



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

MATHEUS LEITE MASSARI

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO EM
PERFIS DE SEDIMENTO ESTUARINO DO RIO PARNAÍBA - PI, NORDESTE DO
BRASIL**

FORTALEZA
2018

MATHEUS LEITE MASSARI

DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO EM
PERFIS DE SEDIMENTO ESTUARINO DO RIO PARNAÍBA - PI, NORDESTE DO
BRASIL

Monografia apresentada ao curso de bacharelado em Oceanografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a conclusão do curso e a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profa. Dra. Rozane Valente Marins.

Coorientadora: Mariany Sousa Cavalcante.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M369d Massari, Matheus Leite.

DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO EM PERFIS DE SEDIMENTO ESTUARINO DO RIO PARNAÍBA - PI, NORDESTE DO BRASIL / Matheus Leite Massari. – 2018. 47 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2018. Orientação: Profa. Dra. Rozane Valente Marins. Coorientação: Profa. Ma. Mariany de Sousa Cavalcante.

1. Nutrientes. 2. Carbono. 3. Nitrogênio. 4. Fósforo. 5. Testemunho. I. Título.
CDD 551.46

MATHEUS LEITE MASSARI

DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO EM
PERFIS DE SEDIMENTO ESTUARINO DO RIO PARNAÍBA - PI, NORDESTE DO
BRASIL

Monografia apresentada ao curso de bacharelado em Oceanografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a conclusão do curso e a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Rozane Valente Marins (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Isabel Cristina de Souza Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mariany Sousa Cavalcante, MSC
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

À prof^a. Dr^a. Rozane Valente Marins, pelo exemplo de prestatividade, segurança e ótima orientação;

À toda equipe do Laboratório de Biogeoquímica Costeira, que sempre se mostrou solícita e prestativa, servindo de grande exemplo profissional e pessoal;

À co-orientadora e doutoranda Mariany Sousa Cavalcante, pela paciência, dedicação e tempo empenhados;

Aos colegas Raísa Siqueira, Ingra Belmino, Agda Raquel, Thais, Victor e Nielton, por toda a ajuda e aprendizado dedicados a este trabalho;

Aos professores participantes da banca examinadora;

Ao PIBIC, pelo suporte financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio;

Aos meus amigos conterrâneos ludovicenses, Caetano, Caio e Arthur, por sempre me apoiarem e compartilharem das mesmas ambições e convicções;

À minha família, por inculcar em mim os valores de que mais me orgulho, especialmente à sua matriarca, minha avó Heloísa Moreira Lima Leite e minha mãe, Regina Lúcia Moreira Lima Leite, não só pelo grande exemplo de caráter e retidão, mas pelos ensinamentos e apoio diários;

RESUMO

Os impactos humanos nos ciclos biogeoquímicos globais têm sido amplamente estudados. Efeitos como mudanças climáticas, perda e degradação de ecossistemas e o aumento das emissões de efluentes nos sistemas aquáticos estão se tornando progressivamente o foco de esforços de gestão para prevenir danos ambientais. O Delta do Rio Parnaíba é o maior delta de mar aberto das Américas, com uma importância ecológica única para a conservação da vida selvagem e recursos pesqueiros. No entanto, ainda pouco se sabe sobre a biogeoquímica desse ecossistema. Este estudo objetiva a avaliação de teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e fósforo total (P-Total) em perfis sedimentares e amostras superficiais do estuário do rio Parnaíba-NE. Para tal, foram coletados 4 perfis ao longo do baixo estuário do Rio Parnaíba, a coleta foi realizada com tubos de PVC de 5 centímetros de diâmetro e altura variável, gerando dois perfis de 30 centímetros, um de 45 e um de 80, sendo realizadas análises de 5 em 5 centímetros. O carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total apresentaram concentrações que variaram de 1968 a 2559 u.ug^{-1} de NT, 0,36% a 3,77% de COT e 548 a 889 ug.g^{-1} de P-total no perfil 1 (P1); 1073 a 2358 u.ug^{-1} de NT, 3,64% a 5,59% de COT e 200 a 534 ug.g^{-1} de P-total no perfil 2 (P2); 1386 a 1875 u.ug^{-1} de NT e 4,07% a 5,41% de COT e 470 a 665 ug.g^{-1} de P-total perfil 3 (P3) e 240 a 1210 u.ug^{-1} de NT e 3,96% a 5,8% de COT e 48 a 142 ug.g^{-1} de P-total no perfil 4 (P4). Tendo em vista a baixa urbanização e desenvolvimento industrial incipiente na bacia do Rio Parnaíba, os valores encontrados aproximam-se de um rio tropical ainda pouco impactado quando comparado a outros rios tropicais próximos a grandes metrópoles, como o Rio Jaguaribe (CE) e Capibaribe (PE). A partir da relação C:N, foi determinado que os mangues constituem-se no principal aporte de matéria orgânica (MO) pedogênica para o Delta do Parnaíba. Tais dados são importantes para a caracterização do Rio Parnaíba em um estado inicial de influência antrópica, possibilitando a avaliação e o monitoramento de futuras variações desses teores e, possivelmente, da composição da matéria orgânica natural, diante de um cenário de mudanças regionais e globais nos ciclos biogeoquímicos em estuários tropicais.

Palavras-chave: Nutrientes, Testemunho, Carbono, Nitrogênio e Fósforo

ABSTRACT

Human impacts on global biogeochemical cycles have been widely studied, effects such as climate change, ecosystem loss and degradation, and increased effluent emissions in aquatic systems are progressively becoming the focus of management efforts to prevent environmental damage. The Parnaíba River Delta is the largest open sea delta in the Americas, with unique ecological importance for wildlife conservation and fishing resources. However, little is known about the biogeochemistry of this ecosystem. This study aims to evaluate total organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in sedimentary profiles and surface samples of the Parnaíba-NE estuary. For this purpose, 4 profiles were collected along the lower estuary of the Parnaíba River. The samples were collected with PVC tubes of 5 cm diameter and variable height, generating two profiles of 30 cm and two profiles of 45 cm, which have been sectioned in every 5 centimeters and finally analyzed. Total organic carbon (TOC), total nitrogen (NT), and total phosphorus (P-Total) presented concentrations ranging from 1968 to 2559 u.ug^{-1} of NT, 0.36% to 3.77% of TOC and 548 to 889 u.ug^{-1} of P-total in profile 1 (P1); 1073 to 2358 u.ug^{-1} NT, 3.64% to 5.59% COT E 200 to 534 u.ug^{-1} of P-total in profile 2 (P2); 1386 to 1875 u.ug^{-1} NT and 4.07% to 5.41% TOC and 470 to 665 u.ug^{-1} of P-total profile 3 (P3) and 240 to 1210 u.ug^{-1} NT and 3.96% to 5.8% of COT and 48 to 142 u.ug^{-1} of P-total in profile 4 (P4). Given the low urbanization and incipient industrial development in the Parnaíba River basin, the values found are closer to a tropical river still not very impacted when compared to other tropical rivers near large metropolises such as the Rio Jaguaribe and Capibaribe. From the C:N ratio, it was determined that mangroves are the main contributors to the contribution of organic matter (OM) to the Parnaíba Delta. These data are important to characterize the Parnaíba River in an initial state of anthropic influence, making it possible to evaluate and monitor future variations in these levels in the face of a scenario of regional and global changes in the natural organic matter biogeochemical cycles in tropical estuaries.

Key words: Nutrients, Core, Carbon, Nitrogen and Phosphorus

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico representativo dos tipos de solo na bacia do Parnaíba.....	18
Figura 2 - Pontos de amostragem.	20
Figura 3 - Percentual de finos no perfil 1, localizado abaixo da Ilha das Canárias.	27
Figura 4 - Percentual de finos no perfil 2, localizado entre as ilhas de Banacoa e Manguinho.	27
Figura 5 - Percentual de finos no perfil 3, próximo à extremidade inferior ocidental da Ilha das Canárias.	28
Figura 6 – percentual de finos no perfil 4, localizado nas margens deposicionais de um pequeno canal de maré situado próximo à foz oriental do Rio Parnaíba.	28
Figura 7- Distribuição vertical de carbono nos perfis de testemunho sedimentar do Delta do Parnaíba (PI).	30
Figura 8 – Distribuição vertical de nitrogênio nos perfis de testemunho sedimentar do Delta do Parnaíba (PI).	32
Figura 9 – Distribuição vertical de fósforo nos perfis de testemunho sedimentar do Delta do Parnaíba (PI).	34
Figura 10 – Distribuição vertical da razão C:N nos perfis sedimentares do Delta do Parnaíba (PI).	37
Figura 11 – Distribuição vertical da razão C:P nos perfis sedimentares do Delta do Parnaíba (PI).	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Feições geomorfológicas e solos associados na região da APA do Delta do Parnaíba, adaptado a partir de IBAMA (1996).	19
Tabela 2 - Altura dos perfis sedimentares coletados no Delta do Parnaíba (PI).	21
Tabela 3- Variação de COT em diversos sedimentos em diferentes partes do mundo, adaptação a partir de Abreu (2004).	30
Tabela 4 – Variação de NT em diversos sedimentos em diferentes partes do mundo, adaptação a partir de Abreu (2004).	32
Tabela 5 – Variação de P-total em diversos sedimentos em diferentes partes do mundo, adaptação a partir de Abreu. (2004).	35
Tabela 6 – Variação C:N em diversos perfis sedimentares em diferentes partes do mundo....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Razões C:N:P	14
1.2 Ambientes estuarinos como reservatórios de carbono	16
2 OBJETIVOS GERAIS	16
2.1 Objetivos específicos	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 Área de Estudo	17
3.2 Coleta dos testemunhos	21
3.3 Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)	22
3.4 Determinação do Nitrogênio Total (NT)	24
3.5 Determinação de Fósforo Total	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Granulometria dos perfis de sedimentos	26
4.2 Distribuição de carbono orgânico total (COT) em perfis sedimentares do Delta do Parnaíba	29
4.3 Distribuição de nitrogênio total (NT) em perfis sedimentares do Delta do Parnaíba	31
4.4 Distribuição de fósforo total em perfis sedimentares do Delta do Parnaíba	33
4.5 Razões C:N em perfis de sedimentos do Delta do Parnaíba	35
4.6 Razão molar C:P em perfis de sedimentos do Delta do Parnaíba	39
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O delta do Parnaíba é um dos maiores deltas de mar aberto do mundo, sendo o único das américas e o terceiro maior do mundo, perdendo apenas em tamanho para o delta do rio Mekong, no Vietnã e Nilo, na África. Está inserido em uma região hidrográfica de evidente importância socioeconômica no nordeste brasileiro, considerada pela Agência Nacional das Águas (ANA) a segunda bacia mais importante do nordeste. Abrange os estados do Ceará, Piauí e Maranhão, entre as coordenadas 02°21'S e 11°06'S de latitude e 47°21'W e 39°44'W de longitude, com uma área total de 331.441 km², sendo a maior parte no Piauí, seguida pelo Maranhão e Ceará (MMA, 2006).

Os deltas são ambientes tipicamente ligados a planícies de inundação, estando intimamente associados aos manguezais e marismas, o que lhes confere grande produtividade biológica e, conseqüentemente, alta fertilidade, configurando um importante ambiente de conservação ambiental. Os mangues constituem o ecossistema mais expressivo do delta do Rio Parnaíba, e são considerados tradicionalmente como refúgio de espécies aquáticas em período reprodutivo, devido à disponibilidade de nutrientes e alimentos, que também podem contribuir para a produtividade do ambiente marinho (MMA, 2006).

Por ser um ambiente estuarino, possui grande importância nos ciclos biogeoquímicos de vários elementos químicos, sobretudo do carbono, que está sujeito a variações de fluxo que respondem a pressões antrópicas, como as que ocorrem no estuário do Rio Jaguaribe, e são descritas por Zocatelli *et al.* (2007): erosão e lixiviação da matéria vegetal, que decorrem do déficit sedimentar ocasionado pelas barragens, e rejeitos da carcinicultura, fornecendo aporte principalmente de Nitrogênio.

A crescente urbanização e demanda humana por recursos faz com que a ocupação e o manejo dos solos nas bacias hidrográficas intensifiquem-se, ameaçando sobretudo os ambientes estuarinos, pois, com o aumento da descarga de nutrientes e maiores taxas de sedimentação ocasionadas pela erosão e lixiviação oriundas de obras de barragem e agricultura, os estuários tornam-se fontes cada vez maiores de CO₂ para a atmosfera, em resposta ao aumento da respiração da matéria orgânica (BOONE; BHOMIA, 2017; KAUFFMAN *et al.*, 2018).

A ocupação do solo além de causar alterações de natureza física por meio de barragens, diminuindo as taxas de sedimentação à jusante (WALLING, 2007), modifica o aporte de nutrientes para a bacia através de atividades como a agropecuária e a carcinicultura, na medida em que tais atividades têm potencial para superar o aporte natural destes nutrientes em várias ordens de grandeza para áreas circundantes, intensificando a eutrofização dos ambientes estuarinos (DE PAULA *et al.*, 2015).

