



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RAYANNE LARA OLIVEIRA DE SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DO BAIXO JAGUARIBE PARA
USO EM PAVIMENTAÇÃO**

RUSSAS

2019

RAYANNE LARA OLIVEIRA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DO BAIXO JAGUARIBE PARA USO
EM PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ms. Camila Lima Maia.

RUSSAS

2019

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)

- S698c Sousa, Rayanne Lara Oliveira de.
Caracterização geotécnica dos solos do Baixo Jaguaribe para uso em pavimentação / Rayanne Lara Oliveira de Sousa. – 2019.
122 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2019.
Orientação: Profa. Ma. Camila Lima Maia.
1. Solos lateríticos . 2. Classificação AASTHO. 3. Classificação MCT. I. Título.

CDD 620

RAYANNE LARA OLIVEIRA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DO BAIXO JAGUARIBE PARA USO
EM PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do
Campus de Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ms. Camila Lima Maia(Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Ms. Andriele Nascimento de Souza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Ms. Ana Tália Pinto Guilherme
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

A Deus.

Aos meus pais, Ana e Raimundo.

Aos meus avós, Maria, Aldenora e Geraldo.

Aos meus familiares, professores e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por me ajudar a enfrentar as dificuldades.

Aos meus pais, Ana e Raimundo, pelo apoio e carinho em todos os momentos da minha vida. Por todas as dificuldades enfrentadas. Pelas vezes que suas escolhas foram deixadas de lado para atender as minhas necessidades.

Ao meu amigo e namorado, Mateus, pelo companheirismo e por me ajudar nos momentos mais difíceis.

A minha avó materna, Maria, minha inspiração, por todo apoio e amor.

Aos meus avós paternos pelo apoio e carinho.

Aos meus tios, primos e demais familiares pela amizade e companheirismo.

A minha orientadora, Camila, pela paciência, dedicação, apoio e disposição, pelos seus momentos abdicados em troca de me ajudar.

Ao pessoal do laboratório de solos na Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em especial ao Ricardo e Assis, pela disponibilidade e ajuda no período os ensaios.

A todos os professores que tive a oportunidade de conhecer, por contribuir na minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

Aos meus colegas de curso e futuros colegas de profissão, pelos momentos de aprendizagem durante esses anos.

Aos meus amigos, Larisse, Thalyta, Jocássia, Paulo e Ian, por me apoiar, ajudar, pela amizade e companheirismo durante esses anos.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo, em todos os momentos da minha vida.

“Para Deus nada é impossível.”

Lucas 1:37

RESUMO

Esse trabalho tem o intuito de realizar a caracterização geotécnica dos solos do Baixo Jaguaribe com a finalidade de uso em pavimentação. Foi realizada inicialmente a caracterização geoambiental da região por meio de pesquisa bibliográfica e da elaboração de mapas temáticos a respeito das características físicas e ambientais. São elas: clima, relevo, vegetação, hidrografia, geologia, pedologia e malha rodoviária da microrregião. Com essas informações foi possível a determinação dos pontos de coleta dos solos. Os materiais coletados foram submetidos a ensaios de caracterização geotécnica com base na classificação tradicional, por meio da sistemática da AASTHO, ainda amplamente utilizada no meio rodoviário, e na classificação não convencional, a metodologia MCT. Com os resultados obtidos para a classificação AASTHO, os solos tiveram seu uso limitados a regularização de subleito, não sendo apropriados para utilização nas camadas superiores do pavimento. Para a classificação MCT, a maior parte das amostras estudadas foram consideradas apropriadas para uso como base e sub-base de pavimentos, apresentando valores altos a muito altos no ensaio de Mini CBR, que verifica a capacidade de suporte do solo. Em relação ao ensaio triaxial, o melhor modelo que atendeu a verificação do comportamento dos solos foi o modelo composto. Por meio dos resultados obtidos foi possível o dimensionamento de vários pavimentos utilizando os materiais estudando como base. Foi verificado que os solos podem ser utilizados em camadas granulares do pavimento em diversas solicitações de tráfego, confirmando a sua boa utilidade quanto ao uso em pavimentação. Por fim, conclui-se que para melhor caracterização da região, deve-se expandir a pesquisa para uma maior quantidade de amostras de solo, para dessa forma, tornar mais válida a pesquisa para aplicação na área.

Palavras-chave: Solos lateríticos. Classificação AASTHO. Classificação MCT.

ABSTRACT

This work aims to perform the geotechnical characterization of the soils of Baixo Jaguaribe using paving. The geoenvironmental characterization of the region was accomplished through bibliographic research and the creation of thematic maps with respect to the physical and environmental characteristics. They are: climate, relief, vegetation, hydrography, geology, pedology and road network of the microregion. With this information, it was possible to determine the soil collection points. The collected materials were subjected to testing and then a geotechnical characterization was performed based on the traditional classification, using the AASTHO system, even more rarely used on the road and in the unconventional classification by the MCT method. With the results obtained for the AASTHO classification, the soils had their use limited to regularization of the subgrade, not being suitable for use in the upper layers of the pavement. For MCT classification, most of the studied samples were used for use as base and subfloor, presenting high and very high values in the Mini CBR test, which verifies the soil carrying capacity. Regarding the triaxial test, the best model that allowed the verification of soil behavior was the composite model. Through the obtained results, it was possible to design several floors, using the studied materials as a base. It has been selected that soils can be used in granular pavement layers in various traffic requests, confirming their good utility for paving use. Finally, conclude what is the best characterization of the region, you should expand a search to a larger amount of soil, in order to make a search for application in the area more valid.

Keywords: Lateritic soils. AASTHO classification. MCT classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Classificação dos Solos (Transportation Research Board).	27
Figura 2	– Perfil de solo tropical.	30
Figura 3	– Classificação MCT.	32
Figura 4	– Dados Diversos dos Grupos da Classificação MCT.	33
Figura 5	– Valores numéricos das propriedades da metodologia MCT.....	33
Figura 6	– Localização das amostras da RMF na carta de classificação MCT.	34
Figura 7	– Mapa de Classificação HRB em Grupos da RMF.	35
Figura 8	– Mapa de CBR – N para RMF.	36
Figura 9	– Mapa de CBR – I para RMF.	36
Figura 10	– Ábaco da Classificação MCT para a RMC.	37
Figura 11	– Localização do Baixo Jaguaribe.	38
Figura 12	– Mapa Político do Baixo Jaguaribe.	40
Figura 13	– Classificação Rodoviária quanto à Pavimentação.	43
Figura 14	– Classificação Rodoviária quanto à Jurisdição.	44
Figura 15	– Principais Rodovias do Baixo Jaguaribe.	44
Figura 16	– Mapa Climático do Baixo Jaguaribe.	45
Figura 17	– Duração do período de estiagem no Baixo Jaguaribe.	46
Figura 18	– Classificação Climática Koppen.	47
Figura 19	– Mapa Geomorfológico do Baixo Jaguaribe.	48
Figura 20	– <i>Inselberg</i> presente no município de Morada Nova.	49
Figura 21	– <i>Inselberg</i> presente no município de Tabuleiro do Norte.	49
Figura 22	– Mapa Geológico do Baixo Jaguaribe.	52

Figura 23	– Eras Geológicas da formação do território do Baixo Jaguaribe. .	52
Figura 24	– Mapa Pedológico do Baixo Jaguaribe.	54
Figura 25	– Principais açudes do Baixo Jaguaribe.	59
Figura 26	– Principais cursos d’água do Baixo Jaguaribe.	60
Figura 27	– Aquíferos situados no Baixo Jaguaribe.	61
Figura 28	– Mapa da Vegetação do Baixo Jaguaribe.	63
Figura 29	– Aspecto visual dos solos coletados.	66
Figura 30	– Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe.	67
Figura 31	– Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe no Mapa de Relevo.	67
Figura 32	– Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe no Mapa de Vegetação.	68
Figura 33	– Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe no Mapa Pedológico.	68
Figura 34	– Fluxograma dos ensaios realizados.	69
Figura 35	– Aparelho de Casagrande.	70
Figura 36	– Placa de vidro esmerilhada.	70
Figura 37	– Peneiramento Grosso	71
Figura 38	– Peneiramento Fino	71
Figura 39	– Material em processo de sedimentação: Solos de Limoeiro e Russas, da esquerda para a direita, respectivamente.	72
Figura 40	– Material em processo de sedimentação: Solos de Morada Nova e Jaguaruana, da esquerda para a direita, respectivamente.	72
Figura 41	– Adição de água a amostra de solo.....	73
Figura 42	– Homogeneização da umidade.	73
Figura 43	– Compactação da amostra de solo.	73

