se à deposição de materiais siliciclásticos originários das adjacências que sofrem erosão, sendo a preamar responsável pela distribuição, seleção e transporte de argilas e siltes para fora dos apicuns, restando o material arenoso no local. Essa deposição seria, assim, responsável pela morte do mangue original, o qual se torna incapaz de resistir às novas condições de elevada salinidade e aridez temporária. Os autores, assim como Nascimento (1999), encontraram material típico de manguezal em profundidade, indicando que o apicum é um pacote sedimentar que recobriu antigas áreas com mangue. Isso caracterizaria o apicum como área sucessional

não de agradação da vegetação, mas como de degradação. Assim sendo, apicuns e manguezais são sistemas ecológicos contíguos que apresentam bastante contraste com solos, com características físicas, químicas e mineralógicas muito distintas entre si (UCHA; HADLICH; CELINO, 2008; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Alguns autores sugerem que a formação de apicuns também pode ser devido à formação de bancos de areia como um resultado da retenção dos sedimentos por estruturas de raízes de mangue. A entrada de sedimentos constante elevaria o nível topográfico em relação ao manguezal, impedindo águas das marés e promovendo a acumulação de sal nos solos (PELLEGRINI, 2000).

Os apicuns raramente têm sido alvo específico de pesquisas nas áreas costeiras. Essa carência reflete-se nas divergências quanto à sua origem, desenvolvimento e localização. Reflete-se também nas discussões existentes entre aqueles que defendem o reconhecimento de apicuns como áreas de preservação permanente (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999; BRASIL, 2005a) e aqueles que visam a implantação de atividades econômicas, como mariscagem e aquiculturas (OLIVEIRA et al., 2000b; SANTOS, 2005). Por esta razão, alguns autores sugerem que essas atividades geram importantes impactos ambientais (CREPANI; MEDEIROS, 2003; COELHO JUNIOR.; MEIRELES, 2004; SCHAEFFER-NOVELLI, 2016). Essas posturas levam a conflitos entre aquicultores e ambientalistas, gerando discussões com pouco embasamento científico. Devido ao reduzido número de estudos sobre as funções dos apicuns, dentro de seus limites ecológicos e manguezais associados, é praticamente impossível proteger apicuns no Brasil. Portanto, uma vez que é permitido ocorrer a atividade antropogênica dentro desses ecossistemas, florestas de mangue podem também tornar-se ameaçadas (ROVAL et al., 2012). Apesar do número limitado de estudos, estes ecossistemas desempenham funções importantes em termos da manutenção da biodiversidade de flora e fauna em ambientes costeiros (ACKERMANN et al., 2006; ALBUQUERQUE et al., 2013). Entretanto, apicuns constituem foco de discussões ambientais, pois tornam-se alvos de implantação de atividades sócio-econômicas, especificamente a carcinicultura (HADLICH; UCHA, 2009).

Em 23 de novembro de 2005, o Comitê Nacional de Zonas Úmidas (CNZU) dispôs sobre o reconhecimento de apicuns e salgados como parte integrante do ecossistema manguezal, determinando que seu limite é estabelecido pelo nível médio das preamares de sizígia e o nível das preamares equinociais. Reconheceu também, que apicum é um estágio sucessional natural do manguezal que atua como reservatório de nutrientes para o ecossistema e que mantém em equilíbrio os níveis de salinidade e a consistência da mineralomassa (BRASIL, 2005b). Dessa forma, recomendou ao Ministério do Meio Ambiente que fosse estabelecido um instrumento normativo definindo o ecossistema

manguezal, de forma a esclarecer científica e legalmente o uso do termo e impedir as dúvidas geradas pela legislação.

Porém, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 312/2002 (BRASIL, 2002) já havia permitido que os Estados definissem quais sistemas adjacentes aos manguezais deveriam ser considerados como Área de Preservação Permanente (APP), sob a ótica de suas realidades regionais. Em algumas regiões, apicuns e salgados mereceram o status de APP, e em outras não. O Estado de Pernambuco, por exemplo, protege os apicuns e salgados totalmente cercados de mangue (apicuns inclusos) e permite a utilização somente daqueles que fazem limite com as encostas. Os estados de Sergipe e Paraíba, por sua vez, consideram todos como APP. Já os estados da Bahia e Rio Grande do Norte permitem o uso direto em todas as situações (SANTOS, 2005).

A Lei Federal nº 12.651 de 2012, o novo Código Florestal Brasileiro (CFLOR) (BRASIL, 2012), apresenta como APPs as restingas como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de manguezais, em que se entende que há a proteção da vegetação associada. Porém, também apresenta o manguezal como um ambiente separado dos salgados e apicuns, caracterizando a vegetação de mangue como APP e os demais ambientes, inclusive os apicuns, como sendo passíveis de um “uso ecologicamente sustentável” (ALBUQUERQUE et al., 2015).

O Artigo 3º do CFLOR, parágrafos XIV e XV respectivamente, define:

- salgado ou marismas tropicais hipersalinos: áreas situadas em regiões com frequências de inundações intermediárias entre marés de sizígias e de quadratura, com solos cuja salinidade varia entre 100 (cem) e 150 (cento e cinquenta) partes por 1.000 (mil), onde pode ocorrer a presença de vegetação herbácea específica;
- apicum: áreas de solos hipersalinos situadas nas regiões entremarés superiores, inundadas apenas pelas marés de sizígias, que apresentam salinidade superior a 150 (cento e cinquenta) partes por 1.000 (mil), desprovidas de vegetação vascular;

Schmidt, Bemvenuti e Diele (2013) consideram o apicum como parte do manguezal, sendo uma zona menos inundada na transição para a terra firme, normalmente desprovida de vegetação arbórea. Os autores defendem a ideia de que uma zona de baixa declividade pode apresentar hipersalinidade quando, então, passa a consistir em um tipo especial de manguezal herbáceo, com vegetação esparsa ou inexistente: o apicum, salgado ou planície hipersalina. Eles consideram o apicum, mesmo sem vegetação, como manguezal herbáceo, e afirmam que o recrutamento da espécie de caranguejo-do-mangue (*U. cordatus*) ocorre principalmente em zonas com inundação intermediária, próximas ao limite entre o manguezal arbóreo e o herbáceo. O aumento do nível médio relativo do mar levará a um natural deslocamento dessa zona de recrutamento em direção à terra firme, passando pelo manguezal herbáceo. Por isso defendem a preservação do apicum como sendo parte integrante do ecossistema manguezal.

No entanto, outros autores definem que o apicum é um ecossistema diferenciado do manguezal, haja vista suas características geoquímicas e ecológicas, o que pôde ser constatado por estudos de vegetação (NASCIMENTO, 1999; HADLICH, 2008). Outros relatam que a conservação e a proteção das espécies associadas a esse tipo de ambiente dependem da conservação dos apicuns (WANG et al., 2010; FIRMO et al., 2012).

Albuquerque et al. (2013) realizaram um trabalho de revisão para sugerir a importância dos apicuns na manutenção da biodiversidade costeira, bem como no apoio às atividades socioeconômicas e culturais nas comunidades locais, além de citar a carência de estudos dos apicuns, principalmente no que se refere à sua formação e função. Eles afirmaram que o conhecimento sobre a formação de solo de apicum contribui para a compreensão das relações ecológicas ocorridas nesses ecossistemas, concluindo que a topografia plana, dinâmica costeira, déficit hídrico acentuado, frequência limitada e duração das inundações das marés são os fatores-chave para a formação destas zonas úmidas costeiras.

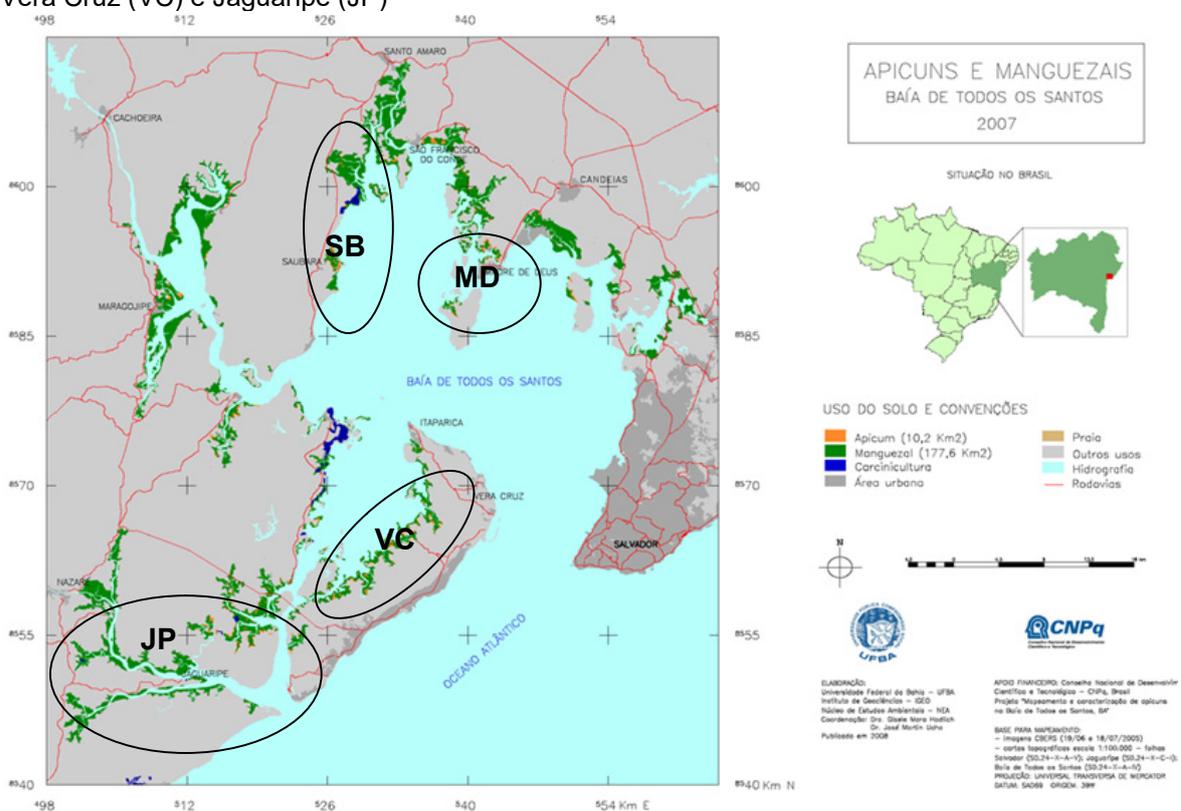
1.1 ÁREA DE ESTUDO: BAÍA DE TODOS OS SANTOS

A Baía de Todos os Santos (BTS) é uma reentrância costeira inserida na microrregião do Recôncavo Baiano, de grande importância ambiental, econômica e para a navegação; ocupa uma área de aproximadamente 1.200 km² e possui 462 km de litoral (QUEIROZ; CELINO, 2008; HATJE; ANDRADE, 2009), possui um clima quente e úmido com quatro estações distintas, suficiente sol e chuva moderada. A temperatura média anual é 24°C e a precipitação média anual é 2100mm (CELINO et al., 2008). Diversas pesquisas mostraram contaminação de manguezais por metais traço (GARCIA, 2005; HATJE; ANDRADE, 2009; ASSUMPÇÃO; HADLICH; UCHA, 2011; JESUS, 2011; FALCÃO, 2012; HATJE; BARROS, 2012; YUAN et al., 2012) e/ou por compostos orgânicos (QUEIROZ; CELINO, 2008; FIORAVANTI; CELINO; ROSSI-ALVA, 2009; SANTOS et al., 2010; FIORAVANTI, 2013), porém raros são os estudos sobre a geoquímica de apicuns, e conhecimentos sobre eles estão geralmente associados a estudos de manguezais ou a mapeamento de zonas costeiras.

A área de estudo foi selecionada a partir dos dados gerados pelo projeto de pesquisa “Mapeamento e caracterização de apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia”, realizado no período de 2006 a 2008 e financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (HADLICH, 2008). Com base no mapeamento de manguezais e apicuns feito nessa pesquisa, foram selecionados quatro apicuns-piloto para estudos geoquímicos, um em cada município: Madre de Deus, Jaguaripe, Saubara e Vera

Cruz (figura 1.2). Também foram realizados alguns estudos de variação espaço temporal dos apicuns. A hipótese desse trabalho é que esses quatro apicuns evoluem de maneira semelhante, pois estão sob ação do mesmo clima e as mesmas condições meteorológicas. Os estudos constataram mudanças recentes nas áreas desses apicuns em um intervalo de 10 anos (JESUS, 2008; JESUS; HADLICH, 2009). Com o intuito de fazer um estudo mais amplo da evolução espaço-temporal recente, na pesquisa ora apresentada foram selecionadas imagens de fotografias aéreas de vários períodos distintos, com uma maior amplitude temporal.

Figura 1.2 – Áreas de estudo selecionadas: litoral abrigado de Saubara (SB); Madre de Deus (MD); Vera Cruz (VC) e Jaguaripe (JP)

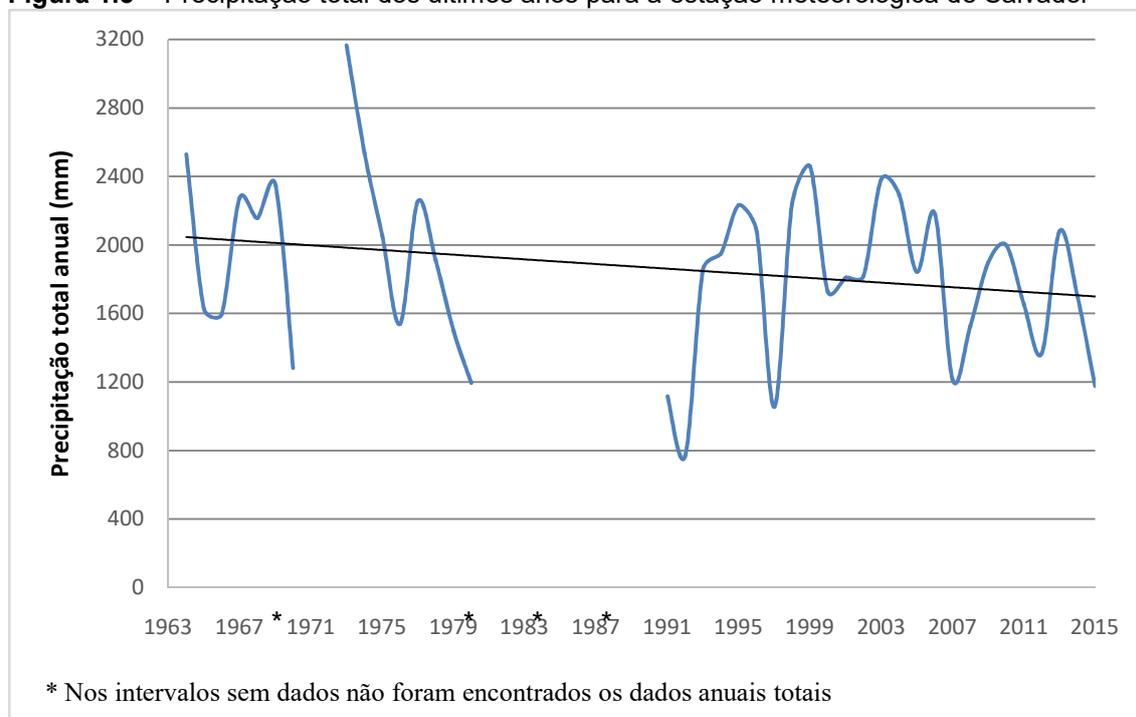


Fonte: adaptado de Hadlich (2008).

A própria existência ou não de apicuns em diferentes áreas da BTS pode estar relacionada à dinâmica climática local. Infelizmente não existem dados climatológicos detalhados distribuídos ao longo da BTS, mas apesar de a região de Jaguaripe apresentar uma precipitação anual (2200 mm) superior a Salvador (2000 mm), a precipitação nos meses de primavera-verão é menor, correspondendo aos meses de elevadas temperaturas e consequente aumento das taxas de evaporação e evapotranspiração, o que pode favorecer o acúmulo de sais em superfície que leva, juntamente com outros fatores, à formação de apicuns (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008). Além disso, na região da BTS,

tomando a estação meteorológica de Salvador como referência, é possível observar através do gráfico de precipitação anual uma tendência (linha preta) à diminuição de pluviosidade desde 1963 (figura 1.3).

Figura 1.3 – Precipitação total dos últimos anos para a estação meteorológica de Salvador



Elaboração: a autora. Fonte dos dados: INMET (2015).

Os fatos citados tornam os apicuns, portanto, áreas estratégicas de fundamental destaque para investigações científicas. Nesse sentido, a presente proposta visa pesquisar, na Baía de Todos os Santos, a caracterização espaço-temporal e geoquímica dos apicuns.

2 OBJETIVOS

A seguir são listados os objetivos geral e específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a geoquímica e as variações espaço-temporais de apicuns distribuídos em diferentes pontos na Baía de Todos os Santos (BTS), Bahia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos desta pesquisa:

- gerar mapas com dados multitemporais da localização e extensão de apicuns ocorrentes nos municípios Jaguaripe, Madre de Deus, Saubara e Vera Cruz;
- analisar características físico-químicas/geoquímicas atuais dos sedimentos que formam os apicuns (salinidade, granulometria, pH, N, P, S, COT, metais);
- comparar dados geoquímicos entre os apicuns localizados em diferentes áreas da BTS.

3 MATERIAIS E METODOS

A pesquisa foi desenvolvida em diversas etapas, incluindo levantamento de dados bibliográficos, análise espacial e caracterização geoquímica de áreas de apicum, além da análise e discussão dos dados.

O levantamento de dados foi importante para o fornecimento de subsídios para o desenvolvimento das atividades seguintes e fundamental para a fase de discussão dos resultados obtidos. A análise espacial tratou da distribuição espacial multitemporal dos apicuns na área de estudo, atendendo ao objetivo de mapeamento da evolução desses na região. A caracterização dos apicuns envolveu a coleta de amostras em apicuns para análises físicas e químicas, com o objetivo de caracterizá-los.

A seguir são descritas, resumidamente, as atividades que foram desenvolvidas em acordo com os objetivos traçados.

3.1 REVISÃO DE LITERATURA

Consistiu no levantamento do acervo disponível e coleta de trabalhos publicados, em meio impresso e digital, no Brasil ou no exterior, sobre a temática específica (apicuns) e associada (importância ecológica e ambiental de manguezais, estudo climático da região de interesse, variações eustáticas do nível do mar e sua influência nos ambientes costeiros, características oceanográficas da BTS, outros que se fizeram necessários), que possibilitaram reunir conhecimentos já existentes sobre apicuns e sua evolução. Uma revisão bibliográfica foi realizada, também com o intuito de fornecer subsídios para o processamento de imagens de fotografias aéreas e imagens do Google Earth e mapeamento de apicuns.

3.2 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPACIAL DE APICUNS NA BTS

O estudo multitemporal sobre apicuns consistiu na seleção das imagens para as áreas (municípios) estudadas e no processamento dessas imagens, etapas descritas a seguir.

3.2.1 Seleção das imagens

Foi confeccionado um mapa de apicuns em cada município e para cada ano mapeado (estudo multitemporal) e um layout geral da BTS com localização atual (2015) dos apicuns estudados, além de quatro mapas constando a evolução espacial de cada

município, na escala 1:50.000 (para os municípios de Saubara, Madre de Deus, Vera Cruz e Jaguaripe), totalizando 16 mapas.

As imagens encontradas para realização do presente estudo correspondem aos anos de 1954, 1989, 2010 e 2015, analisadas para cada município dependendo da disponibilidade de imagens (quadro 3.1).

Quadro 3.1 – Disponibilidade das imagens para cada município selecionado para mapeamento dos apicuns

Município	Ano			
	1954	1989	2010	2015
	Fotografias aéreas 1:25.000	Fotografias aéreas 1:40.000	Fotografias aéreas 1:10.000	Imagem do Google Earth
Jaguaripe	X			X
Madre de Deus	X	X		X
Saubara	X		X	X
Vera Cruz	X		X	X

Elaboração: a autora.

Dessa maneira, a relação de mapas elaborados nesse presente estudo encontra-se no quadro 3.2. É importante ressaltar que, por causa da maior extensão territorial de Jaguaripe, foi necessário dividir os mapas desse município em setores (Setor sudoeste = A e setor nordeste = B) para que se mantivesse uma escala padrão com os demais mapas.

Quadro 3.2 – Mapas elaborados a partir das imagens encontradas para cada município

Município	Ano
Jaguaripe	1954, 2015 e evolução (A e B)
Madre de Deus	1954, 1989, 2015 e evolução
Saubara	1954, 2010, 2015 e evolução
Vera Cruz	1954, 2010, 2015 e evolução
Mapa Geral	2015

Elaboração: a autora.

As fotografias aéreas de 1954 (com escala de 1:25.000) foram disponibilizadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB). Essas imagens foram obtidas através do Vôo 53 D – 1 - 25.000, realizado pela Petrobras e compradas pela CPRM.

As fotografias aéreas de 1989 e 2010, sendo a primeira na escala de 1:40.000 e a última na escala de 1:10.000, foram cedidas pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER).

Para 2015 foram utilizadas imagens do Google Earth, versão 7.1.5.557 (disponível em: <<http://earth.google.com/>>), obtidas para georreferenciamento através de recortes de tela visualizadas na escala 1:10.000, para melhor observar os limites dos apicuns.

Ressalta-se, quanto às imagens disponíveis no Google Earth para elaboração de mapas, que seu uso tem sido amplamente discutido na literatura (LOPES, 2009; EMBRAPA, 2012; BECEK; IBRAHIM; DARUSSALAM, 2011; SILVA; NAZARENO, 2009; PAREDES-HERNÁNDEZ et al., 2013). Em 2007, Ribas realizou um estudo para avaliar os limites posicionais do Google Earth, usando 17 pontos selecionados em três grandes cidades brasileiras. Para a cidade de São Paulo, na escala de 1:25.000, mais de 90% dos pontos ficaram com erro de deslocamento inferior a 12,5 metros. Em Curitiba, os resultados mostraram que a precisão pode ser atendida também na escala 1:25.000. Para a cidade de Juiz de Fora, os resultados mostraram que esta precisão pode ser atendida na escala 1:20.000, sendo que 90% dos pontos apresentaram erro abaixo de 10 metros. Com isso, foi concluído que o Google Earth permite a geração de produtos cartográficos na escala 1:25.000 e menor.

Lopes e Nogueira (2011) elaboraram uma proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas. Os resultados mostraram que através da avaliação pontual conseguiu-se comparar as diferenças entre as distâncias medidas, percebendo-se uma média de 0,63 metro e um desvio padrão de 2,34 metros, dados que ilustram uma discrepância em porcentagem média (em relação à distância) de 0,02%. Na avaliação de distâncias medidas a partir de linhas interpretadas no Google Earth e linhas interpretadas na base cartográfica, chegou-se ao valor médio de 0,44% de erro. A avaliação geométrica demonstrou resultados expressivos nas três avaliações realizadas (ponto, linha e área) apontando valores que indicam a fidelidade geométrica da imagem do Google Earth em comparação ao mapeamento do município de Barbacena na área teste.

Silva e Nazareno (2009) realizaram uma análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a imagem da cidade de Goiânia, avaliando a qualidade de produtos cartográficos disponíveis. Concluíram que a imagem de Goiânia analisada, disponibilizada no Google Earth para o ano de 2007, atendeu ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) na escala de 1:5.000, com 90% de nível de confiança.

3.2.2 Processamento das imagens e elaboração de mapas temáticos

A elaboração dos mapas foi dividida em três etapas: elaboração de mapas preliminares, checagem dos mapas preliminares em campo e elaboração dos mapas finais.

