

## PREDIÇÃO DA DENSIDADE DOS SOLOS DAS UNIDADES DE PAISAGEM DO DELTA DO PARNAÍBA – PIAUÍ

### SOIL DENSITY PREDICTION OF PARNAÍBA - PIAUÍ DELTA LANDSCAPE UNITS

#### **Andréa Maciel Lima**

Doutoranda pela Universidade Federal de Goiás (PPGEO-UFG).

E-mail: andreamacielimaa@gmail.com

#### **Gustavo Souza Valladares**

Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

E-mail: valladares@ufpi.edu.br

#### **João Victor Alves Amorim**

Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Piauí (PPGGEO-UFPI).

E-mail: amorim@ufpi.edu.br

#### **Jéssica Cristina Oliveira Frota**

Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Piauí (PPGGEO-UFPI).

E-mail: jessykcris@hotmail.com

#### **Marcos Gervasio Pereira**

Professor Doutor do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

E-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

#### **RESUMO**

O presente artigo consistiu na predição da densidade de solos representativos das diferentes unidades de paisagem do Delta do Parnaíba – Piauí, a partir da utilização de Funções de Pedotransferência – PTFs. Para a predição foram considerados 14 perfis de solos coletados nas diferentes unidades de paisagem, totalizando 44 amostras. Os perfis de solos foram coletados nas seguintes unidades de paisagem: Planície e Terraço fluvial; Planície eólica e Dunas estabilizadas; Planície fluvio marinha; Campo de Dunas e na unidade Paleodunas. Utilizou-se a variável dependente (Densidade do Solo - DS) e as variáveis independentes pH, valor T, carbono orgânico (COT), argila, silte, silte

mais argila, areia grossa, areia fina e areia total. Através do programa XLSTAT por meio do pacote *backward*, realizou-se a análise de regressão que identificou cinco variáveis para a equação do modelo, tais são: valor T, carbono orgânico (COT), areia grossa, areia fina e silte. Os valores de DS observados variaram de 0,59 Mg/m<sup>-3</sup> a 1,74 Mg/m<sup>-3</sup> com média de 1,38 Mg/m<sup>-3</sup> e o desvio padrão igual a 0,281 e os valores da DS preditos variaram entre 0,77 Mg/m<sup>-3</sup> a 1,69 Mg/m<sup>-3</sup> com média de 1,4 Mg/m<sup>-3</sup> e o desvio padrão de 0,239. Constatou-se que 73% da variabilidade da variável dependente DS foi explicada pelas cinco variáveis explicativas, selecionadas para o modelo da equação. Ao associar os valores de DS, constatou-se que há uma relação direta com as unidades de paisagem em que estão inseridos, principalmente quanto aos atributos referentes a granulometria do solo e o COT.

**Palavras-chaves:** Função de Pedotransferência. Unidades de Paisagem. Litoral do Piauí. Granulometria. Carbono Orgânico. Regressão Múltipla.

## **ABSTRACT**

*The present article consisted of the prediction of the density of soils representative of the different landscape units of the Delta do Parnaíba - Piauí, using Pedotransfer Functions – PTFs. For the prediction 14 soil profiles collected in the different landscape units were considered, totaling 44 samples. Soil profiles were collected in the following landscape units: Plain and river terrace; Wind farm and stabilized dunes; Marine fluvial plain; Campo de Dunas and at the Paleodunas unit. Thus, as a database, the dependent variable DS (Soil Density) and the independent variables pH, T value, organic carbon (TOC), clay, silt, silt plus clay, coarse sand, fine sand and total sand were used. . The XLSTAT program was used through the backward package, to perform the regression analysis that identified five variables for the model equation, such as: T-value, organic carbon (TOC), coarse sand, fine sand and silt. The observed DS values ranged from 0.59 Mg / m<sup>-3</sup> to 1.74 Mg / m<sup>-3</sup> with an average of 1.38 Mg / m<sup>-3</sup> and the standard deviation equal to 0.281 and the predicted DS values varied between 0.77 Mg / m<sup>-3</sup> to 1.69 Mg / m<sup>-3</sup> with an average of 1.4 Mg / m<sup>-3</sup> and the standard deviation of 0.239. It was found that 73% of the variability of the dependent variable DS was explained by the five explanatory variables, selected for the equation model. When associating the DS, it was found that there is a direct relationship with the landscape units in which they are inserted, mainly regarding the attributes related to the soil granulometry and the TOC.*

**Keywords:** Pedotransfer Function. Landscape Units. Granulometry. Piaui Coast. Multiple Regression.

## **INTRODUÇÃO**

Budiman (2003) defende que as propriedades de solos são relacionadas com posições na paisagem, contudo as variáveis dos fatores de formação do solo podem ser usadas para prever atributos dos solos. Dessa forma, as relações solo-paisagem se tornam importantes nos estudos de predição de propriedades dos solos.

Diante disso, a física do solo investiga e determina, qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas, bem como sua medição, previsão e controle, com o objetivo principal de entender os meios que comandam a funcionalidade dos solos e sua importância na biosfera. A relevância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, guiar a irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e da água (REINERT, 2006).

Entre as suas propriedades físicas a densidade do solo se destaca como uma das variáveis mais importantes para o entendimento do comportamento do solo, pois, a partir dela é possível entender a sua porosidade, compactação e até inferir sobre o teor de carbono orgânico. Contudo, determinar essa propriedade do solo é trabalhoso e por vezes inviável, dessa forma utiliza-se de métodos estatísticos para prever essa propriedade dos solos, por meio de trabalhos de coleta de solos em campo e de análises laboratoriais.

Benites (2006) argumenta que diante das preocupações com as mudanças climáticas e a contribuição do acúmulo de carbono no combate a essas mudanças, têm motivado pesquisas nacionais de estoque de carbono nos solos. Para os estudos dessas estimativas depende-se de dados sobre o conteúdo de carbono e a densidade do solo (DS). Justificando, a importância de estudos referentes a DS.