Em relatório feito pela Chesf em 2003, são listadas oito barragens ao longo das 4 sub-bacias do Parnaíba. A maior é a barragem de Boa Esperança, que se situa no município de Balsas no Alto Parnaíba, com capacidade de 5.083 milhões de m³, drenando uma área de 87.500 km², mantendo a vazão do rio a 66% de sua capacidade original na bacia de contribuição (MMA, 2006).

No Baixo Parnaíba, a aquicultura e carcinicultura encontram-se em expansão (MESQUITA; BARRETO, 2009), e como visto em trabalhos realizados por De Paula F. *et al.* 2015 e Kauffman *et al.*, 2018 tais atividades têm grande impacto sobre os ecossistemas costeiros, causando efeitos deletérios por aumento excessivo de descarga de nutrientes para as águas adjacentes.

Apesar da bacia hidrográfica do Parnaíba ser considerada uma região com desenvolvimento urbano e industrial incipiente, estimativas utilizando fatores de emissão apontam que a antrópica já supera as naturais em aproximadamente 4,8 vezes para o nitrogênio e 10,2 vezes para o fósforo na região hidrográfica do rio Parnaíba (DE PAULA *et al.*, 2015).

Em relação ao carbono em ambientes preservados, sua principal fonte é a entrada de matéria orgânica natural (MON) para a bacia de drenagem, e pode ser suprida por fontes alóctones, ou seja, produzidas nos sistemas terrestres, ou autóctones, geradas a partir da atividade biológica no ambiente aquoso (ABREU, 2004).

Não há estimativas das entradas de carbono para o rio Parnaíba, entretanto, os estudos iniciais feitos na região por De Paula Filho *et al.* 2015 e Borges, 2017 apontam que as emissões de N e P são da ordem de 339 kg N km⁻²ano⁻¹ e 204 kg P km⁻²ano⁻¹, caracterizando-o como um rio eutrófico, com áreas mesotróficas a supereutrólicas.

Avaliar a deposição sedimentar permite estimar a capacidade de retenção e sua variabilidade temporal ao longo do Delta do Parnaíba em tempos recentes. A deposição sedimentar em ambientes naturais é dependente de fatores climáticos que afetam a hidroquímica e hidrodinâmica, bem como a natureza dos solos.

Porém, a atividade humana tem grande impacto sobre as taxas de deposição à medida que constrói barragens e obras que modificam a dinâmica natural do solo, a exemplo da barragem de Sobradinho, construída em 1978 no Rio São Francisco, e que, segundo Walling (2006), foi responsável por uma redução de cerca de 80% na produção anual de sedimento a jusante.

Por outro lado, o uso do solo pelo agronegócio, que na bacia hidrográfica do Parnaíba apresenta crescimento progressivo, tem como resultado o aumento do aporte sedimentar em direção ao rio em virtude da denudação do solo.

Assim, determinar a variabilidade das deposições sedimentares ao longo de perfis de testemunho sedimentar é uma ferramenta que pode permitir avaliar o histórico da retenção de sedimentos em tempos recentes, bem como caracterizar, por meio de medidas elementares de C, N e P, a composição da matéria orgânica depositada para, potencialmente, analisar as alterações ocorridas no ambiente estuarino do Delta do Parnaíba.

1.1 Razões C:N:P

O teor da MON presente no sedimento é composto fundamentalmente por estruturas húmicas criadas em conjunto pela decomposição química e ação sintética de microorganismos sobre restos de plantas e animais (DE AGUIAR; GOMES; SÁ FREIRE, 2012).

Segundo Brussaard (1994), o termo MON refere-se, de maneira geral, a qualquer composto orgânico que possui, frequentemente, grande peso molecular e apresenta, primordialmente, os elementos C, H, N, O, P e S em sua composição, variando em proporções estequiométricas de acordo com o estado de decomposição.

Ainda segundo o mesmo autor, os fatores que determinam a taxa de decomposição da MO são essencialmente três: presença de organismos no sedimento, estado físico-químico do ambiente e a qualidade da MON.

Tal qualidade varia consideravelmente entre os diferentes tipos de sedimentos encontrados na natureza, e a decomposição cadenciada da matéria orgânica tem um importante papel nas relações estequiométricas entre as frações elementares dos nutrientes, portanto, para que se conheça a natureza da MON presente nos sedimentos é relevante conhecer as suas prováveis fontes (ABREU, 2004).

As razões estequiométricas entre carbono, nitrogênio e fósforo foram primeiro descritas no fitoplâncton por Redfield em 1934, ao determinar empiricamente as razões molares elementares de C:N:P no fitoplâncton, achando valores de 106 moles:16 moles:1 mol. Naturalmente, há variações estequiométricas referentes às diferentes espécies de fitoplâncton, e um levantamento revisado feito por Allmon *et al.* (2014) nos dão razões de 117:14:1. Segundo Meyers *et al.* (1993) a razão entre C e N é considerada um importante marcador para indicação das fontes de MO em ecossistemas estuarinos.

Estudos conduzidos por Fourqurean *et al.* (1992) mostram as variações destas relações em diversas espécies de macrófitas marinhas, encontrando valores médios de 25:1 para C:N – variando de 7:1 a 37:1, e 596:1 para C:P – variando de 197:1 a 1396:1.

Tal estudo fez um levantamento comparativo entre 29 espécies, verificando-se uma tênue variação intra-específica, em geral, correlacionada com a disponibilidade de nutrientes

no ambiente original destas espécies, bem como inter-específica, correlacionada com a quantidade de compostos orgânicos ricos em carbono em suas estruturas, como a lignina e celulose.

Apesar destas variações, os valores têm sido considerados representativos e são extensivamente utilizados para traçar a MON em ambientes aquáticos cujas fontes principais são oriundas de macrófitas marinhas. A presença de lignina e celulose fornece aos vegetais superiores mais carbono em relação a nitrogênio em suas estruturas, tornando suas relações C:N maiores quando comparadas ao fitoplâncton.

Rao *et al.* (1994) encontrou razões C:N em folhas frescas de 9 espécies de manguezal na costa leste africana variando em torno da média de $45 \pm 4:1$, enquanto que as folhas senescentes apresentaram razões em torno de $124 \pm 12:1$.

Estudos feitos por Stein (1991) atribuem a sedimentos cuja MON é oriunda de plantas vasculares terrestres relações C:N superiores a 15:1. Enquanto que, no zooplâncton e fitoplâncton marinhos, encontrou valores próximos a 6 e, podendo aproximar-se a 10 em estados de decomposição mais avançados devido à preferência das bactérias por compostos nitrogenados (proteínas).

Flutuações nas proporções C/N estão sujeitas, principalmente, ao estado de decomposição do meio – devido à preferência da microbiota por N e P, tais elementos tendem a ser oxidados primeiro. Assim, ambientes em elevado estado de decomposição geralmente apresentam elevadas razões C/N, de maneira que ambientes anóxicos com sedimentos enriquecidos em carbono tendem a preservar a MON (DE AGUIAR; GOMES; SÁ FREIRE, 2012).

Entretanto, Andrews *et al.* (1998) atribuiu razões C:N a sedimentos estuarinos em torno de 15, e Huel *et al.* (2006) observou que pelitos tradicionalmente marinhos apresentam razões em torno de 10, enquanto Lerman (1979) atribuiu a sedimentos de ambientes dulcícolas uma razão ao redor de 30.

1.2 Ambientes estuarinos como reservatórios de carbono

Os ecossistemas estuarinos representam um importante compartimento no estoque de carbono ecossistêmico (BOONE; BHOMIA, 2017; BOONE KAUFFMAN *et al.*, 2018; DONATO *et al.*, 2011; KAUFFMAN *et al.*, 2018). No norte e nordeste brasileiros, assim como na maior partes das zonas costeiras tropicais e subtropicais, o mangue está presente como o bioma estuarino principal (DUKE; LO; SUN, 2002).

Devido às características hidrodinâmicas e baixas taxas de decomposição no ambiente subóxico dos mangues, a deposição sedimentar faz com que os manguezais sejam um dos maiores sumidouros de carbono dentre os ecossistemas terrestres, assumindo um papel chave na mitigação do aquecimento global (DONATO *et al.*, 2011).

Vários estudos têm sido recentemente desenvolvidos para avaliar a contribuição dos manguezais no processo de estocagem de carbono, demonstrando que tais ambientes apresentam estoques de carbono até 4 vezes maiores por unidade de área, sequestrando até 10 vezes mais carbono através do solo do que florestas tropicais (DONATO *et al.*, 2011; MCLEOD *et al.*, 2011).

A fragilidade do mangue em relação aos impactos causados sobretudo pela carcinicultura é evidenciada pelas emissões de carbono que ocorrem em regiões onde há carcinicultura, que equivalem a 182 anos de deposição, medida em unidade de massa por hectare/ano nestes perímetros (KAUFFMAN *et al.*, 2018).

Estes dados referem-se aos valores de carbono alusivos aos manguezais do nordeste brasileiro, sobretudo do estuário do Rio Acaraú, onde as médias de deposição sedimentar de carbono estão em torno de 413 ± 94 Mg C/ha, valor 50% inferior às médias globais, que são de 885 Mg C/ha (BOONE; BHOMIA, 2017).

Tais estudos corroboram para a necessidade de se levar em consideração a importância estratégica dos ambientes costeiros trópicais no combate ao aquecimento global, devendo ser levados em conta quando da elaboração de políticas de planejamento, uso e ocupação dos solos sobretudo nos manguezais e zonas adjacentes destas regiões, em que a importância econômica de curto-prazo das atividades humanas locais devem ser contrastadas com o potencial deletério de suas consequências a longo prazo em escala global.

2 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como premissa avaliar concentrações de C, N e P em quatro perfis que representam a deposição sedimentar em tempos recentes em regiões do Delta do Parnaíba,

bem como avaliar a capacidade de retenção de carbono por este sistema estuarino e identificar a importância da contribuição marinha, terrestre ou antrópica na qualidade da matéria orgânica, através de relações estatísticas entre C:N, C:P e N:P ao longo da história recente de deposição sedimentar no delta do Parnaíba.

2.1 Objetivos específicos

- Determinar a fração granulométrica de finos das secções dos perfis sedimentares;
- Analisar quantitativamente concentrações de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (P-Total);
- Qualificar a matéria orgânica depositada através das relações elementares entre C, N e P, e
- Determinar preliminarmente a capacidade de retenção de carbono ao longo do Delta do Parnaíba.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área estudada (Fig. 2) encontra-se inserida na APA do Delta do Parnaíba a noroeste da cidade de Parnaíba, na Ilha Grande, o acesso foi feito a partir do porto de Tatus via embarcação. A APA compreende uma área total de 313.906 ha, perfazendo um perímetro de 460.812 metros de extensão entre as coordenadas 02°21'S e 11°06'S de latitude e 47°21'W e 39°44'W de longitude, abrangendo também área marítima (IBAMA, 1998).

A partir da classificação Köeppen (1948), a região costeira que abrange o delta do Parnaíba se encaixa na categoria Aw, trópicos semi-úmido, com médias anuais que ultrapassam os 1200mm. As precipitações concentram-se de janeiro a maio, representando 80% do total pluviométrico anual, sendo mínimas de agosto a novembro, com condições de temperatura que variam de 25°C a 27°C anualmente (IBAMA, 1998; MMA, 2006).

Na figura 1 é possível visualizar os principais tipos de solo na região hidrográfica do Parnaíba, segundo levantamentos feitos por De Paula *et al.* (2015):

Figura 1 - Gráfico representativo dos tipos de solo na bacia do Parnaíba.



Fonte: De Paula Filho *et al.* (2015, com modificações)

Os sistemas climáticos que ditam a precipitação na região são a Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT), que atua durante o primeiro semestre na região costeira do nordeste brasileiro e as Linhas de Instabilidade Tropical (LIT) vindas da porção leste da Amazônia.

Fenômenos de ocorrência intermitente, como o “El Niño” e “La Niña” também têm importante efeito sobre a vazão dos rios no nordeste, aumentando-a ou diminuindo-a e, conseqüentemente, alterando as taxas deposicionais (MMA, 2006).

Segundo dados do IBGE (1996), a área da APA do Parnaíba é composta geomorfologicamente por planícies litorâneas, planícies lacustres e flúvio lacustres, planícies fluviais e tabuleiros com as respectivas associações de solos (Tabela 1).

Tabela 1- Feições geomorfológicas e solos associados na região da APA do Delta do Parnaíba, adaptado a partir de IBAMA (1996).

