

## PROSPECÇÃO E MODELAGEM DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE SOLOS PARA PAVIMENTAÇÃO: O CASO DA RIDE GRANDE TERESINA

**Antunildo Araújo Sá Júnior**  
**Carlos Augusto Uchôa da Silva**

Universidade Federal do Ceará - UFC

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes - PETRAN

### RESUMO

O desconhecimento generalizado bem como a carência de mapas geotécnicos de solos para fins específicos de pavimentação, aliado aos altos custos financeiros com o controle de qualidade dos materiais das camadas granulares dos pavimentos rodoviários motivou o interesse pela prospecção e desenvolvimento de modelos de predição das propriedades geotécnicas mais relevantes para os solos da área de estudo. O objetivo principal deste estudo é prospectar, caracterizar, modelar e mapear os parâmetros geotécnicos de solos relevantes para pavimentação na região de estudo, a partir de variáveis biofísicas. Elegeu-se como área de estudo a Região Integrada de Desenvolvimento - RIDE Grande Teresina. O método prevê a implementação de um banco de dados geotécnicos georreferenciado, partindo dos "As Builts" dos estudos geotécnicos (classificação AASHTO e CBR) provenientes de obras rodoviárias executadas na região. Assim, será realizada uma prospecção para coleta de amostras de solos, visando a execução dos ensaios tradicionais do meio, como Análise Granulométrica, Índices de Atterberg, Proctor, CBR e Módulo de Resiliência. Adicionalmente será investigada a ocorrência de solos tropicais através da metodologia MCT. Para a modelagem proposta, serão usadas duas técnicas: Regressão Logística e Redes Neurais Artificiais. Serão usadas características biofísicas da região como variáveis predictoras do comportamento geotécnico, tendo como variáveis preditas a classificação AASHTO e o parâmetro CBR. Entre os resultados esperados, estão a produção de mapas geotécnicos acerca dos comportamentos estimados, bem como a verificação da presença de solos finos lateríticos (MCT) na área, além da análise da correlação entre as diferentes classificações de solos.

### 1. INTRODUÇÃO

As obras de infraestrutura são essenciais ao desenvolvimento econômico de uma comunidade, entretanto estas interferem diretamente na natureza. A construção de uma rodovia requer movimentações de terra, cortes de taludes, desmatamentos, exploração de jazidas, etc. (Massad, 2010). Tais ações rompem o equilíbrio natural do meio ambiente, advindo a necessidade de planejamento e conhecimento prévio das propriedades de interesse daqueles solos, este último, completamente dependente do entendimento das condições de gênese dos mesmos (Ribeiro, 2013).

Segundo Craig (2014) os solos são formados pelo processo de decomposição das rochas, que podem ser físicos e/ou químicos. O processo físico pode ser a erosão pela ação do vento, da água ou de geleiras. Já a fauna e flora promove o ataque químico, através de hidrólise, oxidação, entre outros. O conjunto desses processos biofísicos, aponte-se mais presentes em climas tropicais, resultam na formação dos solos e em certa medida guardam correlação com o comportamento geotécnico destes.

Em razão disto, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de uma modelagem e caracterização de parâmetros geotécnicos que permita através de variáveis biofísicas a previsão e mapeamento das características dos solos relevantes para pavimentação na RIDE Grande Teresina. Segundo CODEVASF (2014), a Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento (RIDE) da Grande Teresina foi criada pela Lei Complementar nº 112 de 2001. Esta região é composta por 15 municípios: Altos, Beneditinos, Coivaras, Currálinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Nazária, Pau D'Arco do Piauí, Teresina e União, acrescida do Município de Timon, no Estado do Maranhão, abrangendo uma área de 10.919,19 km<sup>2</sup>.