Esse cenário é devido ao fato da medição de DS são consideradas laboriosas, principalmente abaixo de 0-30 cm de profundidade. A alternativa indicada por Benites (2006) para determinação da DS seria a utilização de Funções de Pedotransferência, que são análises de regressões lineares

múltiplas, baseadas em atributos do solo de fácil medição, como o carbono orgânico ou conteúdo de argila, apresentam forte potencial para substituir medidas de DS quando estas não podem ser obtidas.

Nesse sentido o presente trabalho teve por objetivo prever a densidade dos solos do Delta do Parnaíba, Piauí, por meio da utilização de Funções de Pedotransferência (PTFs), com base nas características físicas e químicas de solos representativos e estabelecer a relação existente entre a DS e a unidade de paisagem em que esses solos estão inseridos.

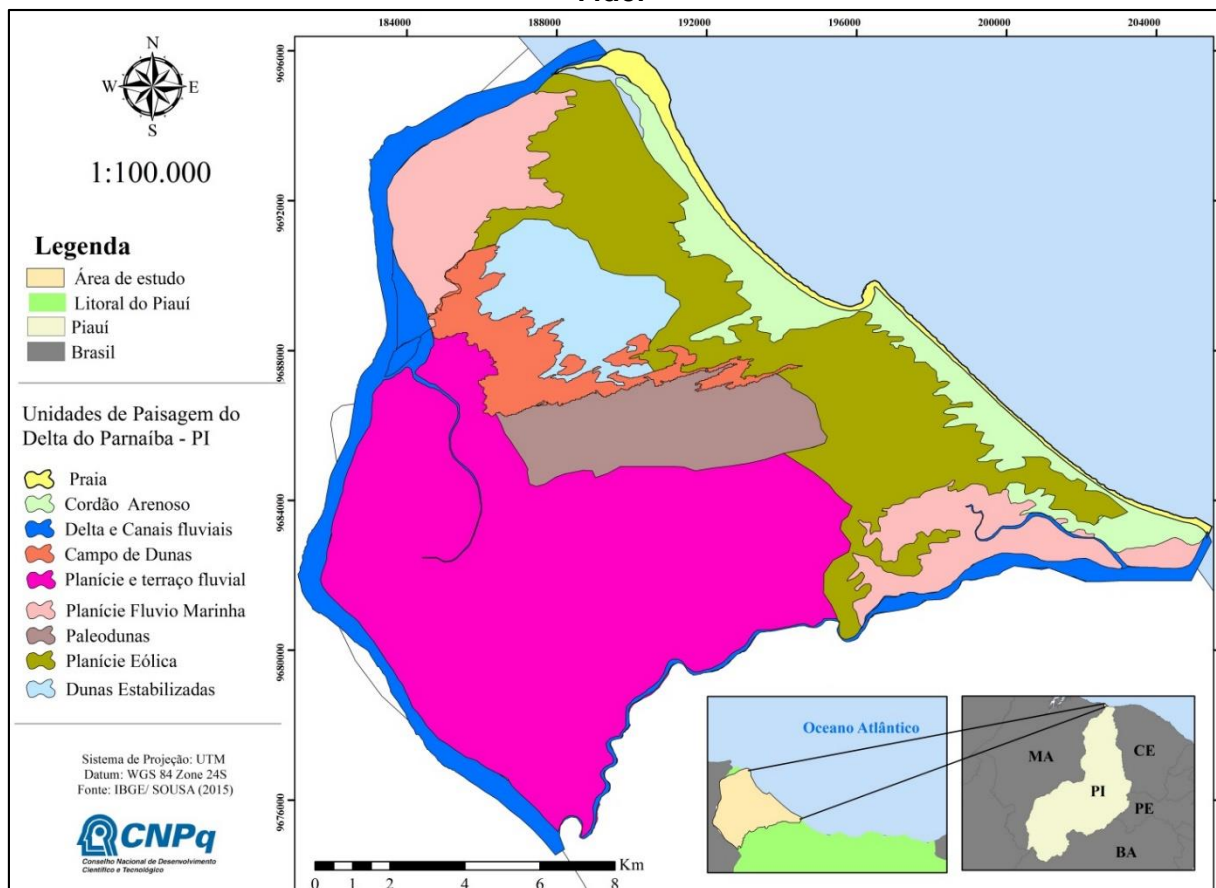
O Delta do Parnaíba, localizado no litoral piauiense é um ambiente de importância biológica, ao abrigar espécies em perigo de extinção como o Peixe-Boi-Marinho (*Trichechus manatus*) e a Tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriácea*), bem como por constituir áreas de parada e alimentação de aves migratórias, como os Guarás (*Eudocimus ruber*). E também de importância ambiental, por abranger grande área de manguezais, campos de dunas ativas e lagoas naturais costeiras, responsável pela dinâmica natural do litoral e, socioeconômica, através do ecoturismo e do desenvolvimento de atividades humanas tradicionais como a pesca e o extrativismo.

Na área de estudo destaca-se os trabalhos realizados por Sousa (2015), Cabral *et al.*, (2019), Amorim (2019) e Portela *et al.*, (2020) que se configuram em importantes contribuições para as pesquisas realizadas no Delta do Parnaíba. A pesquisa em questão surgiu de uma extensão do trabalho desenvolvido pela autora no período de vínculo (2016 – 2018) com o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) bem como fruto da preocupação em se obter informações mais detalhadas das características físicas dos solos do Delta do Parnaíba – PI e contribuir para um manejo adequado e consciente da área, buscando aliar a ciência geográfica com estudos pedológicos.

## **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo está localizada na porção norte do litoral piauiense e no nordeste setentrional do Brasil e compreende parte da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba e parte da Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba (Resex Marinha Delta do Parnaíba), mais precisamente na região delimitada pelo rio Igarçu a sudeste, rio Parnaíba a oeste e o Oceano Atlântico ao norte, abrangendo o município de Ilha Grande, e parte do município de Parnaíba. A área estudo tem aproximadamente 282 km<sup>2</sup>, dos quais 8 km<sup>2</sup> pertencem à Resex (Figura 1) (PORTELA *et al.*, 2020).

**Figura 1 – Mapa de localização e das Unidades de Paisagem do Delta do Parnaíba – Piauí**



Fonte: Sousa (2015), adaptado pelos autores (2020).