Feições Geomorfológicas	Solos Associados
Planície Litorânea	Areias quartzosas marinhas e continentais
Planícies Lacustres e Flúvio-lacustres	Solos misturados de mangues
Planícies Fluviais	Solos aluviais entróficos + planossolos solódicos + solonetz soldizados
Tabuleiros	Podzólicos vermelho amarelos distróficos + latossolos amarelos distróficos + podzólicos acinzentados distróficos

Fonte: IBAMA (1996, com modificações)

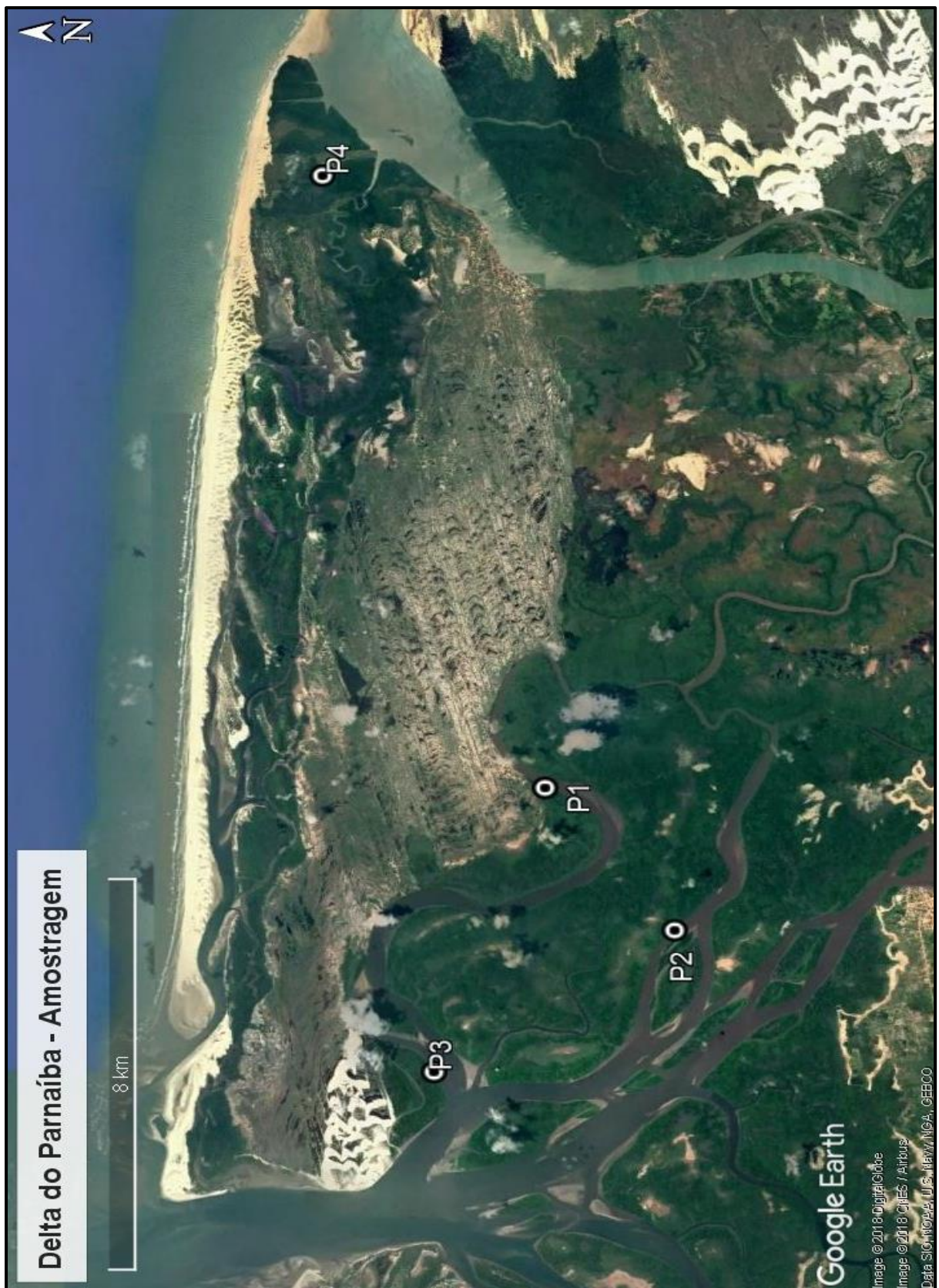
Segundo trabalhos do RAMBRASIL (1981) os elementos fitogeográficos da APA do delta do Parnaíba são:

- Vegetação pioneira psamófila;
- Vegetação subperenifólia;
- Manguezais;
- Mata ciliar de várzeas;
- Vegetação de tabuleiros.

A vegetação pioneira psamófila é presente nas áreas de alta praia, recobrando dunas semi-fixas e regiões inter-dunares, em geral representada por espécies rasteiras ou gramíneas-herbáceas. As espécies subperenifólias também estão presentes nas dunas e apresentam maior porte, já as arbóreas dominam as encostas de sotavento das dunas, a barlavento as espécies arbustivas são dominantes.

As planícies fluviais e lacustres são ocupadas por mata ciliar de várzeas, já a vegetação de tabuleiro abrange um complexo florístico que compreende espécies de matas, das caatingas, cerrados e cerradões, apresentando predominantemente porte arbustivo-árboreo.

Figura 2 - Pontos de amostragem.



Fonte: elaborado pelo autor, por meio da plataforma GoogleEarthPro.

Os pontos de amostragem estavam inseridos no ecossistema de manguezal, que é a cobertura vegetal típica de ambientes flúvio-marinhos; a vegetação circundante era muito densa e de grande porte, sobretudo nas ilhas que integram a região deltaica.

As espécies que compõem tais ecossistemas lançam raízes adventícias, que possuem portes de troncos e de ramos diversificados. As principais espécies encontradas na APA do Delta do Parnaíba são *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Conocarpus erectus* (IBAMA, 1998).

3.2 Coleta dos testemunhos

Os testemunhos foram coletados com a ajuda do equipamento *vibra corer*, os perfis P1, P2 e P3 foram coletados nas margens deposicionais do rio Parnaíba entre a Ilha das Canárias e Ilha do Banacoa/Manguinho, o ponto P4 foi coletado em um pequeno canal de maré próximo à foz situada a leste da Ilha Grande (fig. 2). As dimensões do tubo utilizado foram de 5cm de diâmetro por 1 metro de altura, a tabela abaixo contém o tamanho dos testemunhos:

Tabela 2 - Altura dos perfis sedimentares coletados no Delta do Parnaíba (PI).

P1	30 cm
P2	30 cm
P3	45 cm
P4	45 cm

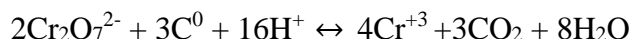
Fonte: elaborado pelo autor.

Os testemunhos foram seccionados em discos de 1 centímetro de espessura, isolados em sacolas de plástico devidamente identificadas, congelados e enviados ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira. Determinou-se que seriam analisados em secções de 5 centímetros, juntando-se, para tanto, as secções de 1 centímetro, de 5 em 5, em cápsulas de porcelana para prosseguir à secagem.

As amostras permaneceram por uma semana em estufa, para secagem, com temperatura de 60°C. Após, foram desagregadas utilizando pilão de porcelana, procedendo-se, em seguida, ao peneiramento para obtenção da fração fina (argila + silte, <0,062mm), a qual seria utilizada para realizar as análises de nutrientes, tendo em vista o objetivo de analisar-se a matéria orgânica natural. Todas as análises de nutrientes foram realizadas com a fração total do sedimento.

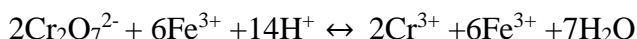
3.3 Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)

A determinação do carbono foi obtida segundo a metodologia adaptada de Yeomans & Bremner (1988), segundo a qual o C do sedimento é imerso em uma solução oxidante, pressupondo-se que todo o carbono no sedimento apresente-se em estado de oxidação zero (C⁰). Considera-se que a reação de oxidação seja:



Porém, somente a utilização do dicromato em meio ácido não é suficiente para oxidar completamente o carbono, e para maximizar a oxidação do carbono, utiliza-se uma fonte externa de calor (YEOMANS & BREMNER, 1988), assegurando-se que $\approx 100\%$ do carbono seja oxidado. Em seguida, é feita a dosagem colorimétrica do Cr⁺³ formado, por meio da titulação do dicromato (Cr⁶⁺) remanescente da oxidação.

A titulação do dicromato é realizada com uma solução reduzida de ferro (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂6H₂O) em meio ácido, utilizando-se a ferroína como indicador, segundo a reação:



Procedimento

Pesou-se aproximadamente 0,1g de sedimento e transferiu-se para tubos de digestão. Adicionou-se 5 mL da solução K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ com ajuda de uma pipeta volumétrica. Em seguida, acrescentou-se 7,6 mL de H₂SO₄ concentrado. Após o pré-aquecimento do bloco digestor até a temperatura de 170°C, os tubos foram colocados no bloco e mantidos nessa temperatura por 30 minutos, deixando-se esfriar por 15 minutos.

Após o resfriamento, transferiu-se quantitativamente o conteúdo de cada tubo para erlenmeyers de 250 mL, utilizando-se água destilada suficiente para um volume final de cerca de 80 mL.

Após a temperatura da solução atingir a temperatura ambiente, adicionou-se 3 mL da solução indicadora e titulou-se com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹. O ponto de viragem da titulação é nítido, passando de verde para violeta-escuro.

Foram feitos 6 brancos controles sob as mesmas condições, dos quais 3 foram levados à digestão e os outros três permaneceram sem aquecimento, em temperatura ambiente. O branco controle não aquecido é fundamental para o cálculo do total de dicromato perdido no aquecimento sem amostra.

Cálculo do teor de Carbono Orgânico (COT)

A porcentagem de carbono orgânico é estabelecida através do volume da solução de Sal de Mohr utilizado na titulação da amostra (V_{am}), do branco aquecido (V_{ba}) e do branco não aquecido (V_{bn}), segundo as equações:

$$A = \frac{(V_{ba} - V_{am})(V_{bn} - V_{ba})}{V_{bn}} + (V_{ba} - V_{am})$$

Em que:

V_{ba} = Volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento;

V_{bn} = Volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento;

V_{am} = Volume gasto na titulação da amostra.

$$CO(\%) = \frac{A(\text{molaridade do Sulfato Ferroso})(3)(100)}{\text{Peso da amostra (mg)}}$$

Em que:

3 = Valor obtido através da relação entre a quantidade de mols de Cr_2O_7^- que reagem com Fe^{2+} (1/6), multiplicado pela quantidade de mols de Cr_2O_7^- que reagem com o C^0 (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12).

100 = Fator de conversão de unidade (mg mg^{-1} para dag kg^{-1}).

3.4 Determinação do Nitrogênio Total (NT)

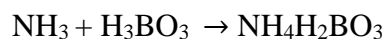
O método utilizado para obtenção do NT foi uma adaptação feita por Bremner & Mulvaney (1982) e Tedesco *et al.* (1995) que se basearam na metodologia amplamente difundida de Kjeldahl de 1883. Este método é fundamentado na conversão do N orgânico contido na amostra à NH_4^+ por meio de uma digestão sulfúrica, fazendo-se a dosagem por meio da quantidade de NH_3 liberado pela destilação da solução digerida em meio alcalino. Desta maneira, o método se dá em duas etapas: a digestão sulfúrica e a destilação.

A digestão é feita; (i) utilizando-se H_2SO_4 concentrado em conjunto com Na_2SO_4 e CuSO_4 – que agem aumentando a temperatura de ebulição e como catalisador, respectivamente –, e (ii) em bloco digestor, sob temperatura entre 360°C e 410° – pois, se submetido à temperaturas superiores, corre-se o risco de perder NH_3 . O tempo de digestão é de aproximadamente duas horas.

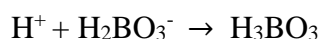
A digestão sulfúrica reduz o N orgânico (NH_2) a NH_4^+ , formando $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. A etapa de destilação é conduzida em um modelo de destilador com arraste a vapor, sendo o produto da digestão Kjeldahl tratado com uma solução fortemente alcalina, em geral NaOH 40%, sob a injeção de vapor d'água, possibilitando o desprendimento de NH_3 , que é carregado através do destilador:



O NH_3 é capturado em uma solução de ácido bórico (H_3BO_3) contendo os indicadores verde de bromocresol e vermelho de metila. A solução indicadora mista de ácido bórico possui coloração vinho. Ao receber o destilado o pH da solução indicadora aumenta ligeiramente, o H_3BO_3 dissocia-se e reage com o NH_3 formando o borato de amônio:



Quando esta reação ocorre, a solução exibe coloração azul indicando a total destilação do NH_3 . A dissociação do ácido bórico é proporcional a quantidade de NH_3 coletada. Deste modo, realizando-se a reconstituição do H_3BO_3 com a adição de H^+ , é possível estimar a quantidade de NH_3 gerada nesta destilação:



A partir deste ponto, realiza-se titulação com uma solução ácida padrão, até que a solução indicadora de ácido bórico assumira uma coloração rósea.

Procedimento

Pesou-se 0,5g de sedimento e transferiu-se para tubos de digestão, adicionou-se 0,7g de mistura de digestão (Na_2SO_4 e CuSO_4), em seguida adicionou-se 2 mL de H_2SO_4 concentrado. Após o resfriamento, os tubos foram colocados em bloco digestor, elevando-se a temperatura a 250°C , mantendo-se por 20 minutos; após, elevou-se novamente a temperatura a 365°C . Após a solução clarear (cor amarelo-esverdeado), esperou-se por 2 horas.