O programa utilizado para elaboração dos mapas foi o ArcGIS, versão 10.1 (*free trial*), desenvolvido pela ESRI; essa versão de teste emite uma licença temporária de 60 dias para estudantes.

3.2.2.1 Elaboração dos mapas preliminares

Para elaboração dos mapas preliminares, um para cada município estudado, foram utilizadas imagens de 2015 do Google Earth como base para georreferenciamento. Em dois municípios, essas imagens foram acessadas a partir do próprio programa ArcGIS (a partir da ferramenta adicionar dados → adicionar mapa de base → imagens). Nos municípios em que estas imagens não estavam atualizadas, elas foram obtidas a partir de recortes do Google Earth, georreferenciadas com base no cruzamento de estradas e pontos conhecidos de fácil identificação (como monumentos, praças, píeres e cais), no datum de Coordenadas Planas WGS84, zona 24, e foi composto mosaico para cobrir a área de estudo. A partir dessas imagens georreferenciadas, foi realizado o georreferenciamento de todas as outras imagens (fotografias aéreas dos anos anteriores, segundo quadro 3.1), buscando como referência os cruzamentos de estradas e pontos de fácil identificação. Ainda sobre essas imagens devidamente georreferenciadas, foram criados planos de informação (PIs; *shapes*) poligonais das áreas dos apicuns, considerando o limite municipal (arquivo digital obtido do IBGE, 2010). Foram calculadas as áreas de apicum de cada PI, para cada município.

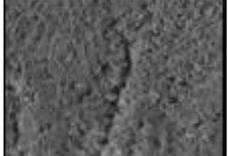
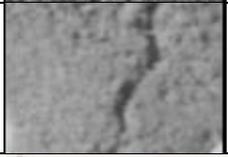
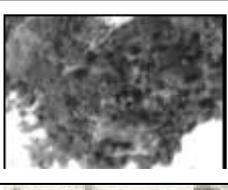
Para identificar os apicuns, foi necessário identificar a presença de áreas desprovidas de vegetação, planas, localizadas junto aos manguezais, normalmente entre manguezais e encostas, estas últimas podendo ter mata ou área urbana. Nas fotografias aéreas em tons de cinza, os apicuns apresentaram-se como manchas de cor clara, formato irregular com seus limites ligeiramente arredondados. Utilizou-se uma chave de identificação para auxiliar a interpretação dessas fotografias aéreas (quadro 3.3).

3.2.2.2 Checagem dos mapas em campo

A checagem dos mapas preliminares visou tirar dúvidas sobre apicuns, ajudando na distinção entre aqueles que apresentam algum tipo de vegetação rasteira nos limites com o manguezal ou encosta, e para verificar se as coordenadas dos pontos no Google Earth correspondiam à realidade.

As amostragens em campo ocorreram em março de 2016. Os municípios Madre de Deus, Saubara, Jaguaripe e Vera Cruz foram percorridos e, com auxílio de GPS, foram localizados os apicuns, bem como pontos de referência (cruzamentos de estrada, praças, limites de pontes) para ratificar o georreferenciamento feito.

Quadro 3.3 – Chave de interpretação das fotografias aéreas

CLASSES	PADRÕES	VISUALIZAÇÃO
Mangue Alto	Tonalidade: cinza médio escuro Textura: grossa Porte: vegetação média e alta	
Mangue Baixo	Tonalidade: cinza médio Textura: média Porte: vegetação baixa	
Apicum seco	Tonalidade: branco a cinza claro Textura: fina Porte: sem vegetação	
Apicum úmido	Tonalidade: cinza claro a médio Textura: fina Porte: sem vegetação	
Encosta/Mata	Tonalidade: cinza médio escuro a cinza escuro Textura: grossa Porte: vegetação variável	
Encosta/faixa terrestre	Tonalidade: cinza médio a cinza médio escuro Textura: muito grossa Porte: sem vegetação	
Área Urbana	Tonalidade: cinza claro Textura: muito grossa Porte: padrão regular (com construções)	

Fonte: adaptado de Jesus e Hadlich (2009).

3.2.2.3 Elaboração dos mapas finais

Essa etapa consistiu na revisão do mapeamento, uma vez que foram tiradas as dúvidas em campo e levantados pontos para checagem do georreferenciamento da imagem Google Earth. Em escritório foram feitas as poucas correções necessárias no mapas preliminares, utilizando-se de informações e coordenadas adquiridas. Foram necessárias poucas correções, pois os apicuns são facilmente reconhecíveis em fotografias e imagens de satélite, haja vista serem áreas sem vegetação, planas, de alta reflectância e margeadas por manguezais.

Dessa forma, foram criados Pls temáticos finais dos apicuns existentes em cada município para as diferentes datas, e calculadas suas respectivas áreas.

Essas informações foram então cruzadas para constatar o aumento ou diminuição de áreas ocupadas por apicuns ao longo do tempo, através da sobreposição dos polígonos de área dos apicuns correspondentes aos diferentes anos.

Os mapas de evolução das áreas de apicuns de cada município e o mapa de localização atual (2015) dos apicuns estudados encontram-se no capítulo 4, e os demais mapas gerados podem ser encontrados no Apêndice A.

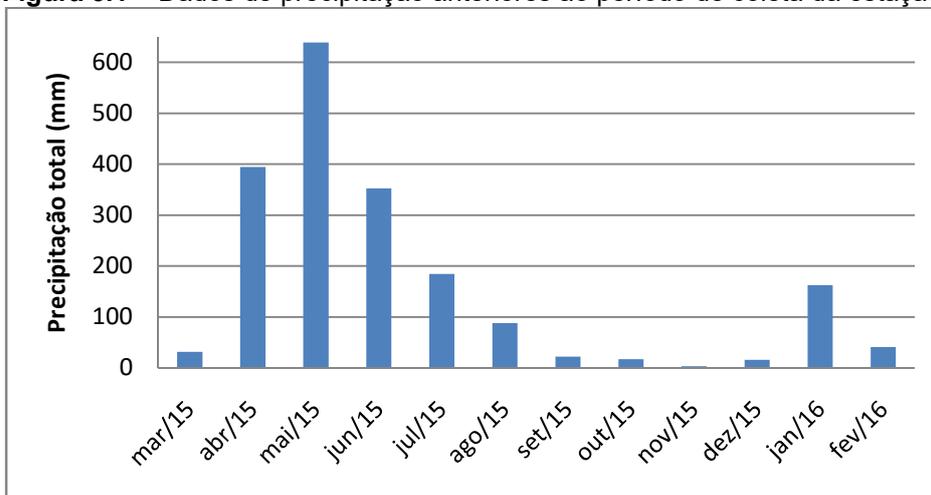
3.3 CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA

As análises foram realizadas em diversas etapas. Foram estudados os mesmos quatro apicuns-piloto já analisados em 2006-2008, um em cada município selecionado (Madre de Deus, Jaguaripe, Vera Cruz e Saubara).

3.3.1 Coleta de amostras

As amostras foram coletadas em uma apenas uma campanha, realizada em março de 2016. Essa campanha foi caracterizada por um período de menor precipitação anual (figura 3.1), pois estudos anteriores (HADLICH, 2008; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010) mostraram maiores concentrações de metais, com concentrações detectáveis nos procedimentos analíticos adotados somente nesse período.

Figura 3.1 – Dados de precipitação anteriores ao período de coleta da estação de Salvador



Elaboração: a autora. Fonte dos dados: INMET (2015).

Para a coleta foram definidos transectos de coleta: em cada apicum-piloto foi definida uma linha transversal a ser seguida para coleta de amostras de sedimentos. A localização dos pontos de coleta foi baseada nas coordenadas do trabalho realizado em 2006 – 2008 (quadro 3.4). O material foi retirado em diferentes profundidades, segundo diferenciações encontradas nos perfis e já descritas nesse mesmo estudo anterior. Buscou-se alcançar, em profundidade, o antigo material de manguezal recoberto pelos sedimentos. Foram coletadas, no total, 60 amostras de sedimentos, considerando diferentes profundidades em quatro transectos, sendo um transecto-apicum selecionado em cada município (quadro 3.4).

Quadro 3.4 – Características gerais dos apicuns-piloto na Baía de Todos os Santos, BA

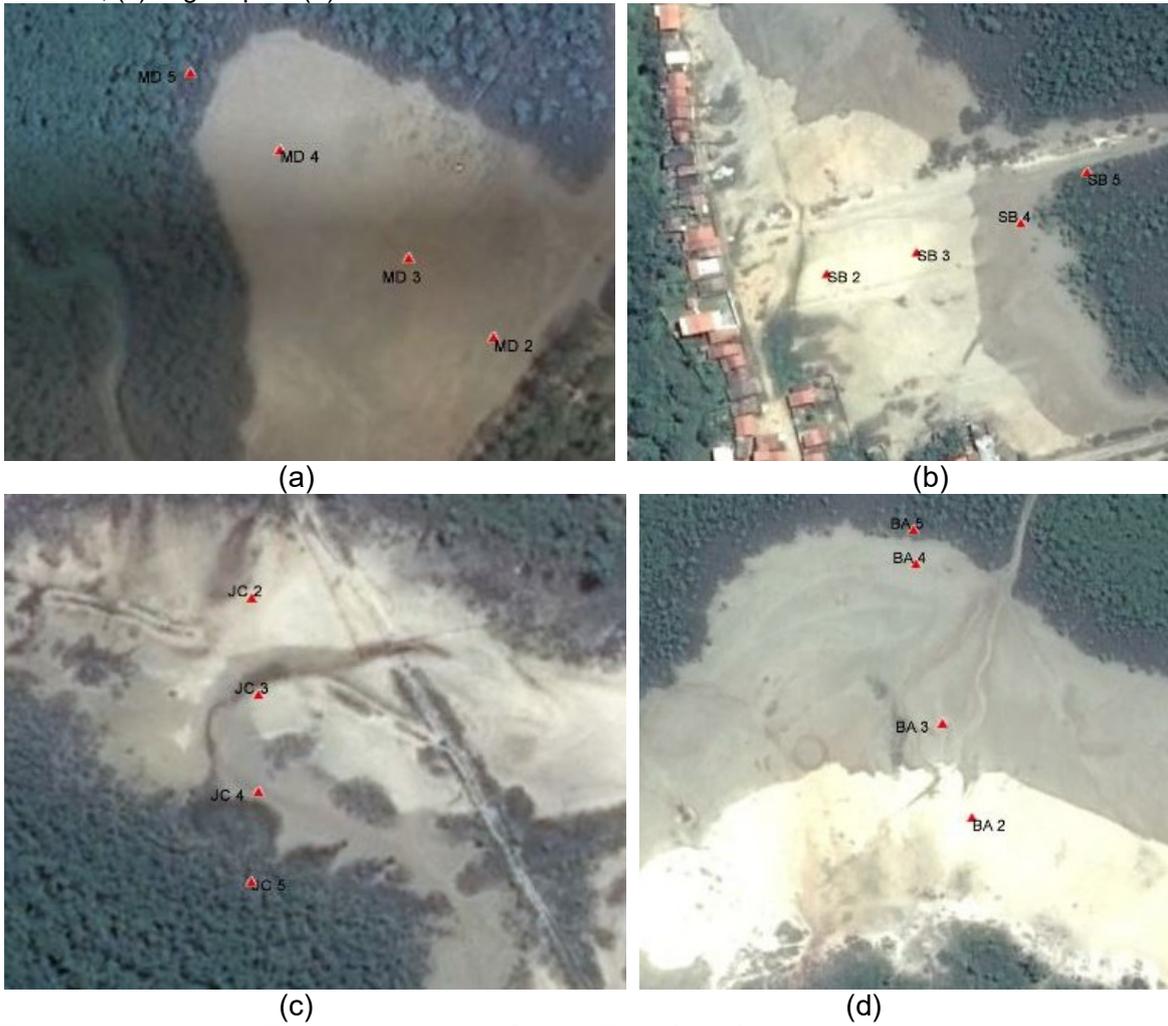
Estação	Município/localidade	Coordenada do ponto central do apicum (ponto 3)	Características gerais
BA (Baiacu)	Vera Cruz / Baiacu	12°59,419' S 38°42,006' W	Área ocupada/urbanizada na borda do apicum; outra parte sem ocupação.
JC (Jacuruna)	Jaguaripe / Jacuruna	13°02,019' S 38°50,898' W	Sem área ocupada/ urbanizada próxima. Local de passagem para os moradores (acesso entre localidades)
MD (Madre de Deus)	Madre de Deus / Quitéria	12°43,910' S 38°36,788' W	Em região de exploração, produção, transporte, beneficiamento e distribuição de petróleo e derivados.
SB (Saubara)	Saubara / Iraque	12°44,247' S 38°45,358' W	Junto a uma área habitada pouco urbanizada

Fonte: Adaptado de Hadlich; Celino; Ucha (2010).

Ao longo de cada transecto, essas coletas ocorreram em quatro pontos: no apicum, nas proximidades da encosta; no meio do apicum; no apicum, nas proximidades do manguezal; e o último dentro do manguezal, onde foi constatada a presença de árvores adultas de mangue (figura 3.2). Dessa forma, os pontos 2, 3 e 4 foram coletados nos apicuns e os pontos de numeração 5 foram coletados no manguezal. O ponto BA 2.1, por exemplo, foi coletado na superfície do segundo ponto do município de Vera Cruz, sendo o BA 2.4 correspondente à maior profundidade do mesmo ponto.

Com o auxílio de um cavador de metal, em cada ponto de amostragem foi feito uma perfuração, até atingir o nível do lençol freático ou substrato rochoso (figura 3.3). Com uma pá de plástico previamente ambientada, raspou-se a lateral da escavação para evitar contaminação em decorrência do cavador metálico utilizado. Posteriormente, foi feita a ambientação da pá e a coleta das amostras nas diferentes profundidades correspondentes às diferentes camadas identificadas visualmente. Em cada ponto foram coletadas no mínimo três e no máximo cinco amostras de sedimento, às vezes atingindo a rocha.

Figura 3.2 – Distribuição dos pontos de coleta ao longo do apicum em (a) Madre de Deus, (b) Saubara, (c) Jaguaripe e (d) Vera Cruz



Elaboração: a autora. Fonte: adaptado de Google Earth (2015).

Figura 3.3 – Exemplo de coleta de amostras em Vera Cruz: amostras retiradas a partir de um buraco aberto com cavador e bordas limpas com pá plástica previamente ambientada para evitar contaminação com metais



Foto: G. M. Hadlich (2016).

Após o campo, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Estudos do Petróleo (Lepetro) do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA) do Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), onde foram mantidas refrigeradas para análise de salinidade e, em seguida, congeladas (figura 3.4).

Figura 3.4 – Demonstração das amostras de sedimento devidamente empacotadas e etiquetadas, em um refrigerador, para conservação adequada do material



Foto: a autora.

3.4 ANÁLISES EM LABORATÓRIO

Todos os procedimentos analíticos foram realizados no Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO/NEA/IGEO/UFBA).

Apenas para a determinação da salinidade foi utilizada a amostra bruta, como foi trazida de campo (amostra resfriada e úmida). Para as demais análises foi realizado um pré-processamento. Em laboratório as amostras foram congeladas, liofilizadas e peneiradas em peneira de 2 mm. As análises foram realizadas segundo métodos adotados por Aspila (1976), Grasshoff et. al. (1983), ASTM (1996) e Embrapa (1999). As análises realizadas foram: salinidade, pH, granulometria, fósforo assimilável, carbono orgânico total (COT), nitrogênio, enxofre e metais (Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn).

Para a determinação foram utilizados os seguintes equipamentos: granulometria, realizada por difração a laser em analisador de partículas modelo Cilas 1064; pH, pHmetro Horiba D-54; carbono orgânico total (COT), enxofre (S) e nitrogênio (N) total, analisados através do LECO; e fósforo inorgânico assimilável em sedimento, através de espectrofotômetro em 880nm. A determinação das concentrações dos metais ocorreu por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Brancos e triplicatas foram utilizados para avaliar a acurácia do método analítico. Para cada equipamento utilizado na determinação das análises existe um limite mínimo para identificação de cada elemento, chamado limite de detecção (LD). Os limites de detecção de cada método foram organizados no quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Limites de detecção dos métodos de determinação

Análise	Unidade	LD	Análise	Unidade	LD
Salinidade	psu	0	Cu	mg kg ⁻¹	2,5
Fósforo assimilável	mg kg ⁻¹	0,02	Pb	mg kg ⁻¹	5,0
Carbono Orgânico Total (COT)	%	0,04	Cr	mg kg ⁻¹	2,5
Nitrogênio Total (N)	%	0,10	Fe	mg kg ⁻¹	5,0
Enxofre	%	0,05	Mg	mg kg ⁻¹	250
Granulometria	µm	0,03	Mn	mg kg ⁻¹	5,0
Al	mg kg ⁻¹	250	Ni	mg kg ⁻¹	2,5
Cd	mg kg ⁻¹	1,0	K	mg kg ⁻¹	250
Ca	mg kg ⁻¹	250	Na	mg kg ⁻¹	500
Co	mg kg ⁻¹	2,5	Zn	mg kg ⁻¹	2,5

Elaboração: a autora.

Os métodos utilizados para a determinação de cada análise realizada constam no quadro 3.6, enquanto que o detalhamento dos procedimentos de pré-processamento das amostras e uma síntese da preparação das amostras para a realização dos ensaios estão descritos no apêndice B. Para cada lote de 10 amostras, foi realizada a determinação de um branco (solução utilizada na análise sem adição da amostra) e realizada a análise de uma amostra em triplicata (três amostras preparadas para determinações independentes em um mesmo ponto).

Quadro 3.6 - Métodos utilizados para a determinação em cada análise

Parâmetro	Análise - preparação
Salinidade	De cada amostra bruta e úmida foi retirado um sobrenadante para determinação através de refratômetro de mão (Atago, modelo S/Mill-E).
pH	Método pH em sedimento – EMBRAPA, 1999.
Fósforo Assimilável – P	Determinado através do método LEPETRO 023 (Aspila, 1976; Grasshoff, 1983).
Carbono Orgânico total – COT e Nitrogênio – N	Determinação pelo método EPA-NCE-C1282/2002 (EMBRAPA, 1999).
Enxofre - S	Determinação realizada através ao analisador elementar de partículas (método LECO).
Extração parcial de metais	Método SM-3120B. Digestão em micro-ondas, com proporção de 3:1 (HNO ₃ / HCl) (EMBRAPA, 1999).
Granulometria	Método difração a laser; análise realizada em analisador de partículas com difração a laser (mod. Silas 1064).

Elaboração: a autora.

3.5 ANÁLISES, DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Na parte de geoprocessamento, os resultados foram apresentados sob forma de tabelas e mapas. Na parte geoquímica, as análises de dados foram realizadas a partir da descrição estatística através de tabelas. O programa de estatística utilizado foi o R, versão 3.0.2, no qual foram realizadas análises estatísticas descritivas e multivariadas.

Os resultados estão sendo apresentados sob forma de artigos científicos, que contemplam:

- Variação espaço temporal de apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia;
- Caracterização geoquímica de apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia.

Seguem os artigos citados.

4 VARIÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA

Resumo

Os apicuns são áreas planas de elevada salinidade, presentes na região de supramaré e desprovidas de vegetação ou com vegetação rasa; estão necessariamente associados a manguezais e são encontrados nas regiões intertropicais em todo o mundo. Este trabalho teve como objetivo mapear apicuns através do uso de ferramentas de geotecnologias para obter informações sobre variação espacial desses apicuns, na Baía de Todos os Santos (BTS). Para a confecção dos mapas, foram utilizadas como base imagens de fotografia aéreas correspondentes aos anos de 1954 (escala 1:25.000), 1989 (escala 1:40.000), 2010 (escala 1:10.000) e imagem do Google Earth 2015 (escala 1:10.000). A área total de apicuns calculada para 1954 foi de aproximadamente 805 hectares, enquanto que para o ano de 2015 foi calculada uma área de cerca de 618 ha, indicando uma redução 23% na área de apicuns dos municípios relacionados. De forma geral, foi identificada uma redução nas áreas de apicum em Madre de Deus (MD), Jaguaripe (JP) e Vera Cruz (VC), e aumento em Saubara (SB). Em alguns locais visitados (como SB e VC) foi notável o crescimento da ocupação urbana nos apicuns. Em outras áreas (JP e MD) foi possível observar um aumento das áreas de manguezais avançando sobre os apicuns, havendo assim uma diminuição da área total desses últimos. Essas variações nas áreas de apicum podem estar indicando variações no nível do mar, haja vista sua elevação nas últimas décadas.

Palavras-chave: Apicuns, geoprocessamento, estudos multitemporais.

4.1 INTRODUÇÃO

Os apicuns são áreas planas de elevada salinidade, presentes na região de supramaré e desprovidas de vegetação ou com vegetação rasa; estão necessariamente associados a manguezais, são encontrados nas regiões intertropicais em todo o mundo (LEBIGRE 2007; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010) e estão relacionados à ocorrência de climas com regime de precipitação que comporta uma estação seca de, aproximadamente, três meses (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008). Normalmente ocorre na porção mais interna do manguezal, na interface médio-supra litoral. Seu limite é estabelecido pelo nível médio das preamares equinociais.

O apicum difere de pântanos salinos de maré nos quais ocorrem a inundação diariamente durante a maré alta. Essas inundações frequentes resultam na diluição da salinidade. As condições de baixa salinidade em pântanos salinos de maré promovem o desenvolvimento de gramíneas marinhas, enquanto nos apicuns se desenvolvem apenas vegetação do tipo halófitas extrema, quando não são desprovidos de vegetação (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Hadlich e Ucha (2009) através da elaboração de um Modelo Numérico de Terreno – MNT a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) no aplicativo Spring e de checagem em campo, observaram que os apicuns desenvolvem-se em locais onde há baixa declividade das encostas situadas a montante (principalmente até 6%). Nesses locais o nível máximo das marés não atinge encostas íngremes, o que possibilita o desenvolvimento de faixas intermediárias entre terras secas e manguezais: os apicuns.

Ucha et al. (2004) afirmam que os apicuns são formados a partir da erosão das áreas em torno dos manguezais e a deposição desse material erodido sobre o manguezal provoca o soterramento do mesmo, sendo considerado como parte da sucessão de manguezais. Desta forma, pode-se estimar que o aumento da área de apicum suprimindo o manguezal pode indicar um avanço de sedimentos terrígenos sobre a linha de costa e que as composições químicas e granulométricas desses dois ambientes transicionais possuem características distintas, sendo possível identificá-las em extratos abaixo da camada rasa ou recente.

Além da água pluvial, o apicum recebe das encostas sedimentos oriundos de processos erosivos, o que leva a um aumento gradual do nível topográfico próximo à encosta ou, em momentos de maior precipitação e a depender da quantidade de sedimentos aportada, a distâncias maiores. Com a elevação, as marés passam a não mais atingir esses pontos, o que resulta em diminuição da salinidade local e possibilidade de avanço da vegetação, com redução, em área, dos apicuns (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008).

É importante lembrar, também, que em campo na BTS, em alguns apicuns, observa-se a presença de troncos e raízes mortos de manguezal e em todos os apicuns foram encontrados restos de vegetação em subsuperfície, indicando que, em algum momento, houve recobrimento por sedimentos levando à degradação da vegetação, o que ajuda a corroborar essa evidência (figura 4.1).

Figura 4.1 – Presença de troncos mortos em apicum no município de Jaguaripe, Bahia



Foto: G. M. Hadlich (2016).

Tendo visto que na origem e evolução do apicum este pode substituir área de manguezal, ocasionando sua morte, alguns apicuns também podem ser recolonizados por espécies de mangue, conforme relatado por Schaeffer-Novelli (1999), Lebigre (2007), Oliveira et al. (2000) e Oliveira (2005), ou ainda por vegetação não halófitas, deixando a condição de apicum, embora com plantas de porte menor e sempre limitadas a esses locais com salinidade menos elevada (HADLICH et al., 2015).