A planície costeira do Piauí possui elevados níveis de chuva, no entanto, com valores que variam muito ao longo do ano, com precipitação mensal

máxima aproximando-se de 300 mm. O período de maior incidência pluviométrica se estende de fevereiro a maio.

De acordo com a geologia, no Delta do Parnaíba predominam sedimentos do período Quaternário. Os sedimentos do período Quaternário são representados pelos depósitos praias, eólicos, marinhos e lagunares e depósitos colúvio-aluvionares. A área encontra-se subdividida em sete unidades geológicas, sendo: Delta e Canais Fluviais; Depósito Litorâneos de Praias Recentes; Depósitos Eólicos Litorâneos Móveis; Depósitos Eólicos Litorâneos Fixos; Depósitos fluvioaluvionares; Depósitos de Pântanos e Mangues; e Depósitos arenosos (VALLADARES; CABRAL, 2017).

As unidades geomorfológicas que compõem a área em estudo compreendem os relevos de agradação. Através do mapeamento realizado por Sousa (2015), em escala de 1:100.000 é possível identificar nove unidades geomorfológicas na área do Delta do Parnaíba, sendo: Cordão arenoso; Delta e canais fluviais; Dunas estabilizadas; Dunas móveis; Paleodunas; Praia; Planície eólica; Planície fluvio-marinha e; Planície e terraço fluvial.

Com relação aos solos, há ocorrência das seguintes ordens de solo na área de estudo: Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Planossolos, Neossolos, Vertissolos e Organossolos, destacando maior nível de incidência para os Neossolos Quartzarênicos (RQ) e Gleissolos Háplicos (GX) (CABRAL *et al.*, 2019) (AMORIM, 2019).

A área de estudo apresenta fisionomias de restinga frutíferos inundáveis e não inundáveis nucleados por espécies arbóreas, sendo estas demarcadas por áreas de depressão, resultante da atividade eólica sobre as dunas, inundáveis, no período chuvoso, bem como formações de campos e carnaubais (SANTOS-FILHO *et al.*, 2010). Em estudos sobre cobertura das terras, por meio de classificação não-supervisionada em uma imagem de satélite de alta resolução espacial, Amorim (2017) conseguiu identificar cinco grupos vegetacionais presentes no Delta do Parnaíba, a saber: Vegetação Arbórea

Arbustiva; Vegetação Arbustiva Densa; Vegetação de Mangue; Vegetação Paludosa e Vegetação Rasteira.

As unidades de paisagens se individualizam pelo relevo, clima, cobertura vegetal, solos ou até mesmo pelo arranjo estrutural e o tipo de litologia ou exclusivamente por um desses elementos. Apresentam fronteiras de complexa delimitação, dados que têm um espectro taxonômico variado e que ocupam um determinado espaço e certo período de tempo, cuja existência é condicionada pelo funcionamento de seus elementos (SPORL; ROSS, 2004).

Com base no mapeamento realizado por Sousa (2015) e adaptado para a área de estudo (figura 1), o Delta do Parnaíba é composta por nove unidades de paisagem sendo elas: Praia, Delta e Canais Fluviais, Cordão arenoso, Planície e Terraço Fluvial, Planície Flúvio Marinha, Campo de Dunas, Paleodunas, Planície Eólica e Dunas estabilizadas.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para alcance do objetivo proposto, os materiais utilizados consistiram em softwares de análise estatística e ferramentas de campo. Os trabalhos de campo serviram para coleta dos perfis de solo e foram realizados entre os dias 10 e 13 de dezembro de 2015, entre 24 e 26 de fevereiro de 2016, entre 19 e 20 de dezembro de 2016, entre 30 de janeiro e 04 de fevereiro de 2017 e entre 09 e 12 de Junho de 2018. O critério de escolha das datas foi estabelecido tendo como base os períodos de maior precipitação na área, visto que a coleta de alguns perfis de solo, seja por tradagem ou por meio de abertura de trincheiras, só é possível com o solo úmido.

Os perfis tiveram amostras coletadas em seus horizontes diagnósticos. Os solos foram caracterizados segundo o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo de Lemos e Santos (1996) e Santos et al. (2015) e do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (SANTOS *et al.*, 2018). As amostras,



após a coleta, foram secas e peneiradas (2 mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA).

Na TFSA, os atributos físicos e químicos foram determinados de acordo com as orientações do Manual de Métodos de Análise de Solos da EMBRAPA (DONAGEMA *et al.*, 2011), do Boletim Técnico de Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas (IAC, 2009) e do Manual Técnico de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

As análises físicas realizadas consistiram em: densidade aparente ( $D_s$ ), realizada através do método do anel volumétrico; e análise granulométrica (areia, silte, argila), avaliada pelo método da pipeta, usando-se dispersão com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>.