Após a digestão, os tubos foram conectados ao destilador Kjeldahl, um a um, e adicionou-se, vagarosamente, 10 mL de NaOH 10 mol L^{-1} . Utilizou-se 5 mL de indicador de ácido bórico em erlenmeyers de 100 mL, e, após coletar 35 ~ 40 mL de destilado, retirou-se o erlenmeyer para proceder à titulação com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$. Determinou-se o volume titulado quando a solução assumiu o tom róseo.

Cálculo do Nitrogênio Total

Os valores de nitrogênio total foram calculados através da equação descrita abaixo:

$$N(\%) = \frac{(V_{am} - V_{br}) \times [H^+] \times 1,4}{\text{Peso da Amostra (g)}}$$

Em que:

V_{am} = Volume de HCl gastos na titulação da amostra;

V_{br} = Volume de HCl gastos na titulação do branco;

$[H^+]$ = Concentração real do ácido clorídrico (mol L^{-1});

1,4 = Peso equivalente do N(14) dividido por 10 (conversão de unidade g kg^{-1} para dag kg^{-1})

3.5 Determinação de Fósforo Total

O fósforo total foi determinado consoante a metodologia de Berner & Rao (1994), em que a análise se dá em três etapas: calcinação, extração ácida com HCl 1,0M e leitura em espectrofotômetro.

Colocou-se 0,5g de amostra em duplicata em cadinhos limpos e secos, previamente calcinados em mufla a 550°C por 2 horas, juntamente com uma duplicata de sedimento padronizado estuarino NIST 1646a para validar os resultados.

Os cadinhos contendo as amostras – branco e padrão – foram postos em mufla por 12 horas. Na etapa seguinte, foram retirados da mufla e as amostras transferidas para tubos falcon e adicionadas a 25 mL de HCl 1,0M. Em seguida, colocou-se na mesa agitadora e permaneceram por 16 horas.

Na etapa final, foram feitos os ambientes de todos os balões volumétricos, adicionando-se 20 mL de água puritech; os tubos falcon contendo as amostras foram centrifugados alternadamente por duas vezes, retirando-se, em ambas as vezes o sobrenadante; transferindo-o para o balão volumétrico. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 785 nm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Granulometria dos perfis de sedimentos

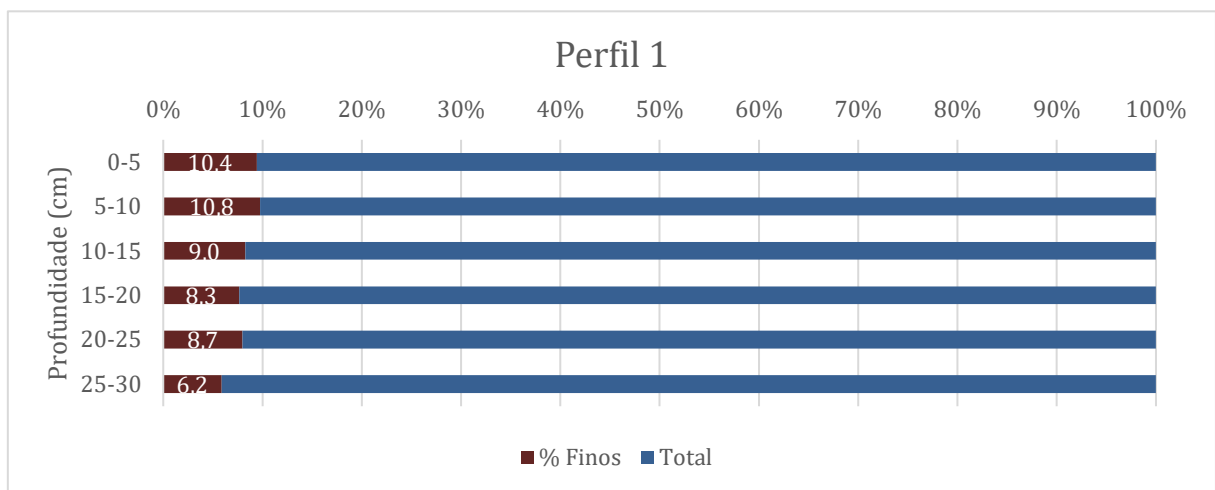
A granulometria nos perfis sedimentares variaram de 1,74% a 19,88% para o percentual total de finos, ambos no perfil 2 (figura 4).

Os padrões de deposição variaram da seguinte forma:

- (i) Perfil 1 (figura 3): houve aumento gradativo da deposição de finos desde a camada mais profunda, com 6,2% de finos, até a camada superficial, com 10,4% de finos;
- (ii) Perfil 2 (figura 4): houve variação total de 1,74% a 19,88%, constituindo-se na maior variação, bem como os maiores índices máximo e mínimo do total de finos dentre os perfis; apresentou aumento na deposição de finos ao longo das camadas mais profundas em direção à superfície, com o percentual mínimo na camada mais profunda e máximo na camada superficial;
- (iii) Perfil 3 (figura 5): a variação total foi de 7,38%, na camada de 25~30 cm, a 18,97% na camada de 35~40 cm; apresentou diminuição na deposição

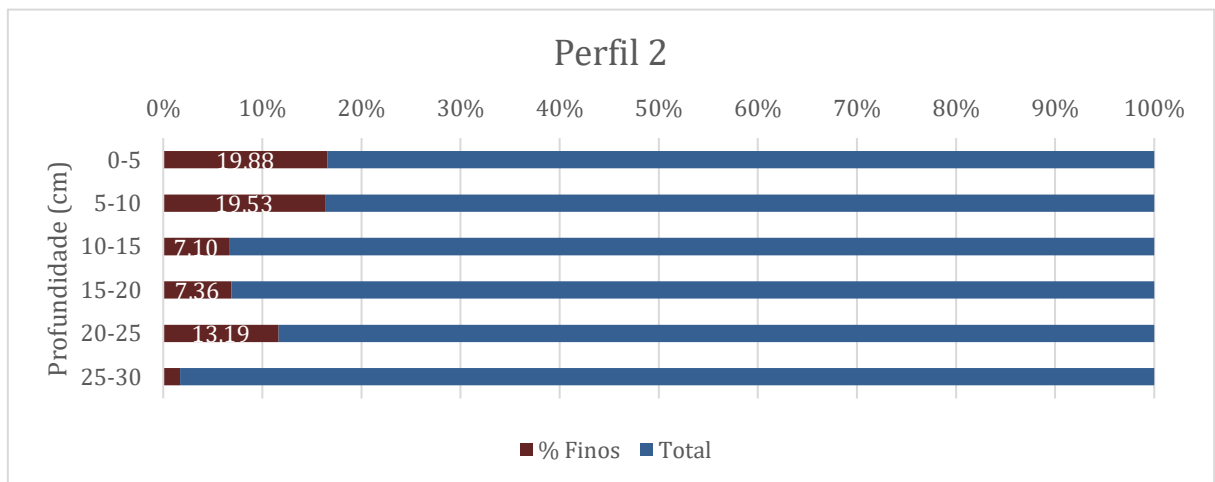
de finos ao longo das camadas mais profundas em direção à superfície, mantendo-se estável nas camadas de 35~45 cm em torno da média de 15,4 % \pm 4,32 %, apresentando aumento da deposição a partir da camada 25~30 cm (7,38%) até a camada 5~10 cm (16,77%), a seguir, sofreu diminuição expressiva na camada superficial de 0~5 cm (9,90%);

- (iv) Perfil 4 (figura 6): apresentou padrões regulares de deposição ao longo de suas camadas, variando de 4,27% a 18,85%, mostrando crescimento na deposição de finos comparando-se a camada mais profunda (14,55%) com a superficial (16,51%); o máximo do percentual de finos foi verificado na camada 15~20 cm, diminuindo gradativamente em direção à superfície.



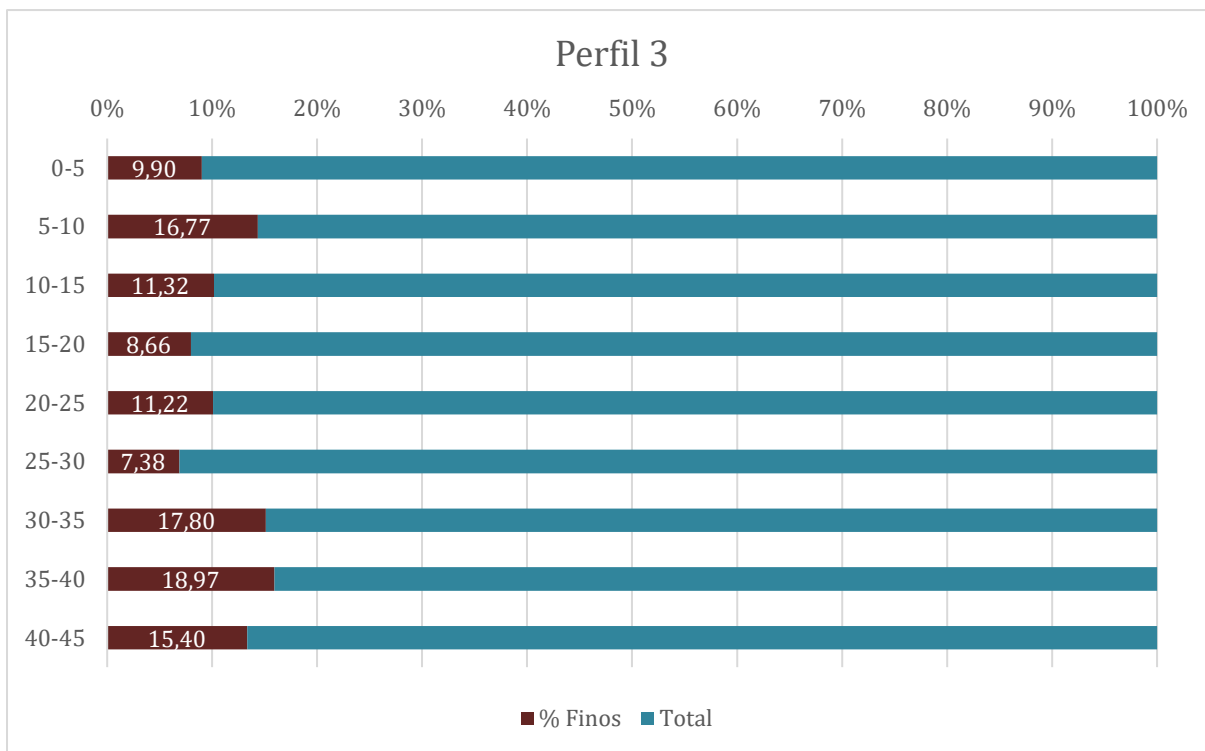
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 4 - Percentual de finos no perfil 2, localizado entre as ilhas de Banacoa e Manguinho.



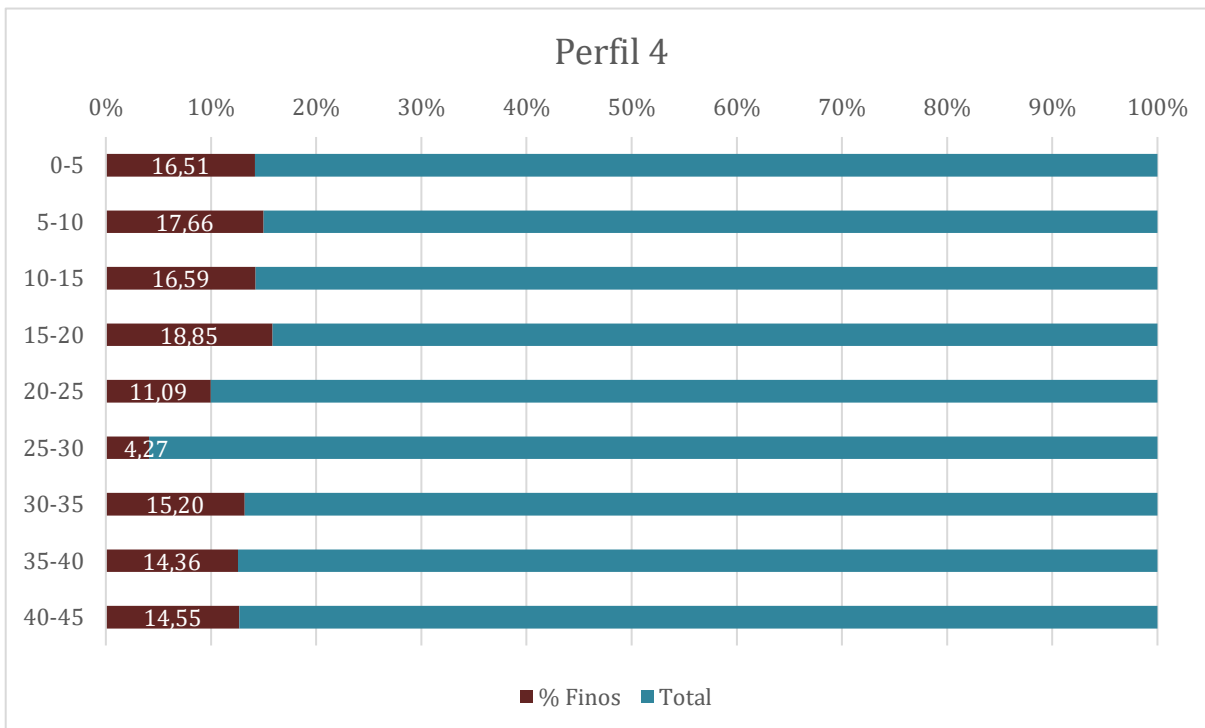
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5 - Percentual de finos no perfil 3, próximo à extremidade inferior ocidental da Ilha das Canárias.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6 – percentual de finos no perfil 4, localizado nas margens deposicionais de um pequeno canal de maré situado próximo à foz oriental do Rio Parnaíba.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Distribuição de carbono orgânico total (COT) em perfis sedimentares do Delta do Parnaíba