Figura 44	– Retirada do corpo de prova do cilindro.	73
Figura 45	– Tensões aplicadas durante o ensaio triaxial de cargas repetidas.	75
Figura 46	– Deslocamento dos corpos de prova quando submetidos ao ensaio triaxial.....	75
Figura 47	– Modelo da tensão confinante.	76
Figura 48	– Modelo da tensão desvio.	77
Figura 49	– Equipamento Triaxial de cargas repetidas	78
Figura 50	– Classificação MCT.	80
Figura 51	– Equipamento Mini-MCV.	80
Figura 52	– Corpos de prova imersos em água no início do ensaio.	81
Figura 53	– Perda de massa dos corpos de prova imersos em águas após o período de 24 horas.	81
Figura 54	– Prensa Mini-CBR.	82
Figura 55	– Curva granulométrica do solo de Limoeiro do Norte.....	84
Figura 56	– Curva granulométrica do solo de Russas.....	84
Figura 57	– Curva granulométrica do solo de Morada Nova.....	85
Figura 58	– Curva granulométrica do solo de Jaguaruana.....	85
Figura 59	– Granulometria do material utilizado como base de pavimentos.	86
Figura 60	– Tipos de granulometria.....	86
Figura 61	– Esquema de representação dos LL e IP para os solos estudados.	89
Figura 62	– Curva de compactação do solo de Limoeiro do Norte.....	90
Figura 63	– Curva de compactação do solo de Jaguaruana.....	91
Figura 64	– Curva de compactação do solo de Morada Nova.....	91
Figura 65	– Curva de compactação do solo de Russas.....	92
Figura 66	– Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Limoeiro do	93

	Norte.....	
Figura 67	– Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Limoeiro do Norte	94
Figura 68	– Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Limoeiro do Norte.	94
Figura 69	– Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Jaguaruana.....	95
Figura 70	– Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Jaguaruana.....	95
Figura 71	– Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Jaguaruana.....	96
Figura 72	– Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Morada Nova.	96
Figura 73	– Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Morada Nova.	97
Figura 74	– Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Morada Nova.	97
Figura 75	– Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Russas.....	98
Figura 76	– Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Russas.....	98
Figura 77	– Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Russas.....	99
Figura 78	– Classificação MCT para as amostras estudadas.....	100
Figura 79	– Número de golpes <i>versus</i> afundamento do corpo de prova para o solo de Limoeiro do Norte.....	101
Figura 80	– Número de golpes <i>versus</i> afundamento do corpo de prova para o solo de Jaguaruana.....	101
Figura 81	– Número de golpes <i>versus</i> afundamento do corpo de prova para o solo de Morada Nova.....	102
Figura 82	– Número de golpes <i>versus</i> afundamento do corpo de prova para o solo de Russas.....	102
Figura 83	– Perda de massa por imersão <i>versus</i> Mini-MCV para o solo de Limoeiro do Norte.....	103
Figura 84	– Perda de massa por imersão <i>versus</i> Mini-MCV para o solo de Jaguaruana.....	103

Figura 85	– Perda de massa por imersão <i>versus</i> Mini-MCV para o solo de Morada Nova.....	104
Figura 86	– Perda de massa por imersão <i>versus</i> Mini-MCV para o solo de Russas.....	104
Figura 87	– Massa específica aparente seca <i>versus</i> umidade para o solo de Limoeiro do Norte.....	105
Figura 88	– Massa específica aparente seca <i>versus</i> umidade para o solo de Jaguaruana.....	105
Figura 89	– Massa específica aparente seca <i>versus</i> umidade para o solo de Morada Nova.....	106
Figura 90	– Massa específica aparente seca <i>versus</i> umidade para o solo de Russas.....	106
Figura 91	– Informações diversas a respeito da caracterização MCT.....	107
Figura 92	– Classificação MCT.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Dados georreferenciados e fontes utilizadas.	39
Tabela 2	– Informações socioespaciais do Baixo Jaguaribe.	40
Tabela 3	– Informações econômicas do Baixo Jaguaribe.	41
Tabela 4	– Índice de Desenvolvimento Municipal do Baixo Jaguaribe.	42
Tabela 5	– Bacias Hidrográficas situadas no Baixo Jaguaribe.	58
Tabela 6	– Principais Açudes do Baixo Jaguaribe.	59
Tabela 7	– Cobertura do solo no Baixo Jaguaribe.	62
Tabela 8	– Ensaio de Granulometria e suas respectivas normas.	71
Tabela 9	– Análise granulométrica do Baixo Jaguaribe.	83
Tabela 10	– Coeficientes de uniformidade e de curvatura dos solos estudados.	88
Tabela 11	– Resultados do LL, IP, IG e classificação AASTHO para os solos analisados.	88
Tabela 12	– Resultados do ensaio de compactação.	90
Tabela 13	– Resultado módulo de resiliência.	93
Tabela 14	– Resultado da Metodologia MCT.	100
Tabela 15	– Valores de Mini CBR para o solo de Limoeiro do Norte.	107
Tabela 16	– Valores de Mini CBR para o solo de Jaguaruana.	108
Tabela 17	– Valores de Mini CBR para o solo de Morada Nova.	108
Tabela 18	– Valores de Mini CBR para o solo de Russas.	108
Tabela 19	– Avaliação estrutural para os solos do Baixo Jaguaribe.	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASTHO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABPV	Associação Brasileira de Pavimentação
Aw	Clima tropical com estação seca
Bsh	Clima semiárido quente
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	California Bearing Ratio
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
HRB	<i>Highway Research Bord</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDM	Índice de Desenvolvimento dos Municípios
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LL	Límite de Liquidez
MCT	Miniatura Compactado Tropical
MCV	<i>Moisture Condition Value</i>
MR	Módulo de Resiliência
N	Número de operações do eixo simples padrão
PIB	Produto Interno Bruto

RMC	Região Metropolitana do Cariri
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SHR	Secretaria de Recursos Hídricos
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

c'	Coeficiente de deformabilidade da classificação MCT
C_c	Coeficiente de curvatura
C_u	Coeficiente de uniformidade
d'	Coeficiente que caracteriza o ramo seco da curva de compactação obtida pelo método MCT
e'	Índice da classificação MCT calculado em função de P_i e d'
ε_R	Deformação resiliente
K_1, K_2, K_3	Parâmetros da regressão para o Módulo de Resiliência
P_i	Perda de massa por imersão
R^2	Coeficiente de regressão
σ_1	Tensão Principal
σ_3	Tensão Confinante
σ_d	Tensão desvio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Conceituação	22
1.2	Problema de Pesquisa	23
1.3	Hipótese	24
1.4	Objetivos	24
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>24</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>24</i>
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	Considerações iniciais	25
2.2	Estudos Geotécnicos	25
<i>2.2.1</i>	<i>Estudo de subleito</i>	<i>25</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Estudo de ocorrência de material</i>	<i>26</i>
2.3	Classificação tradicional dos solos	26
2.4	Solos Tropicais	28
<i>2.4.1</i>	<i>Solos Saprolíticos</i>	<i>28</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Solos Lateríticos</i>	<i>29</i>
2.5	Desenvolvimento do Uso de Solos Tropicais em Pavimentação	30
2.6	Classificação MCT	31
2.7	Alguns Estudos Realizados no Estado do Ceará relacionados à Caracterização Geotécnica voltada para a Pavimentação	32
3	CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DO BAIXO JAGUARIBE	38
3.1	Considerações Iniciais	38
3.2	Informações Gerais	39
3.3	Economia	41
3.4	Infraestrutura Rodoviária	43
3.5	Clima	45
3.6	Relevo	48
<i>3.6.1</i>	<i>Depressão Sertaneja</i>	<i>49</i>
<i>3.6.2</i>	<i>Planícies Fluviais e/ou Fluviolacustres</i>	<i>51</i>
<i>3.6.2.1</i>	<i>Planícies Fluviais do Rio Jaguaribe</i>	<i>51</i>