Mudanças no limite entre apicum e manguezal também podem ocorrer mediante variações climáticas (há registros na literatura de avanço de manguezais sobre apicuns em anos de elevada precipitação e recuo em anos de seca) ou variações oceanográficas geradas por modificações nos canais ou vazão fluvial (decorrente de dragagem, construção de barragens etc.), ou no nível médio do mar local, regional ou global, produzindo mudanças no alcance das marés (ACKERMANN et al., 2006; LOVELOCK; ELLISON, 2007). Isto, por conseguinte, altera a distribuição da salinidade e, portanto, da vegetação que caracteriza o ecossistema manguezal. Assim, a faixa ou linha de transição entre os apicuns e os manguezais, pode se deslocar espacialmente, avançando ou recuando sobre apicuns. O avanço de manguezais sobre *saltmarshes*, relacionado ao aumento de precipitação, é conhecido em áreas tropicais e subtropicais de todo o mundo (ADAM, 2001; HARTY, 2004; ROGERS et al., 2005; SAINTILAN; WILLIAMS, 1999), assim como o processo contrário: aumento dos *unvegetated hypersaline flats*, em detrimento dos manguezais, devido à redução da precipitação (SNEDAKER, 1995; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Dessa forma, o recuo ou avanço dos apicuns em relação aos manguezais, entre outros possíveis fatores, pode estar diretamente relacionado à pluviometria anual local. A elevada pluviometria em apicuns favorece a lixiviação dos sais, sobretudo em materiais mais arenosos, diminuindo a salinidade local e permitindo a instalação do mangue ou de outra vegetação adaptada, uma vez que a elevada salinidade é apontada como principal fator limitante para o desenvolvimento da vegetação (HADLICH et al., 2015).

Estudos no Brasil, destacando-se na região NE (BOAVENTURA; HADLICH; CELINO, 2011; PELLEGRINI, 2000; CREPANI; MEDEIROS, 2003; SILVA, 2004; OLIVEIRA et al., 2000; COELHO JR.; SCHAEFFER-NOVELLI, 2000; MEIRELES, 2004), bem como em outros países (MARIUS, 1985; LEBIGRE, 2003), mostram que a implantação da carcinicultura é, com frequência, responsável pela supressão dos manguezais e de apicuns.

Outras interferências também afetam apicuns. Na literatura são citados leves movimentos tectônicos, com pequena elevação do terreno, que podem provocar a ampliação de apicuns em detrimento de manguezais (LEBIGRE, 2007), ou mesmo a redução de apicuns em favor do desenvolvimento de comunidades vegetais terrestres não halófitas (ADAM, 2002). Fatores de origem antrópica, como alterações locais na hidrodinâmica das marés devido à construção de barragens, dragagens, estradas, ou ainda

modificações no aporte sedimentar devido a mudanças no uso do solo, também podem provocar transgressão ou regressão de apicuns (LEBIGRE, 2007; DUKE, 2006; SAINTILAN; WILLIAMS, 1999). Essas variações espaciais e de uso do solo podem ser facilmente identificadas com o uso das geotecnologias, atualmente de fácil acesso.

Wanderley e Magalhães (2004) elaboraram um mapeamento das potencialidades e limitações que resultou na carta da aptidão da carcinicultura no Litoral Sul de Sergipe, em escala regional de 1:100.000 de imagens de satélite LANDSAT/TM (1999), além de algumas fotografias aéreas em escala 1:25.000. Essas ferramentas permitiram atualizar as cartas do Zoneamento. Como o trabalho envolveu algumas etapas e diferentes escalas, o produto final foi gerado na escala de 1:100.000 (menor escala utilizada).

Estudos de geoprocessamento já foram aplicados na Baía de Todos os Santos (BTS) por Hadlich (2008) e Jesus e Hadlich (2009), com mapeamento de áreas de apicuns de alguns municípios. Na BTS os manguezais e apicuns ocupam, respectivamente, 177,6 km² e 10,2 km². Essas variações espaciais e de uso do solo podem ser facilmente identificadas com o uso das geotecnologias, atualmente de fácil acesso.

Nas regiões costeiras, de um modo geral, existe um fator que interfere muito na condição desses ambientes: a ocupação urbana. Nessas regiões comumente estão localizadas instalações portuárias e outras relacionadas a atividades antrópicas que, associadas a aglomerações urbanas, constituem fontes de inserção de contaminantes nestes ambientes (BOAVENTURA, 2011). Silva e colaboradores (2016) afirmaram que nos últimos 50 anos houve uma intensa ocupação da faixa costeira do Brasil, a uma distância não superior a 20 km do mar, onde se encontram 20% da população brasileira.

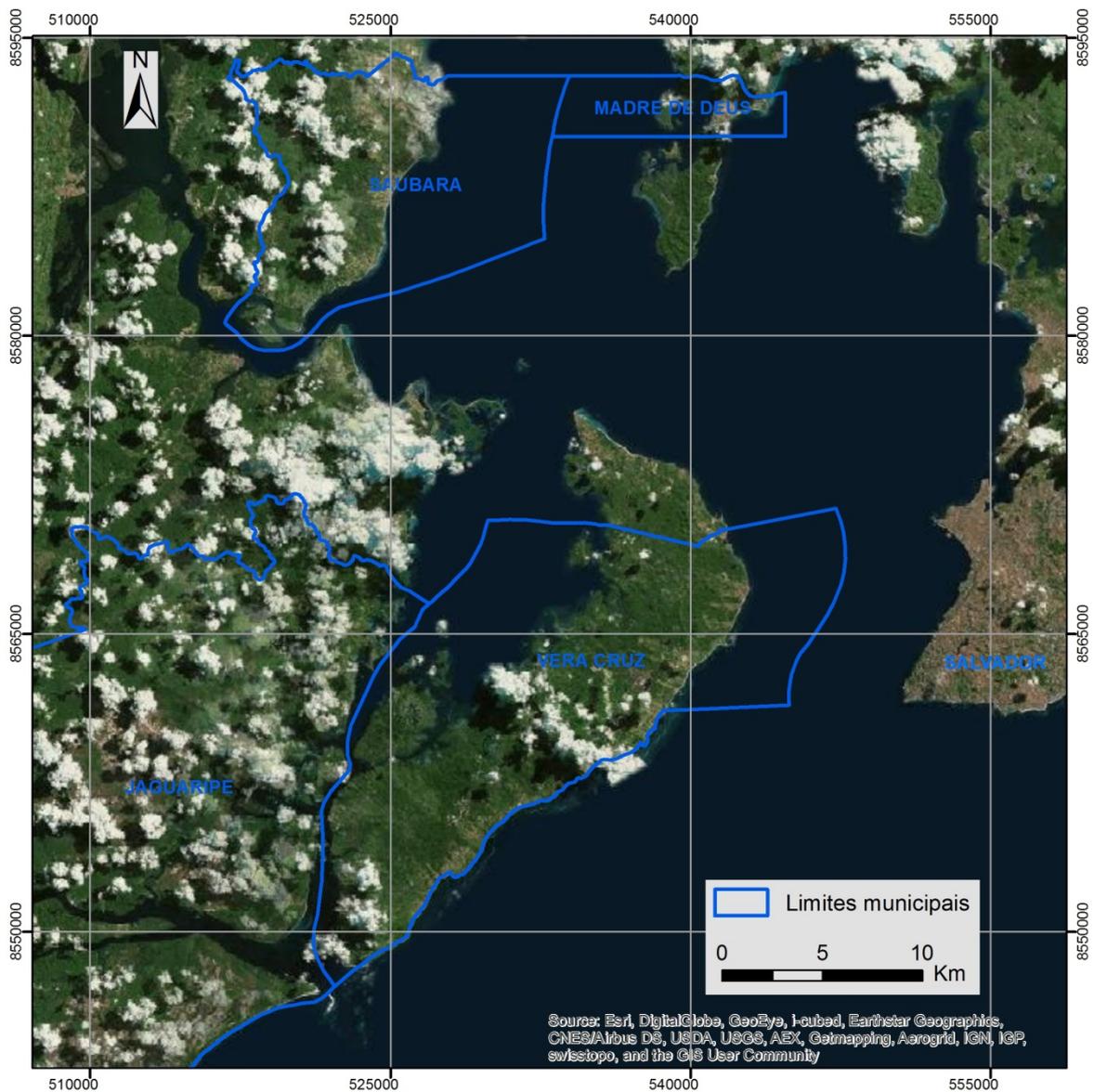
A BTS está situada no nordeste do Brasil. Com uma população de quase 2,5 milhões de habitantes ao seu redor e com área superficial de aproximadamente 1100 Km², é um grande centro comercial e industrial (CELINO et al., 2008). Pioneira na exploração e produção de petróleo no Brasil, a BTS abriga importantes áreas urbanas e complexos industriais. A Ilha de Madre de Deus, por exemplo, possui como característica marcante a presença de aglomerações urbanas e industriais associadas às feições ambientais como manguezais, apicuns e vegetação de encosta. A ocupação da área destaca-se pela instalação do Terminal Almirante Álvares Câmara (TEMADRE), responsável pelo escoamento da produção da Refinaria, da Fábrica de Asfalto, de áreas de estocagem e armazenamento de derivados do petróleo e de uma malha dutoviária (BOAVENTURA, 2011), o que resulta numa densidade demográfica elevada (1525,7 habitantes/km²; IBGE, 2010).

Jesus e Prost (2011) analisaram os aspectos socioambientais relacionados à atividade de mariscagem desenvolvida nos municípios de Madre de Deus e Saubara e constataram que esta atividade encontra-se atualmente comprometida devido aos impactos

provenientes das atividades petrolíferas e ao consequente aumento da população na BTS, com mais intensidade em Madre de Deus. No município de Saubara, observa-se situação semelhante com redução na coleta e mortandade entre certas espécies, entre outras situações. Este quadro é devido, em parte, ao despejo de esgoto doméstico e de lixo nos manguezais, principalmente à presença de contaminantes oriundos de atividades industriais e ao aumento da população. A degradação é menos intensa que no município de Madre de Deus.

Este estudo tem por objetivo avaliar a variação espacial dos apicuns situados nos municípios Jaguaripe (JP), Madre de Deus (MD), Saubara (SB) e Vera Cruz (VC), localizados na BTS (figura 4.2).

Figura 4.2 - Localização da área de estudo, municípios situados na BTS



Elaboração: a autora.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o ano de 1954, foram utilizadas as fotografias aéreas com escala de 1:25.000 (cedidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil - CPRM/SGB). Essas imagens foram obtidas através do Vôo 53 D – 1 - 25.000, realizado pela Petrobras e compradas pela CPRM. As imagens de 1989 e 2010, sendo a primeira na escala de 1:40.000 e a última na escala de 1:10.000, foram cedidas pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER). Para 2015 foram utilizadas imagens do Google Earth, versão 7.1.5.557 (disponível em: <<http://earth.google.com/>>), obtidas para georreferenciamento através de recortes de tela visualizadas na escala 1:10.000, para melhor observar os limites dos apicuns. Utilizou-se o Google Earth haja vista a confiabilidade dos dados para a escala escolhida (LOPES, 2009; EMBRAPA, 2012; BECEK; IBRAHIM; DARUSSALAM, 2011; SILVA; NAZARENO, 2009; LOPES; NOGUEIRA, 2011; PAREDES-HERNÁNDEZ et al., 2013). Foi utilizado para elaboração dos mapas o programa ArcGIS, versão 10.3, desenvolvido pela ESRI.

Foram elaborados mapas preliminares, um para cada município estudado, através do georreferenciamento das fotografias aéreas, no datum de Coordenadas Planas WGS84, zona 24, e foi composto mosaico para cobrir a área de estudo. É importante ressaltar que a determinação dos anos mapeados para cada município ocorreu a partir da disponibilidade de imagens, não havendo imagens de todos os anos para os municípios estudados. As áreas de apicuns e de manguezais adjacentes foram delimitadas visualmente através da interpretação dos mosaicos: sobre essas imagens devidamente georreferenciadas foram criados planos de informação (PIs; *shapes*) com as poligonais das áreas dos apicuns, considerando o limite municipal (arquivo digital obtido do IBGE, 2010). Após delimitadas, as áreas foram quantificadas e sobrepostas visando evidenciar locais de avanço e/ou recuos nesses ecossistemas.

Em campo foi realizada a checagem dos mapas preliminares com o intuito de esclarecer dúvidas sobre apicuns, ajudando na distinção entre aqueles que apresentam algum tipo de vegetação rasteira nos limites com o manguezal ou encosta, e para verificar se as coordenadas dos pontos no Google Earth corresponderam realmente à realidade. Diversos municípios da BTS foram percorridos (Madre de Deus, Saubara, Jaguaripe e Vera Cruz) e, com auxílio de GPS Garmin (modelo *eTrex H* Portátil), foram localizados os apicuns, bem como pontos de referência (cruzamentos de estrada, praças, limites de pontes) para ratificar o georreferenciamento feito. Em escritório foram feitas as poucas correções necessárias no mapas preliminares, utilizando-se de informações e coordenadas adquiridas.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o ano de 2015 foi calculada uma área total de apicuns na região estudada de cerca de 618 hectares (ha). No entanto, a área total calculada para 1954 foi de aproximadamente 805 ha, o que indica uma redução 23% na área de apicuns dos municípios relacionados. Portanto, foi observada uma redução na área total quando somados os quatro municípios, mas também foi observado um aumento, quando se observam os dados de Saubara isoladamente. Os valores de área por ano e por localidade encontram-se dispostos na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Áreas ocupadas por apicuns (hectares) em quatro municípios da Baía de Todos os Santos, delimitadas nos mosaicos estudados em diferentes anos

Ano	Jaguaripe	Vera Cruz	Madre de Deus	Saubara
1954	392,41 ha	303,66 ha	42,52 ha	66,74 ha
1989	-	-	14,23 ha	-
2010	-	251,80 ha	-	69,55 ha
2015	310,03 ha	227,17 ha	11,64 ha	70,10 ha
Variação				
1954 -	-21%	-25,2%	-72,6%	+0,05%
2015				

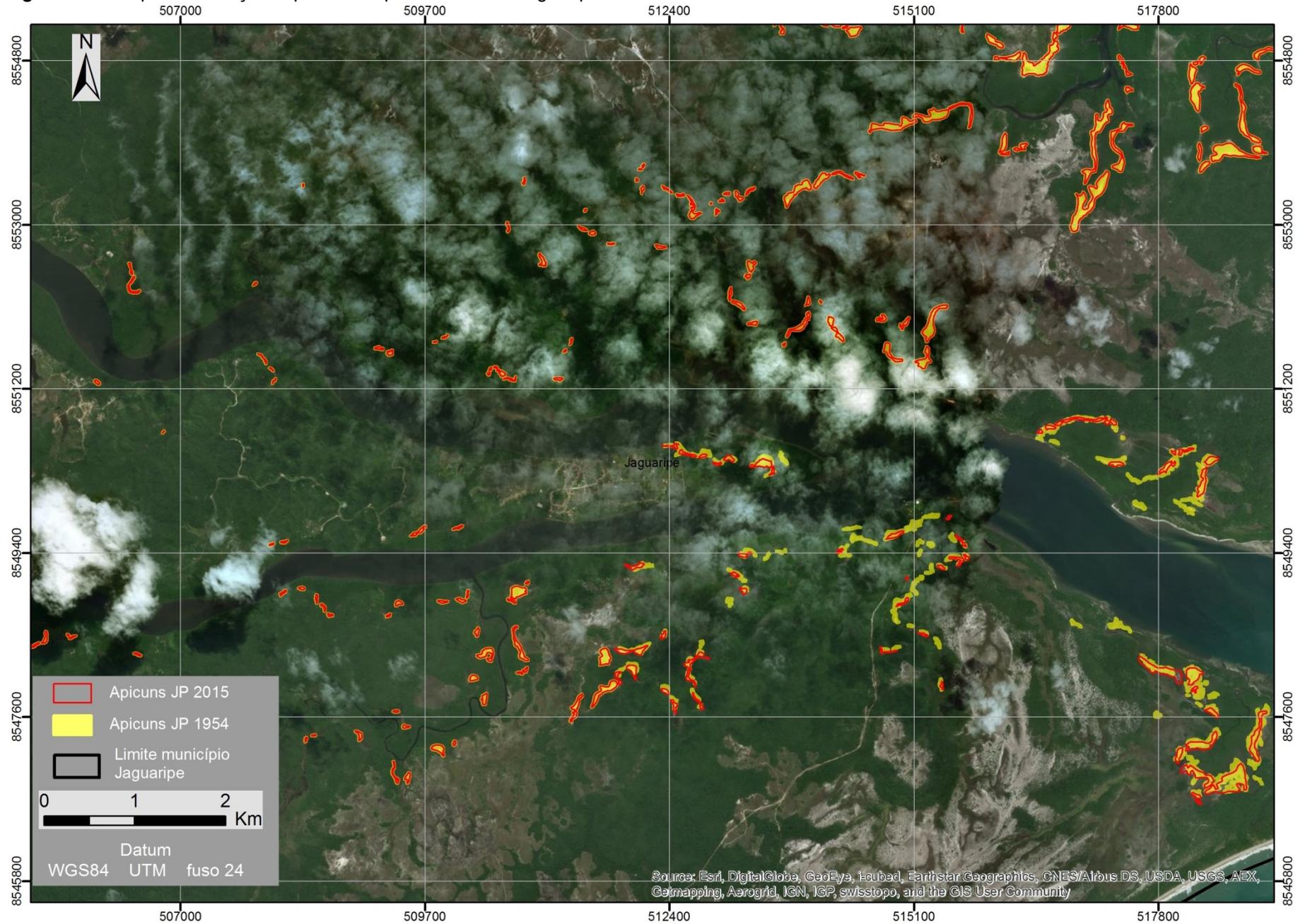
Elaboração: a autora.

Em Jaguaripe, os apicuns estão distribuídos nas margens do rio Jaguaripe e Jacuruna e foram divididos em dois setores (para visualização mais detalhada nos mapas): porção sudoeste, denominada Jaguaripe A (figura 4.3) e setor nordeste (figura 4.4, chamada Jaguaripe B). Para o município de Jaguaripe foram encontradas as imagens correspondentes aos anos de 1954 e 2015. Comparando os resultados desses anos, houve uma redução de cerca de 20% da área total dos apicuns. É importante observar que nas duas figuras (4.3 e 4.4) existe uma faixa de feições repetidas, para possibilitar à sobreposição de ambas as imagens.

É também interessante observar que no setor A os apicuns são geralmente menores e mais espaçados entre si, fato que pode ser relacionado à localização destes estar à montante do rio Jaguaripe, havendo uma maior abundância de água doce, promovendo uma maior diluição da salinidade nessa região. Em oposição a isto, os apicuns no setor B são maiores e mais adensados, justamente devido à maior concentração de águas mais salinas.

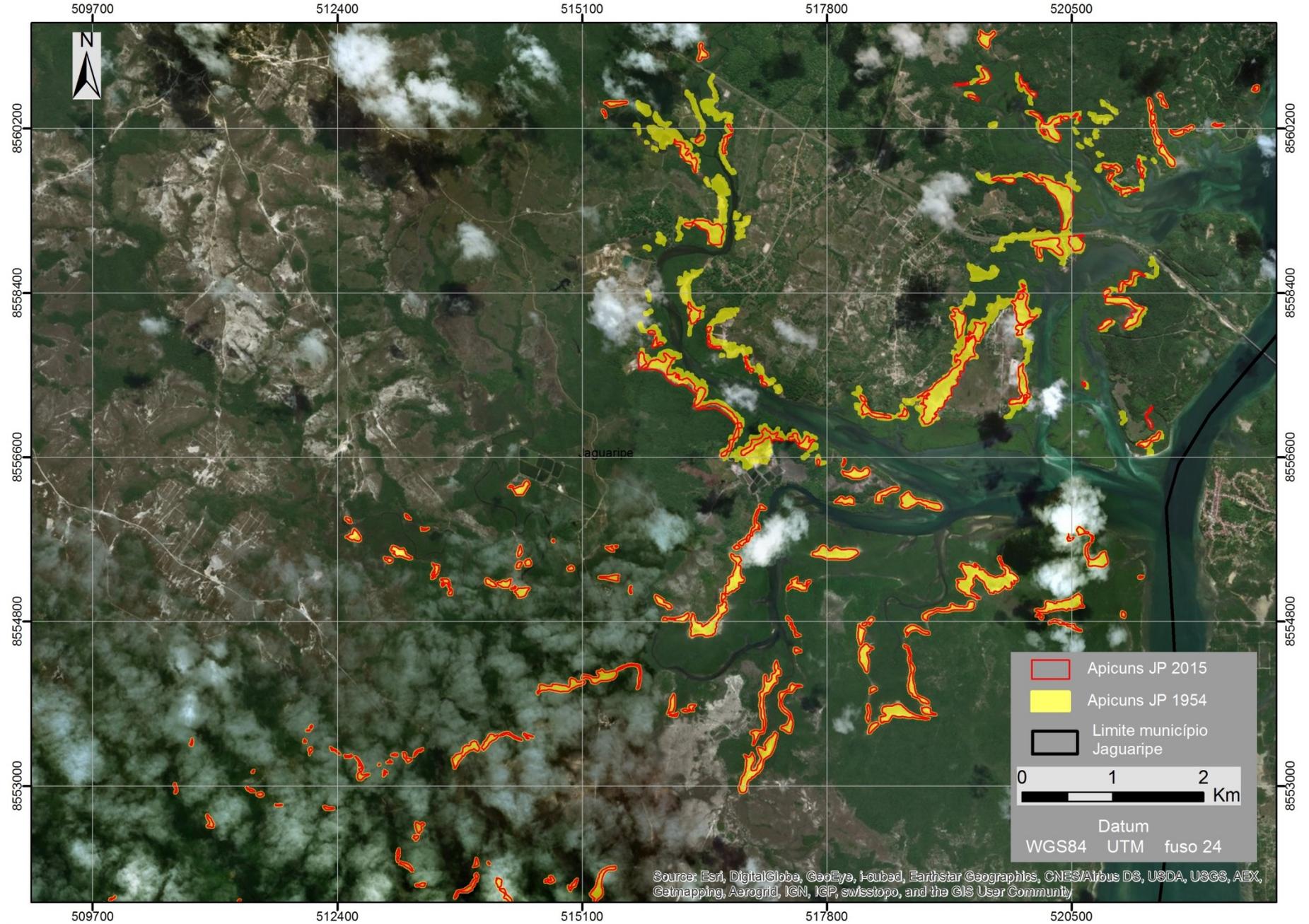
Hadlich e Ucha (2009), através do uso de fotografias aéreas das últimas décadas mostram a estabilização de alguns apicuns, o recuo de outros devido ao avanço de manguezal e vice-versa, e a ocupação de apicuns pela carcinicultura ou supressão das bordas por aterros. Nesse trabalho, para o município de Jaguaripe, os autores constataram a presença de muitos espécimes de mangue morto na transição apicum-manguezal, indicando o avanço do apicum sobre o manguezal.

Figura 4.3 – Mapa de evolução espacial de apicuns no setor Jaguaripe A



Elaboração: a autora.

Figura 4.4 – Mapa de evolução espacial de apicuns no setor Jaguaripe B



Elaboração: a autora.

É interessante observar que algumas áreas que foram mapeadas como apicuns em 1954 foram suprimidas em detrimento da construção de aquiculturas, a exemplo do apicum no qual foram realizadas as coletas, áreas indicadas pelas elipses pretas (figura 4.5). Nessa mesma figura ainda é possível notar um avanço dos manguezais sobre os apicuns, indicado pelas elipses vermelhas.

Figura 4.5 – Utilização de apicuns para implantação de aquiculturas e avanço do manguezal sobre os apicuns (JP = Jaguaripe)



Elaboração: a autora.