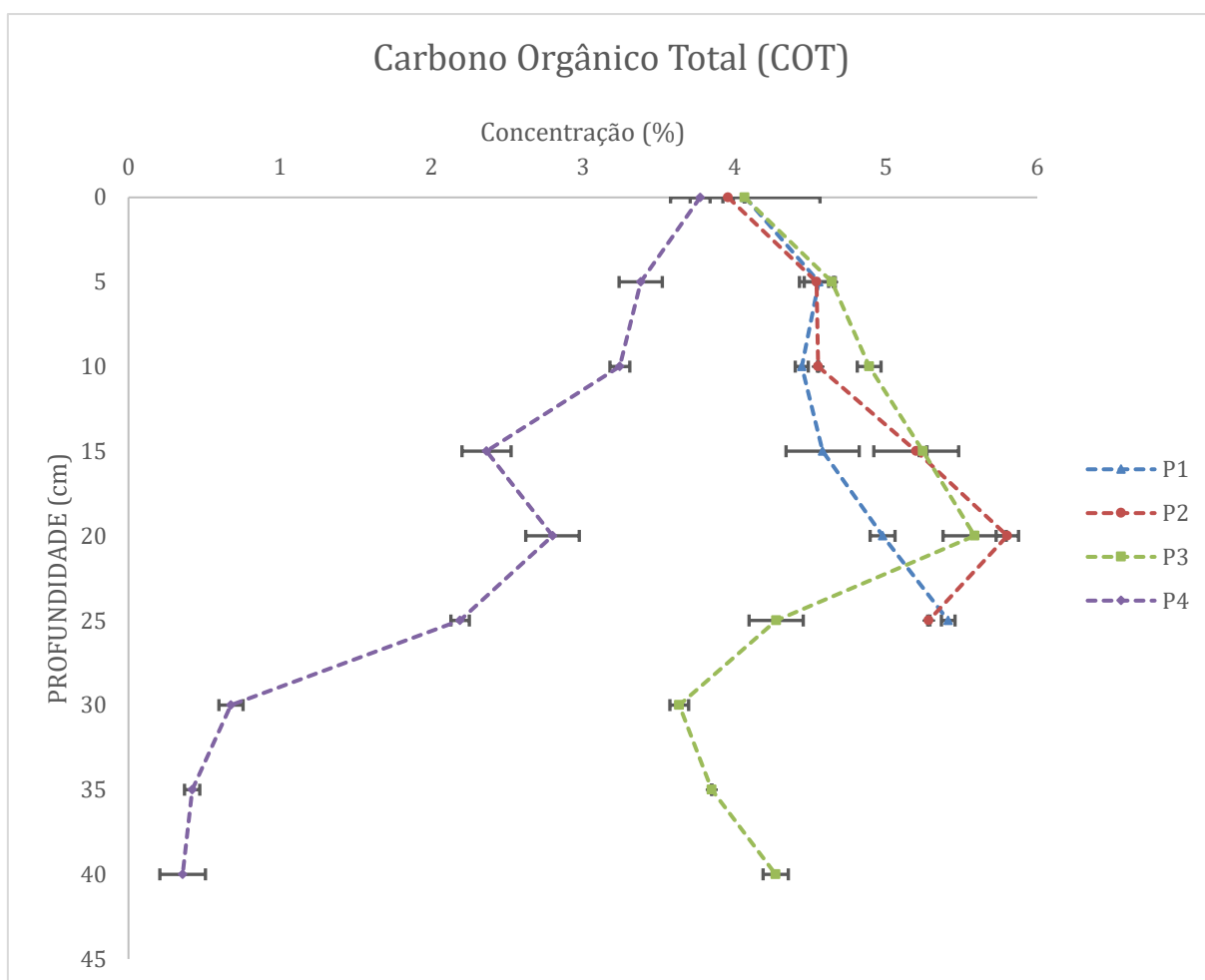
Os teores de COT ao longo dos quatro perfis sedimentares analisados apresentaram variação total na faixa de 0,36 a 5,80 %.

Os padrões de deposição de COT variaram da seguinte forma:

- (i) Perfil 1 (figura 7, P1): o teor de COT mostrou variação de 4,07 a 5,41 %, foi observada uma tendência de redução da deposição de carbono nas camadas mais superficiais;
- (ii) Perfil 2 (figura 7, P2): o teor de COT mostrou variação de 3,96 a 5,80 % – assim como no P1, a tendência de deposição mostrou que nas camadas mais superficiais ocorreu menor deposição, e a fração de finos apresentou redução entre 10 e 20 cm;
- (iii) Perfil 3 (figura 7, P3): o teor de C variou de 3,64 a 5,59 % – na camada mais profunda (45cm) até 25 cm o perfil apresentou flutuações em torno da média de $3,97 \% \pm 0,25 \%$, nas camadas superiores o padrão de deposição se mostrou similar aos Perfis 1 e 2, com maior deposição na camada 20~25 cm até valores similares aos de fundo em superfície;
- (iv) O perfil 4 (figura 7, P4): apresentou as menores concentrações de COT, variando de 0,36 a 3,77% – é possível ver uma crescente deposição desde as camadas mais profundas até a superfície; entre as camadas 30 e 45 cm, apresentou teor médio de COT de $0,59\% \pm 0,26\%$, mostrando um aumento considerável na deposição a partir da camada 25~30 em direção à superfície, onde a média foi de $2,96\% \pm 0,61\%$. Os sedimentos apresentaram cores mais claras nas camadas mais profundas, e mais escuras nas camadas superficiais, sugerindo uma menor preservação de matéria orgânica nas camadas inferiores. A granulometria mostrou-se regular em torno da média de $14,18\% \pm 4,2\%$.

A figura 7 mostra as variações nos teores de carbono ao longo das camadas nos diferentes perfis. Um levantamento realizado por Abreu (2004) comparou teores de carbono em sedimentos em diferentes áreas estuarinas do mundo com os teores no estuário do Rio Jaguaribe (CE), permitindo uma análise dos resultados (tabela 3).

Figura 7 - Distribuição vertical de carbono nos perfis de testemunho sedimentar do Delta do Parnaíba (PI).



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3- Variação de COT em diversos sedimentos em diferentes partes do mundo, adaptação a partir de Abreu (2004).

LOCALIZAÇÃO	COT(%)	AMOSTRAGEM
Estuário do Rio Jaguaribe (ABREU, I. M. 2004).	0,02 a 1,63%	Testemunho
Mangue de Guadaloupe (LALLIER-VERGÈS; BALTZER, 1998)	18 a 47%	Testemunho
Sedimentos de mangue em diversas fases de desenvolvimento/Guiana Francesa (MARCHAND <i>et al.</i> 2003)	0,7 a 19%	Testemunho
Sistema fluvial indiano Ganges-Brahmaputra-Meghna (DATTA <i>et al.</i> 1999)	0,05 a 1,4%	Superficial
Sedimentos oceânicos do Atlântico Norte (MADUREIRA, 2001)	0,33% a 0,66%	Testemunho
Sedimentos do Delta do Parnaíba (este trabalho)	0,36% a 5,8%	Testemunho

Fonte: Abreu (2004, com adaptações)

Os teores de carbono encontrados nos perfis 1, 2 e 3 Delta do Parnaíba podem estar representando o observado por Marchand *et al.* (2003): teores de carbono em sedimentos de mangue em diferentes fases de desenvolvimento; o referido autor encontrou valores variando de 1 a 2% ao longo de testemunhos de 140 cm referentes a sedimentos sob manguezal jovem (até 10 metros de altura) e manguezal jovem-maduro (até 20 metros de altura).

O perfil 4 aponta para a influência diferenciada dos aportes de matéria orgânica natural ao longo de tempos recentes, aumentando gradualmente a deposição de COT ao longo das camadas.

4.3 Distribuição de nitrogênio total (NT) em perfis sedimentares do Delta do Parnaíba

Os teores de NT encontrados ao longo dos quatro perfis sedimentares analisados apresentaram variação total de 240 ug.g⁻¹ a 2559 ug.g⁻¹.

Os teores de NT variaram da seguinte forma:

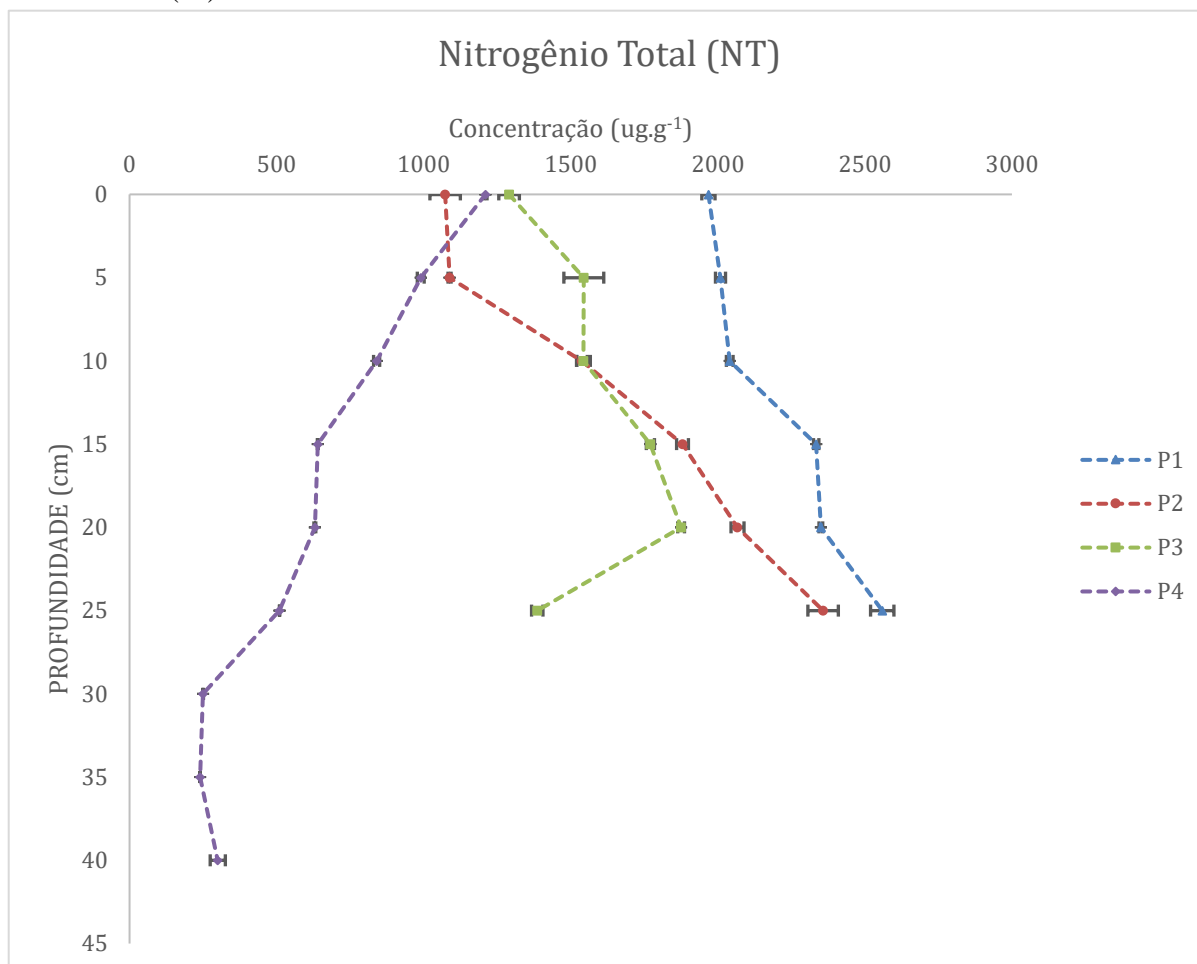
- (i) Perfil 1 (figura 8, P1): a variação foi de 1968 a 2559 ug.g⁻¹ – da camada mais profunda aos 15 cm de profundidade os valores mantiveram-se em torno da média de 2350 ± 125 ug.g⁻¹, sofrendo uma queda na deposição a partir dos 15 cm em direção à superfície, oscilando em torno de 2009 ± 36 ug.g⁻¹;
- (ii) Perfil 2 (figura 8, P2): a variação foi de 1073 a 2358 ug.g⁻¹, apresentando queda constante na deposição desde as camadas mais profundas em direção à superfície, com uma queda considerável na camada de 15 cm até superfície;
- (iii) Perfil 3 (figura 8, P3): a variação foi de 1386 a 1875 ug.g⁻¹, apresentando índice mínimo na camada 25~30 cm e máximo na camada seguinte, de 20~25 cm, os padrões de deposição mantiveram-se estáveis em torno de 1544 ± 222 ug.g⁻¹ ao longo de todas as camadas;
- (iv) Perfil 4 (figura 8, P4): os teores encontrados variaram de 240 a 1210 ug.g⁻¹ – a deposição cresceu de maneira gradativa ao longo das camadas mais profundas em direção a superfície, com o teor mínimo situado aos 35~40 cm e o máximo situado na camada superficial.