3.6.3	Chapada do Apodi	51
3.7	Geologia	52
3.8	Pedologia	54
3.8.1	Argissolo	55
3.8.1.1	<i>Argissolo Vermelho-Amarelo: Distrófico e Eutrófico</i>	56
3.8.1.2	<i>Argissolo Vermelho: Distrófico e Eutrófico</i>	56
3.8.2	Cambissolo	56
3.8.2.1	<i>Cambissolo Háptico Ta Eutrófico</i>	56
3.8.3	Luvissolo	57
3.8.3.1	<i>Luvissolo Crômico Órtico</i>	57
3.8.4	Neossolo	57
3.8.4.1	<i>Neossolo Flúvico Ta Eutrófico</i>	57
3.8.4.2	<i>Neossolo Litólico Eutrófico</i>	58
3.8.4.3	<i>Neossolo Quartzarênico Órtico</i>	58
3.8.5	Planossolo	58
3.8.5.1	<i>Planossolo Háptico Eutrófico</i>	58
3.8.6	Vertissolo	59
3.8.6.1	<i>Vertissolo Háptico Órtico</i>	59
3.9	Hidrografia	59
3.10	Vegetação	63
3.10.1	<i>Savana Estépica Arborizas</i>	64
3.10.2	<i>Savana Estépica Florestada</i>	64
3.10.3	<i>Savana Estépica Parque</i>	65
3.11	Considerações Finais	65
4	MATERIAIS E MÉTODOS	66
4.1	Considerações Iniciais	66
4.2	Materiais Coletados	66
4.3	Programa Experimental	70
4.3.1	<i>Ensaio de Caracterização para Classificação Tradicional</i>	70
4.3.1.1	<i>Limites de consistência</i>	71

4.3.1.2	<i>Granulometria</i>	72
4.3.2	<i>Ensaio de Compactação</i>	74
4.3.3	<i>Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas</i>	75
4.3.4	<i>Ensaaios para Classificação MCT</i>	79
4.3.4.1	<i>Mini-MCV</i>	81
4.3.4.2	<i>Perda de massa por imersão</i>	82
4.3.4.3	<i>Mini CBR</i>	83
4.4	<i>Softwares</i>	83
4.5	Considerações Finais	84
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
5.1	Considerações Iniciais	84
5.2	Ensaaios de caracterização	84
5.2.1	Granulometria	85
5.2.2	<i>Limites de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo e Classificação AASTHO</i>	89
5.3	Ensaio de compactação	91
5.4	Ensaio triaxial de cargas repetidas	94
5.5	Metodologia MCT	101
5.6	Avaliação estrutural das amostras	112
5.7	Considerações Finais	114
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	115
6.1	Considerações Iniciais	115
6.2	Considerações quanto classificação AASTHO	115
6.3	Considerações quanto ao módulo de resiliência	116
6.4	Considerações quanto a metodologia MCT	116
6.5	Sugestões para trabalhos futuros	117
	REFERÊNCIAS	118

1 INTRODUÇÃO

1.1 Conceituação

A microrregião do Baixo Jaguaribe, pertencente a mesorregião Jaguaribe, está localizada à nordeste do estado do Ceará e engloba os municípios de Alto Santo, Ibicuitinga, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. A região possui suas atividades econômicas direcionadas principalmente para o agronegócio, por conta da considerável mão de obra agrícola, além dos investimentos público-privados a esse setor.

O desenvolvimento do agronegócio na região do Baixo Jaguaribe resulta essencialmente da fruticultura irrigada – em consequência do progresso da agricultura moderna – e da carcinicultura, criação de camarão em cativeiro. Outro setor econômico em evolução no Baixo Jaguaribe é o industrial, por meio de políticas públicas baseadas na concessão de incentivos financeiros e fiscais. Vale destacar as indústrias calçadista, têxtil, ceramista, de alimentos e minerais não metálicos, gerando milhares de empregos e de novos serviços, aumentando o consumo e consequentemente o desenvolvimento da região.

Dessa forma, o Baixo Jaguaribe possui uma grande importância no âmbito do desenvolvimento econômico do estado e do país, visto que grande parte da produção da região, principalmente da fruticultura, é destinada à exportação para países da Europa, América do Norte e Ásia, que ocorre essencialmente pelas rodovias estaduais e federais para os Portos do Pecém e do Mucuripe, em Fortaleza, Porto do Rio Grande do Norte e Porto do Suape, em Natal e Recife, respectivamente. Para isso, além dos potenciais atributos naturais da região, como o relevo, solo, clima e água, é necessária uma correta e eficiente interligação entre a produção e os centros consumidores. Portanto, a implementação e manutenção adequada da infraestrutura do sistema viário e de transportes do Baixo Jaguaribe é fundamental, favorecendo o escoamento da produção e permitindo o seu maior desenvolvimento econômico.

O sistema de estradas brasileiro apresentou um crescente desenvolvimento a partir de 1950 em virtude da relação do Brasil com os Estados Unidos nessa área, com uma forte movimentação de tecnologias da América do Norte para o território brasileiro. Assim, grande parte das técnicas e de procedimento adotados nas obras viárias brasileiras foram desenvolvidos em regiões de climas frios e temperados. Como consequência, houve o surgimento de divergências entre o calculado e o comportamento real do solo nas obras. Essas incompatibilidades são comumente associadas as particularidades dos solos tropicais

brasileiros, que decorrem das condições geológicas em que se formaram e do clima quente e úmido.

As estradas brasileiras são caracterizadas, em geral, pelo pavimento flexível ou asfáltico, que são estruturas formadas pelas camadas: de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. Cada uma dessas é constituída por diferentes materiais que têm a finalidade de suportar as cargas advindas do tráfego e proteger o subleito natural. Com exceção da camada de revestimento, as demais têm como principal componente o solo.

A caracterização desses materiais para uso em camadas granulares do pavimento é coordenada, normalmente, por normas tradicionais. Esses métodos de classificação convencionais, frequentemente empregados no meio rodoviário, utilizam como parâmetros de caracterização o limite de liquidez (LL), o índice de plasticidade (IP) e a granulometria do solo. Porém essas metodologias, como são fundamentadas em solos de clima temperados e com mineralogia diferente a dos solos tropicais, quando aplicadas a esses, muitas vezes, apresentam resultados ineficazes, provocando a subutilização desses materiais.

Em vista disso, Nogami e Villibor desenvolveram uma nova metodologia, MCT (Miniatura, Compactado e Tropical), para melhor caracterizar os solos tropicais, considerando propriedades de contração, permeabilidade, expansão, penetração d'água, coesão, capacidade de suporte e curva de compactação. O sistema MCT classifica os solos tropicais compactados em lateríticos e não lateríticos, demonstrando as peculiaridades desse tipo de solo.

Dessa forma, os estudos e análises de caracterização do solo voltados à pavimentação são limitados e escassos na região do Baixo Jaguaribe, seja baseado nos métodos tradicionais como também na metodologia MCT. Portanto é de grande importância compreender as vantagens e deficiências do solo em uma determinada região para que seja possível o desenvolvimento de técnicas e procedimentos adequados à construção e manutenção de pavimentos, assegurando melhor qualidade, economia e garantia à obra.

1.2 Problema de Pesquisa

A falta de informações a respeito das propriedades e do comportamento dos solos do Baixo Jaguaribe provém da escassez de estudos e análises voltados à pavimentação da região. Tal fato influencia negativamente na eficiência dos projetos de construção e manutenção rodoviárias nela desenvolvidos.

1.3 Hipótese

A caracterização geotécnica da região do Baixo Jaguaribe pode ser definida com base no estudo das propriedades geológicas do solo, na realização de ensaios e na análise dos resultados a partir das classificações tradicionais (Sistema AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials) e não convencionais (MCT).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Realizar a caracterização geotécnica de quatro amostras de solo dos municípios de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas, localizados na microrregião do Baixo Jaguaribe, com a finalidade de uso em pavimentação, por meio de ensaios e das principais classificações utilizadas no meio rodoviário.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analisar a classificação tradicional do sistema AASHTO para os solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas;
- Analisar a classificação MCT para os solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas;
- Verificar através dos resultados de ambos os ensaios a ocorrência de solos tropicais lateríticos na região.
- Fornecer informações úteis para futuras construções e manutenções de rodovias no Baixo Jaguaribe.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações Iniciais

Esse tópico tem a finalidade de apresentar as especificidades dos solos tropicais e da metodologia MCT, bem como discorrer a respeito dos estudos geotécnicos relacionados à pavimentação, da classificação tradicional dos solos e das pesquisas realizadas no estado do Ceará sobre a caracterização geotécnica voltada para a pavimentação.