### 1.1 Problema de Pesquisa

Há carência de mapas geotécnicos na RIDE Grande Teresina com fins específicos de infraestrutura de transportes, assim, existe a falta de um conhecimento prévio dos solos, fato que dificulta o planejamento das obras de novas vias que atendam a capital do Piauí. E também, os custos financeiros com o controle de qualidade dos materiais das camadas e das fundações dos pavimentos têm incentivado pesquisadores a buscar modelos de previsão do Módulo de Resiliência (MR) e busca por novas alternativas de jazidas, como a tecnologia dos solos finos lateríticos (MCT).

### 1.2 Objetivos

O objetivo principal desta investigação é gerar, validar e testar modelos de estimação das características geotécnicas com fins de pavimentação (Classificação AASHTO e CBR) na RIDE Grande Teresina-PI, incluindo a aplicação da metodologia MCT e investigação de modelos que melhor expliquem o comportamento resiliente (MR) dos solos. São listados a seguir os objetivos específicos:

- Obter e integrar um banco de dados geotécnicos com características biofísicas da área de estudos, a fim de possibilitar seu uso no desenvolvimento de modelos de inferência de duas propriedades geotécnicas (Classificação AASHTO e CBR).
- Traçar o perfil do comportamento dos solos da região e construir mapas geotécnicos, com intuito de auxiliar projetos de engenharia rodoviária.
- Caracterizar os solos da região de estudo através da metodologia MCT, ensaios triaxiais de cargas repetidas (MR) e avaliar suas potencialidades no uso como camadas para pavimentos de baixo volume de tráfego.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em termos geológicos, pode-se definir solo como o material oriundo da decomposição das rochas pela ação dos agentes do intemperismo. Considera-se solo todo tipo de material orgânico ou inorgânico, inconsolidado ou em parte cimentado, encontrado na superfície da terra (DNIT, 2006). A geografia do solo e sua caracterização pedológica também incorpora geomorfologia, não se pode explicar os solos sem o conhecimento da evolução do relevo e as rochas das quais eles são formados (Schaetzl e Anderson, 2005).

Barroso (2002) coletou 60 amostras de solos na Região Metropolitana de Fortaleza/CE distribuídas em diferentes classes pedológicas, fazendo um estudo a luz de métodos convencionais e não convencionais. As amostras foram classificadas pelos sistemas AASHTO, SUCS e MCT. Ademais, com os ensaios de adsorção de azul de metileno foi proposto um ábaco de atividade de três zonas para se caracterizar os solos. Os resultados também apresentaram a baixa presença de solos finos classificados como lateríticos segundo a metodologia MCT. Sant'ana *et al* (2016) estudaram diversos solos coletados em várias regiões da ilha de São Luís/MA. Foram feitas coletas de 20 amostras. Realizando-se os ensaios de caracterização tradicionais, metodologia MCT e Triaxial de Cargas Repetidas.

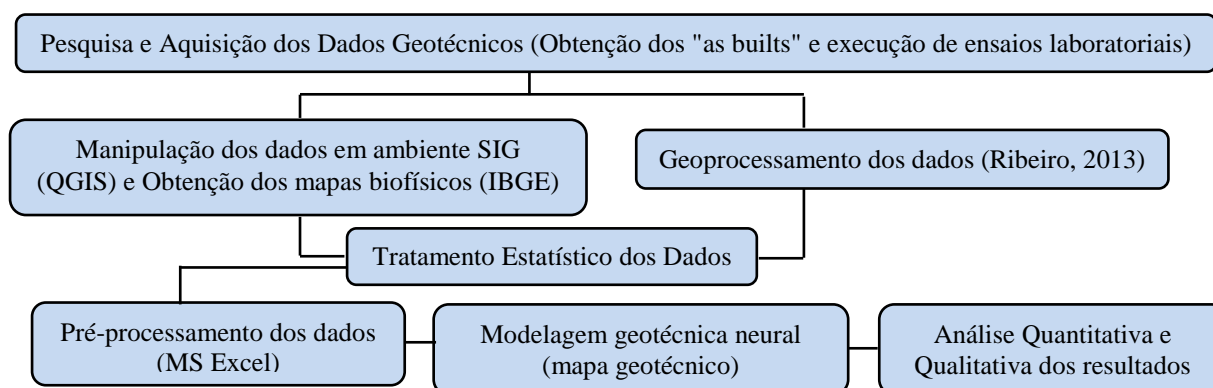
Embora as informações advindas dos mapas geotécnicos não substituam os ensaios convencionais da geotecnia, entende-se que a sua utilização nas fases de avaliação preliminar seja útil no planejamento do uso do solo para obras de infraestrutura. De acordo com Santos (1990 *apud* Wolski, 1997), um mapa geotécnico corresponde na a um resumo de informações geotécnicas dos solos relevantes para engenheiros e planejadores, características estas aliadas