Os padrões de deposição de NT apresentaram tendências semelhantes aos padrões de deposição de COT encontrados ao longo das camadas nos perfis sedimentares.

A figura 8 apresenta a variação dos teores de NT nos diferentes perfis. No levantamento realizado por Abreu (2004) é possível comparar-se as concentrações de NT obtidas neste

trabalho com as concentrações de NT em sedimentos estuarinos em diferentes partes do mundo, conforme demonstra a tabela 4.

Figura 8 – Distribuição vertical de nitrogênio nos perfis de testemunho sedimentar do Delta do Parnaíba (PI).



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Variação de NT em diversos sedimentos em diferentes partes do mundo, adaptação a partir de Abreu (2004).

LOCALIZAÇÃO	NT (µg.g ⁻¹)	AMOSTRAGEM
Estuário do Rio Jaguaribe (ABREU, 2004).	32 a 1202 µg.g⁻¹	Testemunho
Sistema fluvial indiano Ganges-Brahmaputra-Meghna (DATTA <i>et al.</i> 1999)	100 a 600 µg.g ⁻¹	Superficial
Baía de Hunts na Jamaica (ANDREWS <i>et al.</i> 1998).	4000 a 8100 µg.g ⁻¹	Superficial
Sedimentos de mangue em diversas fases de desenvolvimento/Guiana Francesa (MARCHAND <i>et al.</i> 2003)	1000 a 13000 µg.g⁻¹	Testemunho
Sedimentos do Delta do Parnaíba (este trabalho)	240 a 2559 µg.g⁻¹	Testemunho

Fonte: Abreu (2004, com adaptações).

Os teores de NT encontrados nos perfis sedimentares do Delta do Parnaíba são superiores aos encontrados por Abreu (2004), refletindo as dimensões superiores da bacia hidrográfica do Parnaíba, que é 4,5 vezes maior que a do Rio Jaguaribe, que também possui vazão diminuída devido ao alto nível de açudagem (MARINS *et al.*, 2003).

Os perfis P1, P2 e P3 apresentam concentrações similares aos perfis sedimentares em diferentes estados de desenvolvimento de manguezais descritos por Marchand *et al.* (2003), e marcadamente similares aos perfis sedimentares em áreas de manguezal jovem. Porém, as maiores concentrações obtidas por referidos autores são expressivamente superiores às encontradas no Delta do Parnaíba, pois tais referem-se à partes de manguezal em elevado estado de desenvolvimento.

As concentrações de NT no perfil P4 assemelharam-se àquelas obtidas por Abreu (2004) no estuário do Rio Jaguaribe, sobretudo aos dos testemunhos coletados na foz e no médio estuário, que possuem forte influência marinha em decorrência da elevada açudagem (MARINS *et al.*, 2003) – à semelhança do perfil 4 do presente trabalho, que foi coletado em um canal de maré, onde se espera que a influência marinha seja maior.

4.4 Distribuição de fósforo total em perfis sedimentares do Delta do Parnaíba

Os teores de P-Total nos quatro perfis sedimentares do Delta do Parnaíba apresentaram variação total na faixa de 48 a 889 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

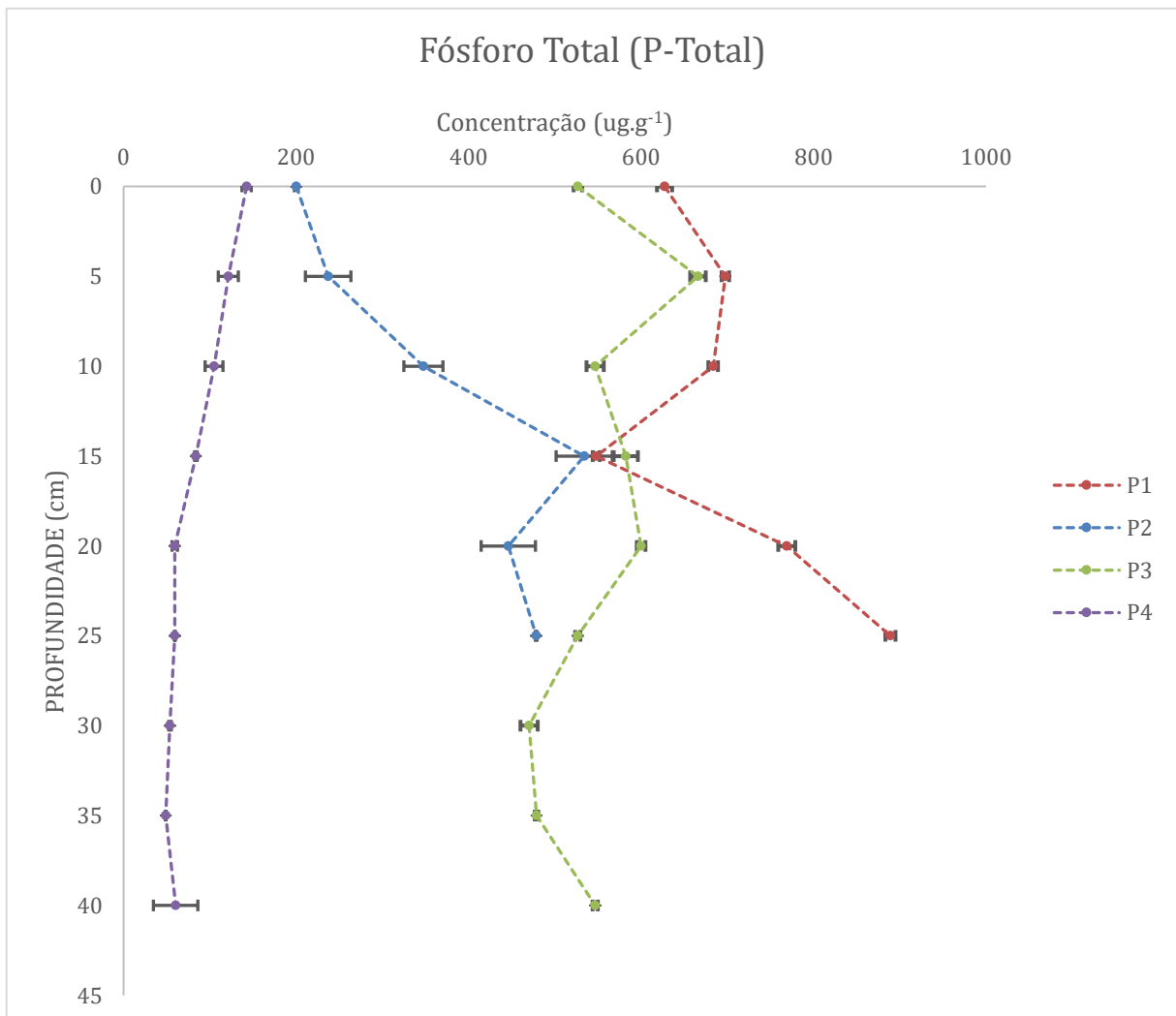
Distribuídos da seguinte forma:

- (i) Perfil 1 (figura 9, P1): o teor de fósforo apresentou variação de 548 a 889 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ – Foi observada uma tendência de diminuição de deposição de fósforo ao longo das camadas mais profundas em direção à camada intermediária, atingindo o valor mínimo na camada de 15~20 cm, voltando a crescer em direção à superfície, tais concentrações assemelham-se àquelas encontradas por Rao *et al.*, 1994 em sedimentos superficiais do Rio Amazonas;
- (ii) Perfil 2 (figura 9, P2): o teor de P-Total apresentou variação de 200 a 534 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ – assim como no P1, houve uma tendência de diminuição de deposição de P-Total, porém, contrariamente ao P1, atingiu valor máximo na camada intermediária de 15~20 cm, voltando a diminuir gradativamente em direção à superfície;

- (iii) Perfil 3 (figura 9, P3): o teor de P-Total variou de 470 a 675 ug.g^{-1} – os teores flutuaram em torno da média de $549 \pm 60 \text{ ug.g}^{-1}$;
- (iv) O perfil 4 (figura 9, P4): apresentou as menores concentrações de P-Total, variando de 48 a 142 ug.g^{-1} , assemelhando-se aos resultados encontrados por Abreu (2004) no estuário do Rio Jaguaribe, cuja influência marinha predomina sobre a deposição de MON. Há uma crescente deposição desde as camadas mais profundas em direção à superfície.

No levantamento realizado por Abreu (2004) é possível comparar as concentrações de P-Total obtidas no Delta do Parnaíba com as concentrações de P-Total em sedimentos estuarinos de regiões variadas.

Figura 9 – Distribuição vertical de fósforo nos perfis de testemunho sedimentar do Delta do Parnaíba (PI).



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Variação de P-total em diversos sedimentos em diferentes partes do mundo, adaptação a partir de Abreu. (2004).

LOCALIZAÇÃO	P-Total (ug.g ⁻¹)	AMOSTRAGEM
Estuário do Rio Jaguaribe (ABREU, 2004).	7 a 215 ug.g ⁻¹	Testemunho
Baía da Flórida/EUA (KOCH <i>et al.</i> 2001)	56 a 369 ug.g ⁻¹	Testemunho
Estuários Franceses (ANDRIEUX; AMINOT 2001)	124 a 1364 ug.g ⁻¹	Superficial
Sistema fluvial indiano GBM (DATTA <i>et al.</i> 1999)	500 a 1900 ug.g ⁻¹	Superficial
Baía das Baleias/Bermudas (JENSEN <i>et al.</i> 1998)	82 a 168 ug.g ⁻¹	Superficial
Rio Amazonas (BERNER; RAO 1994)	Teores médios de 504 ug.g⁻¹	Superficial
Delta do Parnaíba (este trabalho)	48 a 889 ug.g⁻¹	Testemunho

Fonte: Abreu (2004, com adaptações).

Comparando-se os resultados deste estudo com o levantamento realizado por Abreu (2004) observa-se que as concentrações de P-Total nos perfis 1, 2 e 3, obtidas no Delta do Parnaíba, aproximam-se daquelas encontrados por Berner e Rao (1994) em sedimentos do Rio Amazonas (Tabela 5).

Por outro lado as concentrações obtidas no perfil 4 assemelham-se àquelas encontradas por Abreu (2004) no estuário superior do Rio Jaguaribe, que, embora distante da foz, apresenta grande influência marinha em decorrência da elevada açudagem em sua bacia.

4.5 Razões C:N em perfis de sedimentos do Delta do Parnaíba

A razão molar de C:N variou da seguinte forma:

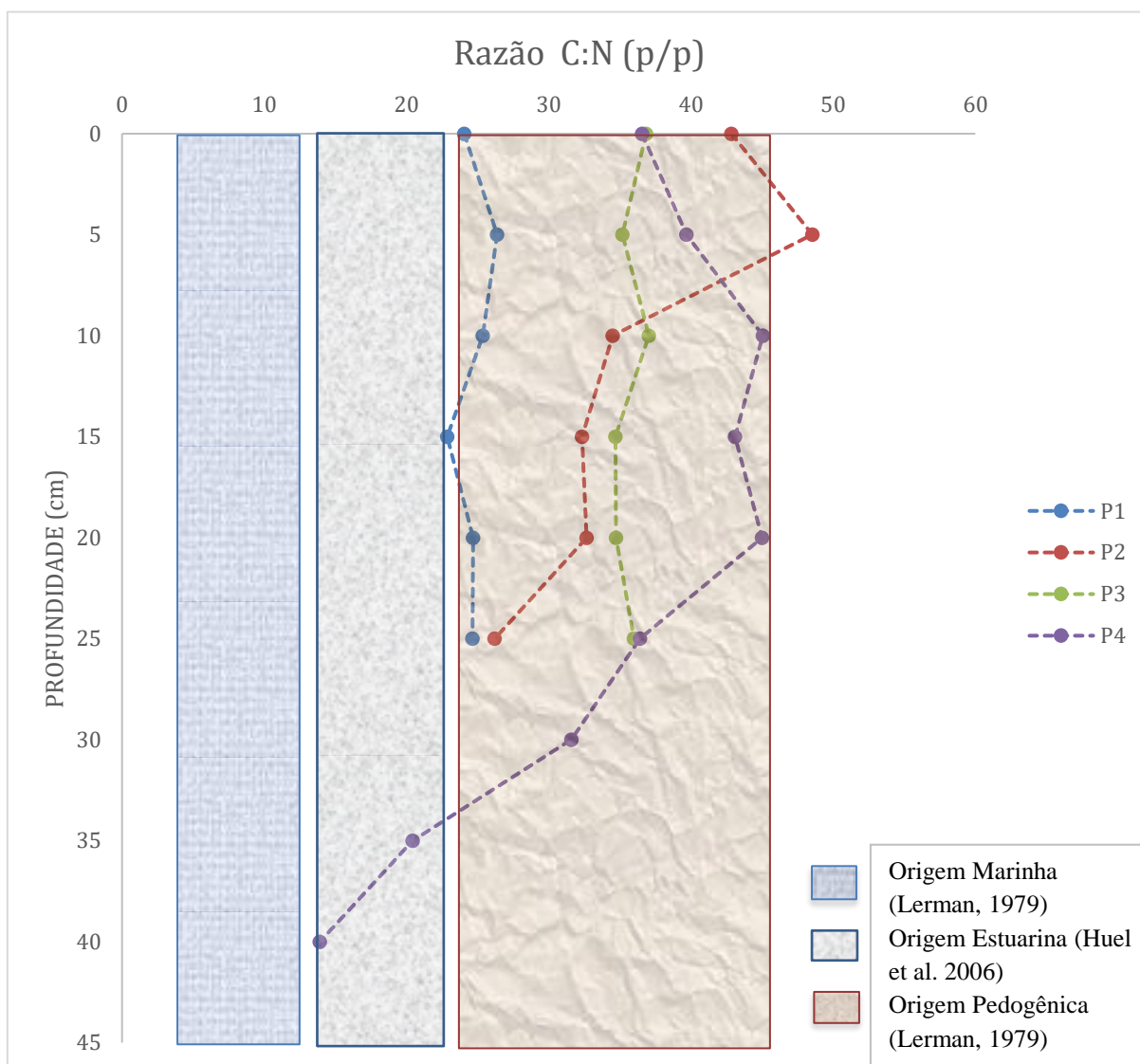
- (i) Perfil 1 (figura 10, P1): variou de 23 a 26, apresentando correlação positiva ($r = 0,90$) entre as concentrações de COT e N-total, indicando que pode ser utilizada para avaliar o N orgânico (ABREU, 2004; DATTA *et al.*, 1999; ANDREWS *et al.*, 1998; RUTTENBERG & GÖNI, 1997); as proporções molares observadas sugerem que a

origem da matéria orgânica é pedogênica (STEIN, 1991); as razões mantiveram-se estáveis ao longo de todas as camadas deste perfil;

- (ii) Perfil 2 (figura 10, P2): a razão molar variou de 26 a 49, apresentando correlação positiva ($r = 0,86$) e sugerindo também origem de matéria orgânica pedogênica, indicando, como no P1, que as origens de NT são reguladas por fontes orgânicas (ABREU, 2004; DATTA *et al*, 1999; RUTTENBERG & GÕNI, 1997); as maiores razões C:N encontradas estão provavelmente associadas ao elevado estado de desenvolvimento nas respectivas camadas (DE AGUIAR; GOMES; SÁ FREIRE, 2012); as maiores razões obtidas estão nas camadas superficiais, de 10cm até a superfície, onde apresentaram C/N médio de 46, valor próximo ao verificado por Santos *et al.*, 2013 no delta estuarino do Rio São Francisco para sedimentos cuja principal fonte de MON era oriunda de *Rhizophora mangle* (50,63);
- (iii) Perfil 3 (figura 10): a razão molar variou de 35 a 37, apresentando correlação positiva ($r = 0,99$) – as razões mantiveram-se estáveis ao longo das camadas, indicando presença de MO de origem pedogênica; estudos conduzidos por Pelegrí e Twilley (1998) apontam que as razões C:N em folhas de *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans* em médio estado de desenvolvimento apresentam valores em torno de 40 a 50, indicando que os índices encontrados neste perfil do Delta do Parnaíba, onde há abundante população de tais espécies (IBAMA, 1996), assemelham-se aos sedimentos de manguezal em médio estado de desenvolvimento descritos por tais autores;
- (iv) Perfil 4 (figura 10): a variação da razão molar C:N foi de 13 a 45, apresentando igualmente correlação positiva (0,95) – esse perfil apresentou a maior variação dentre os analisados, podendo-se notar um aumento crescente das razões C:N desde as camadas mais profundas em direção à superfície. As camadas de 35~45 cm apresentaram as menores razões C:N, com média de 17, caracterizando-se como sedimento estuarino (ANDREWS ., 1998), atingindo valor máximo na camadas de 20~25 cm, e mantendo-se estável até as camadas superficiais; desde a camada 20~25cm à superfície, as razões peso/peso (p/p) indicam que estes sedimentos possuem MO de origem pedogênica (>30); os padrões C:N nesse perfil indicam uma maior influência marinha nas camadas inferiores em tempos pretéritos, refletido pelos baixos índices C:N encontrados, mudando para um ambiente de maior influência continental em tempos recentes.

Comparando-se as razões encontradas no presente trabalho com a de outras regiões de mangue sob diferentes características deposicionais, verifica-se que as médias assemelham-se àquelas onde há pouco impacto antrópico (Tabela 6), como as encontradas em margens deposicionais do Rio Sucurijú (AP) por Xavier *et al.* (2009), onde há maior influência continental e predominância de semelhantes espécies de mangue, bem como as encontradas por Marchand *et al.*, (2003), em sedimentos de mangue senescentes.

Figura 10 – Distribuição vertical da razão C:N nos perfis sedimentares do Delta do Parnaíba (PI).



Fonte: elaborado pelo autor.

Marchand *et al.*, (2003), encontrou razões variando em torno de 6 a 8 para sedimentos cuja MON era oriunda de manguezais jovens, com influência marinha moderada; porém, encontrou valores superiores a 20 em sedimentos de mangue em maior estado de

desenvolvimento. Os valores máximos encontrados por referido autor situam-se nas camadas superficiais de até 10 cm de profundidade, sob sedimento de mangue senescente, assemelhando-se ao perfil 2 do presente estudo.

Santos *et al.*, (2013), encontrou razões típicas de ambientes oligotróficos na região estuarino-deltaica do Rio São Francisco – bacia hidrográfica com elevado índice de açudagem, cujos impactos refletem também em menores taxas de deposição de sedimentos e nutrientes para a zona costeira (MARINS *et al.*, 2003); tal estudo verificou razões semelhantes às encontradas por Abreu (2004) na foz e no estuário médio do Rio Jaguaribe, cujos impactos da açudagem foram discutidos por Marins *et al.*, (2003).

Porém, Santos *et al.*, (2013), encontrou índices elevados de C:N – de 50,68 – em sedimentos superficiais cuja maior contribuição de MON era oriunda de *Rhizophora mangle*, confirmada por análise isotópica. Lacerda *et al.*, (1995) encontrou variações C:N de 15 a 19 em testemunhos sedimentares situados sob influência de maré, com vegetação predominante de *Rhizophora mangle* e *Avicennia Germinans*.

Tabela 6 – Variação C:N em diversos perfis sedimentares em diferentes partes do mundo.

Sedimentos da foz do rio Sucuriju/AP (XAVIER <i>et al.</i> , 2009)	0,45 a 18	Superficial
Sedimentos de manguezais próximos a área de cultivo de camarão/BA (LEITE, 2016)	12 a 27,8	Superficial
Sedimentos do delta estuarino do Rio São Francisco AL/SE (SANTOS <i>et al.</i> , 2013)	11 a 45	Superficial
Sedimentos em diversas fases de desenvolvimento em manguezal da Guiana Francesa (MARCHAND <i>et al.</i> , 2003)	6 a 22	Testemunho
Sedimentos de manguezal dominados por <i>Rhizophora mangle</i> e <i>Avicennia Germinans</i> no sudeste brasileiro (LACERDA <i>et al.</i> , 1995)	15 a 19	Testemunho
Sedimentos do estuário do Rio Jaguaribe (Abreu, 2004)	3 a 26	Testemunho
Sedimentos do Delta do Parnaíba (este trabalho)	14 a 49	Testemunho

Fonte: elaborado pelo autor.

4.6 Razão molar C:P em perfis de sedimentos do Delta do Parnaíba

Todos os perfis apresentaram correlações positivas ($r = 0,82$ em P1; $0,84$ em P2; $0,71$ em P3 e $0,82$ em P4) em suas relações molares peso/peso, sugerindo que assim como para o nitrogênio, a origem das entradas de fósforo também está relacionada a origens orgânicas naturais (ABREU, 2004; DATTA *et al*, 1999).

As razões C:P variaram da seguinte forma:

- (i) Perfil 1 (figura 11, P1): a razão C:P variou de 157 a 216, mantendo-se estável em torno da média de 174 ± 21 ao longo de todas as camadas; tal razão indica que a fonte de fósforo neste perfil está relacionada a origens pedogênicas, estando abrangida em valores médios genéricos de 182 ± 12 para solos terrestres, descritos por Cleveland & Liptzin (2007);
- (ii) Perfil 2 (figura 11, P2): a variação foi de 252 a 511 – os valores mínimos encontram-se nas camadas mais profundas e o valor máximo na superficial, sugerindo que há enriquecimento de COT em relação aos teores de P-Total; tal elevada razão pode sugerir que há processos de decomposição que consomem, preferencialmente, compostos fosfatados, deixando o solo empobrecido em P-Total (WHITE; AYOUB, 1983);
- (iii) Perfil 3 (figura 11, P3): a razão C:P variou de 180 a 240, mantendo-se estável em torno da média de 211 ± 19 ao longo das camadas; essa razão sugere que o aporte de fósforo neste perfil é provido por fontes pedogênicas, Cleveland & Liptzin (2007) encontraram razões C:P em solos de floresta variando de $211,7 \pm 28$, mostrando valores similares ao presente estudo;
- (iv) Perfil 4 (figura 11, P4) apresentou a maior variação dentre os perfis, oscilando de 149 a 1166 – os valores mínimos encontrados estão localizados nas camadas médias de 20~30 cm, indicando uma potencial limitação de fósforo; a seguir, as razões diminuem em direção à superfície.

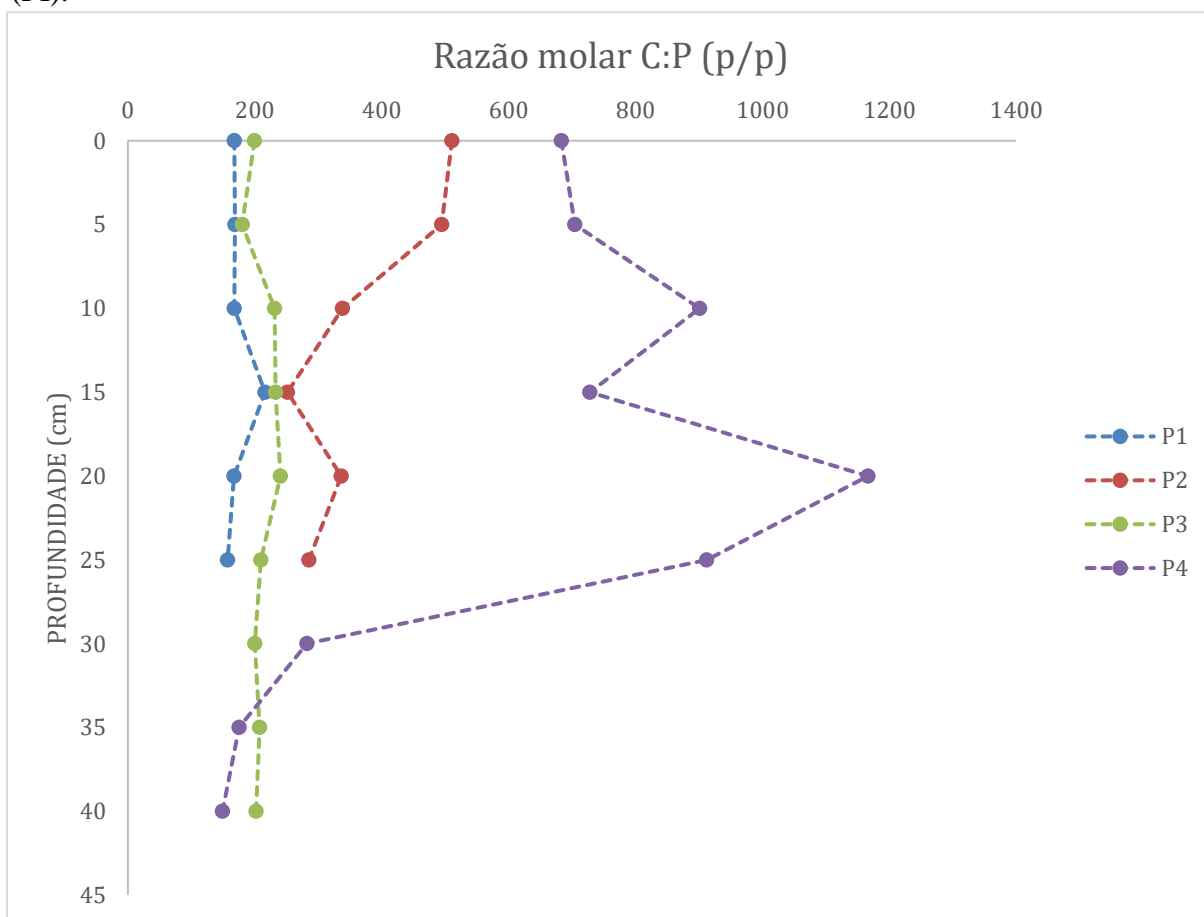
Cleveland & Liptzin (2007) encontraram índices C:P variando em torno de 182 ± 12 ($n=135$) para camadas superficiais de solos terrestres tropicais, verificando aumento na razão C:P à medida que a cobertura vegetal torna-se mais densa e diversificada, encontrando valores de 211 ± 28 ($n=47$) para florestas tropicais, e $166 \pm 12,2$ ($n=72$) para campos de gramíneas. Os valores encontrados nos perfis 1 e 3 assemelham-se aos encontrados por referidos autores, indicando que tais perfis têm razões C:P oriundas de MON terrestres.