2.2 Estudos Geotécnicos

Entende-se por Estudos Geotécnicos o conjunto de atividades que visa a investigação geológica e geotécnica do terreno, com a finalidade de obter informações a respeito do seu comportamento (DNIT, 2006). No meio rodoviário, o estudo geotécnico se divide no estudo de subleito e no estudo de ocorrência de materiais para a pavimentação, de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006). Dentre os ensaios realizados nesse estudo têm-se: granulometria por peneiramento, limites de consistência, compactação, massa específica aparente, Índice Suporte Califórnia e expansibilidade, no caso de solos tropicais.

2.2.1 *Estudo de subleito*

O estudo do subleito de rodovias tem o propósito de conhecer as camadas de solo do pavimento e assim realizar o traçado dos perfis de solo. Essa investigação do subleito é realizada por meio da sondagem, tanto no eixo como nos bordos da rodovia, para então ser possível a verificação das camadas de solos. Essa verificação ocorre por meio da inspeção realizada em campo e da coleta da amostra. O reconhecimento das camadas de solo também decorre dos ensaios, citados anteriormente, das amostras coletadas (DNIT, 2006).

As sondagens nos bordos da rodovia devem, preferencialmente, serem realizadas a 3,5 metros do eixo da mesma. É aconselhável que o espaçamento máximo entre dois furos longitudinais seja de 100 a 200 metros. Essa distância pode ser menor quando ocorrer uma considerável variação nos tipos de solo. Esses furos de sondagens devem ser sempre executados nos pontos de passagem de corte e aterro. Quanto a profundidade, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), recomenda que seja de 0,60 a 1,00 metro abaixo do greide de regularização do subleito. Furos com profundidades maiores podem ser realizados para verificação do nível

do lençol freático. Outras recomendações a respeito da investigação de subleito estão expostas no Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

2.2.2 Estudo de ocorrência de material

O estudo de ocorrências de materiais para Pavimentação tem como objetivo o reconhecimento e a caracterização dos materiais de jazidas como fonte de matéria-prima para a utilização na construção das diversas camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, de acordo com o projeto do pavimento (DNIT, 2006).

A partir dos dados de geologia e pedologia da região é realizado o estudo de ocorrência de materiais em duas etapas: por meio da prospecção preliminar e da prospecção definitiva. Essa análise tem o objetivo de verificar a jazida em questão tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Além da qualidade do material é necessário conhecer se o volume presente é então suficiente (DNIT, 2006).

A prospecção preliminar inclui: inspeção em campo, sondagens e ensaios de laboratório. Dentro da área aproximada de ocorrência do material devem ser realizados de quatro a cinco furos de sondagem, tanto no interior da área, como nas suas extremidades. O material é então coletado para realização dos ensaios necessários. Devem ser registradas as distâncias entre os furos e a posição da jazida em relação à rodovia. O material será avaliado conforme as classificações tradicionais do solo, e se adequados será realizada a prospecção definitiva (DNIT, 2006).

Na prospecção definitiva também são realizadas sondagens, coleta de amostras, ensaios de laboratório e verificação do volume de ocorrência, porém, essas sondagens são executadas em maior quantidade por meio de uma malha reticulada de 30 metros ou mais. Assim, com as amostras de solo coletadas são realizados os ensaios em laboratório e verificado se estão de acordo com as normas vigentes (DNIT, 2006).

2.3 Classificação Tradicional dos Solos

A classificação HRB – *Highway Research Board* – aprovada em 1945 e normatizada pela AASTHO - *American Association of State Highway and Transportation Officials* - consiste em um aperfeiçoamento do antigo *Public Roads Administration*. É uma das classificações tradicionais dos solos e é amplamente utilizada no meio rodoviário.

Visto que foi desenvolvida com base em solos de clima temperado, ela categoriza os solos de clima tropical de forma ineficaz, posto que ambos os solos divergem em suas propriedades em decorrência dos seus processos de formação (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

De acordo com a classificação HRB – AASTHO os solos são classificados em função de sua granulometria, dos limites de consistência e do índice de grupo. O solo é caracterizado a partir da figura 1 por processo de eliminação, da esquerda para a direita e de cima para baixo. O solo é então classificado em um determinado grupo ou subgrupo. Assim, segundo a classificação, os grupos A-1, A-2 e A-3 possuem menos de 35% de material passando na peneira Nº 200 e são considerados como de granulometria grossa. Os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 possuem mais de 35% passando na peneira Nº 200 e são classificados como solos finos. A classificação ainda caracteriza o material como excelente a bom e mal a ruim para uso em camadas de rodovias (DNIT, 2006).

Figura 1 – Classificação dos Solos (Transportation Research Board).

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	38 min.	38 min.	38 min.	38 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006).

2.4 Solos Tropicais

O solo é definido como um material natural não consolidado, isto é, constituído de grãos separáveis por processos mecânicos e hidráulicos relativamente suaves, como dispersão em água com uso de aparelho dispersor de laboratório, e que podem ser escavados com equipamentos comuns de terraplenagem (pá carregadeira, motoescavotransportadora, etc.). Constitui a parte mais superficial da crosta terrestre (VILLIBOR; NOGAMI, 2009). Dessa forma, aqueles que possuem características e comportamentos intrínsecos, devido às condições ambientais e ao processo pedológico provenientes das regiões tropicais úmidas, são denominados de solos tropicais. Esses, são divididos em dois grandes grupos: os solos saprolíticos e os solos lateríticos (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

Normalmente sua ocorrência se dá da seguinte forma:

- a) Camada superficial laterítica de grande espessura, variando de um metro até mais de dezenas de metros.
- b) Camada saprolítica de grande espessura, podendo chegar até várias dezenas de metros.
- c) Presença de solos transportados de origem fluvial. Geralmente ocupam posições elevadas.

Vale ressaltar que para ser considerado como solo tropical, este não deve necessariamente ter se desenvolvido na faixa de clima tropical úmida, mas sim, possuir particularidades de importância geotécnica (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

2.4.1 Solos Saprolíticos

Esse grupo de solo tem como característica mais relevante o fato de possuir sua estrutura obtida do maciço de rocha que lhe deu origem por meio do intemperismo. Dessa forma, constantemente os solos saprolíticos são denominados de solos residuais, já que resultam da decomposição da rocha matriz, preservando de maneira perceptível a estrutura da rocha-mãe (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Os solos saprolíticos são mais heterogêneos, quando comparados com o outro grupo dos solos tropicais e possuem uma mineralogia bastante complexa por conta dos minerais ainda em decomposição. Dentre esses minerais, os mais comuns são os feldspatos, micas e fragmentos de rochas. Constituem a camada logo abaixo dos solos lateríticos e normalmente é presente uma linha de seixos, que pode chegar até um metro e meio de profundidade, delimitando os dois horizontes. Porém, vale salientar que o encadeamento do intemperismo ocorre de forma gradual

e suave, assim, não é sempre que essa camada de transição, constituída de seixos, pode ser perceptível (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

Frequentemente encontra-se presente nesse grupo de solo uma densa vegetação, protegendo o material de possíveis erosões e facilitando a permanência do mesmo no local de origem (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

2.4.2 Solos Lateríticos

Os solos lateríticos (later, do latim: tijolo) são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, por processo denominado laterização (VILLIBOR; NOGAMI, 2009). Esse processo consiste no enriquecimento do solo por óxidos hidratados de ferro ou alumínio, tornando a concentração do argilomineral caulinita quase que exclusiva no material.