Hadlich (2008) percebeu um comportamento diferente, do encontrado no presente estudo, nas áreas de Jaguaripe e Vera Cruz, ocorrendo aumento dos apicuns para o período analisado, de 1989 a 2001, sendo esse aumento na área total de apicuns, de 14%, indicando que podem ocorrer variações importantes em períodos de uma década.

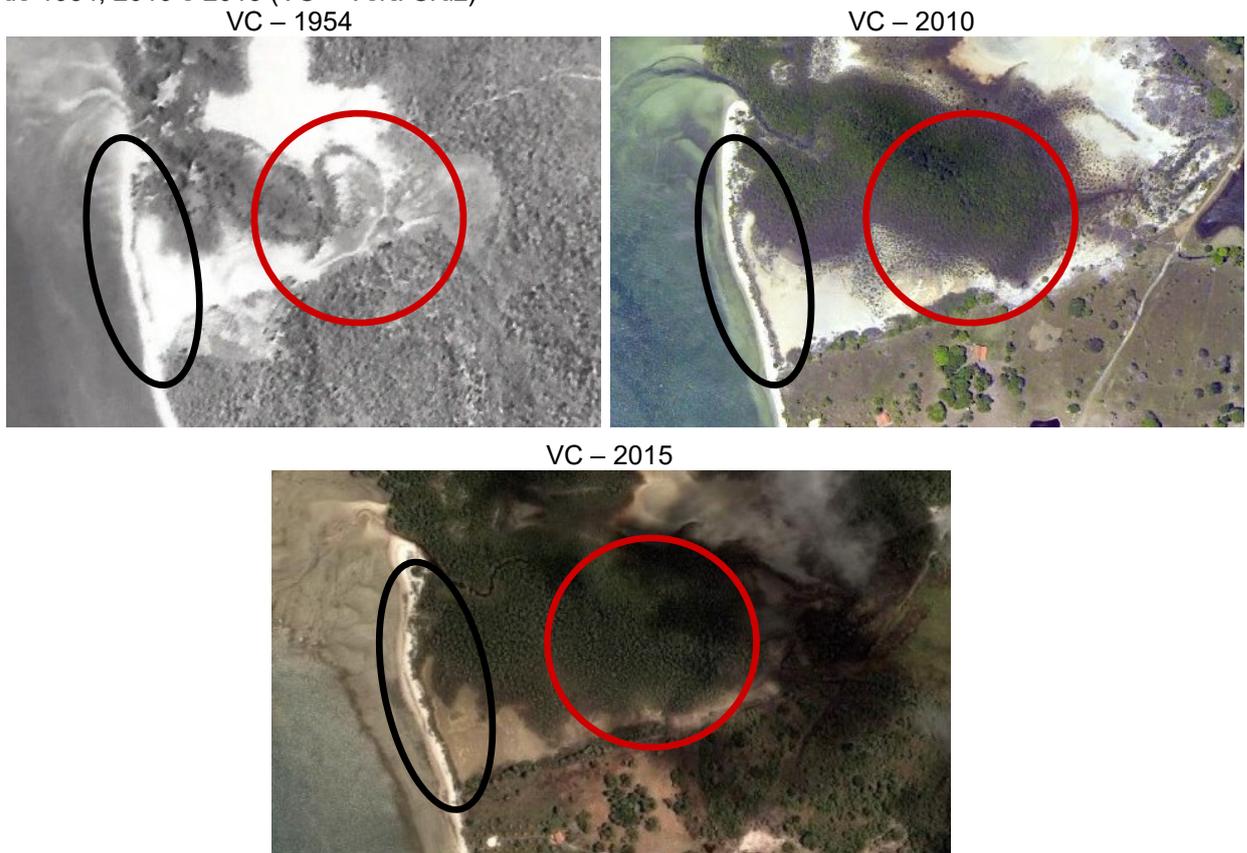
No caso de Vera Cruz, as imagens obtidas foram de 1954, 2010 e 2015. Os apicuns nesse município (figura 4.6) estão localizados em sua maioria na porção litorânea ocidental (região abrigada da Ilha de Itaparica). Entre 1954 e 2015, foi observada uma redução total de 25% das áreas dos apicuns.

[Figura 4.6 – próxima página]

Ainda segundo Hadlich (2008), em Vera Cruz, a análise dos mosaicos mostrou um aumento geral na área ocupada em cerca de 7%.

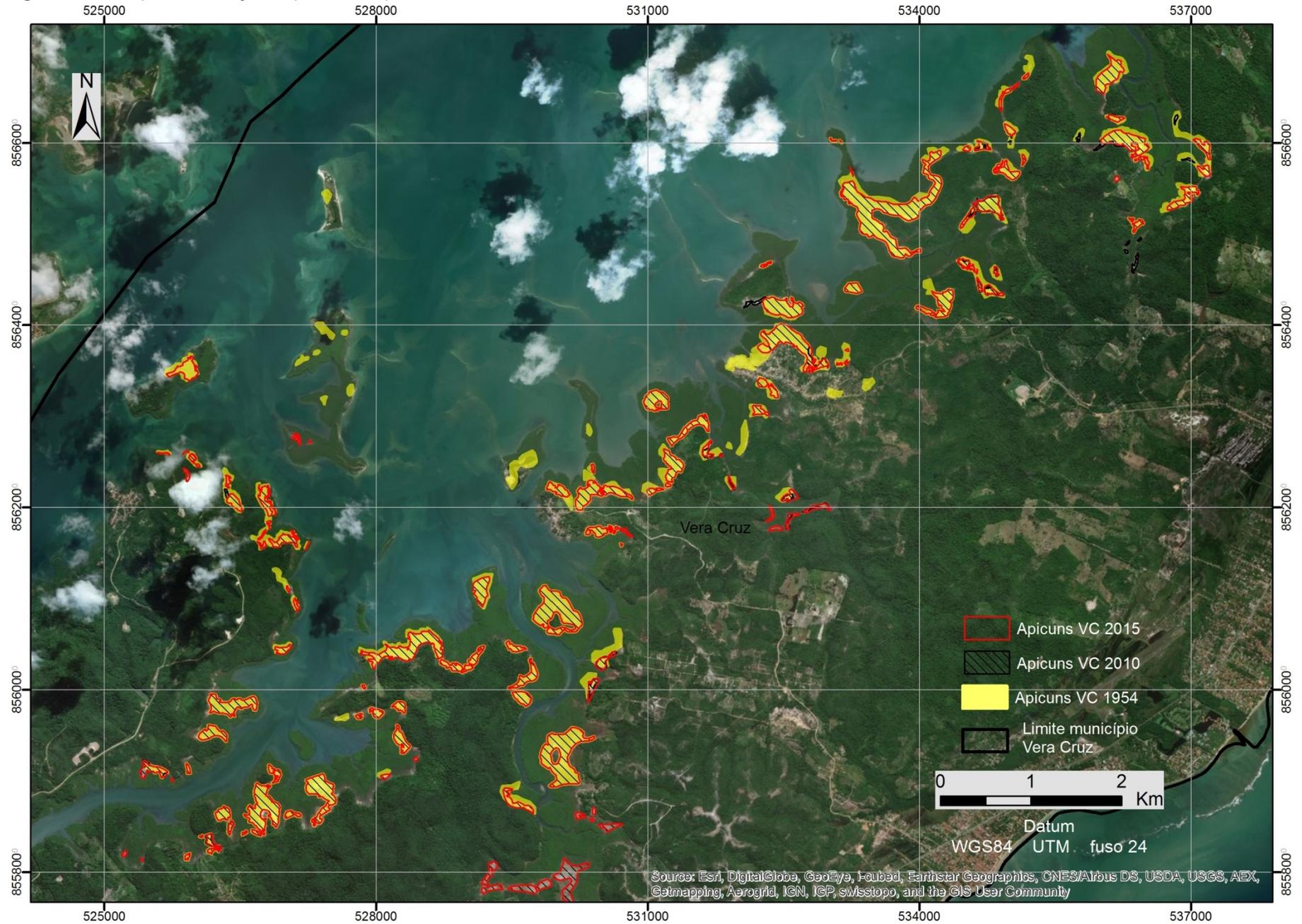
Através desse estudo foi possível observar, em mais de um caso, uma das possíveis origens dos apicuns (figura 4.7): a partir do fechamento de uma franja de manguezal, formando um apicum incluso (totalmente cercado pelo manguezal).

Figura 4.7 – Formação de apicuns a partir do fechamento de uma franja de manguezal para os anos de 1954, 2010 e 2015 (VC = Vera Cruz)



Elaboração: a autora.

Figura 4.6 – Mapa da evolução espacial de apicuns em Vera Cruz, Bahia



Elaboração: a autora.

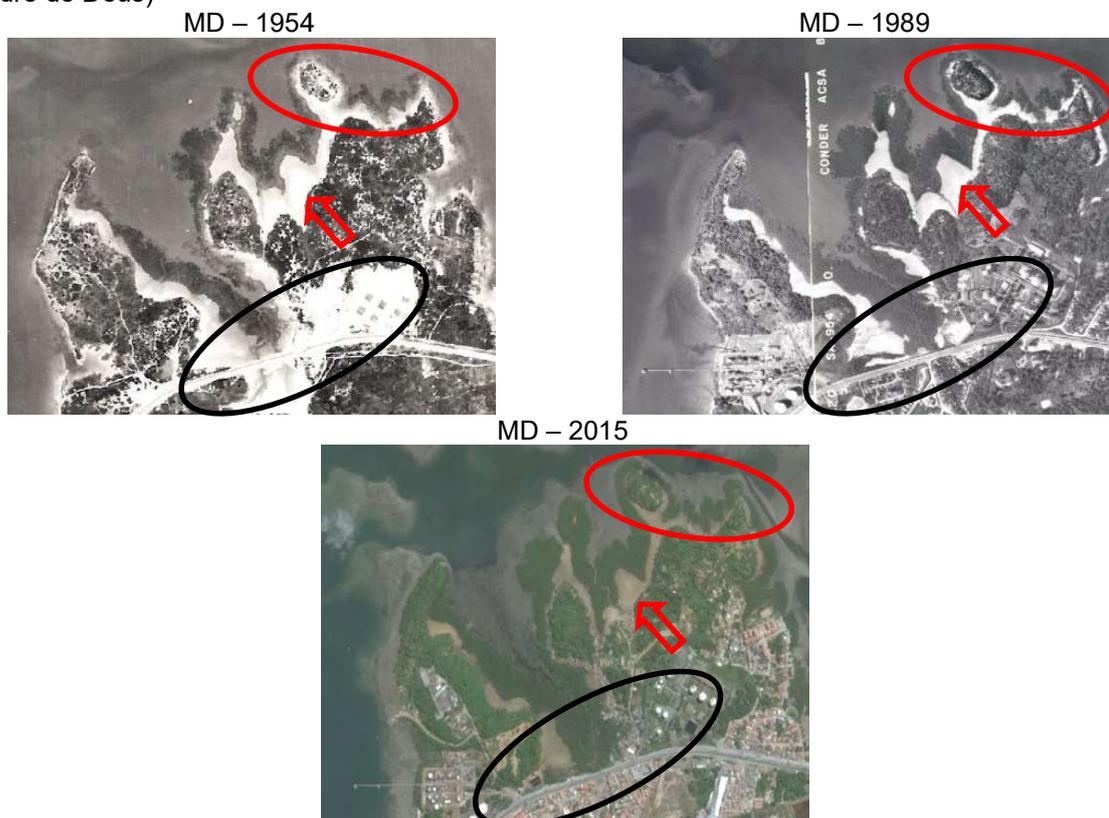
Em Madre de Deus, as imagens utilizadas dataram as de 1954, 1989 e 2015. Nesse município foi observada uma redução de mais de 70% da área original (1954) de apicuns. É importante salientar que, devido à implantação do Terminal de Madre de Deus (instalação da Petrobrás na década de 50) muitas áreas de apicuns foram ocupados pela urbanização.

O mapa de evolução de Madre de Deus pode ser observado na figura 4.8, com a representação vetorial das áreas originais dos respectivos anos.

[Figura 4.8 – próxima página]

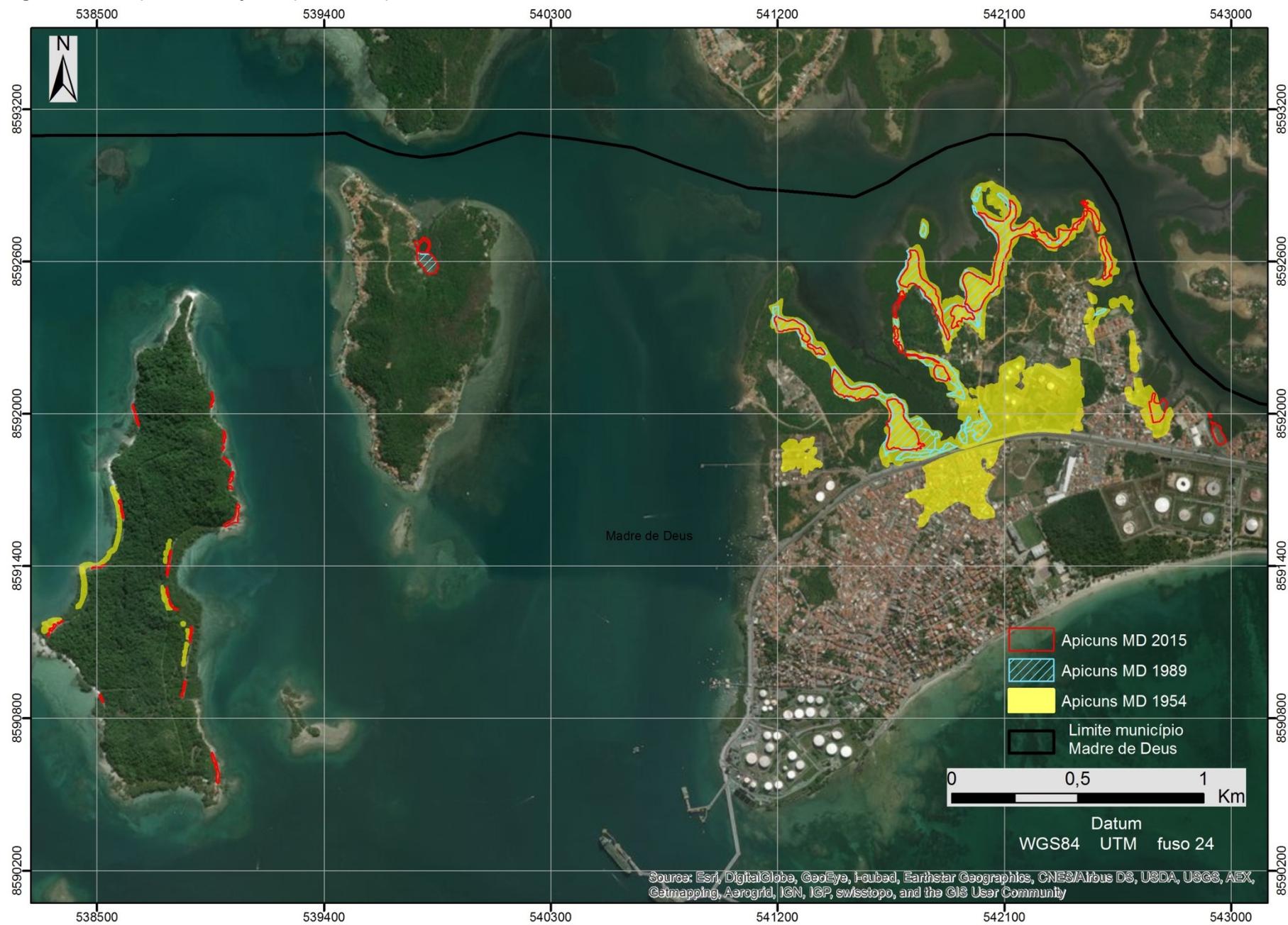
Na figura 4.9, pode-se observar a dimensão dos apicuns já inicialmente cortados pela estrada (1954) no período inicial de instalação da Petrobrás; em 1989, quando Madre de Deus foi emancipada (até então era distrito de Salvador); e nos tempos atuais (2015), com profundas modificações em sua estrutura urbana. Ainda nessa mesma figura, é possível observar, que a diminuição da área total dos apicuns se deu por três fatores principais: o avanço dos manguezais sobre os apicuns (elipse vermelha); o avanço da linha da encosta sobre os apicuns; e avanço da ocupação urbana na região com aterramentos sobre os apicuns (elipse preta). As setas vermelhas indicam uma área de manguezal em 2015 que ainda era apicum em 1954.

Figura 4.9 – Exemplo de redução das áreas de apicum para os anos de 1954, 1989 e 2015 (MD = Madre de Deus)



Elaboração: a autora.

Figura 4.8 – Mapa da evolução espacial de apicuns em Madre de Deus, Bahia

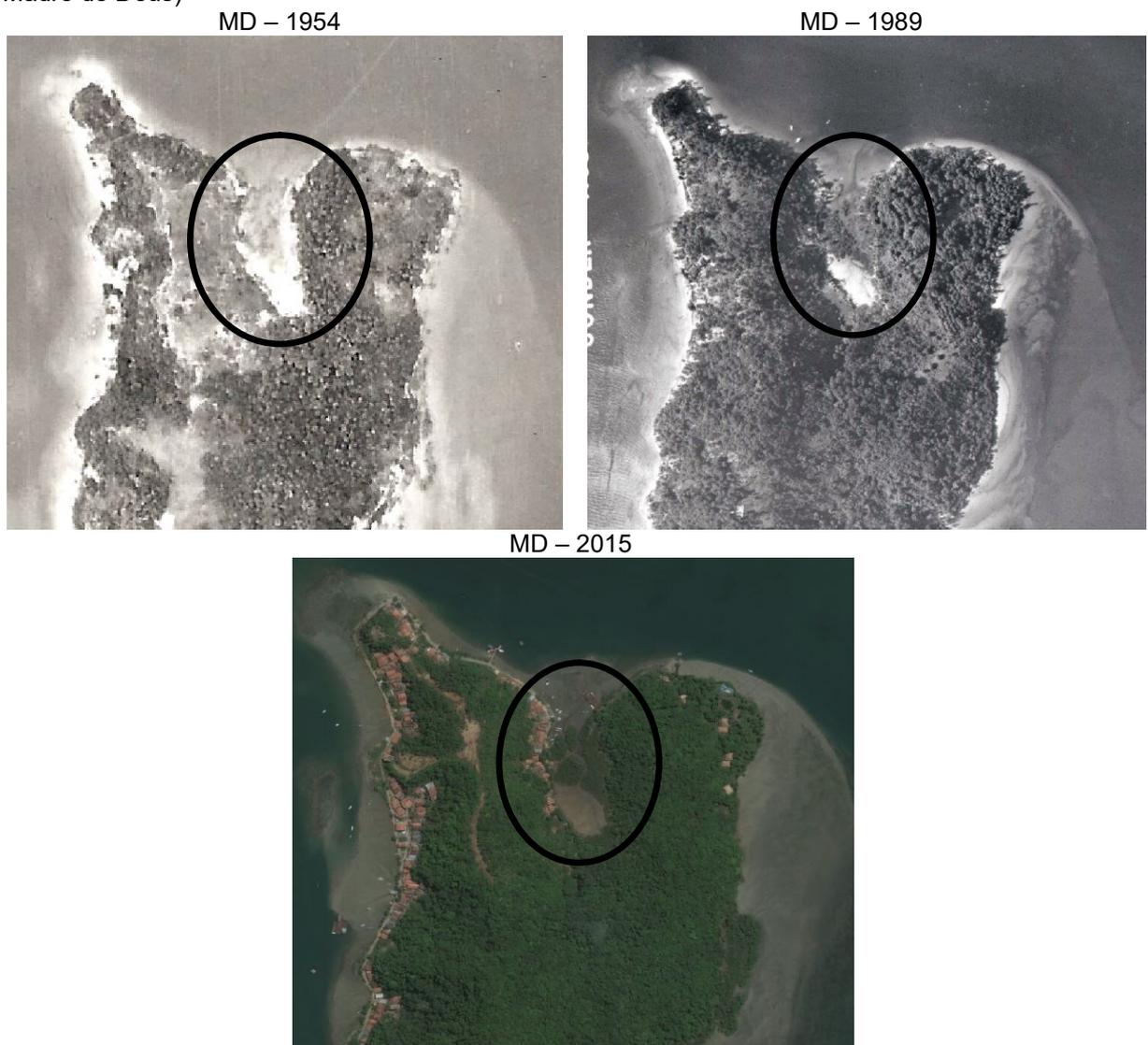


Elaboração: a autora.

Em 2009, Jesus e Hadlich fizeram um estudo preliminar com imagens de 1989 e de 2001 em dois apicuns da BTS para estudo da evolução e constataram mudanças em pouco mais de uma década: em Madre de Deus o apicum analisado diminuiu 7,5% e esse espaço foi sendo tomado pelo manguezal, por um lado, e por outro lado pela urbanização junto às beiradas do apicum, com aterramento.

Em Madre de Deus (Ilha de Maria Guarda) também foi possível observar a formação de apicum incluso através do fechamento de franja de manguezal.

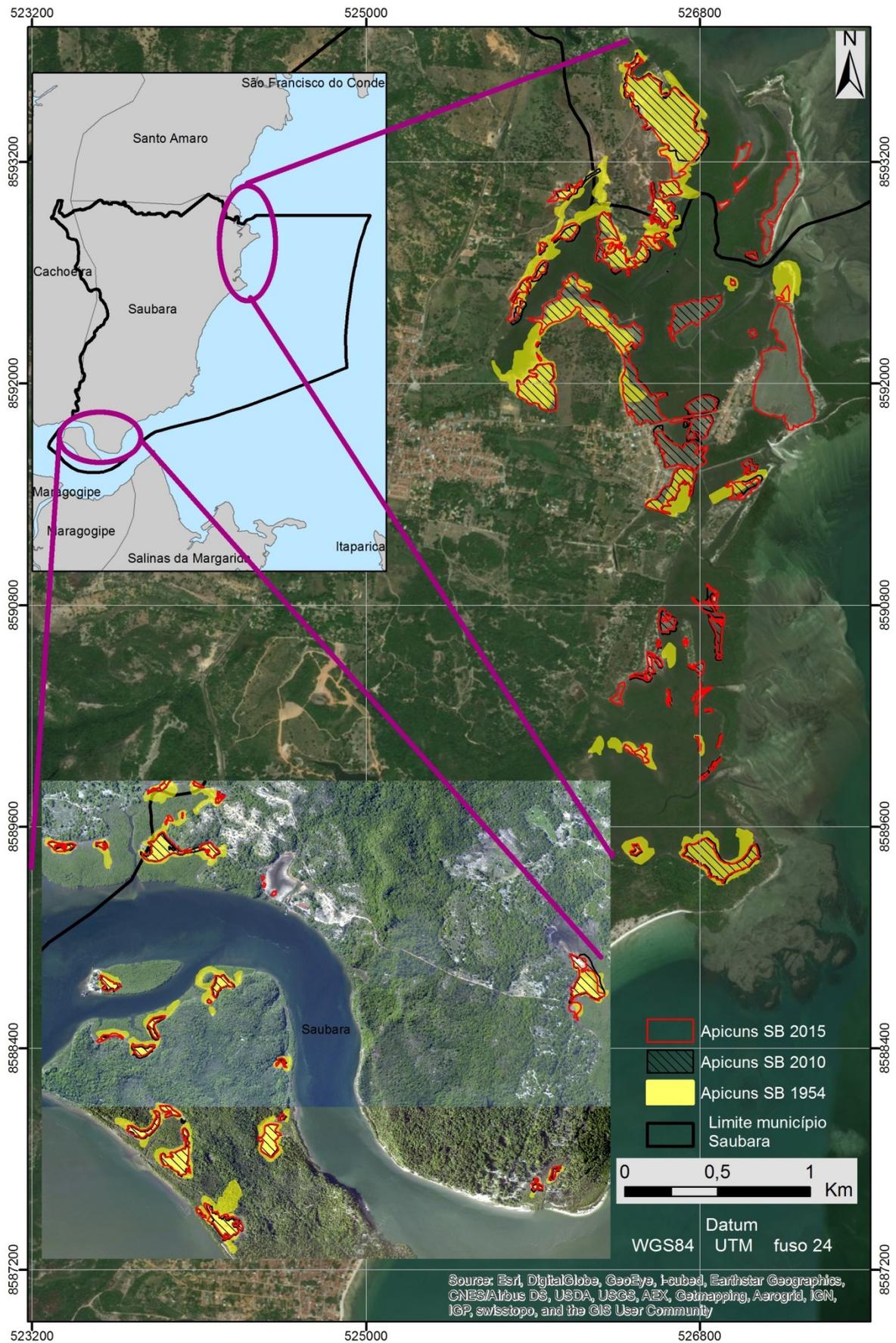
Figura 4.10 – Formação de apicuns a partir do fechamento de uma franja de manguezal (MD = Madre de Deus)



Elaboração: a autora.