Tendo em vista o comportamento geoquímico do fósforo não depender somente do aporte de MO (ABREU, 2004), as razões elevadas de C:P nos perfis 2 e 4 podem sugerir tanto limitação das deposições de fósforo como a depleção de tais elementos pela microbiota, que prioriza compostos fosfatados para realizar suas atividades metabólicas (STEIN, 1991).

No estuário do Rio Jaguaribe, Abreu (2004) encontrou variações nas razões C:P de 26 a 86 em três dentre os quatro perfis analisados, com correlação positiva para fontes orgânicas naturais oriundas de sedimentação estuarina/marinha. Obteve, porém, razões superiores – de 126 a 336 na foz do estuário – verificando que a relação de Redfield não ficou estabelecida, sugerindo que as fontes de P-total oriundas da atividade fitoplanctônica não eram as únicas responsáveis pelos teores de fósforo encontrados naquela região.

Segundo Esteves (1998), a acumulação de fósforo no sedimento é dependente de fatores como a hidroquímica local e anoxia ou sub-anoxia do ambiente, influenciando diretamente a remobilização do elemento. Assim, para estabelecer melhor os aportes e formas de deposição do fósforo em ambientes estuarinos, é necessário realizar estudos que tenham como prioridade a caracterização de suas espécies (ABREU, 2004; ANDRIEUX; AMINOT, 2001; RAO, 1994).

Figura 11 – Distribuição vertical da razão C:P nos perfis sedimentares do Delta do Parnaíba (PI).



Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

Os perfis sedimentares mostraram padrões de deposição característicos de ambientes ainda pouco impactados, implicando, a partir da estequiometria dos nutrientes principais, que suas fontes ainda são oriundas de aportes continentais naturais, evidenciados, sobretudo, pela análise do estudo dos perfis 1 e 3.

O perfil 2 indica que houve evolução nos estados de desenvolvimento da matéria orgânica natural oriunda do manguezal, enquanto o perfil 4 aponta para uma mudança no ambiente deposicional, sugerindo uma maior influência estuarina em tempos pretéritos, e continental, em tempos recentes.

A caracterização dos sedimentos quanto aos nutrientes principais é de suma importância para a análise do bioma em estudo, servindo como base para a avaliação de futuros impactos bem como auxiliando na fiscalização dos aportes de nutrientes na região estuarina da bacia do Parnaíba.

Considerando-se que os impactos negativos da influência antrópica sobre os biomas estuarinos têm potencial para transformá-los em fontes de carbono para a atmosfera, e que estudos realizados em 2015, na bacia do Rio Parnaíba, por De Paula *et al.*, apontam para emissões de nitrogênio e fósforo superiores, em várias ordens de grandeza, aos aportes naturais, infere-se que a proteção do Delta do Rio Parnaíba é essencial para o combate ao aquecimento global, especialmente por sua importância como sumidouro de carbono.

REFERÊNCIAS

ABREU I.M. **Distribuição geoquímica de carbono, nitrogênio e fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe, CE.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal do Ceará. 86p. 2004.

ANDRIEUX-LOYER, Françoise; AMINOT, Alain. Phosphorus forms related to sediment grain size and geochemical characteristics in French coastal areas. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 52, n. 5, p. 617-629, 2001.

A. LERMAN. Geochemical Processes. Water and Sediment Environments. VIII 481 pp., numerous figs. New York: Wiley. ISBN 0 471 03263 8. **Geological Magazine**, 117(3), 298-299. 1979.

ALLMON, W., & MARTIN, R. Seafood through time revisited: The Phanerozoic increase in marine trophic resources and its macroevolutionary consequences. **Paleobiology**, 40(2), 256-287. 2014.

ANA. Agência Nacional de Águas. **A navegação interior e sua interface com o setor de recursos hídricos.** Brasília: 2005. 57p.

ANDREWS, J. E.; GREENAWAY, A. M.; DENNIS, P. F. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbour, Jamaica. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 46, n. 5, p. 743–756, 1998

BERNER RA, RAO JL (1994). Phosphorus in sediments of the amazon river and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 58:2333–2339.

BOONE, J. K.; BHOMIA, R. K. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: Global and regional comparisons. **PLoS ONE**, v. 12, n. 11, p. 1–17, 2017.

BOONE KAUFFMAN, J. *et al.* Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. 2018.

BORGES, R. S. **Caracterização Limnológica do Estuário do Rio Jaguaribe-CE e do Estuário do Rio Parnaíba-PI, Brasil.** Monografia em Oceanografia – Labomar, Laboratório de Ciências do Mar, Universidade Federal de Fortaleza. Fortaleza. 2017.

BRASIL/ Projeto RADANBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: Folha AS. 24 Fortaleza. MME, 1981.

BREMNER, J.M. AND MULVANEY, C.S. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. **Chemical and microbiological properties**, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624. 1982.

CAVALCANTE, M. S. **Transporte De Carbono Orgânico Dissolvido No Estuário Do Rio Jaguaribe Sob Clima Semiárido**. p. 83, 2015.

Chesf. Companhia de Hidroeletricidade do rio São Francisco. **Inventário hidrelétrico da Bacia do Rio Parnaíba: Relatório Condensado**. Brasília: 2003. 50p.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba. **Plano de Ação para a Bacia do Rio Parnaíba – Planap. Relatório Preliminar**. Brasília: 2005, 74p.

CLEVELAND, C. C.; LIPTZIN, D. C:N:P stoichiometry in soil: Is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass?. **Biogeochemistry**, v. 85, n. 3, p. 235–252, 2007.

DATTA, DILIP & GUPTA, LALLAN & SUBRAMANIAN, VENKATRAMAN. Distribution of C, N and P in the sediments of the Ganges–Brahmaputra–Meghna river system in the Bengal basin. **Organic Geochemistry**. 30. 75-82, 1999.

DE AGUIAR, A. B.; GOMES, D. F.; SÁ FREIRE, G. S. **Origem da deposição da matéria orgânica em sedimentos de manguezal na porção noroeste da Baía de Todos os Santos** *Revista de Geologia*, 2012.

DE PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; DE LACERDA, L. D. Natural and anthropogenic emissions of N and P to the Parnaíba River Delta in NE Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 34–44, 2015.

DONATO, D. C. *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 5, p. 293–297, 2011.

DUKE, N. C.; LO, E.; SUN, M. Global distribution and genetic discontinuities of mangroves - Emerging patterns in the evolution of Rhizophora. **Trees - Structure and Function**, v. 16, n. 2–3, p. 65–79, 2002.

FOURQUREAN, J. W., ZIEMAN, J. C., & POWELL, G. V. N. Phosphorus limitation of primary production in Florida Bay: Evidence from C:N:P ratios of the dominant seagrass *Thalassia testudinum*. **Limnology and Oceanography**. 1992.

JENSEN, H. S. *et al.* Forms and availability of sediment phosphorus in carbonate sand of Bermuda seagrass beds. **Limnology and Oceanography**, v. 43, n. 5, p. 799-810, 1998.

IBAMA. **Plano de gestão e diagnóstico geo-ambiental e socioeconômico da APA do Delta do Parnaíba**, 1998.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. **Ecology and Evolution**, 2018.

KOCH, M. S.; BENZ, R. E.; RUDNICK, D. T. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of northeastern Florida Bay. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 52, n. 2, p. 279-291, 2001.

KÖEPPEN, W. Climatologia, com un estudio de los climas de la Tierra. Buenos Aires: Ed. **Fundo de Cultura Econômica**, 478p. 1948.

LACERDA, L. D.; ITTEKKOT, V.; PATCHINEELAM, S. R. Biogeochemistry of Mangrove Soil Organic Matter: a Comparison Between Rhizophora and Avicennia Soils in South-eastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 40, n. 6, p. 713-720, 1995

LALLIER-VERGÈS, O.; BALTZER, F. Relationships between environmental conditions and the diagenetic evolution of organic matter derived from higher plants in a modern mangrove swam system (Guadeloupe, French West Indies). **Organic Geochemistry**. v. 29. p 1663-1686. 1998.

LEITE, A. S. **Geoquímica de sedimentos de manguezais próximos à área de cultivo de camarão em Salinas da margarina-Bahia**. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – POSPETRO, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 72p. 2017

MADUREIRA, L. A. S. Compostos orgânicos em sedimentos marinhos: uma viagem ao fundo do oceano atlântico norte. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 814-824, 2002.

MARCHAND, C.; LALLIER-VERGÈS, E. BATTZER, F. The composition of sedimentary organic matter in relation to the dynamic features of a mangrove – fringed coast in French Guiana. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 56, p. 119-130. 2003.

MARINS, R. V.; LACERDA, L. D.; ABREU, I. M; DIAS, F. J. S. Efeitos da açudagem no rio Jaguaribe. *Revista Ciência Hoje*, v.33, p. 66-70. 2003.

MCLEOD, E. *et al.* A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 10, p. 552–560, 2011.

MESQUITA, B. F.; BARRETO, R. **Monitoramento da atividade de carcinicultura nas áreas de manguezal da APA Delta do Parnaíba, entre 2005 e 2009**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.2044, 2009.

MEYERS, P.; ISHIWATARY R. Lacustrine organic geochemistry - an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. **Organic Geochemistry**. 20(7): 867-900. 1993.

MMA. Caderno da região hidrográfica do Parnaíba. **Ministério do Meio Ambiente**, p. Brasília: 184 p., 2006.

MOREIRA, Amélia A. Nogueira. In: Geografia do Brasil - Região Nordeste, Rio de Janeiro: **IBGE**, v. 2, 1977.

PELEGRÍ, S. P.; TWILLEY, R. R. Heterotrophic nitrogen fixation (acetylene reduction) during leaf-litter decomposition of two mangrove species from South Florida, USA. **Marine Biology**, v. 131, n. 1, p. 53–61, 1998.

Plano de Ação para a Bacia do Rio Parnaíba – Planap. Banco de Dados. Brasília: 2005. CD-ROM. 2005.

RAO, R. G. *et al.* Carbon, nitrogen contents and stable carbon isotope abundance in mangrove leaves from an east African coastal lagoon (Kenya). **Aquatic Botany**, v. 47, n. 2, p. 175–183, 1994.

Relatório CPRM 2017: https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Parnaiba/20171116_10-20171116%20-%20103332.pdf. 2017.

RUTTEMBERG K.C. & GOÑI M.A. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}\text{C}_{\text{oc}}$ in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. **Marine Geology**, 139:123-145. 1997.

SANTOS, E. S. *et al.* Origem da matéria orgânica sedimentar no delta-estuarino do Rio São Francisco, AL/SE - Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 37–48, 2013.

SILVA, Andréa Pinto *et al.* Mesozooplankton of an impacted bay in North Eastern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p. 485-493, 2004.

STEIN, R. **Accumulation of organic carbon in marine sediments**: results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program (DSDP/ODP). Berlin: Springer-Verlag. (Lecture Notes in Earth Sciences). v. 34, 1991. 217p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. rev. E ampl.. Porto Alegre: UFRGS – Departamento de Solos, 1995. 144p. (Boletim Técnico, 5).

WHITE, R. E.; AYOUB, A. T. Decomposition of plant residues of variable C/P ratio and the effect on soil phosphate availability. **Plant and Soil**, v. 74, n. 2, p. 163–173, 1983.

WALLING, DES. Human Impact on Land–Ocean Sediment Transfer by the World's Rivers. **Geomorphology**. 79. 192-216, 2006.

XAVIER, D.; BERREDO, J.; MACHADO D. S., ODETE; TAKIYAMA, L. Distribuição geoquímica (c, n e c/n) nos sedimentos de fundo do rio sucuriju – ap, Brasil. **XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. 261-266p. 2009.

YEOMANS, J.C. AND BREMNER, J.M. A Rapid and Precise Method for Routine Determination of Organic Carbon in Soil. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, 19, 1467-1476. 1988.

ZOCATELLI, R.O. *et al.* Distribuição e caracterização da matéria orgânica no gradiente estuarino do r. Jaguaribe, CE, Brasil. In: Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 12, 2007, Florianópolis. **Anais do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR**. Florianópolis: Centro Sul, 2007. CD-ROM.