Os solos lateríticos possuem uma mineralogia simples, constituída predominantemente por grãos de quartzo, que quando mais presente nas frações de areia e pedregulho promove a formação de uma película de óxidos, ocasionando a tonalidade avermelhada, rósea, arroxeadada ou amarelada no solo. Quanto às características pedológicas, os perfis naturais dos solos lateríticos integram os horizontes B denominados por: Latossolos, Podzólicos e Terras Roxas Estruturadas (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Dentre as singularidades mais consideráveis do enfoque geotécnico dos solos lateríticos têm-se:

- a) As resistências à compressão e ao cisalhamento se apresentam superiores à previstas pelos parâmetros tradicionais, conservando-se mesmo após o umedecimento do solo. Porém, alguns dos solos desse grupo podem colapsar quando imersos em água.
- b) A mistura com outros materiais, seja a uniformização do teor de umidade de compactação ou a estabilização com aditivos (cal, cimento, etc.) ocorre de forma relativamente fácil (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

A figura 2 mostra um perfil de solo tropical. Na imagem é possível observar a delimitação entre os solos lateríticos, presentes na parte superficial do terreno, e saprolíticos, que se situam nas camadas inferiores do terreno.

Figura 2: Perfil de solo tropical.



Fonte: ABPV (2017).

2.5 Desenvolvimento do Uso de Solos Tropicais em Pavimentação

Os procedimentos adotados na realização da pavimentação no Brasil são em geral advindos de técnicas rodoviárias utilizadas em outras regiões, principalmente nas regiões de clima frio temperado. Tais técnicas são resultados de estudos e pesquisas com base nas particularidades dos solos dessas regiões, o que conseqüentemente torna esses métodos consideravelmente empíricos (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

Dessa forma, essas mesmas normas quando aplicadas nas condições dos solos tropicais perdem de forma significativa sua representatividade. Além disso, tem-se o comportamento peculiar desses solos, o que justifica a necessidade de normas e técnicas mais adequadas para o desenvolvimento da pavimentação em condições tropicais (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

A partir disso, novos estudos foram realizados com o objetivo de validar o uso dos solos tropicais na pavimentação. As primeiras experiências foram realizadas na década de cinquenta no Estado de São Paulo com solos lateríticos, que correspondem ao grupo dos solos tropicais mais apropriados para uso em pavimentação. O material foi utilizado pelo DER-SP,

em um dos acessos a Campinas. O material laterítico foi empregado como base de pavimento e mostrou resultados excelentes (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

Isso proporcionou maior familiaridade dos técnicos com esse tipo de solo e abriu caminho para o desenvolvimento das etapas subsequentes de sua utilização (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

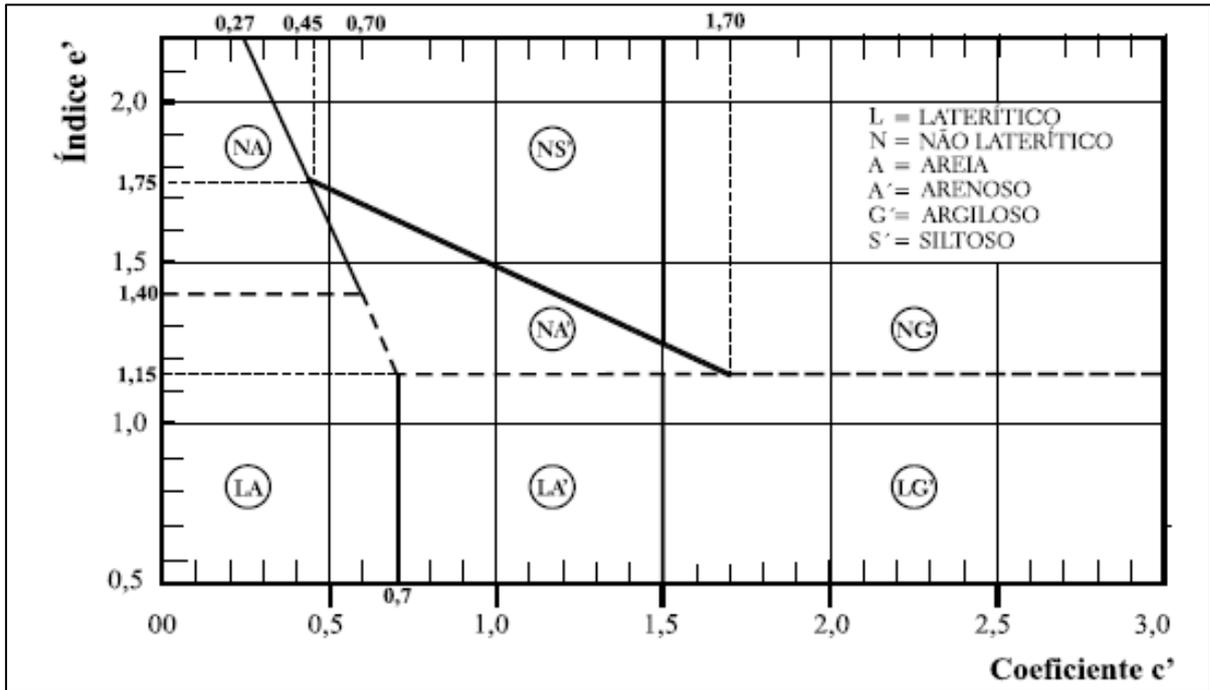
Ao longo dos anos novos trechos experimentais foram executados com base ou sub-base de solo laterítico, com resultados sempre satisfatórios. Dessa forma, a partir de 1974 o Engenheiro Douglas Fadul Villibor juntamente com o Engenheiro Job S. Nogami apresentaram uma nova sistemática para o uso dos solos tropicais, que incluía metodologias de ensaios, recomendações construtivas e controle tecnológico mais adequados. Tais procedimentos vieram posteriormente a ser definidos pela Metodologia MCT (Miniatura Compactado Tropical) (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

2.6 Classificação MCT

A classificação MCT foi desenvolvida como uma necessidade perante as dificuldades e limitações das caracterizações tradicionais dos solos. Proposta por Nogami e Villibor, a técnica permite avaliar propriedades fundamentais dos solos associados à contração, permeabilidade, expansão, coeficiente de penetração d'água, coesão, capacidade de suporte e famílias de curvas de compactação, utilizando corpos-de-prova de dimensões reduzidas (DNIT, 2006).

A classificação MCT possibilita determinar as características dos solos quanto ao seu comportamento laterítico ou saprolítico, mensurando parâmetros importantes para o uso em pavimentação rodoviária (DNIT, 2006). Assim, essa sistemática caracteriza o solo em laterítico (L) e não laterítico (N), e também em areias (A), arenosos (A'), siltosos (S') e argilosos (G') como é mostrado no ábaco da Classificação MCT na figura 3.

Figura 3 – Classificação MCT.



Fonte: VILLIBOR; NOGAMI (2009).

Essa metodologia engloba os seguintes grupos de ensaios: Mini-CBR, Mini-MCV e perda de massa por imersão. Com o ensaio de Mini-CBR é possível determinar se o solo é adequado para uso em base, sub-base ou reforço de subleito, avaliando sua capacidade de suporte. Já com os ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão é possível a determinação dos parâmetros c' , d' , e' e P_i . A partir deles o solo será então classificado segundo a classificação MCT (DNIT, 2006).

A figura 4 apresenta dados diversos a respeito da classificação MCT, entre eles as propriedades e utilização das classes dos solos tropicais. A figura 5 mostra os valores acerca do ensaio de Mini-CBR, bem como sua classificação em relação a capacidade de suporte.

Figura 4 – Dados Diversos dos Grupos da Classificação MCT.

DESIGNAÇÃO			GRANULOMETRIAS TÍPICAS Designações do T1-71 do DER-SP						
k=caolinítico	m=micáceo		areias siltes (q,s)	areias siltosas	siltes (k,m) siltes arenosos	argilas argila arenosa argila siltosa siltes argilosos	areias	areias argilosas	argilas argila arenosa argila siltosa siltes argilosos
s=sericítico	q=quartzoso								
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico			L = Laterítico			
GRUPO MCT			NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Propriedades	MINI-CBR [%]	sem imersão perda por imersão	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	EXPANSÃO	(Es)	B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO	(Ct)	B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	COEF. DE PERMEABILIDADE	(k)	M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	COEFICIENTE DE SORÇÃO	(s)	E	B, M	E	M, E	B	B	B
Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal			EE = Muito Elevado E = Elevado		M = Médio B = Baixo		Vide Tabela 3.5 para equivalente numérico		
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°
n = não recomendado									
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas		USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
		AASHTO	A - 2	A - 2 A - 4 A - 7	A - 4 A - 5 A - 7 - 5	A - 6 A - 7 - 5 A - 7 - 5	A - 2	A - 2 A - 4	A - 6 A - 7 - 5

Fonte: VILLIBOR; NOGAMI (2009).