Já em Saubara, diferente dos casos apresentados anteriormente, foi constatado um aumento de cerca de 5% da área total dos apicuns (figura 4.11). As imagens utilizadas para esse municípios foram 1954, 2010 e 2015.

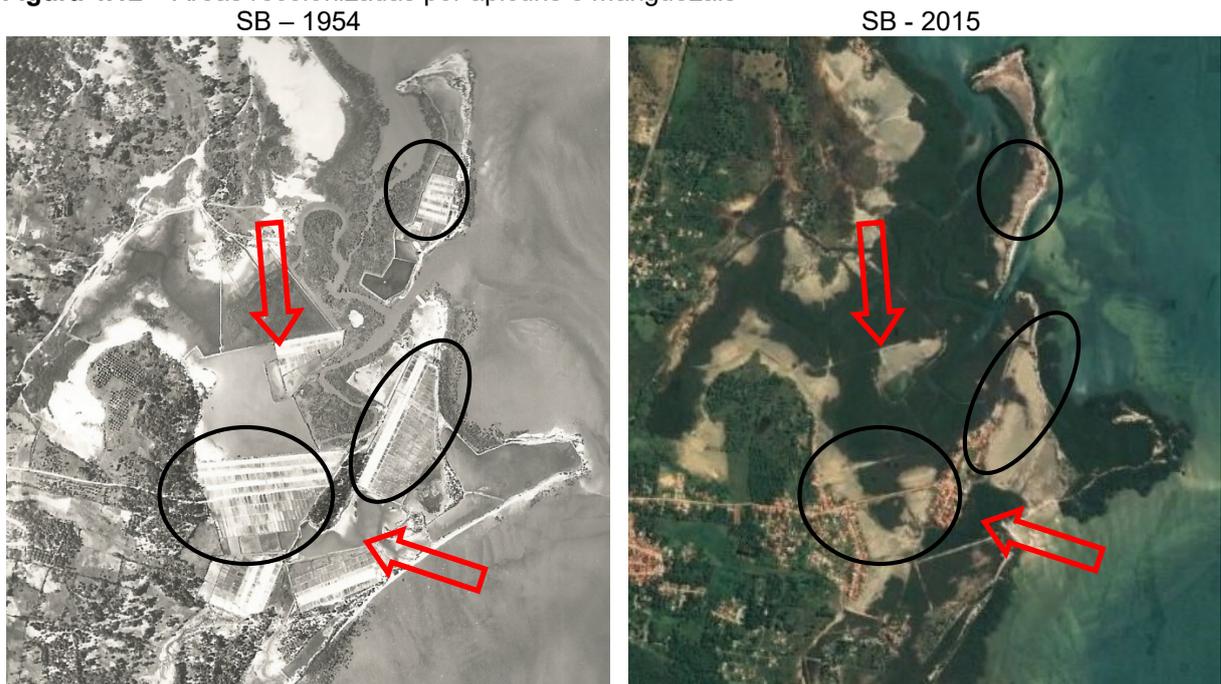
Figura 4.11 – Mapa da evolução espacial de apicuns em Saubara, Bahia



Elaboração: a autora.

Em Saubara os apicuns estão distribuídos na porção nordeste e na porção sudoeste, o mapa gerado foi então seccionado em duas partes de mesma escala, como é apontado na figura 4.11. Porém, neste município também é possível constatar nas imagens de 1954 (figura 4.12) que uma parte da área que atualmente é ocupada por apicuns e manguezais antigamente era utilizada como salinas (elipses pretas) ou fazendas de aquicultura (setas vermelhas).

Figura 4.12 – Áreas recolonizadas por apicuns e manguezais



Elaboração: a autora.

Na área estudada em Saubara, da mesma forma que predomina em toda a BTS, os apicuns estão preferencialmente localizados na faixa supra litoral, entre manguezais e encostas; algumas áreas de apicum diminuíram e isto decorreu do avanço do manguezal sobre o apicum. A redução de apicum, no geral, foi proporcionalmente bem inferior à constatada em Madre de Deus, tendo sido de apenas 2,9% em Saubara. Quanto às áreas ocupadas em torno dos apicuns, percebe-se pouco aumento no número de construções próximas (JESUS; HADLICH, 2009). É importante ressaltar que Jesus e Hadlich trabalharam com os apicuns através de definições próprias de limites regionais, enquanto este trabalho considerou os limites municipais.

Mesmo havendo um aumento na área total dos apicuns para este município, pode-se visualizar na figura 4.13 um exemplo pontual de redução de área de apicum, sendo este último preenchido gradativamente por manguezal.

Figura 4.13 – Exemplo de redução das áreas de apicum em SB = Saubara
SB – 1954



SB – 2010



SB – 2015



Elaboração: a autora.

A maior parte da redução dos apicuns se deu pela recolonização das áreas por manguezais.

Como houve lugares em que ocorreu aumento das áreas de apicuns, e em outras houve diminuição, é necessário investigar quais as outras possíveis razões para essas mudanças. Uma delas é a diminuição da precipitação média ao longo dos anos, mas isto não explica a redução dos apicuns. A falta de informação sobre a distribuição das chuvas (certamente desigual) na BTS compromete essa análise.

Cirano e Lessa (2007) demonstram que a região da BTS possui clima úmido tropical, dividido em uma estação seca e úmida. Na BTS, os meses de verão fazem parte da estação seca, enquanto os meses de inverno são parte da estação úmida. A temperatura média anual é de 25,3 ° C, a precipitação 2086 mm e evaporação 1002 mm.

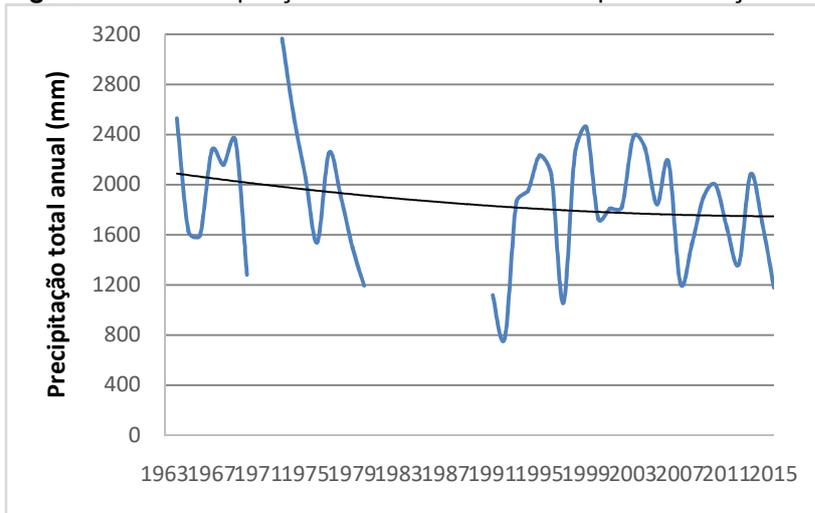
O recuo ou avanço dos apicuns em relação aos manguezais parece estar diretamente relacionado à pluviometria anual local, podendo ocorrer avanço de manguezais sobre apicuns em anos de elevada precipitação e recuo em anos de seca. Alguns autores consideram os apicuns como ambientes sucessionais (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999; OLIVEIRA et al., 2000a; UCHA et al., 2004; LEBIGRE, 2007; OLIVEIRA, 2005), sendo assim alguns apicuns também podem ser recolonizados por espécies de mangue.

Em seus estudos na pequena costa e no delta *Sine-Saloum* (Senegal), Ackermann et al. (2006) também constataram que a cobertura do mangue não evoluiu de maneira homogênea no espaço. Assim, a diminuição da cobertura vegetal dos manguezais, em detrimento ao aumento de apicuns, foi medida principalmente entre 1972 e 1986, um período de grande déficit de precipitação.

Estima-se que a área da BTS, recebe anualmente uma média de $2,42 \times 10^9 \text{ m}^3$ de água doce de origem atmosférica, e perde por evaporação um total $0,92 \times 10^9 \text{ m}^3$, além da perda de um volume de $0,21 \times 10^9 \text{ m}^3$ associado à evapotranspiração nas áreas de manguezal. O balanço final resulta em uma descarga média anual de aproximadamente $41 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Este valor é desigualmente distribuído ao longo do ano, de acordo com a sazonalidade das chuvas na região, sendo provável que nos meses úmidos ocorram vazões médias mensais próximas a $80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (CIRANO; LESSA, 2007).

No entanto, na região da BTS é possível observar, através do gráfico de precipitação anual (figura 4.14) uma tendência à diminuição de pluviometria desde 1963 (INMET, 2015). Então, estima-se que o avanço dos manguezais sobre os apicuns ocorra por outras razões.

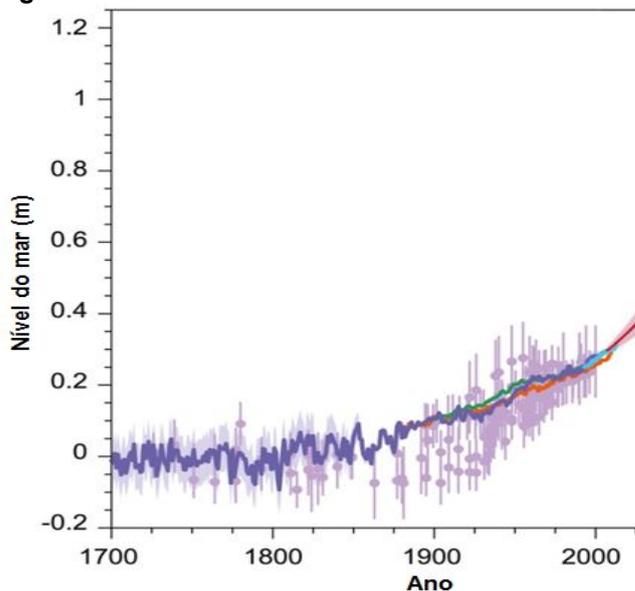
Figura 4.14 – Precipitação total dos últimos anos para a estação meteorológica de Salvador



Elaboração: a autora. Fonte dos dados: INMET (2015).

Uma tendência de elevação do nível do mar tem sido notada globalmente (CHURCH et al., 2011). O relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (2013) reconheceu que o nível do mar subiu durante o século 20 (figura 4.15), que a taxa de subida havia aumentado comparada à do século 19, que a expansão térmica dos oceanos e a perda de massa das geleiras foram os principais contribuintes para o aumento no século 20, e que o nível do mar não subirá uniformemente ao redor do mundo (CHURCH et al., 2013).

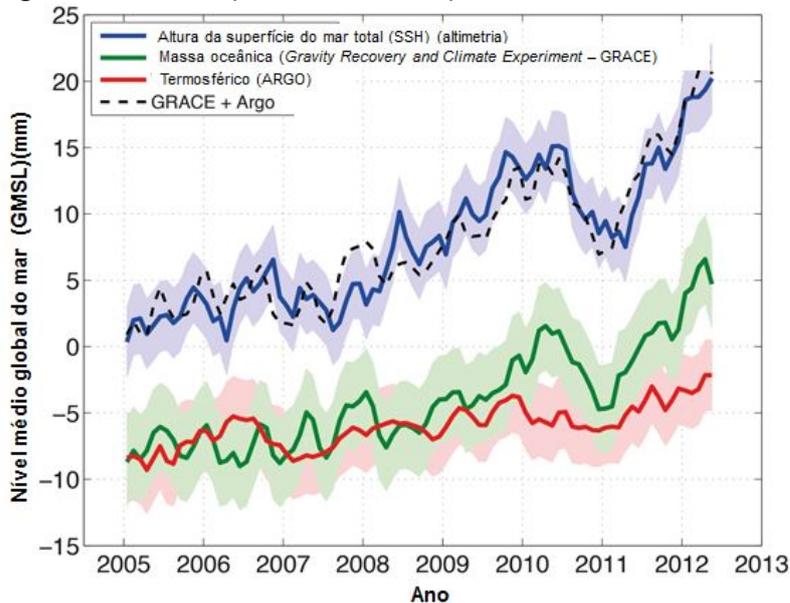
Figura 4.15 – Estimativa de subida do nível do mar até os dias atuais



Fonte: IPCC (2013).

Eles também concluíram que a expansão térmica dos oceanos e o derretimento das geleiras são os principais contribuintes para o aumento do nível dos oceanos no século 21 (figura 4.16).

Figura 4.16 – Principais contribuintes para o aumento do nível dos oceanos



Fonte: IPCC (2013).

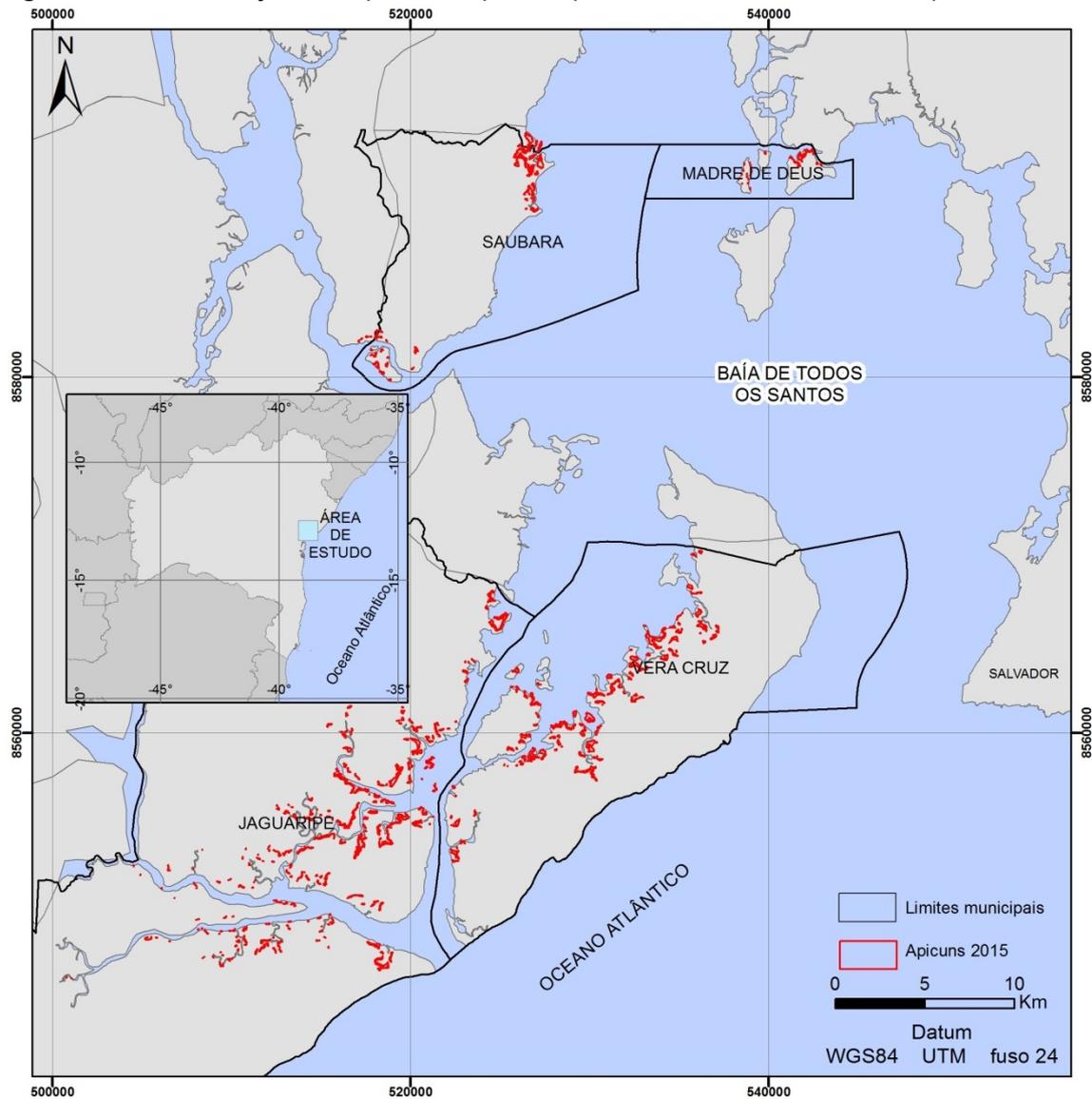
Além do nível do mar subir de maneira desigual, localmente é possível observar outros processos que podem estar contribuindo para acelerar esta subida eustática do nível marinho (CHURCH et al., 2013). Alguns autores apontam para uma subsidência (em escala geológica) devido a movimentos sísmicos (LIMA, 2000; LIMA; VILAS BOAS, 2004), que poderiam estar contribuindo para acelerar esta subida eustática do nível marinho, se for considerada a neotectônica no litoral e exploração de petróleo recente na BTS.

Processos de subsidência local podem ser resultado da extração petroquímica ou de águas subterrâneas. A extração de águas subterrâneas também pode reduzir o volume de água doce que chega através dos lençóis freáticos, afetando os regimes de nutrientes e salinidade. A extração de gás natural no mar de Wadden, na Holanda, provocou um aumento eustático no nível do mar da região. Alterações na posição de apicuns também podem ocorrer a partir de mudanças na variação de amplitude das marés (ADAM, 2002).

Na figura 4.17 pode-se observar a área total de apicuns mapeada para os municípios estudados, para o ano de 2015.

Ainda na BTS, Jesus (2008) e Jesus e Hadlich (2009) constataram variações nas áreas ocupadas por apicuns ao longo de uma década, sugerindo variações nos níveis marinhos locais.

Figura 4.17 – Localização dos apicuns mapeados para o ano de 2015, nos municípios estudados



Elaboração: a autora.

Toda a dinâmica do apicum e, por conseguinte, do manguezal próximo, depende das condições de salinidade que, por sua vez, estão relacionadas às condições climáticas e à oscilação das marés. Assim como verificado para as gramíneas marinhas (ADAM, 2002; DALE et al., 2007), alterações no nível relativo dos mares ou na amplitude das marés possuem repercussão sobre as áreas de apicuns, podendo sua evolução (ou involução) ser indicadora de mudanças ambientais locais ou globais, pois devido à sua localização e topografia, são apontados como ambientes que, diante de uma elevação do nível do mar, podem sofrer colonização por mangue, expandindo a área de manguezais em direção às terras secas (HADLICH, UCHA, 2009).

4.4 CONCLUSÃO

A variação espacial dos apicuns ao longo do tempo ocorreu de maneira diferenciada e por razões que variaram de município para município. No estudo de variação espaço-temporal dos apicuns na BTS, em alguns locais de todos os municípios estudados foi constatado um aumento das áreas de manguezais que avançam sobre os apicuns, havendo assim uma diminuição da área total desses últimos. Em três dos quatro municípios estudados foi constatada uma redução na área total dos apicuns: em Jaguaripe essa redução foi provocada principalmente pelo avanço dos manguezais e pela utilização das áreas de apicuns para aquicultura; em Vera Cruz essa diminuição foi provocada também pelo avanço dos manguezais, além do avanço da urbanização no limite da encosta/apicum; e em Madre de Deus ocorreu o avanço dos manguezais, avanço da linha de costa e avanço da ocupação urbana.

Em Saubara foi constatado um aumento das áreas de apicum em relação a 1954, sendo notado através das fotografias aéreas que, algumas áreas que eram utilizadas como aquiculturas, foram recolonizadas pelos apicuns e manguezais. Porém, mesmo observando um aumento na área total, foi possível observar o avanço dos manguezais sobre os apicuns e o avanço da ocupação urbana nos apicuns pelo limite da encosta. Por outro lado, uma menor erosão das encostas, provocada pela barreira criada pela ocupação urbana, irá proporcionar menor aporte de sedimentos para os apicuns, com um possível avanço dos manguezais sob os apicuns.

Essas variações nas áreas de apicum através do avanço dos manguezais, associada à diminuição da precipitação média anual regional, pode ser indicativa de variações no nível do mar, haja vista sua elevação nas últimas décadas.

Considerando que há registros de neotectônica no litoral (em escala geológica), e exploração de petróleo recente na BTS, se faz necessário mais estudos sobre subsidência na região. Já que o nível do mar é importante na transição apicum/manguezal, são necessários mais estudos sobre variação eustática do nível do mar na BTS.

E por fim, se faz necessária uma maior investigação e discussão sobre a identificação da formação dos apicuns e de variações espaciais e geoquímicas mais recentes, fornecendo assim novos elementos que permitirão o desenvolvimento de um modelo conceitual de evolução dos apicuns e sua relação com encostas, manguezais e oceanos.

5 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE APICUNS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar geoquimicamente apicuns situados na Baía de Todos os Santos (BTS). Foram coletadas e analisadas (granulometria, salinidade, pH, COT, N, P, S, Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn) 49 amostras de sedimentos que foram coletadas ao longo de um transecto, em quatro apicuns, um em cada município: Madre de Deus (MD), Saubara (SB), Vera Cruz (VC) e Jaguaripe (JP). Os apicuns são hipersalinos, característica que os define, e apesar de serem arenosos (média de 80% de areia), a granulometria varia entre eles. As concentrações de COT e N são baixas em decorrência da ausência de vegetação em superfície. As concentrações de Cd, Co, e Pb permaneceram abaixo dos limites de detecção. Os valores dos demais parâmetros, à exceção de pH e salinidade, apresentaram grande dispersão, além de mostrarem diferença entre os apicuns estudados. Os apicuns encontrados na BTS, apesar de seu aspecto homogêneo (área plana arenosa e desprovida de vegetação), possuem diferenças significativas no que se refere aos parâmetros geoquímicos.

Palavras-chave: planícies hipersalinas, ambientes costeiros, geoquímica.

5.1 INTRODUÇÃO

A utilização do termo apicum é, sem dúvida, bastante confusa, não havendo critério para sua designação. A falta de uma terminologia correta leva a diferentes ambientes serem, na literatura nacional, designados pelo mesmo termo. Portanto é importante conhecer melhor esses ambientes, haja vista as implicações científicas, legais ou socioeconômicas envolvidas – científicas porque, chamados pelo mesmo nome, os diferentes “apicuns” podem representar ambientes bastante diferentes e, definidos de forma clara, estes podem fornecer respostas a algumas problemáticas ambientais; legais porque há uma corrente no Brasil que defende que “apicuns” fazem parte do ecossistema manguezal e por isso devem ser considerados Áreas de Preservação Permanente; socioeconômicas porque, em decorrência de aspectos legais, permite-se ou não o uso dessas áreas para instalação de atividades econômicas, como aquiculturas (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008).