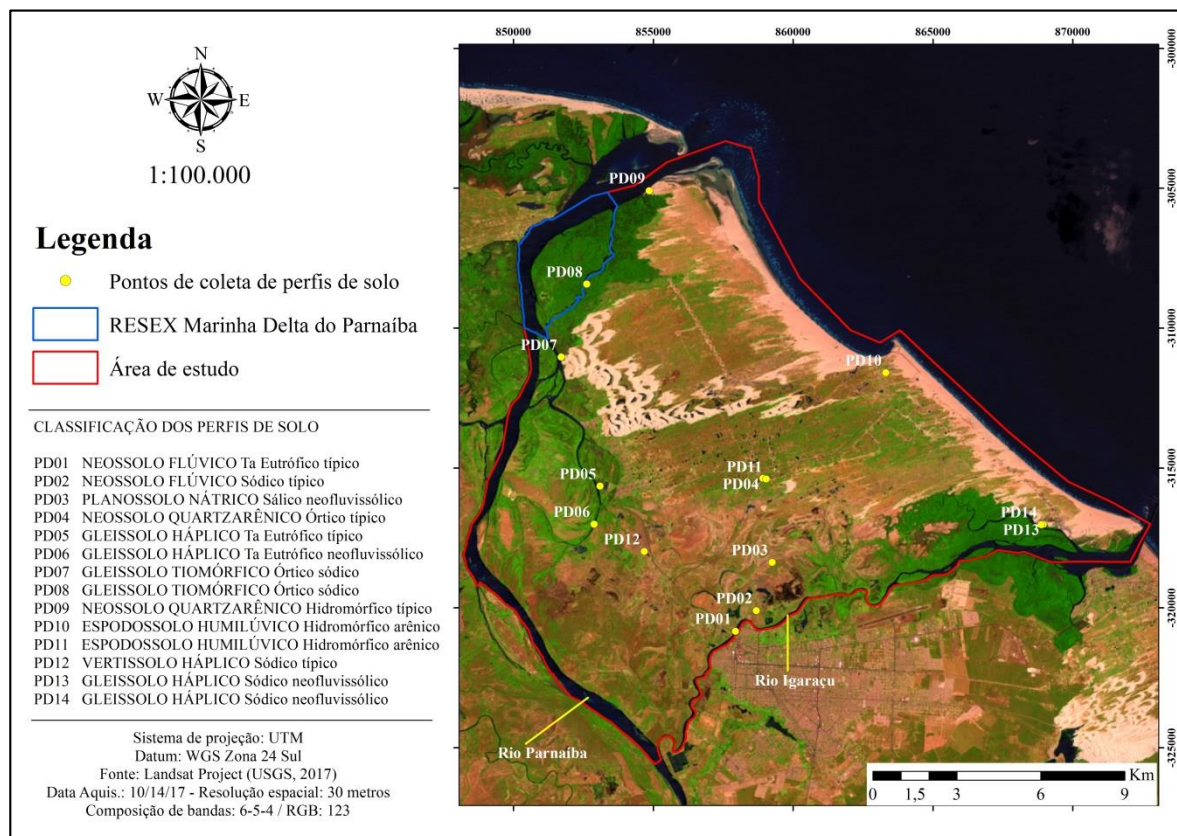
No que tange as análises químicas, o pH foi determinado em água; carbono orgânico, por oxidação da matéria orgânica via úmida com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio sulfúrico; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> utilizando solução extratora de KCl; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e P assimilável pelo método de Mehlich; acidez total (Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>); e condutividade elétrica, efetivada por meio do método de condutividade elétrica do extrato aquoso segundo IAC (2009). A Figura 2 ilustra a localização dos pontos de coleta.

A partir dos resultados das análises realizadas com as amostras de solos coletadas os dados foram organizados em planilhas e foi realizada análise de regressão no software Excel, a partir da extensão do programa XLSTAT, por meio do pacote *backward*. Por conseguinte, os dados gerados na análise de regressão foram interpretados.

Na pesquisa foi utilizada a regressão linear múltipla (*Multiple Linear Regression – MLR*) que foi introduzida por Stenberg *et al.*, (1960). Essa técnica busca estabelecer uma relação linear entre as variáveis preditoras e preditas aplicando o método dos mínimos quadrados.



**Figura 2 – Mapa dos pontos de coleta dos perfis de solos representativos do Delta do Parnaíba – Piauí**



Fonte: USGS (2017), organizado pelos autores (2020).

O banco de dados para geração das PTFs na pesquisa foi composto a partir do resultado das análises dos perfis de solos da região do Delta do Parnaíba (PI). As variáveis independentes para geração das PTFs foram o teor de areia grossa, areia fina, areia total, silte, argila, silte mais argila, valor T, pH e carbono orgânico e a variável dependente é a densidade do solo, ou seja, foi realizada uma análise de regressão relacionando Ds (variável dependente) a nove atributos do solo (variáveis independentes).

Por fim, a última etapa consistiu na interpretação dos dados gerados pela densidade dos solos a partir da unidade de paisagem ao qual o perfil está inserido, estabelecendo essa associação. As unidades de paisagem da área foram delimitadas levando em conta o mapeamento realizado por Sousa (2015) (Figura 1).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **Análise da predição da densidade de solos representativos do Delta do Parnaíba (PI), A partir da utilização de funções de Pedotransferência – PTFs**

Como já foi apresentado, o banco de dados para geração das PTFs é composto a partir da seleção de dados de 14 perfis de solos de trabalhos e levantamentos realizados na região do Delta do Parnaíba (PI), totalizando 44 amostras, coletadas em cinco unidades de paisagem (Planície Flúvio Marinha, Planície e Terraço Fluvial, Paleodunas, Planície eólica e Dunas estabilizadas) das nove mapeadas na área de estudo. Os valores analisados das variáveis dependentes (densidade do solo - DS) e independentes (teor de areia grossa, areia fina, areia total, silte, argila, silte mais argila, valor T, pH e carbono orgânico) estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Estatística descritiva das amostras utilizadas na construção da Função de Pedotransferência- PTFs, para análise de regressão múltipla em solos representativos do Delta do Parnaíba – Piauí**

VARIÁVEL	OBSERVAÇÕES	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
DS	34	0,594	1,736	1,377	0,287
PH	34	2,800	8,890	5,539	1,661
T	34	1,705	95,799	22,322	19,484
COT (G KG)	34	0,101	31,652	8,761	8,372
A GROSSA	34	2,000	864,000	216,235	289,717
A FINA	34	21,000	728,000	271,853	228,462
A TOTAL	34	37,000	984,000	488,088	367,651
SILTE	34	5,000	761,000	338,471	238,690
ARGILA	34	7,000	548,000	173,441	169,330
SIL + ARG	34	16,000	963,000	511,912	367,651

Fonte: Pesquisa direta (2017).

O valor médio de DS neste conjunto de dados é 1,38 Mg/m<sup>-3</sup>, variando entre valores próximos a 0,59 Mg/m<sup>-3</sup> e 1,74 Mg/m<sup>-3</sup>. No sentido de validação dos dados quantitativos atribuiu-se o valor de 10 observações (~23%) que validassem os dados da análise, que foram selecionadas de forma aleatória pelo programa.