Figura 5 – Valores numéricos das propriedades da metodologia MCT.

Propriedade	Valor		Propriedade	Valor	
Suporte Mini-CBR [%] c/ sobrecarga padrão	Muito Elevado	> 30	Perda de Suporte Mini-CBR por Imersão [%]	Elevada	> 70
	Elevado	12 a 30		Média	40 a 70
	Médio	4 a 12		Baixa	< 40
	Baixo	< 4			
Expansão [%]	Elevada	> 3	Contração [%]	Elevada	> 3
	Média	0,5 a 3		Média	0,5 a 3
	Baixa	< 0,5		Baixa	< 0,5
Coeficiente de Sorção - s log s [cm √min']	Elevada	> (-1)	Coeficiente de Permeabilidade - k log k [cm/s]	Elevada	> (-3)
	Média	(-1) a (-2)		Média	(-3) a (-6)
	Baixa	< (-2)		Baixa	< (-6)

Fonte: VILLIBOR; NOGAMI (2009).

2.7 Alguns Estudos Realizados no Estado do Ceará relacionados à Caracterização Geotécnica voltada para a Pavimentação

As especificações tradicionais para caracterização geotécnica voltadas para a pavimentação são bastante inflexíveis no caso dos solos brasileiros, principalmente por terem sido fundamentadas em estudos e experimentos com materiais de características bem diferentes dos aqui encontrados (BARROSO, 2002).

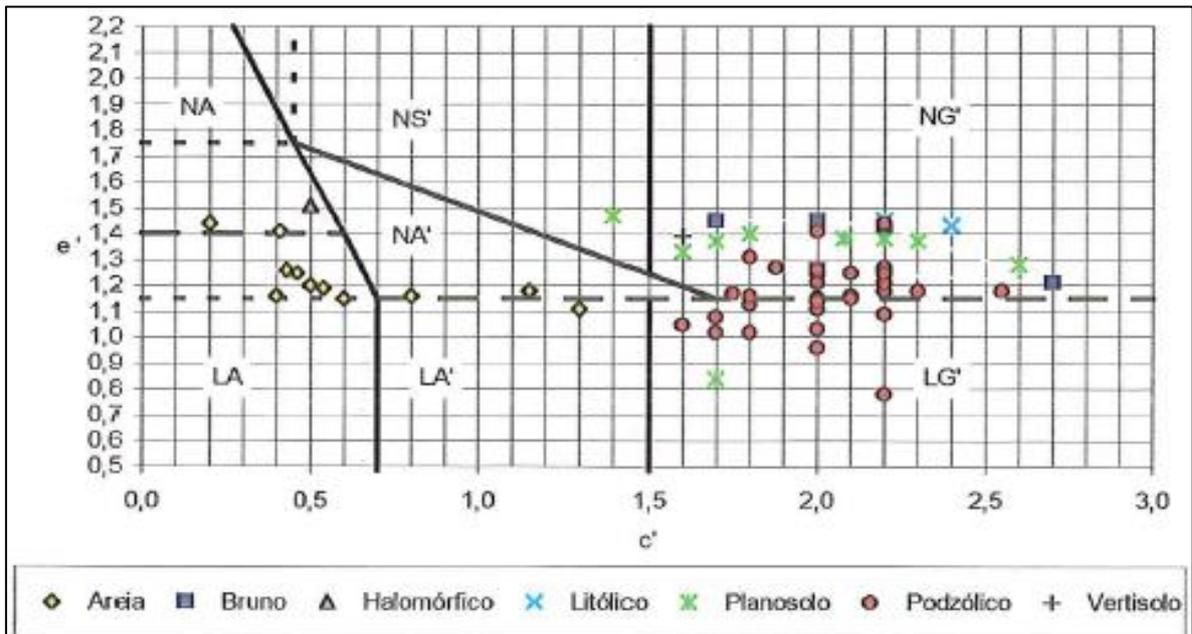
Além de dificultar o encontro de materiais adequados disponíveis, essas classificações tradicionais quando aplicada aos solos tropicais, provocam o não aproveitamento de solos que seriam potencialmente propícios para a pavimentação (BARROSO, 2002).

Embora poucos, alguns estudos já vêm sendo realizados no Brasil sobre a caracterização geotécnica com finalidades rodoviárias. No estado do Ceará algumas pesquisas também já foram desenvolvidas com esse mesmo objetivo.

BARROSO (2002) analisou sessenta amostras de solos pertencentes a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) com a finalidade de estudar mais detalhadamente os solos da região por meio das classificações convencionais e não convencionais. As amostras de solos foram submetidas a um programa experimental e então classificadas pelas metodologias HRB-AASHTO e MCT.

Além disso, também foi verificada a qualidade das propriedades dos solos, e que é possível identificar materiais adequados para uso em pavimentação a partir da classe pedológica. A figura 6 representa os resultados encontrados em BARROSO (2002) para os solos da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

Figura 6 – Localização das amostras da RMF na carta de classificação MCT.



Fonte: BARROSO (2002).

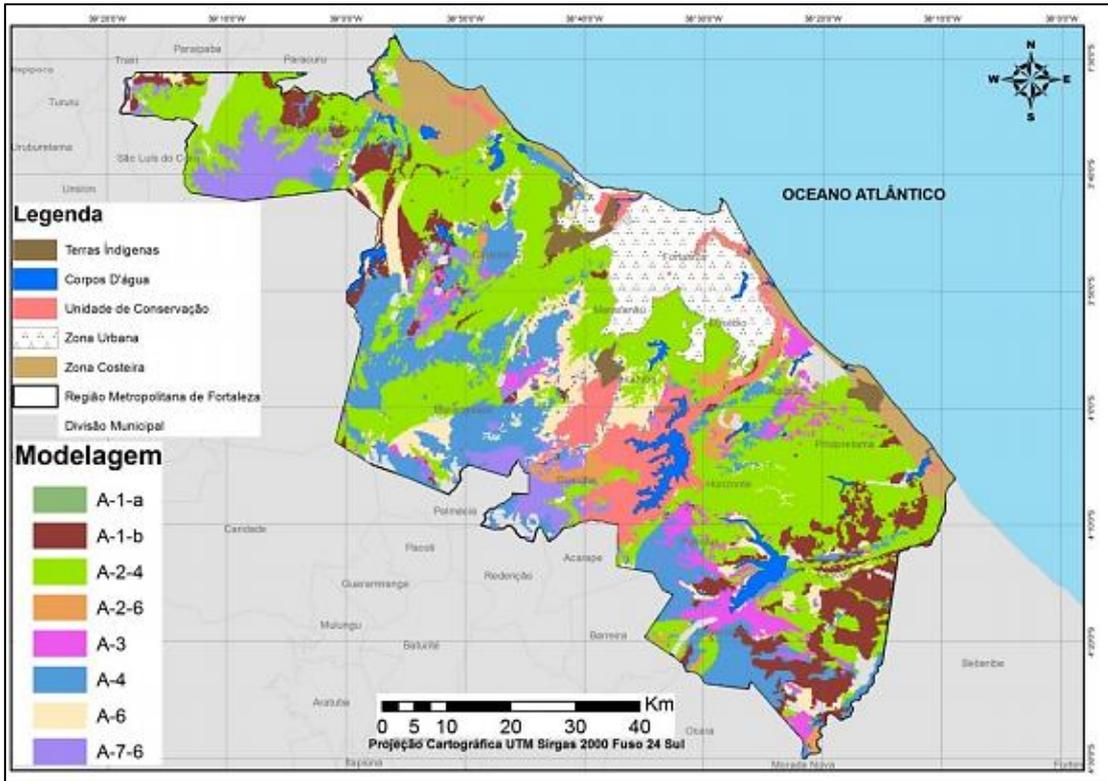
RIBEIRO (2013) desenvolveu um método para localização de determinadas características geotécnicas, de forma que fosse possível a contribuição na tomada de decisão no meio rodoviário. Para isso foram utilizadas técnicas de modelagem de Geoprocessamento e Redes Neurais Artificiais (RNAs), bem como parâmetros biofísicos e espaciais.