a outros documentos, como a carta geológica, pedológica, hidrogeológica, geomorfológica, entre outras.

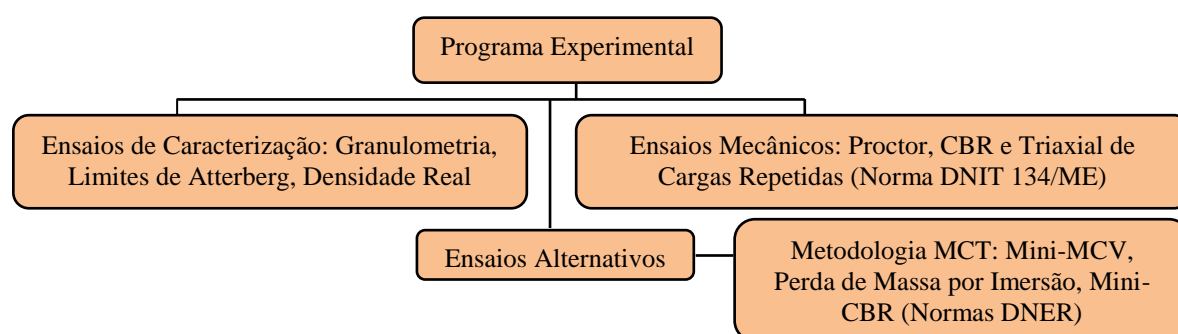
Ribeiro (2013) utilizou técnicas de RNA's para o mapeamento de classificação dos solos no sistema da AASHTO e do parâmetro CBR dentro da Região Metropolitana de Fortaleza/CE, utilizando 5 variáveis biofísicas como preditoras obteve uma taxa de acerto de 92,6% para a classificação AASHTO e de 90% para o parâmetro CBR. Pinto Guilherme (2016) aplicou técnicas de Regressão Logística Múltipla e RNA's para previsão e mapeamento da classificação dos solos no sistema da AASHTO e do parâmetro CBR dentro da Microrregião de Mossoró/RN, utilizando variáveis biofísicas e geomorfométricas como preditoras obteve taxas de acerto superiores com as RNA's.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a consecução da modelagem dos dois parâmetros geotécnicos (Classificação AASHTO e CBR) apresenta-se na Figura 1 uma descrição resumida dos materiais e etapas metodológicas a serem seguidas. Na Figura 2 resume-se o programa experimental para as 16 coletas de amostras que estão sendo prospectadas nas classes pedológicas da área de estudo.



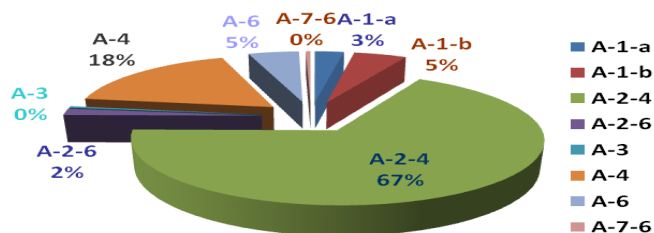
**Figura 1:** Fluxograma contendo as etapas metodológicas para a modelagem geotécnica



**Figura 2:** Fluxograma contendo as etapas para a execução do programa experimental

### 4. RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS

Partindo dos estudos geotécnicos ("As built") adquiridos já foram geoprocessados 960 furos de sondagem e organizados dentro do Sistema de Informação Geográfica (QGIS), em seguida realizando-se a etapa do tratamento estatístico (análise quantitativa) dos dados. Assim se produziu o gráfico da Figura 3 que mostra o percentual dos tipos de solo mais predominantes na área da RIDE Grande Teresina.