Posteriormente, analisou-se os valores dos coeficientes de correlação, para tanto o programa gerou a matriz de correlação entre as variáveis (Tabela

2). Becker (1998) defende que a matriz de correlação possibilita a análise simultânea da associação entre variáveis, através dos coeficientes de Pearson. Dessa forma, o ideal é que as correlações entre as variáveis independentes sejam baixas e entre a variável dependente com as independentes sejam altas, para evitar colinearidade.

**Tabela 2 - Matriz de correlação na análise de regressão múltipla em solos representativos do Delta do Parnaíba – Piauí**

	PH	T	COT (G KG)	AREIA GROSSA	AREIA FINA	AREIA TOTAL	SILTE	ARGILA	SIL + ARG	DS
PH	1	-0,600	-0,601	0,442	0,615	0,731	-0,663	-0,651	-0,731	0,449
T	-0,600	1	0,750	-0,576	-0,414	-0,711	0,564	0,749	0,711	-0,622
COT (G KG)	-0,601	0,750	1	-0,545	-0,490	-0,734	0,662	0,660	0,734	-0,788
AREIA GROSSA	0,442	-0,576	-0,545	1	-0,007	0,783	-0,771	-0,615	-0,783	0,492
AREIA FINA	0,615	-0,414	-0,490	-0,007	1	0,616	-0,521	-0,602	-0,616	0,317
AREIA TOTAL	0,731	-0,711	-0,734	0,783	0,616	1	-0,931	-0,858	-1,000	0,584
SILTE	-0,663	0,564	0,662	-0,771	-0,521	-0,931	1	0,613	0,931	-0,626
ARGILA	-0,651	0,749	0,660	-0,615	-0,602	-0,858	0,613	1	0,858	-0,386
SIL + ARG	-0,731	0,711	0,734	-0,783	-0,616	-1,000	0,931	0,858	1	-0,584
DS	0,449	-0,622	-0,788	0,492	0,317	0,584	-0,626	-0,386	-0,584	1

Fonte: Pesquisa direta (2017).

Constatou-se que a variável dependente DS apresenta valores com maior correlação com a variável carbono orgânico (COT) em que o coeficiente de correlação obtido foi  $r = -0,788$ , precedidos pelas variáveis argila com  $r = -0,626$  e o valor T com  $r = -0,622$ , significativos a 1% de probabilidade. E a variável que apresentou menor valor de correlação foi a areia fina com  $r = 0,317$ , significativo a 10% de probabilidade.

Por conseguinte, o programa gerou as estatísticas de multicolinearidade que permitem identificar problemas no ajuste do modelo que podem causar impactos na estimativa dos parâmetros. O diagnóstico da multicolinearidade realizou-se por meio do VIF (*Variance Inflation Factor*). Considera-se que valores de VIF que chegam até 1 (sem multicolinearidade); de 1 até 10 (com multicolinearidade aceitável) e acima de 10 (com multicolinearidade problemática).

Os valores de VIF apresentaram multicolinearidade aceitável em relação as variáveis pH, valor T e COT, as outras variáveis não apresentaram multicolinearidade. Evidenciando que inexistem variáveis redundantes que possam afetar o desempenho do modelo.

Os resultados da análise de regressão linear múltipla retornaram o valor de R<sup>2</sup> de 0,726, coeficiente de determinação, ou seja, 72,6% da variabilidade da variável dependente DS foi explicada pelas variáveis independentes, selecionadas para o modelo da equação.

Realizou-se também a análise de variância (ANOVA) com o intuito de testar a significância da regressão, ressaltando que o método da ANOVA consiste em fazer uma partição da variabilidade total da variável Y em outros componentes. É preciso escolher quais resultados retornarão o melhor estimador para cada parâmetro do modelo. Dessa forma, foram definidas as variáveis independentes que o programa definiu como melhor estimador da variável dependente DS, com base nos parâmetros do modelo que apresentaram significância estatística igual ou superior a 1% de probabilidade (Tabela 3).

**Tabela 3 - Parâmetros do modelo na análise de regressão múltipla em solos representativos do Delta do Parnaíba – Piauí**

FONTE	VALOR	ERRO PADRÃO	T	PR >  T	LIMITE INFERIOR (95%)	LIMITE SUPERIOR (95%)
<b>INTERCEPTO</b>	2,433	0,281	8,651	< <b>0,0001</b>	1,857	3,009
<b>PH</b>	0,000	0,000	-	-	-	-
<b>T</b>	-0,004	0,003	-1,680	0,104	-0,010	0,001
<b>COT (G KG)</b>	-0,023	0,006	-4,059	<b>0,000</b>	-0,035	-0,012
<b>A GROSSA</b>	-0,001	0,000	-2,527	<b>0,017</b>	-0,001	0,000
<b>A FINA</b>	-0,001	0,000	-2,612	<b>0,014</b>	-0,001	0,000
<b>A TOTAL</b>	0,000	0,000	-	-	-	-
<b>SILTE</b>	-0,001	0,000	-3,095	<b>0,004</b>	-0,002	0,000
<b>ARGILA</b>	0,000	0,000	-	-	-	-
<b>SIL + ARG</b>	0,000	0,000	-	-	-	-

Fonte: Pesquisa direta (2017).

Observa-se que as variáveis que apresentaram tal nível de significância, foram o valor T, COT, areia grossa, areia fina e silte. Com base nesses resultados