A definição de apicum está relacionada à elevada salinidade, ligada a uma determinada condição climática, que provoca restrições no desenvolvimento vegetal. O apicum é definido por Lebigre (2007) como área plana de elevada salinidade, associada a manguezais, desprovida de vegetação ou com vegetação rasa, localizada entre manguezais e encostas, na região de supramaré (a ex. da figura 5.1), e que estão relacionados à ocorrência de climas com regime de precipitação variável ao longo do ano que comporta

uma estação seca de, aproximadamente, três meses (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008), característica climática da região da Baía de Todos os Santos (BTS) que possui clima úmido tropical, dividido em uma estação seca e uma úmida (CIRANO; LESSA, 2007).

Uma alteração na propriedade das águas no interior da BTS foi descrita devido à sazonalidade. Durante a estação chuvosa (inverno), com o aumento do aporte de água doce, variações de salinidade podem ser observadas entre uma parte mais interna da BTS e a região costeira adjacente. Valores de salinidade dentro da baía podem chegar até 32,3 psu (*practical salinity unit*), inibindo uma penetração das massas d'água oceânicas (com salinidade 36) dentro da BTS, que é totalmente ocupada por uma água costeira formada localmente. Enquanto na estação seca (verão) as variações da salinidade horizontal não são pronunciadas (CIRANO; LESSA, 2007). Esse processo ocorre pelo fato de que, durante a estação chuvosa, a chuva dilui os sais e permite a colonização de solos por espécies de mangue típicas (NASCIMENTO, 1999; HADLICH et al., 2010). Além disso, durante as estações secas, que são comuns ao longo da costa do nordeste brasileiro, a expansão de áreas de apicum pode se espalhar em ecossistemas de mangue (ALBUQUERQUE et al., 2013).

Figura 5.1 – Exemplo de apicum



Foto: G. M. Hadlich (2016).

Lebigre (2007) ainda considera que o apicum pode ser incluso, isto é, localizado no interior do manguezal, sem contato direto com as encostas atuais, mas oriundo de áreas mais elevadas (figura 5.2). Nessa figura é possível observar um pouco da espacialização

ocorrente entre manguezais, apicuns e encostas, assim como os diferentes tipos de encosta (vegetação terrestre, cidade e terreno íngreme não vegetado).

Figura 5.2 – Exemplo de apicum incluído em Saubara (SB), destacado através da elipse vermelha

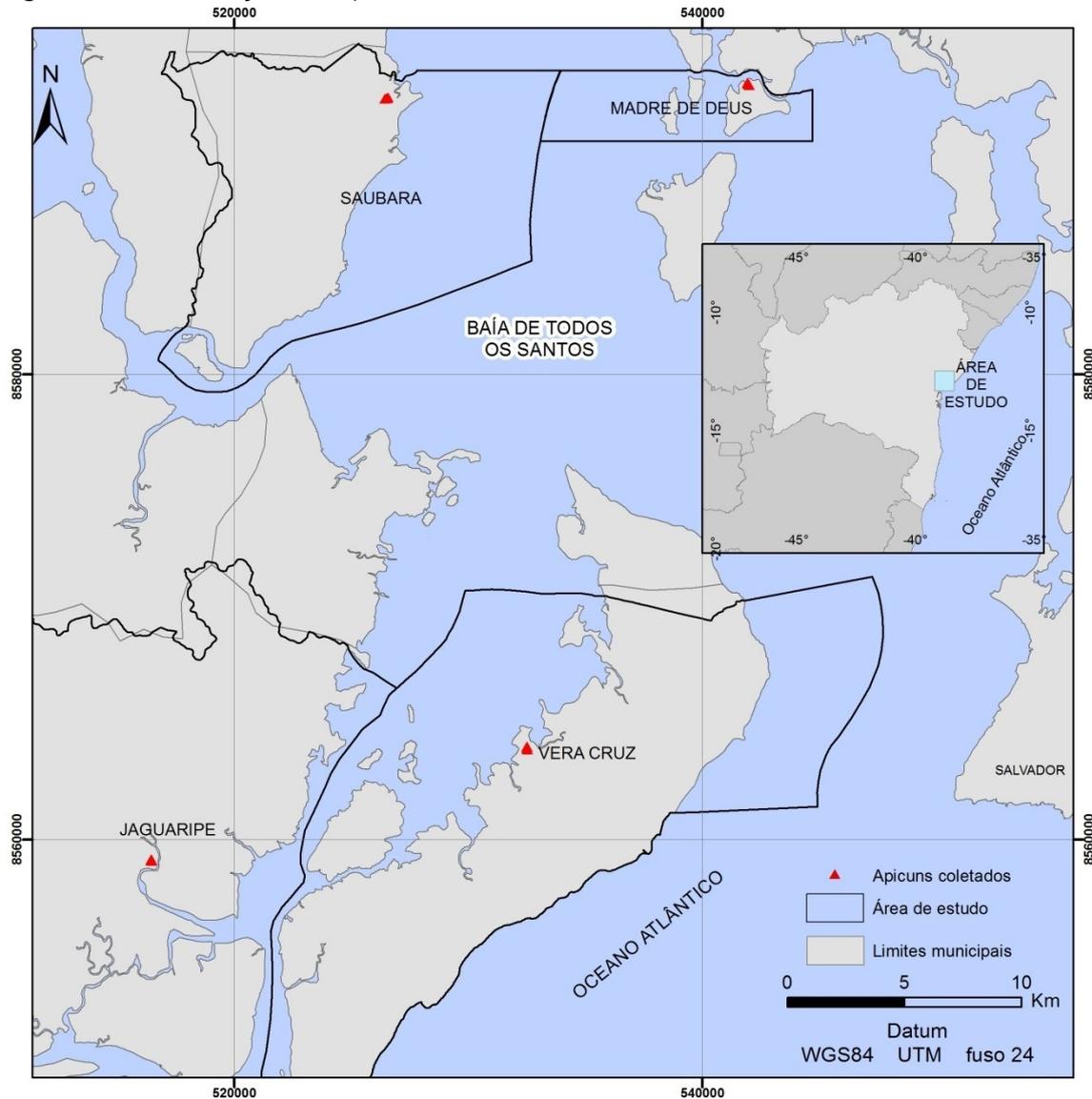


Fonte: Google Earth (2015).

A partir dos mapeamentos que foram realizados anteriormente (HADLICH, 2008; HADLICH; UCHA, 2009), foram definidos quatro apicuns pilotos para maiores investigações, objetos do presente estudo. Os apicuns selecionados para realizar coletas de amostras (figura 5.3) estão situados em quatro municípios localizados da Baía de Todos os Santos (BTS). Na legislação brasileira não existem critérios estabelecidos para avaliar a qualidade dos sedimentos. Critérios interpretativos são utilizados em alguns estudos para avaliar sua qualidade (NASCIMENTO; MOZETO, 2008).

A BTS apresenta uma área de 1.233 km² e corresponde à segunda maior baía do litoral brasileiro (HATJE; ANDRADE, 2009). No seu entorno situam-se Salvador, capital do Estado da Bahia, e diversos outros municípios do Recôncavo Baiano, assim como grandes complexos industriais e portos internacionais, incluindo sistemas de exploração e transporte ligados especificamente à indústria petroquímica. No litoral da BTS foram mapeados, em 2007 (HADLICH et al., 2007; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; HADLICH; UCHA; OLIVEIRA, 2009), 177,6 km² de manguezais e 10,2 km² de apicuns.

Figura 5.3 – Localização dos apicuns estudados



Elaboração: a autora.

Dada a importância do estudo desses ambientes, o objetivo deste trabalho é realizar uma caracterização geoquímica dos apicuns, comparando esses ambientes localizados em diferentes municípios da BTS.

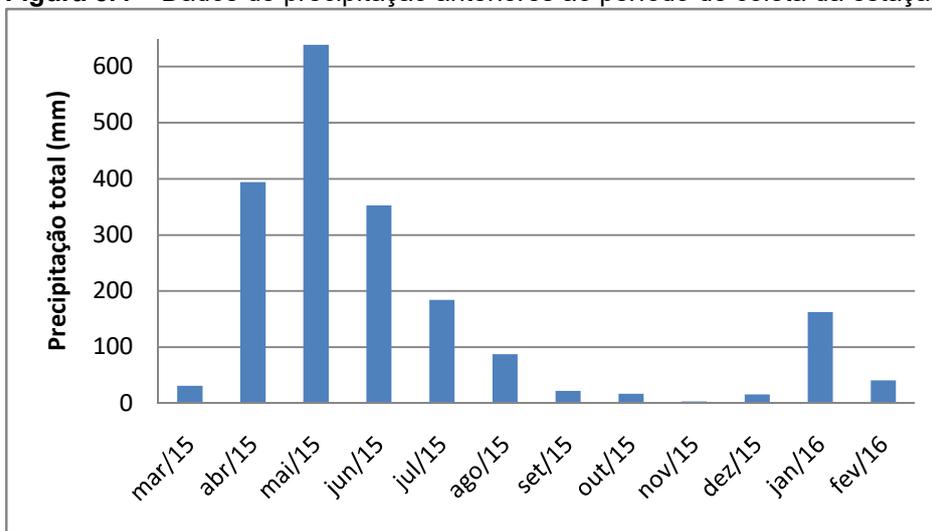
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados quatro apicuns piloto na BTS, um em cada município: Madre de Deus (apicum MD), Jaguaripe (apicum JP), Saubara (apicum SB) e Vera Cruz (apicum VC); foi definido um transecto por apicum, com quatro pontos, distribuídos ao longo do transecto: no apicum, nas proximidades da encosta (ponto designado 2); no meio do apicum (ponto 3);

no apicium, nas proximidades do manguezal (ponto 4); e o último dentro do manguezal, onde foi constatada a presença de árvores adultas de mangue (ponto 5).

As amostras de sedimento, totalizando 60, foram coletadas em uma apenas uma campanha, realizada em março de 2016, período caracterizado como sendo de menor precipitação anual (o que também foi constatado para 2016; figura 5.4), pois estudos anteriores (HADLICH, 2008; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010) mostraram maiores concentrações de metais, com concentrações detectáveis nos procedimentos analíticos adotados somente nesse período. Os pontos exatos e as profundidades de coleta também foram baseados nesses estudos anteriores.

Figura 5.4 – Dados de precipitação anteriores ao período de coleta da estação de Salvador



Elaboração: a autora. Fonte dos dados: INMET (2015).

Com um cavador de metal, em cada ponto de amostragem foi feita uma perfuração até atingir o nível do lençol freático ou substrato rochoso. Com auxílio de uma pá plástica previamente descontaminada, raspou-se a lateral da escavação para eliminar o contato com a superfície metálica do cavador. Posteriormente, foi feita a ambientação da pá e a coleta das amostras das diferentes profundidades nas quais foi possível diferenciar as camadas, sendo coletadas em cada ponto no mínimo três e no máximo 5 amostras de sedimento, às vezes atingindo a rocha. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados. Ainda em campo, as amostras foram armazenadas em caixas térmicas com gelo.

Após o campo, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Estudos do Petróleo (Lepetro) do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA) do Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), onde foram congeladas.

A primeira análise realizada em laboratório foi salinidade. Para isto, foi retirada uma porção de sedimento úmido de cada amostra bruta. Posteriormente, as amostras foram

congeladas e liofilizadas. Após liofilização (liofilizador L101-LIOTOP), as amostras foram desagregadas, homogeneizadas e peneiradas para obtenção da fração menor que 2 mm. Frações maiores que 2 mm, composta por raízes, folhas, conchas e outras partículas, foram descartadas e as amostras foram acondicionadas e armazenadas em ambiente climatizado para análises posteriores.

Além da salinidade, foram realizadas as seguintes análises: granulometria (pré-tratamento das amostras via peróxido de hidrogênio, segundo EMBRAPA, 1999 e análise por difração a laser em analisador de partículas modelo Cilas 1064); pH (método pH em sedimento – EMBRAPA, 1999 – e determinação em pHmetro Horiba D-54); carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N) total (analisados pelo método método EPA-NCE-C1282/2002 (EMBRAPA,1999); enxofre (S); e fósforo inorgânico assimilável em sedimento (analisado pelo método de ASPILA, 1976 e GRASSHOFF et al., 1983).

Para extração dos metais (Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn), o material utilizado para a quantificação foi devidamente descontaminado e 1 grama de amostra de sedimento foi colocado em ácido nítrico (HNO_3) 65% P.A por 30 minutos, em seguida enxaguado com água destilada e ultrapura (sistema Milli-Q). Foi realizada a extração parcial, utilizando ácido nítrico, em forno microondas, segundo metodologia D5258-92 (Standard Pratic for Acid - Extraction of Elements from Sediments Using Closed Vessel Microwave Heating adaptada ao manual do equipamento nº 11 (Manual de Microondas Provecto DGT 100 plus).

A determinação das concentrações dos metais ocorreu por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Brancos e triplicatas foram utilizados para avaliar a acurácia do método analítico.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas descritivas das variáveis analisadas (parâmetros estatísticos) constam nas tabelas 5.1 e 5.2.

O alto grau de dispersão (coeficiente de variação (c.v.) > 50%) evidenciou que quase todos os parâmetros analisados não apresentam uma distribuição normal; assim, a utilização das médias tornou-se inviável e a discussão será feita com base nas medianas.

Com o objetivo de verificar se houve diferenças nas medianas dos parâmetros analisados, comparando os diferentes apicuns, foi procedido o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Para os parâmetros cujo p-valor foi menor que 5% (<0,05) pode-se afirmar que há diferenças entre, pelo menos, dois apicuns.

Tabela 5.1 - Estatística descritiva de comparação das variáveis analisadas (parâmetros físico-químicos) em sedimentos de apicuns entre os municípios; p-valor para o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis; L.D. = limite de detecção do método

Variável (L.D.)		VC (n=13)	SB (n=12)	JP (n=13)	MD (n=11)	p-valor
Salinidade (0 psu)	$\bar{x} \pm \sigma$	100 ± 0	84,75 ± 17,01	100 ± 0	93,73 ± 13,33	0,0002
	md	100,00	93,00	100,00	100,00	
	c.v.%	0,00	20,08	0,00	14,23	
Areia grossa (0,03 µm g ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	106,78 ± 36,68	63,87 ± 26,15	170,95 ± 71,91	17,18 ± 7,32	0,0001
	md	108,90	66,00	182,70	19,00	
	c.v.%	34,36	40,94	42,07	42,58	
Areia média (0,03 µm g ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	358,28 ± 87,52	136,35 ± 105,07	237,64 ± 102,09	122,34 ± 65,19	0,0084
	md	343,90	135,90	225,60	107,00	
	c.v.%	24,43	77,06	42,96	53,29	
Areia fina (0,03 µm g ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	288,97 ± 69,95	254,08 ± 148,75	324,02 ± 66,27	288,89 ± 152,47	0,6460
	md	275,10	325,00	347,80	322,30	
	c.v.%	24,21	58,55	20,45	52,78	
Areia muito fina (0,03 µm g ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	117,90 ± 59,07	204,70 ± 88,94	192,79 ± 93,30	239,52 ± 79,30	0,0053
	md	117,10	224,95	158,50	232,20	
	c.v.%	50,10	43,45	48,40	33,11	
Silte (0,03 µm g ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	118,52 ± 50,31	311,87 ± 272,81	71,54 ± 33,22	268,05 ± 170,39	0,0003
	md	115,70	219,70	74,80	211,90	
	c.v.%	42,45	87,47	46,44	63,56	
Argila (0,03 µm g ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	9,55 ± 14,54	29,12 ± 44,69	3,06 ± 5,98	64,01 ± 148,89	0,0737
	md	0,00	8,90	0,00	15,40	
	c.v.%	152,28	153,49	195,39	232,61	
pH	$\bar{x} \pm \sigma$	6,09 ± 0,49	5,68 ± 0,52	5,10 ± 1,20	6,06 ± 0,40	0,0340
	md	6,22	5,40	4,93	5,95	
	c.v.%	8,11	9,23	23,60	6,66	
COT (0,04 %)	$\bar{x} \pm \sigma$	0,79 ± 0,84	0,10 ± 0,18	0,44 ± 0,61	< 0,04	0,0036
	md	0,51	< 0,04	0,22	< 0,04	
	c.v.%	105,79	187,31	138,73	0,00	
N (0,10 %)	$\bar{x} \pm \sigma$	0,07 ± 0,04	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,0342
	md	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	
	c.v.%	57,14	0,00	0,00	0,00	
P (0,02 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	43,31 18,90	122,32 95,39	7,24 6,25	11,28 9,18	0,0002
	md	43,52	112,03	4,98	7,44	
	c.v.%	43,64	77,98	86,39	81,38	
S (0,05 %)	$\bar{x} \pm \sigma$	0,78 ± 0,80	0,37 ± 0,55	0,24 ± 0,32	0,08 ± 0,07	0,0173
	md	0,62	0,12	0,05	0,05	
	c.v.%	102,58598	149,38043	129,6077	89,75311	

Elaboração: a autora.

Tabela 5.2 - Estatística descritiva de comparação das variáveis analisadas (metais) em sedimentos de apicuns entre os municípios; p-valor para o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis; L.D. = limite de detecção do método

Variável (L.D.)		VC (n=13)	SB (n=12)	JP (n=13)	MD (n=11)	p-valor
Al (250 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	8283,23 ± 4145,80	16205,00 ± 11140,81	4932,15 ± 2603,13	16356,00 ± 9279,54	0,0014
	md	6875,00	13013,00	4437,00	16940,00	
	c.v.%	50,05	68,75	52,78	56,73	
Ca (250 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	9815,23 ± 13568,67	7176,67 ± 11682,85	425,38 ± 506,93	278,00 ± 107,69	0,0010
	md	4435,00	1850,00	290,00	270,00	
	c.v.%	138,24	162,79	119,17	38,74	
Cr (2,5 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	14,71 ± 8,63	26,32 ± 19,80	7,15 ± 4,12	18,44 ± 10,44	0,0037
	md	16,00	24	6,5	19	
	c.v.%	58,69996	75,25055	57,67429	56,65292	
Cu (2,5 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	< 2,5	8,89 ± 10,34	< 2,5	7,05 ± 6,24	0,0054
	md	< 2,5	7,00	< 2,5	3,30	
	c.v.%	0,00	116,85	0,00	88,54	
Fe (5,0 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	5419,23 ± 2381,22	7150,00 ± 2988,46	2413,85 ± 1002,99	6720,91 ± 2748,62	0,0002
	md	5150,00	8525,00	2550,00	5530,00	
	c.v.%	43,94	41,80	41,55	40,90	
K (250 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	1167,69 ± 367,18	2455,42 ± 2120,81	688,46 ± 156,83	2836,36 ± 2024,24	0,0644
	md	1200,00	1625,00	650,00	1850,00	
	c.v.%	31,44	86,37	22,78	71,37	
Mg (250 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	2988,46 ± 850,77	5960,00 ± 2941,67	1625,38 ± 243,33	2823,64 ± 714,96	0,0009
	md	2900,00	5975,00	1550,00	2730,00	
	c.v.%	28,47	49,36	14,97	25,32	
Mn (5,0 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	34,23 ± 20,15	88,33 ± 72,44	9,33 ± 5,41	12,60 ± 5,63	0,0005
	md	30,00	64,50	7,00	9,60	
	c.v.%	58,86	82,01	58,00	44,71	
Na (500 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	10280,77 ± 3063,05	10150,00 ± 5467,71	7694,61 ± 1155,73	8416,36 ± 1281,81	0,2140
	md	10000,00	9350,00	7450,00	8630,00	
	c.v.%	29,79	53,87	15,02	15,23	
Ni (2,5 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	< 2,5	12,18 ± 13,59	< 2,5	3,68 ± 3,63	0,0010
	md	< 2,5	8,80	< 2,5	< 2,5	
	c.v.%	61,58	111,58	0,00	98,80	
Zn (2,5 mg kg ⁻¹)	$\bar{x} \pm \sigma$	7,02 ± 4,13	23,52 ± 19,39	11,54 ± 34,12	12,06 ± 4,76	0,0001
	md	5,50	20,00	< 2,5	11,00	
	c.v.%	58,78	82,46	295,72	39,46	

Elaboração: a autora.

Dez dos 12 parâmetros físico-químicos analisados apresentaram diferença significativa entre os apicuns.

O c.v. para salinidade apresentou baixo valor (<50%), indicando que se trata de um ambiente homogêneo, apresentando baixa dispersão. Essa variável, em Saubara e Madre de Deus, apresentou valores inferiores a 100, entretanto bem maiores que os encontrados nos manguezais da região, podendo variar de 0,5 a 30 (FIORAVANTI, 2011). Em Vera Cruz e JP os valores estão acima de 100. Deve-se considerar a limitação do equipamento, que tinha como graduação de determinação o nível máximo 100, não sendo possível diferenciar os pontos que eram muito maiores que 100 dos que eram ligeiramente maiores que 100. Ainda assim, foram obtidos valores bastante elevados.

Segundo Marius (1985), os apicuns são formados através dos ciclos de inundação e secagem em relação à entrada de água do mar, que culminam em aumento de salinidade. Este regime de inundação, juntamente com alta taxa de evaporação e baixas taxas de precipitação provoca a formação dos solos hipersalinos (RIDD; STIEGLITZ, 2002), que frequentemente podem chegar a apresentar crostas de sal (LEBIGRE, 2007; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Como a coleta foi realizada em uma única campanha, não foi avaliada a oscilação de salinidade, mas outros autores já evidenciaram a existência dessa oscilação entre estação seca e chuvosa, no litoral sergipano e baiano (NASCIMENTO, 1999; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008).

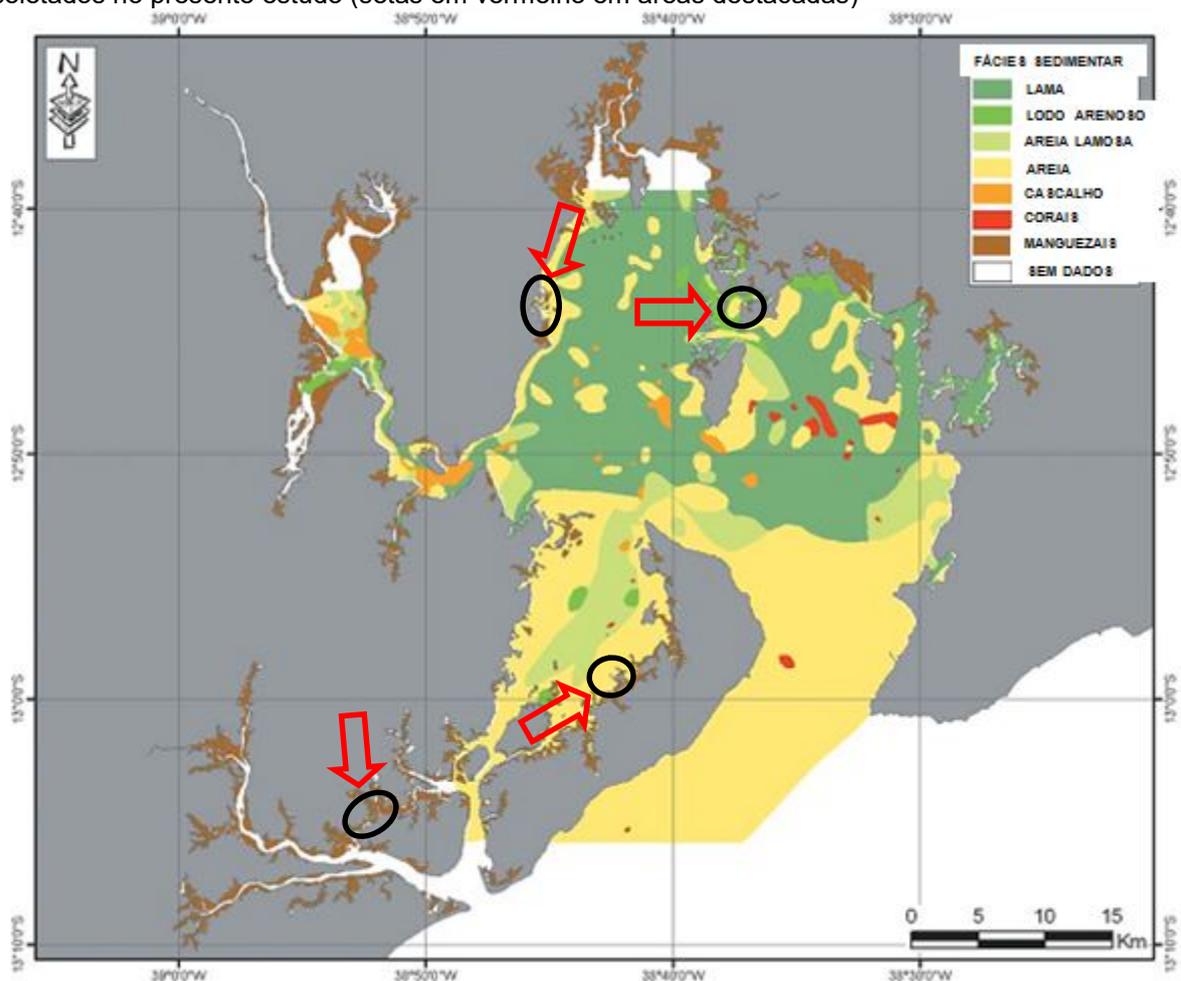
Quanto à granulometria, os apicuns são arenosos. Os apicuns de JP e VC apresentaram uma granulometria mais grosseira (maiores quantidades de areia grossa e média) que os de MD e SB (maiores quantidades de areia muito fina, bem como silte). Notou-se que os pontos que apresentaram altos valores de c.v. indicam alta dispersão, podendo ocorrer variações de granulometria ao longo dos perfis ou do transecto. Em um trabalho realizado nos mesmos municípios estudados, Hadlich (2008) inferiu que a granulometria diferenciou as estações de coleta, sendo JP a estação de coleta com maior proporção de areia (grossa + fina) e que, de maneira geral, a granulometria nos apicuns, aparentemente, possui relação direta com o material de origem das encostas próximas.