Os dados utilizados por Ribeiro (2013) correspondiam a características pedológica, geotécnica, geomorfológica, de vegetação, de altimetria e de posição. Esses dados foram correlacionados com a variáveis da Classificação HRB-AASHTO e CBR. Essas modelagens foram realizadas para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

Assim, os modelos de RNAs foram desenvolvidos, testados e validados e possibilitaram a elaboração dos Mapas Geotécnicos Neurais, para a previsão dos valores de CBR na energia normal e intermediária e da Classificação HRB. Os mapas produzidos por RIBEIRO (2013) foram disponibilizados em um Sistema de Informações Geográficas Web (SIG-Web) de forma a contribuir para os projetos viários futuros. Também foi disponibilizado no SIG-Web um realimentador de pontos geotécnicos para possibilitar a recalibração dos modelos, e consequentemente, melhor a qualidade das estimativas.

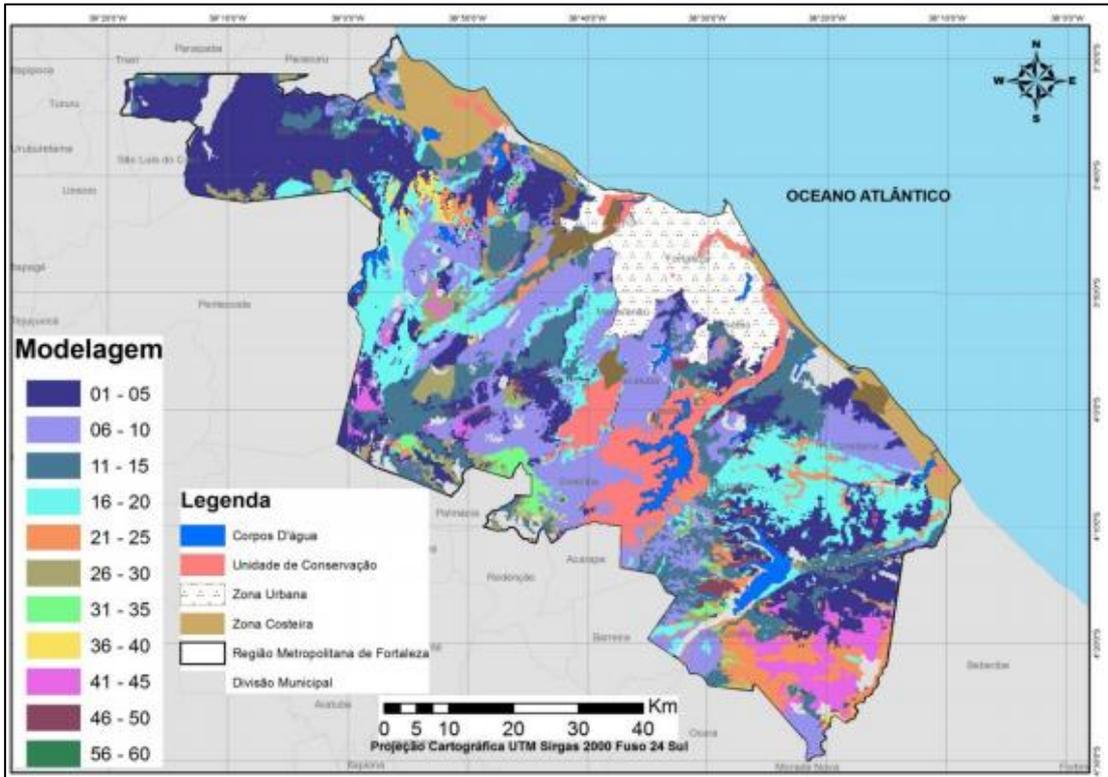
A figura 7 mostra a classificação HRB realizada em RIBEIRO (2013) para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). A figura 8 e 9 representam o mapeamento em relação aos valores de CBR na energia normal e na energia intermediária, respectivamente, em RIBEIRO (2013).

Figura 7 – Mapa de Classificação HRB em Grupos da RMF.



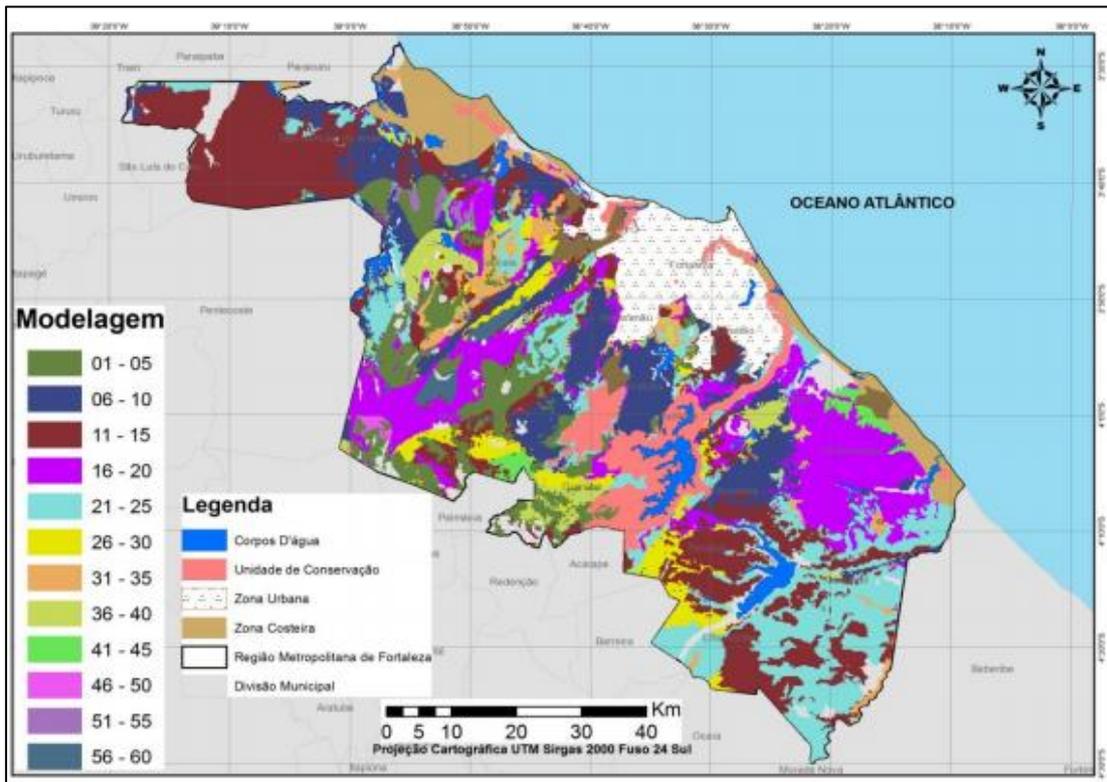
Fonte: RIBEIRO (2013).

Figura 8 – Mapa de CBR – N para RMF.



Fonte: RIBEIRO (2013).

Figura 9 – Mapa de CBR – I para RMF.