**Figura 3:** Frequências relativas dos tipos de solos (AASHTO) a partir dos 960 furos de sondagem dos "As Builts" analisados

A Tabela 1 traz o resumo dos principais ensaios de caracterização realizados para 3 amostras de solos do programa experimental e de prospecção, que totalizará 16 coletas de amostras.

**Tabela 1:** Resumo dos principais ensaios para três amostras de solos coletadas

Parâmetros Geotécnicos	Solo MA	Solo VG	Solo DH	
Classe Pedológica	Plintossolo	Latossolo	Latossolo	
Limite de Liquidez (%)	38,3	34,8	NL	
Índice de Plasticidade (%)	13,2	21,5	NP	
Classificação AASHTO/TRB	A-6	A-6	A-4	
Classificação MCT	$c'$	2,04	1,26	1,2
	$e'$	1,18	1,68	0,74
	Classe	NG'	NS'	LA'
Wótima % (Energia Intermediária)	15,10	15,30	12,55	
CBR com imersão (%)	15,7	8,5	19,8	
(Modelo da Tensão Confinante) $MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2}$	$k_1$	123,90	95,60	210,70
	$k_2$	-0,03	-0,37	-0,29
	$R^2$	0,01	0,40	0,22
(Modelo da Tensão Desvio) $MR = k_1 \cdot \sigma_d^{k_2}$	$k_1$	98,90	103,30	185,30
	$k_2$	-0,14	-0,44	-0,42
	$R^2$	0,26	0,85	0,73

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroso, S. H. A. (2002) Estudo dos Solos da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação na Engenharia Rodoviária. Tese (Doutorado). *Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP)*, São Paulo, 2003.
- CODEVASF (2014) *Plano de Ação Integrado e Sustentável para a RIDE Grande Teresina*. Diagnóstico Situacional Participativo. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do Parnaíba e São Francisco Teresina, PI, 266 p.
- Craig, R. F. Knappet, J. A. (2014) *Mecânica dos Solos*. 8 ed. Editora LTC, 444 p.
- DNIT (2006) *Manual de Técnicas de Pavimentação*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- Pinto Guilherme, A. T. (2016) Análise Comparativa de Modelos para Previsão e Mapeamento de Propriedades Geotécnicas dos Solos da Microrregião de Mossoró-RN. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, *Universidade Federal do Ceará*.
- Ribeiro, A. J. A. (2013) Um método para localização e estimação geotécnicas dos solos da região metropolitana de Fortaleza – CE para fins de pavimentação. Dissertação (Mestrado). *Universidade Federal do Ceará*.
- Sant'ana, W. C., Bernucci, L. B. (2016) Caracterização dos Solos da Ilha de São Luís para Fins de Pavimentação. *XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/COBRAMSEG 2016* - Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, p. 19-22, outubro. 2016.
- Schaetzl R. J., Anderson S., (2005) *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, New York.
- Massad, F. (2010) *Obras de Terra, Curso Básico de Geotecnia*. 2 ed. São Paulo: *Oficina de Textos*, 216 p.
- Wolski, M. S. (1997) Contribuição à Cartografia Geotécnica de Grandes Áreas com o Uso de Sistema de Informações Geográficas: uma Aplicação à Região do Médio Uruguai (RS). Dissertação (Mestrado - Área: Cadastro Técnico Multifinalitário). *Universidade Federal de Santa Catarina*