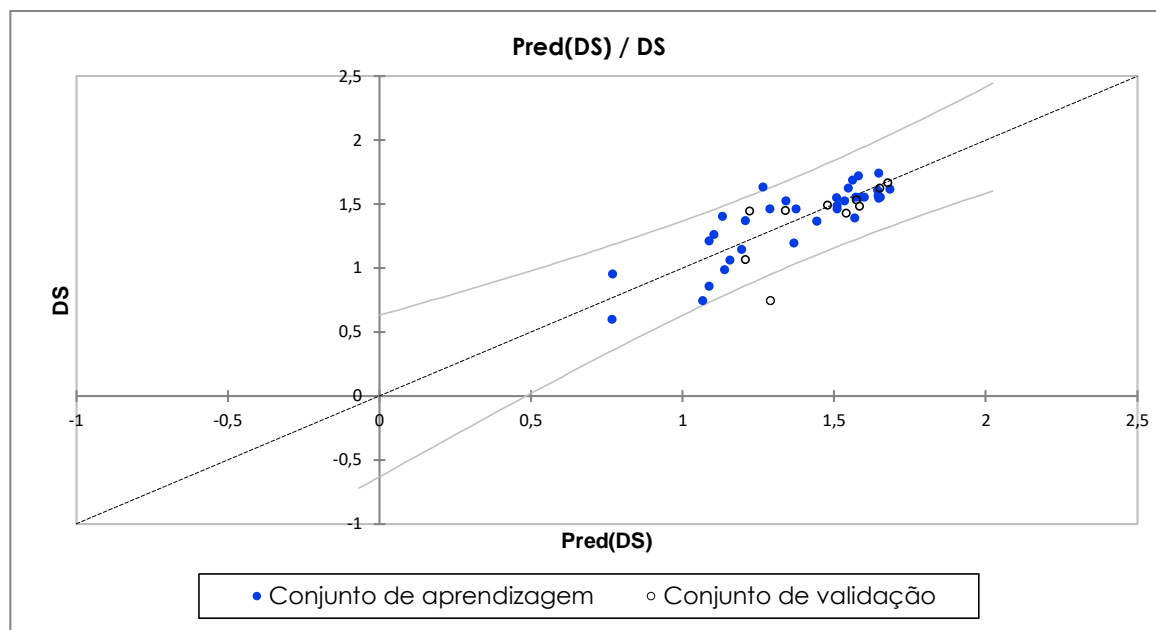
gerou-se a seguinte equação do modelo de estatística para a densidade do solo:

$$DS = 2,43 - 4,43E-03 \times T - 2,34E-02 \times \text{COT (g/kg)} - 7,51E-04 \times \text{Areia Grossa} - 7,54E-04 \times \text{Areia Fina} - 1,14E-03 \times \text{Silte}$$

Quanto as variáveis consideradas no modelo da equação o valor T, que indica a capacidade de troca de cátions, ou seja, quando muito baixa é um indício da baixa atividade da argila do solo, ou baixo teor de argila ou baixo teor de matéria orgânica (SANTOS *et al.*, 2018). O COT é, quantitativamente, o maior componente da matéria orgânica. As variações nos teores de COT nos solos tem sido utilizadas para a avaliação de qualidade do solo em decorrência de sua influência sobre as propriedades que condicionam a fertilidade do solo, e também, sob o aspecto da possibilidade de emissão de gases de efeito estufa (RESCK *et al.*, 2008). Quanto as variáveis, areia grossa, areia fina e silte referem-se aos atributos da granulometria do solo.

Contudo, ao aplicar o modelo da equação, gerou-se os valores preditos e seus respectivos resíduos. Ao gerar o modelo da equação, aplicou-se o método de resíduos padronizados para encontrar os dados que não correspondem aos dados ajustados, os chamados *outliers*. Dessa forma, gerou-se um gráfico de dispersão, para diagnosticar a presença de *outliers* (Figura 3). Ao observar o diagrama de dispersão, constatou-se que apenas um ponto, não correspondeu ao modelo ajustado, evidenciando que o modelo da equação gerado apresenta um caráter consistente.

**Figura 3 – Diagrama de dispersão apresentando os valores observados da DS e valores preditos dos perfis de solos – Pred(DS) representativos do Delta do Parnaíba – Piauí**



Fonte: pesquisa direta (2017).

## **ANÁLISE DA DENSIDADE DE SOLOS REPRESENTATIVOS DAS UNIDADES DE PAISAGEM DO DELTA DO PARNAÍBA (PI)**

### **Planície Flúvio Marinha**

Para Sousa (2015) predomina nessa unidade de paisagem depósitos de manguezais e são constituídos por sedimentos argilosos, plásticos e inconsistentes, ricos de matéria orgânica, restos de madeira e conchas. Dessa forma, foram coletados três perfis de solos, que foram classificados em: GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico sódico (PD07); GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico sódico (PD08); e GLEISSOLO HÁPLICO Sódico neofluvissólico (PD13 e PD14).

Os solos do tipo GLEISSOLOS, são solos hidromórficos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo. Distribuem-se nas regiões costeiras e áreas de várzeas e planícies aluvionais, mal ou muito mal drenadas (JACOMINE, 2009). Quanto aos valores de DS observadas e preditas estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores da DS observada e DS predita em solos representativos na unidade de paisagem Planície Flúvio Marinha, do Delta do Parnaíba – Piauí**

	<b>DS OBSERVADA MG/M<sup>-3</sup></b>	<b>DS PREDITA MG/M<sup>-3</sup></b>		<b>DS OBSERVADA MG/M<sup>-3</sup></b>	<b>DS PREDITA MG/M<sup>-3</sup></b>
<b>PD07 - A</b>	1,258	1,105	<b>PD13 - A</b>	1,456	1,511
<b>PD07 - BTG</b>	1,205	1,088	<b>PD13 - Cg1</b>	1,549	1,654
<b>PD07 - CGJ</b>	0,594	0,769	<b>PD13 - Cg2</b>	1,549	1,586
<b>PD08 - AG</b>	1,063	1,208	<b>PD14 - Ag</b>	1,456	1,290
<b>PD08 - AC</b>	1,140	1,194	<b>PD14 - Cg1</b>	1,549	1,600
<b>PD08 - CGJ</b>	0,948	0,770	<b>PD14 - Cg2</b>	1,549	1,573

Fonte: Pesquisa direta (2017).

Os valores de DS do PD07 apresentados foram de solos de textura argilosa e com distribuição errática de matéria orgânica em profundidade, caráter flúvico (SANTOS *et al.*, 2018; CABRAL *et al.*, 2019). Tal característica se justifica nos valores de COT dos horizontes variarem entre 9,58 g/kg<sup>-1</sup> para o horizonte A e 25,60 g/kg<sup>-1</sup> para o horizonte Cgj, o que caracteriza o fato da DS ter apresentado valores mais baixos, indicando um aumento do COT em profundidade.