O teor relativamente elevado de areia em apicuns brasileiros pode também estar relacionado com a evolução da costa durante o período Quaternário. Alguns estudos sugerem que, durante a evolução das planícies costeiras do Brasil, áreas de menor altitude, como as planícies ribeirinhas, foram cobertas com depósitos de areia do Pleistoceno e foram posteriormente reformuladas durante uma transgressão subsequente (VILAS-BOAS; SAMPAIO; PEREIRA, 2001; MEIRELES; RAVENTOS, 2002). O material sedimentar formando os apicuns é predominantemente areia, exceto areia grossa. No entanto, as frações de areia de quartzo e compostos feldspatos podem ter origens diferentes dos

sedimentos depositados pelos processos acima mencionados (ALBUQUERQUE et al., 2013).

Os resultados de granulometria do presente estudo também são concordantes com Cirano e Lessa (2007), que apresentam a distribuição da granulometria dos sedimentos na BTS (figura 5.8), mostrando que a areia da baía é de origem marinha, enquanto que dentro do canal de Itaparica e ao longo da margem da baía ocidental é originada pela erosão dos depósitos de arenito. A lama ocorre predominantemente na metade norte da baía afetada pela drenagem de rochas sedimentares de grão fino. O cascalho é frequentemente observado no delta fluvial do Rio Paraguaçu e ao longo do Canal do Paraguaçu, onde provavelmente está associado à exposição de depósitos fluviais de baixa altitude. Destaca-se JP, onde quase todas as amostras são arenosas. Segundo análises estatísticas (teste para diferenciação de médias), a granulometria é um dos principais fatores que diferencia as estações de coleta.

Figura 5.8 – Distribuição de fácies superficiais de sedimentos na BTS, com a localização dos pontos coletados no presente estudo (setas em vermelho em áreas destacadas)



Fonte: adaptado pela autora a partir de Cirano; Lessa (2007).

O pH nos apicuns é ligeiramente ácido, sendo observados valores médios variando entre 4,9 e 6,2 (mais baixos em JP e SB, e mais altos em VC e MD) nos municípios estudados, mas os valores de pH se encontram na faixa que define os apicuns. Existe baixa dispersão (c.v. <50%), indicando que tem pouca variação ao longo do perfil, sendo um ambiente mais homogêneo. Apesar de se tratar de valores próximos, o teste de diferenciação de médias, com base no p-valor (<0,05), indicou que existe diferença significativa entre as médias dos elementos analisados para cada município.

Para esta variável, também foi observado valores mais altos em camadas intermediárias nas diversas estações, o que pode ser explicado pela presença de conchas na composição dos sedimentos dessas camadas. Esse fato também foi observado através da concentração de cálcio (Ca), que apresentou valores mais altos nas camadas que visualmente foram identificadas presença de conchas/fragmentos de conchas.

Outros autores também observaram essa presença de restos de conchas de ostras de em camadas mais profundas de apicuns (NASCIMENTO, 1999; HADLICH et al., 2010) e raízes preservadas de mangue, e atribuem esse fato a expansão e regressão dinâmica entre as florestas de mangue e apicuns (NASCIMENTO, 1999; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; MARCHAND et al., 2011; ALBUQUEQUE et al., 2013).

Apesar dos valores geralmente baixos (média de 0,79 para VC, 0,10 para SB, 0,44 para JP e 0,02 para MD), a matéria orgânica (carbono orgânico – COT) apresentou alta dispersão (c.v. > 50%) e p-valor < 0,05. Esses dados mostram que existe diferença estatística entre os apicuns estudados. Este fato provavelmente é associado ao aumento do COT nas camadas profundas, principalmente quando é alcançado o nível que apresenta uma coloração mais escura (foi possível observar este fato em campo), com materiais orgânicos em decomposição, como pedaços de troncos e raízes que correspondem ao antigo manguezal soterrado. O regime de água nesses ambientes é caracterizado por saturação de água periodicamente e, portanto, condições hidromórficas. Em resposta ao encharcamento, apicuns são propensos à decomposição anaeróbica da matéria orgânica (MARCHAND et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Alguns autores relataram que, em alguns casos, os primeiros milímetros de algumas planícies de maré são caracterizados por um teor mais elevado de matéria orgânica do que nas camadas subsequentes. As concentrações mais elevadas nas camadas superficiais são provavelmente devido à biomassa de microalgas encontradas como uma estrutura laminada, conhecida como tapetes microbianos (HUERTA-DÍAZ et al., 2011; MARCHAND et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2013). Esse fenômeno não é observado nos apicuns, pois a salinidade elevada não permite, em sua maior parte, a colonização dos mesmos por algas ou outros vegetais.

No Brasil, essas antigas florestas de mangue estão localizadas em posição fisiográfica superior (devido a processos de transgressão) e provavelmente foram deslocadas pela restrição de inundações das marés e níveis do mar mais baixos que ocorreram durante o último período de regressão (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010). Esta última regressão também seria responsável pela produção de sedimentos, presentes em várias feições geomorfológicas (por exemplo, dunas e planícies fluviomarinhas (TOMAZELLI et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Já o Nitrogênio (N) apresentou valores abaixo do limite de detecção do método em três dos quatro apicuns estudados (JP, MD e SB), apesar do teste apresentar diferença entre eles. O que pode ser observado é que, assim como COT, os valores de N são menores em apicum do que manguezais (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010). Nos apicuns a elevada salinidade atua como forte dispersante, a ausência de vegetação contribui para as baixas concentrações de COT e de N (BOAVENURA et al., 2011). O COT e N aumentam do apicum em direção ao manguezal, onde o acréscimo de material de origem vegetal é maior devido à presença de mangue, já a granulometria diminui (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; MARCHAND et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2013).

O fósforo (P), por sua vez, apresentou maiores valores em Saubara e Vera Cruz, e os menores em JP, sendo essa diferença de até uma ordem de grandeza entre esses municípios. O c.v. é alto (> 50%), indicando alta dispersão, que pode indicar fontes pontuais de poluição. Observou-se em campo que em SB e em VC há ocupações urbanas sobre os apicuns (figura 5.9 e 5.10), com a presença de lixo doméstico (antrópico) e esgotos lançados sobre esses ambientes, o que pode ser fator de aumento do P nesses apicuns.

Figura 5.9 – Ocupação urbana sobre os apicuns de SB



Foto: a autora.

Figura 5.10 – Presença de lixo de origem antrópica no apicum estudado VC



Foto: G. M. Hadlich (2016).

As principais fontes de impactos ambientais em diversos locais da BTS (como rio Paraguaçu, rio Subaé e rio Jaguaripe) estão relacionadas às atividades desenvolvidas na região: econômicas (como a agricultura, que promove o aterro de manguezais e o uso indiscriminado de pesticidas e corretivos); urbanas (a disposição inadequada de esgotos sanitários e resíduos sólidos, que são lançados diretamente nos afluentes da BTS); e industriais (através do lançamento de resíduos sólidos sem tratamento adequado, que podem acarretar na contaminação do ambiente com substâncias tóxicas) (CRA, 2004).

Os valores médios para o enxofre (S) foram maiores em VC, seguido de SB, JP e MD. Esta variável apresentou uma elevada dispersão, com diferenças entre os apicuns (p -valor $< 0,05$). O alto c.v. pode ser indicativo de uma variação vertical das concentrações de enxofre, que tendem a aumentar em profundidade, devido às condições anóxicas. O aumento dos valores junto com a profundidade mostra um comportamento de mudança de ambiente oxidante, na interface água – sedimento, ou amostra – sedimento para um menos oxidante. Isto é geralmente atribuído a bactérias redutoras de sulfato, comuns em ambientes que contêm pouco oxigênio, e que, através do seu metabolismo, aumentam a concentração de enxofre nos sedimentos (COSTA et al., 2008). Em diferentes regiões, os apicuns podem apresentar variações em relação à presença de vegetação ou à quantidade de enxofre e acidificação no horizonte superficial (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008). Os valores de concentração para enxofre encontrados nesse estudo se mostraram concordantes com a literatura (COSTA et al., 2008; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008).

Na tabela 5.2, quase todos os parâmetros apresentaram c.v $> 50\%$; portanto a análise foi feita com base nos valores de mediana. Cádmio (Cd), Cobalto (Co) e Chumbo

(Pb) foram analisados, mas seus valores ficaram abaixo do limite de detecção do método ($\text{Cd} < 1,0 \text{ mg Kg}^{-1}$; $\text{Co} < 2,5 \text{ mg Kg}^{-1}$; $\text{Pb} < 5 \text{ mg Kg}^{-1}$). Para a quase totalidade dos outros parâmetros, há diferença entre os apicuns estudados (exceto para Na e K).

SB, principalmente, e MD apresentam valores geralmente mais elevados de metais, seguidos por VC. JP apresenta os menores valores, inclusive com valores abaixo do LD para Cu, Ni, e Zn. Esse fato pode estar relacionado à granulometria, pois existe uma estreita relação entre a concentração de metais, o teor de matéria orgânica e granulometria fina presente no sedimento (SANCHES FILHO; PEIL, 2015). Portanto, a concentração de alguns metais é maior onde a presença de argila e silte é maior que nas outras estações. É importante destacar que, apesar de as concentrações de metais em SB serem superiores às aquelas encontradas nos outros apicuns estudados, os valores são muito inferiores aos encontrados em diferentes manguezais na BTS, analisados por Otero et al. (2008b).

Para o potássio não houve diferença estatística entre os apicuns, entretanto, há um c.v. elevado, indicando a não homogeneidade no perfil.

O ferro apresentou valores bastante elevados em todos os apicuns, quando comparados com outros elementos, porém, os valores maiores também foram encontrados em SB e MD (segundo lugar). Essa alta concentração pode ser explicada devido à origem do aporte de sedimentos dos apicuns serem de origem continental (através da erosão das encostas) (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008). Em apicuns, a redução do ferro (Fe^{3+}) através de bactérias faz com que se desenvolva uma coloração cinza ou neutra (com ou sem manchas). Estas cores quando evidenciadas no sedimento são típicas de ambientes em redução. A sulfetização também pode ocorrer em resposta a condições anóxicas causadas por níveis de água mais elevados em combinação com de entrada de sulfatos pela água do mar, de ferro das águas subterrâneas e superficiais, bem como com a presença de matéria orgânica existente (a partir de mangue antigos soterrados). A sulfetização é importante nos apicuns, apesar de ocorrer com menor intensidade em comparação com outras zonas húmidas que são submetidas a constantes inundações (MARCHAND et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2013). Esse processo também é responsável pela diminuição marcada no pH (OTERO et al., 2008a). A maior variação de ambientes oxidado-anóxico nos apicuns favorece a concentração de Fe (evidenciando coloração mosqueada das camadas mais profundas), que é levemente superior ao dos manguezais.

A exposição e a sensibilidade de espécies de mangue e de marisma, bem como dos ecossistemas dos quais fazem parte, os tornam extremamente vulneráveis e potenciais indicadores ambientais de mudanças de nível do mar e outras respostas às variações do clima. Entretanto, a interpretação de mudanças em manguezais e marismas e em seus atributos sistêmicos deve ser meticulosa, considerando assinatura energética, regime de distúrbios e pressões ambientais em cada local de estudo. A zona costeira deve ser alvo de

medidas antecipatórias para redução de riscos por quaisquer impactos, uma vez que nela há intensa convergência de processos sociais e ecológicos. Os ecossistemas dessa zona devem ser integrados em estratégias de adaptação (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016).

5.4 CONCLUSÕES

Os apicuns na BTS são arenosos, com predomínio de areia média, fina e muito fina, sendo que na porção norte da Baía a granulometria é menos grosseira que na porção mais ao sul. E esta distribuição da granulometria possivelmente afeta a distribuição de metais, pois, quanto menor a granulometria, maior a capacidade de adsorção dos metais. Porém, como existe diferença significativa mesmo entre os apicuns de granulometria mais semelhante, possivelmente outros fatores também contribuem para essa distribuição mais heterogênea dos elementos químicos metálicos. Nos trabalhos realizados em campo foi constatada a presença de troncos e raízes de manguezal mortos soterrados em alguns apicuns, o que colabora para sua diferenciação nos parâmetros geoquímicos analisados. A presença de conchas de moluscos e/ou material orgânico de manguezais soterrados aumenta os valores de Ca e COT na média das amostras de cada apicum. Além disso, há, em geral, grande variação dentro de cada apicum, o que pode decorrer de atividades antrópicas.

A hipersalinidade impede o desenvolvimento vegetal nos apicuns, o que tem reflexo sobre as baixas quantidades de metal orgânico e nitrogênio nesses ambientes.

Considerando que as características de apicuns estão subordinadas à interação das condições topográficas, climáticas e oceanográficas, esta dinâmica gera variações na distribuição dos sais nos sedimentos, controlando a ocorrência da vegetação (ou não, no caso dos apicuns) e seu desenvolvimento bem como da distribuição e variação de parâmetros físico-químicos e metais.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Dificuldades conceituais implicam em problemas para mapeamentos, e.g. como diferenciar em alguns pontos apicuns de Madre de Deus e Vera Cruz. Em termos oceanográficos, um apicum é um banco arenoso hipersalino, localizado na planície supra-mareal, mas o que os diferencia de outras planícies hipersalinas é sua conotação ecológica de associação obrigatória com os manguezais. A hipersalinidade também o diferencia de outros ambientes supra-mareais. Durante o mapeamento realizado nesse estudo foi observado que alguns bancos arenosos inicialmente bordejados por manguezais foram cercados por estes, vindo a tornar-se apicuns inclusos. Contudo, existe a dificuldade em se obter dados pretéritos da salinidade nessas regiões (e. g. dados correspondentes aos anos das fotografias aéreas), mas tomou-se como princípio, para considerar como apicum, o fato de não existir canais de maré (pois estes últimos indicam passagem contínua de água, maior umidade e, conseqüentemente, menor salinidade).

O estudo realizado mostrou que, em uma mesma baía, localidades diversas podem apresentar comportamento evolutivo espacial dos apicuns diferenciado. Estatisticamente, as estações estudadas foram diferenciadas segundo diversos parâmetros. Por isso, não se pode tratar de apicuns como algo homogêneo, apesar do aspecto visual remeter a áreas predominantemente arenosas e sem vegetação.

Além das componentes, de influência natural, já citadas, alguns fatores de origem antrópica também são apontados como importantes na evolução dos apicuns, como alterações na circulação hídrica estuarina, drenagens, dragagens do leito dos rios próximos aos manguezais e apicuns, ou subsidência de áreas devido à exploração de óleo e gás, ou ainda modificações locais devido à construção de estradas e aterros ou outros.

Alguns autores ainda sugerem a possibilidade de utilizar apicuns como indicadores de variações do nível do mar. Para isso, existe a necessidade de um estudo mais intenso desses ambientes, devendo haver monitoramento contínuo e integrado.

REFERENCIAS

- ACKERMANN, G.; ALEXANDRE, F.; ANDRIEU, J.; MERING, C.; OLLIVIER, C. Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur la petite cote et dans de delta du Sine-Saloum (Sénégal). **Vertigo**, v. 7, n. 2, p. 1-18. 2006.
- ADAM, P. Saltmarshes in a time of change. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 1, p.39-61. 2002.
- ALBUQUERQUE, A. FREITAS, E. MOURA-FÉ, M. M. BARBOSA, W. A proteção dos ecossistemas de manguezal pela legislação ambiental brasileira. **GEOgraphia**, v. 17, n, 33, p. 126-153. 2015.
- ALBUQUERQUE, A. G. B. M.; FERREIRA, T. O.; CABRAL, R. L.; NÓBREGA, G. N.; ROMERO, R. E.; MEIRELES, A. J. A.; OTERO, X. L.; Hypersaline tidal flats (apicum ecosystems): the weak link in the tropical wetlands chain. **National Research Council Research Press**, Canadá, v. 22, p. 99-109. 2013.
- ASSUMPÇÃO, H. C. P. ; HADLICH, G. M. . Diferenciação de ambientes através da espacialização de dados físico-químicos na região de Madre de Deus, Ba. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana: UEFS, 2011. v. 1. p. 380-383.
- ASSUMPÇÃO, H. C. P. ; HADLICH, G. M. ; UCHA, J. M. . Distribuição espacial de metais traço no município de Madre de Deus, Bahia. **Cadernos de Geociencias (UFBA)**, v. 8, p. 71-81, 2011.
- ASSUMPÇÃO, H. C. P.; UCHA, J. M. ; HADLICH, G. M. . Uso da krigagem para variáveis ambientais no município de Madre de Deus - Ba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. v. 1. p. 6636-6642.
- ASTM. **Annual book of ASTM standards 1996**. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 1996. (Designation: D 5258 92 Reapproved 1996).
- ATTIA, O.E.A. Sedimentological characteristics and geochemical evolution of Nabq sabkaha, Gulf of Aqaba, Sinai, Egypt. **Arabian Journal of Geosciences**. v. 6, p. 2045–2059. 2011.
- BECEK, K.; IBRAHIM, K.; DARUSSALAM, B. On the Positional Accuracy of the GoogleEarth Imagery. TS05I - Spatial Information Processing Ipaper no. 4947. **Bridging the Gap between Cultures Marrakech**, Morocco, p. 18-22. May 2011.
- BIGARELLA, J. J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Jubilee Volume (1946-2001), 2001, p. 65-110. (Artigo original: Boletim Geográfico, 1947, n. 55, p. 747-779).
- BOAVENTURA, S. F. **Distribuição de metais traço em superfície no município de Madre de Deus, Bahia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- BOAVENTURA, S.F. ; HADLICH, G. M. ; CELINO, J. J. . Índices de contaminação de metais traço em encostas, manguezais e apicuns, Madre de Deus, Bahia. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 30, p. 631-639, 2011.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Comissão de Meio ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Diagnóstico sobre os impactos da Carcinicultura (cultura de crustáceos em viveiros) no Meio Ambiente, nas Regiões Norte e Nordeste**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2005a. (Relatório final).

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2o do art. 4o da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de biodiversidade e florestas. Diretoria de áreas protegidas. **Recomendação CNZU nº 1, de 17 de novembro de 2005**. Recomendação Comitê Nacional de Zonas Úmidas – CNZU. 2005b.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução (CONAMA) nº 312 de 10 de outubro de 2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

CAMARGO, L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; PANITZ, I. M. N. Caracterização e classificação do manguezal do Rio Ratoles, através de técnicas de sensoriamento remoto e do sistema geográfico de informações (SIG). Ilha de Santa Catarina, Brasil. In: International Conference Mangrove 2000 (Recife, 2000). **Anais...** Recife, 2000. CD-rom.

CELINO, J. J.; CORSEUIL, H. X.; TRIGÜIS, J. A.; FERNANDES, M. VALORES ORIENTADORES PARA HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS EM ÁGUA E SEDIMENTOS DE MANGUEZAIS NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS. In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J.. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. 1 ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, v. 1, p. 59-72.

CIRANO M.; LESSA G.C. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 25, n. 4, p. 363–387, 2007.

CHURCH, J. A., GREGORY, J. M.; WHITE, N. J.; PLATTEN, S. M.; MITROVICA, J. X. 2011: Understanding and projecting sea level change. **Oceanography**, v. 24, p. 130–143.

CHURCH, J. A.; CLARK, P. U.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J. M.; JEVREJEVA, S.; LEVERMANN, A.; MERRIFIELD, M. A.; MILNE, G. A.; NEREM, R. S.; NUNN, P. D.; PAYNE, A. J.; PFEFFER, W. T.; STAMMER, D.; UNNIKRISSHANN, A. S. Sea Level Change. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

COELHO JUNIOR, C.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Considerações teóricas e práticas sobre o impacto da carcinicultura nos ecossistemas costeiros brasileiros, com ênfase no ecossistema manguezal. In: INTERNATIONAL CONFERENCE MANGROVE 2000 (Recife, 2000). **Anais...** Recife, 2000. CD-rom.

COSTA, A. B.; ZUCCHI, M. R.; AZEVEDO, A. E. G.; SANTOS, V. L. C. S.; BLOISE, A. C.; AZEVEDO, E. R.; BONAGAMBA, T. J. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SEDIMENTOS DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS. In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J.. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos,**

geofísicos e biológicos. 1 ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, v. 1, p. 173-187.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. Carcinicultura em apicum no litoral do Piauí: uma análise com sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (Belo Horizonte, 2003). **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p. 1541-1548.

DALE, P.; KNIGHT, J.; BREITFUSS, M.; RADKE, L; ROGERS, K. **Saltmarsh and saltflat areas**. OzCoast – Information about Australia’s estuaries and coasts. 2007. Disponível em: <http://www.ozcoasts.org.au/indicators/changes_saltmarsh_area.jsp> Acesso em: 05 nov. 2016.

DUKE, N. Australia’s mangroves. **The authoritative guide to australia’s mangrove plants**. Brisbane: University of Queensland, 2006. 200 p.

EMBRAPA. **A integração Google Earth-SIG- servidor de mapas e o monitoramento ambiental**. 2012. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/953711/1/circ183.pdf>>, Acesso em: 10 jan. 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2. ed. Rio de Janeiro. 1999. 418 p.

FALCÃO, B. A. **Geoquímica de sedimentos da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

FIORAVANTI, K. L.; CELINO, J. J.; ROSSI-ALVA, J. C. Isolamento, seleção e identificação de microrganismos degradadores de petróleo e seus derivados em sedimentos de manguezais contaminados. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, p. 130-141, 2009.