Observa-se que o perfil PD08 apresenta valores de DS que se enquadram em solos de textura argilosa e ricos em matéria orgânica. Tal característica se justifica nos valores de COT dos horizontes variarem entre 15,62 g/kg para o horizonte A e 31,65 g/kg para o horizonte Cgj e também devido aos valores de areia fina e areia grossa serem inferiores aos valores de silte e argila, para esse perfil de solo. Nos perfis PD13 e PD14 os horizontes apresentaram valores de DS característica de solos de textura arenosa. Com valores de COT baixos variando entre 1,51 g/kg<sup>-1</sup> nos horizontes Cg2 (PD13) e Cg1 (PD14) e 14,52 g/kg<sup>-1</sup> para o horizonte A (PD14). Quanto a textura os valores das frações arenosas superam as frações argilosas e siltosas.

### **Paleodunas, Planície eólica e Dunas estabilizadas**



As unidades de paisagem Paleodunas, Planície eólica e Dunas estabilizadas foram agrupadas para a análise devido as semelhanças topográficas dessas unidades, caracterizadas por um modelado de acumulação eólico. Contudo, a unidade de paisagem Paleodunas corresponde ao ambiente dunar que está recoberto atualmente por vegetação. Apresentando características peculiares quanto a paisagem, com terreno rebaixado e coberto por vegetação, indicando que antes se tratava de um ambiente dunar. Sendo mais antigas, favorecem a estabilização do relevo, que ocorre através da melhoria das condições edáficas, contribuindo para uma maior estruturação das camadas superficiais, através de suportes de matéria orgânica (SOUSA, 2015).

Todavia, Sousa (2015) destaca que na unidade de paisagem Planície eólica e Dunas estabilizadas caracteriza-se por ser uma área aplainada entre as dunas constituídas de sedimentos eólicos em laminações lisas, bem como estratificações cruzadas truncadas entre as dunas ativas.

Dessa forma, coletou-se nestas unidades três perfis de solo que foram classificados como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico (PD09) e ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico (PD10 e PD11) (Tabela 5).

**Tabela 5 - Valores da DS observada e DS predita em solos representativos nas unidades de paisagem Paleodunas, Planície eólica e Dunas estabilizadas, do Delta do Parnaíba – Piauí**

	DS OBSERVADA MG/M <sup>3</sup>	DS PREDITA MG/M <sup>3</sup>		DS OBSERVADA MG/M <sup>3</sup>	DS PREDITA MG/M <sup>3</sup>
PD09 - A	1,527	1,574	PD11 - A	1,685	1,563
PD09 - C1	1,479	1,585	PD11 - E1	1,488	1,480
PD09 - C2	1,432	1,541	PD11 - E2	1,543	1,647
PD10 - A	1,423	1,541			
PD10 - EA	1,619	1,651			
PD10 - E	1,561	1,646			
PD10 - BH	1,664	1,677			

Fonte: Pesquisa direta (2017).

Observa-se que os valores indicam horizontes de solos com textura arenosa. Os solos do tipo NEOSSOLOS de acordo com Jacomine (2009) são aqueles constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos.

São solos pouco desenvolvidos e não apresentam horizonte B diagnóstico. Os valores de DS para os horizontes desse tipo de solo, condizem com DS que se enquadram em horizontes com textura arenosa, caracterizando assim por serem solos permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica, tal característica é evidenciada nos baixos teores de COT para os horizontes desses solos, apresentando DS variando entre 1,527 Mg/m<sup>-3</sup> no horizonte A e 1,432 Mg/m<sup>-3</sup> no horizonte C2 do perfil PD09.

Para Santos *et al.*, (2018) os solos do tipo ESPODOSSOLO são originários, principalmente, de materiais arenoquartzosos, sob condições de clima tropical e subtropical, em relevo plano, suave ondulado ou ondulado. Ocorrem associados a locais de umidade elevada, em áreas de surgente, abaciamentos e depressões, sob os mais diversos tipos de vegetação, sendo observadas valores de DS variando entre 1,432 Mg/m<sup>-3</sup> no horizonte A do perfil PD10 e 1,685 Mg/m<sup>-3</sup> no horizonte A do perfil PD11.

### **Planície e Terraço Fluvial**

Essa unidade de paisagem corresponde a áreas planas resultantes de acumulação fluvial, periodicamente alagadas, comportando meandros abandonados e cordões arenosos. Ocorrem nos vales com preenchimento aluvial, contendo material fino a grosseiro, pleistocênico e holocênico (SOUSA, 2015).

Nessa unidade foram coletados sete perfis de solos que foram classificados em NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico (PD01); NEOSSOLO

FLÚVICO Sódico típico (PD02); NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico sódico (PD04); PLANOSSOLO NÁTRICO Sálco neofluvíssóico (PD03); GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (PD05); GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico neofluvíssóico e típico (PD06) e VERTISSOLO HÁPLICO Sódico típico (PD12). Quanto a DS desses solos os valores encontrados foram os seguintes (Tabela 6):

**Tabela 6 - Valores da DS observada e DS predita em solos representativos na unidade de paisagem Planície e Terraço Fluvial, do Delta do Parnaíba – Piauí**

PERFIL	DS OBSERVADA MG/M <sup>3</sup>	DS PREDITA MG/M <sup>3</sup>	PERFIL	DS OBSERVADA MG/M <sup>3</sup>	DS PREDITA MG/M <sup>3</sup>
PD01- AP1	1,484	1,510	PD04 -A	1,546	1,510
PD01- AP2	1,362	1,444	PD04 -AC	1,622	1,547
PD01 - C1	1,387	1,570	PD04 -C	1,602	1,644
PD01 - C2	1,457	1,375	PD05-Ag	0,982	1,139
PD02 - A	1,367	1,208	PD05- Cg1	1,057	1,157
PD02 - C1	1,399	1,133	PD05 -Cg2	0,741	1,067
PD02 - C2	1,611	1,686	PD06 -Ag	0,741	1,292
PD02 - C3	1,627	1,266	PD06 -CA	1,189	1,368
PD03 - A	1,519	1,341	PD06 -Cg	0,853	1,088
PD03-BTV1	1,519	1,535	PD12 -A	1,716	1,581
PD03-BTV2	1,546	1,510	PD12 -Bv	1,736	1,648

Fonte: Pesquisa direta (2017).