FIORAVANTI, K. L. **Seleção de consórcios microbianos de sedimentos de manguezais com potencial de degradação de hidrocarbonetos de petróleo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

FIRMO, A.M.S.; TOGNELLA, M.M.P.; SILVA, S.R.; BARBOZA, R.R.R.D.; ALVES, R.R.N. 2012. Capture and commercialization of blue land crabs (“guaiamum”) *Cardisomaguanhumi* (Latreille, 1825) along the coast of Bahia State, Brazil: na ethnoecological approach. **Journal Ethnobiol Ethnomedicine**, v. 8, p. 12. doi:10.1186/1746-4269-8-12

GARCIA, K. S. **Estudos biogeoquímicos em folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

GUADAGMIN, D. L. **Diagnóstico da situação e ações prioritárias para a conservação da zona costeira da Região Sul Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, 1999. (Relatório de Atividades de Consultoria Técnica Individual. Programa Nacional da Diversidade Biológica Pronabio. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira Probio. Subprojeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha).

HADLICH, G. M. **Mapeamento e caracterização de apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia**. Salvador, 2008. (Relatório técnico final. Processo CNPq nº 483733/2006-7).

HADLICH, G. M.; OLIVEIRA, T. L. de; YAMAGUCHI, F. Y.; UCHA, J. M. Utilização de imagem CBERS e do programa Spring para identificação de manguezais na área norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007, Florianópolis. **Anais....** São José dos Campos: INPE, 2007. v. 1. p. 925-927.

HADLICH, G. M.; GARCIA, K. S.; ANDRADE, C. L. N.; UCHA, J. M. Estrutura da Vegetação na transição apicum – manguezal e indicações de alterações ambientais. **Cadernos de Geociências**, v. 12, n. 1-2, p. 69-76. maio-nov. 2015.

HADLICH, G. M.; CELINO, J. J.; UCHA, J. M. Diferenciação físico-química entre apicuns, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 29, p. 633-641, 2010.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M. Apicuns: aspectos gerais, evolução recente e mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, p. 13-20, 2009.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; OLIVEIRA, T. L. de. Distribuição de apicuns e de manguezais na Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. 2009, Natal, RN. **Anais...** São José dos Campos: MCT/INPE, 2009. v. 1. p. 4607- 4614.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; CELINO, J. J. Apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia: distribuição espacial, descrição e caracterização física e química. In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. 1ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, v. 1, p. 59-72.

HATJE, V.; ANDRADE, J. B. (Org.). **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: EDUFBA, 2009. 304 p.

HATJE, V.; BARROS, F. Overview of the 20th century impact of trace metal contamination in the estuaries of Todos os Santos Bay: Past, present and future scenarios. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, p. 2603-2614, 2012.

HUERTA-DÍAZ, M.A., DELGADILLO-HINOJOSA, F., OTERO, X.L., SEGOVIA-ZAVALA, J.A., MARTIN HERNANDEZ-AYON, J., GALINDO-BECT, M.S.; AMARO-FRANCO, E. 2011. Iron and Trace Metals in Microbial Mats and Underlying Sediments: Results From Guerrero Negro Saltern, Baja California Sur, Mexico. **Aquatic Geochemistry Journal**, v. 17, n. 4–5, p. 603–628.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Banco de Dados**. 2010. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_estatisticos/censo_2010/mapa_municipal_estatistico/. Acesso em: 10 nov. 2015.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Balanco hídrico climático**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

JESUS, R. S.; HADLICH, G. M. Análise multitemporal de apicuns em Madre de Deus e Saubara, Bahia. 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, RN. **Anais....** São José dos Campos: MCT/INPE, 2009. v. 1. p. 5881-5886.

JESUS, R. S. **Apicuns: evolução recente e importância social em Madre de Deus e em Saubara, Bahia.** 2008. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

JESUS, R. S. **Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliensis* (Gmelin, 1791), municípios de Madre de Deus e de Saubara, Bahia.** 2011. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

LEÃO, C. S.; QUEIROZ, A. F. S.; CELINO, J.J.; HADLICH, G. M. **METAIS TRAÇO NO ECOSISTEMA MANGUEZAL DA BAÍA DE ARATU.** In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos.** 1 ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, v. 1, p. 233-245.

LEBIGRE, J-M. Les marais à mangrove et les tannes. **Futura Sciences**, 2007. Disponível em: <http://www.futurasciences.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p1/>. Acesso em: 29 jun. 2015.

LIMA, C. C. U. O neotectonismo na costa do Sudeste e do Nordeste brasileiro. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 15, p. 91-102. 2000.

LIMA, C. C. U.; VILAS BOAS, G. S. Morphotectonic analysis in the Barreiras Group, south coast of the state of Bahia, based on the square over radar image approach. **Revista Ciência e Natura**, v. extra, Edição Especial, p. 101-115, 2004.

LOPES, E. E. **Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas.** 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LOPES, E. E.; NOGUEIRA, R. E. **Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 2308. São José dos Campos: INPE, 2011.

LOVELOCK, C. E.; ELLISON, J .C. Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the great barrier reef to climate change. In: JOHNSON, J.E., MARSHALL, P.A. (Eds.). **Climate change and the great barrier reef: a vulnerability assessment.** Australia: Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, 2007. p. 237–269.

MACIEL, N. C. Alguns aspectos da ecologia do manguezal. In: CPRH. **Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste.** Recife: Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos, 1991. p. 9-37. (Série Publicações Técnicas, n. 003).

MARCHAND, C.; LALLIER-VERGÈS, E.; ALLENBACH, M. 2011. Redox conditions and heavy metals distribution in mangrove forests receiving effluents from shrimp farms (Teremba Bay, New Caledonia). **Journal of Soils Sediments.** v. 11, p. 529–541.

MARIUS, C. **Mangroves du Senegal et de la Gambie: ecologie pédologie géochimie, mise en valeur et aménagement.** Paris: ORSTOM, 1985 (Collection Travaux et Documents, 193).

MEIRELES, A. J. A. **Análise dos impactos ambientais originados pelas atividades de carcinicultura na área de influência direta da comunidade indígena Tremembé Distrito de Almofala Itarema/CE.** Fortaleza: UFC, 2004. 38 p. (Parecer Técnico).

MEIRELES, A.J.A., RAVENTOS, J.S.I. 2002. Um modelo geomorfológico integrado para a planície costeira de Jericoacoara/Ceará. **Mercator**, v. 1, p. 79–94.

NASCIMENTO, M. R. L.; MOZETO, A. A. Reference values for metals and metalloids concentrations in bottom sediments of Tietê River Basin, Southeast of Brazil. **Soil and Sediment Contamination, Londres**, v. 17, n. 3, p. 269-278, 2008.

NASCIMENTO, S. A. Estudo da importância do "apicum" para o ecossistema manguezal. Aracaju: ADEMA, 1999. In Relatório Técnico Preliminar. **Edited by Governo do Estado do Sergipe**, Sergipe, Brazil.

NEUE, H.U.; GAUNT, J.L.; WANG, Z.P.; BECKER-HEIDMANN, P.; QUIJANO, C. 1997. Carbon in tropical wetlands. **Geoderma**, v. 79, p. 163–185.

OLIVEIRA, A.; BESSA, C. N.; MOREIRA, I. C. de N. Aquicultura estuarina no Estado do Maranhão. In: INTERNATIONAL CONFERENCE MANGROVE 2000 (Recife, 2000). **Anais... Recife, 2000a**. CD-rom.

OLIVEIRA, V. F. **Influência do estresse hídrico e salino na germinação de propágulos de *Avicennia schaueriana* Stapf e *Leechman ex Moldenke* e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.** Dissertação (Mestrado em Botânica). Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, V. F.; SOARES, M. L. G.; PELLEGRINI, J. A. C.; SILVA JR., C. M. G.; CHAVES, F. O.; CORRÊA, F. M. Dinâmica de comunidade de *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa* na interface manguezal/planície hipersalina (Guaratiba RJ). In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 5. **Anais... São Paulo: ACIESP**, v.2, p. 255-261. 2000b.

OTERO, O. M. F.; BARBOSA, R. M.; QUEIROZ, A. F. S.; CASTRO, A. M.; MACÊDO, B. L. F. VALORES DE REFERÊNCIA PARA METAIS TRAÇO NOS SEDIMENTOS DE MANGUEZAIS DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS. 2008b. In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, v. 1, p. 101-114.

OTERO, X.L., FERREIRA, T.O., HUERTA-DÍAZ, M.A., PARTITI, C.S.M., SOUZA, V., VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. 2008a. Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Cananeia -SP, Brazil). **Geoderma**, v. 148, p. 318–335.

PAREDES-HERNÁNDEZ, C. U.; SALINAS-CASTILLO, W. E.; GUEVARA-CORTINA, F.; MARTÍNEZ-BECERRA, X. Horizontal Positional Accuracy of Google Earth's Imagery over rural areas: A Study Case In Tamaulipas, Mexico. 2013. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, n. 4, p. 588-601, out-dez, 2013. In: BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170.

PASCOAL JUNIOR, P. S.; DAMASCENA, L. S.; LIMA, C. C. U. **Avaliação multitemporal da dinâmica de uso e ocupação do solo nas imediações do estuário da RESEX Marinha Baía do Iguape: realidade e perspectivas para o gerenciamento**. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguacu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

PELLEGRINI, J. A. C. **Caracterização da planície hipersalina (apicum) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, RJ**. São Paulo, 2000. 114 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2000.

PROST, M. T. (Coord.) **Manguezais paraenses: recursos naturais, usos sociais e indicadores para a sustentabilidade.** Belém: MCT/Museu Paraense Emilio Goeldi, SECTAM, 2001. 62 p. + mapas. (Relatório Final, FUNTEC Convênio 063/98 - Programa de Estudos Costeiros, PEC).

QUEIROZ, A. F. S., CELINO, J. J. Manguezais e ecossistemas estuarinos da Baía de Todos os Santos. In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J.. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos.** 1 ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, v. 1, p. 39-58.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** 2016, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, URL <https://www.R-project.org/>.

RAMSAR 1971. **The Ramsar convention on wetlands.** Gland. Suíça: Ramsar Convention Secretariat, s.d. Disponível em: < <http://www.ramsar.org/>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

RIDD, P.V.; STIEGLITZ, T. 2002. Dry Season Salinity Changes in Arid Estuaries Fringed by Mangroves and Saltflats. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, p. 1039–1049.

ROVAI, A.S.; MENGHINI, R.P.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON, G., COELHO-JR, C. 2012. Protecting Brazil's Coastal Wetlands. **Society of Chemical Industry Chemistry & Industry Magazine**, v. 335, p. 1571–1572.

SAINTILAN, N.; WILLIAMS, R. J. Mangrove transgression into a saltmarsh environments in South-east Australia. **Global ecology and biogeography**. v. 8, p. 117-124. 1999.

SANTOS, H. F.; CARMO, F. L.; PAES, J. E. S.; ROSADO, A. S.; PEIXOTO, R. S. Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 216, p. 329-350, 2010.

SANTOS, M. C. F. V. Apicuns, Salgados e Manguezais e a ideologização do debate sobre a carcinicultura marinha brasileira. **Revista da ABCC**, v. 4, ano 7, 2005.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum.** São Paulo, 1999. 119 p. (Programa Nacional da Diversidade Biológica – Pronabio. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – Probio. Subprojeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha.).

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar.** São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. 64 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. **Publicação Especial do Instituto Oceanográfico**, S. Paulo, v. 7, p. 1-16, 1989.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. SORIANO-SIERRA, E. J.; VALE, C. C.; BERNINI, E.; ROVAI, A. S.; PINHEIRO, M. A. A.; SCHMIDT, A. J.; ALMEIDA, R.; COELHO JUNIOR, C.; MENGHINI, R. P.; MARTINEZ, D. I.; ABUCHAHLA, G. M. O.; CUNHA-LIGNON, M.; CHARLIER-SARUBO, S.; SHIRAZAWA-FREITAS, J.; CINTRON-MOLERO, G. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64 (sp2), p. 37-52, 2016.

SCHMIDT, A. J.; BEMVENUTI, C. E.; DIELE, K. Sobre a definição da zona de apicum e sua importância ecológica para populações de caranguejo-uçá *Ucides cordatus*. **Boletim Técnico Científico**, CEPENE, Tamandaré – PE, v. 19, n. 1, p. 9-25, 2013.

SILVA, L. A.; NAZARENO, N. R. X. **Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a imagem da cidade de Goiânia**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Natal, Brasil, 25 - 30 abril 2009, INPE p. 1723 – 1730.

SILVA, M. P. C.; SANTOS, E. O.; NASCIMENTO, S. P. G.; CHAVES, A. M. S; OLIVEIRA, T. A. B. **Estudo dos Impactos Ambientais da Zona Costeira de Saubara – BA**. 2016. In: XI SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileira. Maringá, PR.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C. 2008. Geomorfologia e potencial de preservação dos campos de dunas transgressivos de Cidreira e Itapeva, litoral Norte do Rio Grande do Sul, **Brasil Revista Pesquisas Geociências**, v. 35, n. 2, p. 47–55.

UCHA, J. M.; SANTANA, P. S. S.; BARRETO, E. do N.; VILAS-BOAS, G. da S.; GOMES, A. S. R. Estudos preliminares sobre a gênese dos apicuns no Estado da Bahia. In: International Conference Mangrove 2003 (Salvador, 2003). **Anais...** Salvador: UFBA, 2003. CD-rom.

UCHA, J. M.; SANTANA, P. S.; GOMES, A. S. R.; BARRETO, E. do N.; VILAS-BOAS, G. da S.; RIBEIRO, L.P. Apicum: gênese nos campos arenosos e degradação dos manguezais em dois municípios baianos. **E.T.C. Educação, Tecnologia e Cultura**, v. 3, n. 2,. p. 26 - 27. 2004.

UCHA, J. M.; HADLICH, G. M.; CELINO, J. J. Apicum: transição entre solos de encostas e de manguezais. **E.T.C. Educação, Tecnologia e Cultura**, v. 5, p. 58 - 63, 2008.

VILAS-BOAS, G.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. 2001. The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 3, n. 73, p. 417 – 427.

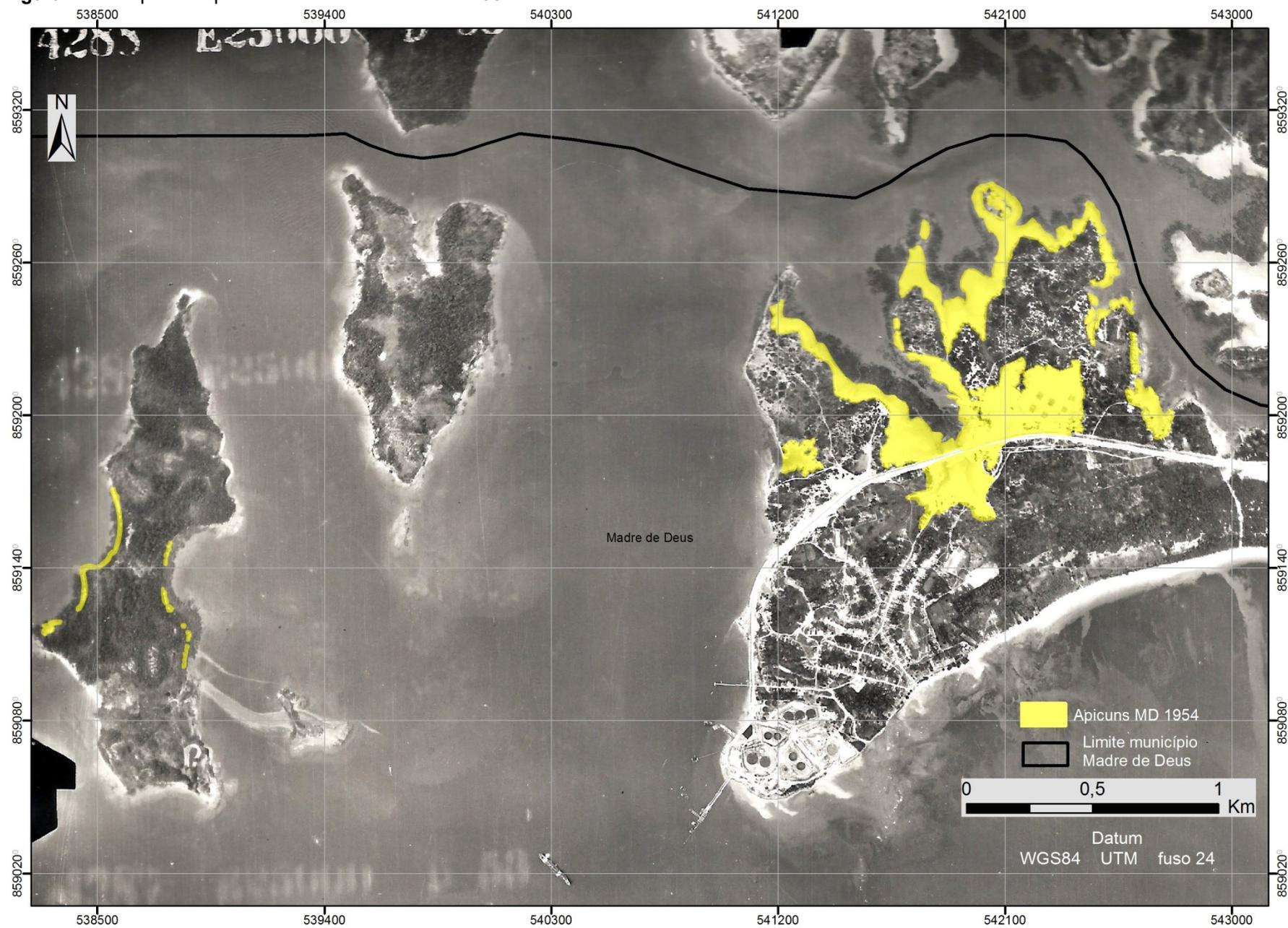
WANDERLEY, L. de L.; MAGALHÃES, M. J. M. de. Mapeamento digital da aptidão da carcinicultura no litoral sul de Sergipe com uso de fotografias aéreas e imagens de satélite. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (2, Aracaju, SE, 2004). In: **Anais...**, Sergipe: 2004. 4 p.

WANG, J.Q.; ZHANG, X.D.; JIANG, L.F.; BERTNESS, M.D.; FANG, C.M.; CHEN, J.K.; HARA, T.; LI, B. Bioturbation of Burrowing Crabs Promotes Sediment Turnover and Carbon and Nitrogen Movements in an Estuarine Salt Marsh. **Ecosystems**, v. 13, p. 586 – 599. 2010.

YUAN, H.; SONG, J.; LI, X.; DUAN, L. Distribution and contamination of heavy metals in surface sediments of the South Yellow Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, p. 2151-2159, 2012.

APÊNDICE A

Figura A1 – Mapa dos apicuns de Madre de Deus em 1954



Elaboração: a autora.

APÊNDICE B

Metodologias detalhadas das análises laboratoriais

B.1 PRÉ-PREPARO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

As amostras coletadas e acondicionadas em sacos plásticos foram congeladas e liofilizadas (L101-LIOTOP), permanecendo no liofilizador de quatro a cinco dias, até que se tivesse certeza de que estavam completamente secas.

Após secarem, essas amostras foram desagregadas (apertando as amostras com os dedos) com o devido cuidado para não interferir no tamanho dos grãos (e não inserir erros na análise granulométrica posteriormente) e peneiradas em malha 2 mm.

O quarteamento das amostras foi realizado antes da liofilização, e uma parte foi guardada congelada.

B.2 ANÁLISES REALIZADAS

Durante o presente estudo, foram realizadas as seguintes análises: salinidade, pH, granulometria, fósforo assimilável (P), carbono orgânico total (COT), nitrogênio (N), enxofre (S) e metais. Seguem as descrições dos procedimentos analíticos:

- a) **salinidade:** De cada amostra bruta (sem qualquer processamento) foram adicionados, em tubos de falcon, cerca de 20 gramas do sedimento úmido. Os tubos de falcon foram levados à centrifuga por 15 minutos a 3000 RPM. Após essa etapa, foi retirado o sobrenadante de cada amostra e feita a determinação através do refratômetro de mão (Atago, modelo S/Mill-E), que possui graduação máxima de leitura igual a 100;
- b) **pH:** foram pesados 10 g de cada amostra seca e pré-processada, adicionados 25 mL de água destilada. Em seguida mexeu-se com bastão de vidro por 30 segundos e aguardou-se por 1 hora. Após o descanso, iniciou-se a medida com sonda, através do mergulho dos eletrodos na suspensão homogeneizada para a determinação do pH. Foi utilizado o pHmetro Horiba D-54, previamente calibrado (EMBRAPA, 1999);
- c) **granulometria:** pesou-se 1 g de amostra pré-processada e transferiu-se para uma peneira de 500 μm , a fração retida foi pesada novamente e anotado o resultado. As amostras peneiradas então foram

transferidas para tubos de ensaio, com o auxílio de um funil de plástico. A esses tubos foi adicionado peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hexametáfosfato de sódio $[(NaPO_3)_6]$, ambos à concentração de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A determinação da granulometria foi realizada em um analisador de partículas com difração a laser (marca Particle Size Analyzer, modelo Cilas 1064), e os dados foram processados no programa SISGRAN; método Difração a laser;

- d) **P- assimilável:** pesou-se 0,4 g de amostra pré-processada em tubo Falcon graduado de 50 mL, adicionou-se HCl (ácido clorídrico) a 10 %. Em seguida as amostras foram levadas para a mesa agitadora, permanecendo por 16 horas. As amostras foram, então, colocadas na centrífuga por 15 minutos a 3000 RPM. Retirou-se uma alíquota de 1 mL do sobrenadante de cada amostra, adicionando-se a cada uma 0,8 mL da solução ácida de molibdato + tartarato, 10 mL de água deionizada e 0,2 mL de ácido ascórbico 25 mg L^{-1} ; misturou-se os reagentes e as amostras ficaram em repouso por 10 minutos. Em seguida foi feita a determinação de P no espectrofotômetro marca Agilent Technologies, modelo Cary 60 UV-Vis em 880 nm; método LEPETRO 023 (Aspila, 1976; Grasshoff, 1983);
- e) **descarbonatação para determinação de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N):** em barca porosa devidamente numerada, foi adicionada 1 g de amostra pré-processada e peneirada previamente em peneira de 80 mesh. As barcas foram posicionadas em uma canaleta para adicionar a cada barca 1 mL por vez de HCl, esperando cessar a reação e/ou escorrer toda a solução. Esse processo foi repetido quantas vezes fossem necessárias, até que o pH das amostras chegassem a 3. Quando o pH das amostras chegou a 3, iniciou-se o processo de lavagem das amostras com água destilada quente (80°C), adicionando a água às barcas e aguardando escorrer. Esse processo foi feito diversas vezes, até que o teste de cloretos (com nitrato de prata) não apresentasse mais reação. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa a 80°C por 2 horas, transferidas para o dissecador por 30 min e pesadas em balanças semi-analíticas. Essa etapa também foi repetida algumas vezes, até o conjunto barca + amostra apresentar peso constante. A determinação foi feita em um analisador elementar de partículas; método EPA-NCE-C1282/2002;

- f) **enxofre:** Em barca porosa devidamente numerada, foi adicionada 1 g de amostra pré-processada e peneirada previamente em peneira de 80 mesh. As barcas foram levadas ao analisador elementar, para determinação através do método LECO;
- g) **digestão parcial em HNO₃ para determinação de metais:** foi pesado 1 g de cada amostra e colocado em tubo digestor; adicionou-se 5 mL da solução de ácido nítrico concentrado (HNO₃ 65% P.A). As amostras foram homogeneizadas e ficaram na capela por 30 minutos para que a pré-digestão ocorresse. Os tubos foram lacrados e levados ao forno de micro-ondas (marca CEM, modelo MARS 6) conforme programa: 1ª fase, em média dez minutos em rampa de temperatura de 180°C, 2ª fase 1 minuto com potência de 1300 W, 3ª fase 10 minutos com potência decrescente até o equipamento ser desligado. Após esfriar essa amostras foram filtradas em filtro de papel e diluídas com água mili-Q até que chegassem ao volume final de 50 mL. A solução final de cada lote de amostra foi encaminhada para fazer a determinação dos metais no ICP-MS, método SM-3120B (EMBRAPA,1999).