Referente aos NEOSSOLOS (PD01 e PD02), eles apresentaram valores de DS, característicos de solos com altos teores de areia, variando entre 1,367 Mg/m<sup>3</sup> no horizonte A e 1,627 Mg/m<sup>3</sup> no horizonte C2 do perfil PD02. Quanto ao PLANOSSOLO, que correspondem a solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B, imediatamente subjacente, adensado, geralmente de

acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (JACOMINE, 2009; CABRAL *et al.*, 2019).

Dessa forma, o PLANOSSOLO (PD03) apresentou em seus horizontes valores de DS altos variando entre 1,52 Mg/m<sup>3</sup> nos horizontes A e Btv1 e 1,546 Mg/m<sup>3</sup> para o horizonte Btv2. Apresentando também teores altos de argila nos horizontes subsuperficiais, tal característica é evidenciada, pois refere-se a um horizonte plânico de um Planossolo.

Os GLEISSOLOS, apresentaram valores de DS característico de horizontes de textura argilosa, variando entre 0,741 Mg/m<sup>3</sup> nos horizontes Cg1 e Cg2 e 1,189 Mg/m<sup>3</sup> no horizonte CA.

E por fim, para Jacomine (2009) os VERTISSOLOS são solos minerais argilosos que possuem horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de água no solo, fendas profundas na época seca ou superfícies de fricção (*slickensides*).

Observa-se que os valores da DS para esse perfil de solo, apresentando um teor de argila alto e a densidade alta, referentes a horizonte vértico de um Vertissolo, que possuem baixa porosidade nos horizontes diagnósticos e argila de atividade alta e expansível. Ressalta-se que no momento da coleta os perfis se encontravam com teor de água muito baixo, portanto, com forte contração e adensados, o que deve ter corroborado com a elevação da densidade.

## **CONCLUSÃO**

Constatou-se que ao utilizar métodos estatísticos de análise de regressão linear múltipla para gerar o modelo da equação - PTFs e pudesse prever a densidade dos solos do Delta do Parnaíba – Piauí, o modelo identificou cinco variáveis sendo elas: valor T, carbono orgânico (COT), areia fina, areia grossa e silte como sendo as variáveis preditoras da DS, para a área

de estudo. Ao aplicar o modelo da equação ele mostrou-se eficiente, pois 73% da variabilidade da variável dependente DS foi explicada pelas cinco variáveis explicativas, selecionadas para o modelo da equação.

Ao associar os valores de DS desses solos representativos coletados na área de estudo, observou-se que existe uma relação direta entre as unidades de paisagem em que os perfis de solos coletados estavam inseridos, evidenciado principalmente pelos atributos referentes a textura do solo e o teor de carbono orgânico.

Ao analisar o solo e a paisagem, ou seja, integrar os estudos pedológicos e a ciência geográfica nos proporcionam a percepção que a Geografia pode transitar em várias áreas do conhecimento e enriquecer seus estudos. Assim, como foi realizada na presente pesquisa ao associar os valores de densidade dos solos as unidades de paisagem mapeadas na área de estudo.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, J. V. A. **Pedometria aplicada ao mapeamento de solos do Delta do Parnaíba – Piauí**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

AMORIM, J. V. A. **Uso e cobertura das terras e áreas potenciais para o turismo no Delta do Parnaíba – Piauí**. 2017. Monografia (Licenciatura em Geografia) – Coordenação do Curso de Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

BECKER, R. A., CHAMBERS, J. M. and WILKS, A. R. **The New S Language**. **Wadsworth & Brooks/Cole**, 1988.

BENITES, V. de M.; MACHADO, P.O de A.; FIDALGO, E.C.C.; COELHO, M.R.; MADARI, B.E.; LIMA, C.X. **Funções de petrotransferência para estimativa da densidade dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 104).

BUDIMAN, M.; MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. de L.M.; SANTOS, H.G. dos. **Revisão de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. (Documentos, 45).

CABRAL, L. J. R. S. **Levantamento pedológico da Planície do Delta do Parnaíba, PI.** 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia – Universidade Federal do Piauí), Teresina, 2018.

CABRAL, L. J. R. S.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO JÚNIOR, C. R.; LIMA, A. M.; FROTA, J. C. O.; AMORIM, J. V. A. Classificação dos solos da Planície do Delta do Parnaíba, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1466-1483, 2019.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual de Técnico de Pedologia.** 3. ed, Rio de Janeiro: IBGE, 2015. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Campinas, Instituto Agronômico, 2009. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

JACOMINE, P.K. T. **Levantamento exploratório de reconhecimento de solos do Estado do Piauí.** Rio de Janeiro: Embrapa. SNLCS/SUDENE-DRN, v.1, 1986.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de Descrição de Coleta de Solo no Campo**, 3. ed., Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

PORTELA, M. G. T.; ESPINDOLA, G. M.; VALLADARES, G. S.; AMORIM, J. V. A.; FROTA, J. C. O. Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. **Wetlands Ecol Manage**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09735-y>

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo.** Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2. ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 359-417.

SANTOS, H. G., *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SANTOS-FILHO, F. S., ALMEIDA JUNIOR, E. B. de, SOARES, C. J. dos R. S., ZICKEL, C. S. Fisionomias das restingas do delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 3, p. 218-227, 2010.

SOUSA, R. S. **Planície Costeira do Estado do Piauí**: mapeamento das unidades de paisagem, uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental. 2015. (Mestrado em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí), Teresina, 2015.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

STERNBERG, J.C.; STILLS, H.S.; SCHWENDEMAN, R.H. Anal. Chem., 32: 84, 1960.  
VALLADARES, G. S.; CABRAL, L. J. R. S. Mapeamento geológico da Planície do Delta do Parnaíba-Pi. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 27. João Pessoa, PB. **Anais [...]**. João Pessoa, PB, 2017.