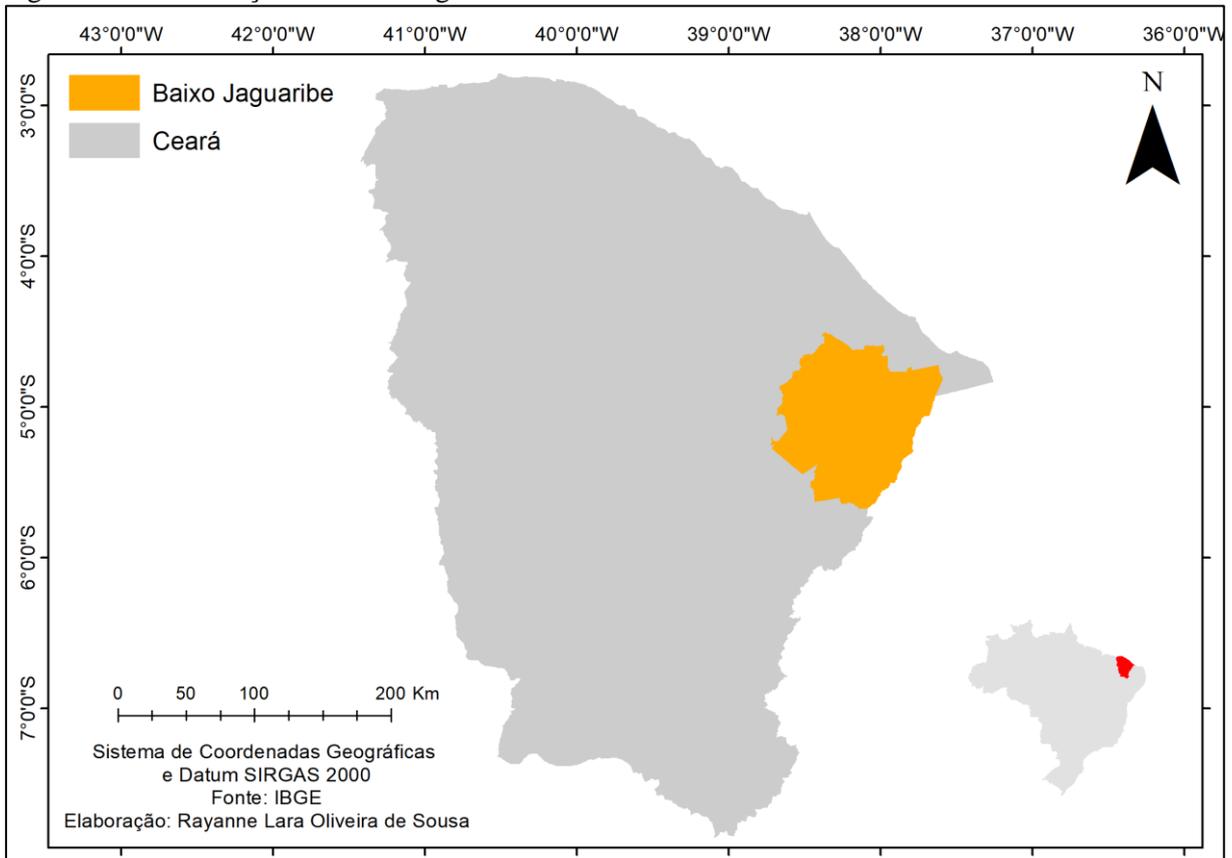


Fonte: RIBEIRO (2013).

MASCARENHAS (2016) realizou um levantamento e caracterização dos solos existentes na Região Metropolitana do Cariri (RMC) para fins de pavimentação. Primeiramente foram obtidos dados geomorfológicos da região, e a partir desses dados foram elaborados mapas temáticos do clima, relevo, hidrografia, vegetação, geologia, pedologia e da malha rodoviária pavimentada. Em seguida, as amostras de solo coletadas foram classificadas pela classificação tradicional da AASTHO e pela classificação MCT. Ensaio químicos, físicos e mecânicos também foram realizados.

Os resultados obtidos por MASCARENHAS (2016) demonstraram que os solos apresentaram características típicas de solos lateríticos, porém, de acordo com a metodologia MCT, os materiais ensaiados situaram-se em uma zona de transição entre os comportamentos lateríticos e não lateríticos. Os resultados do Módulo de Resiliência também indicaram solos de boa qualidade. Na pesquisa também foram dimensionados pavimentos a partir das propriedades dos solos estudados em várias solicitações de tráfego. Assim, concluiu-se que os solos da RMC necessitam serem melhores caracterizados para então serem utilizados na pavimentação. A figura 10 mostra os resultados obtidos para a classificação MCT para os solos da Região Metropolitana do Cariri (RMC) em MASCARENHAS (2016).

Figura 11 – Localização do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

Para melhor definir e representar as peculiaridades físicas e ambientais do Baixo Jaguaribe, foram desenvolvidos mapas temáticos da região. Para isso foram utilizados dados georreferenciados dos órgãos listados na Tabela 1 com suas respectivas fontes e sistema de coordenadas.

Tabela 1 – Dados georreferenciados e fontes utilizadas.

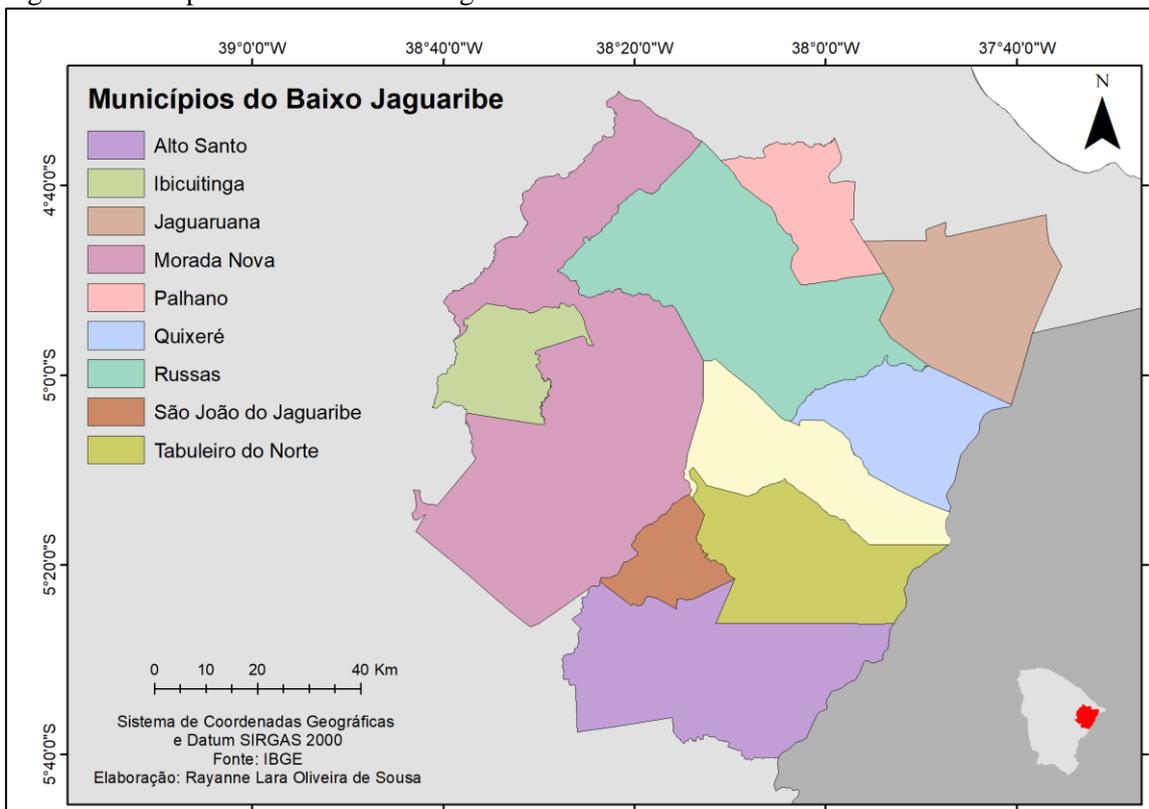
Dados Georreferenciados	Fonte	Sistema de Coordenadas Geográfica e Datum
Infraestrutura Rodoviária	IPECE	
Clima: Classificação IPECE	IBGE	
Clima: Classificação Koppen	IPEF	
Geomorfologia	MMA	
Geologia	IBGE	SIRGAS 2000
Pedologia	IBGE	
Hidrografia: águas superficiais	IBGE	
Hidrografia: águas subterrâneas	ANA	
Vegetação	IBGE	

Fonte: Próprio Autor (2019).

3.2 Informações Gerais

O Baixo Jaguaribe pertence a uma das 33 microrregiões do estado do Ceará, de acordo com a divisão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990). Possui uma área de mais de 9.940 km² que corresponde a 6,68% da área total do estado. É composta pelos municípios de Alto Santo, Ibicuitinga, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. A Figura 12 representa o Mapa Político da região, com seus respectivos municípios.

Figura 12 – Mapa Político do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

A região possui uma população de 327 mil habitantes, de acordo com dados de 2016 da Plataforma Data Viva, que corresponde a cerca de 3,87% da população do Ceará. As informações socioespaciais equivalentes a cada município do Baixo Jaguaribe estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Informações socioespaciais do Baixo Jaguaribe.

Municípios	Área (km²)	População (2016)
Alto Santo	1.339,0	16,9 mil hab.
Ibicuitinga	424,2	12,2 mil hab.
Jaguaruana	867,3	33,6 mil hab.
Limoeiro do Norte	751,5	58,5 mil hab.
Morada Nova	2.779,0	61,7 mil hab.
Palhano	442,8	9,24 mil hab.
Quixeré	616,8	21,7 mil hab.
Russas	1.591,0	75,7 mil hab.
São João do Jaguaribe	280,4	7,67 mil hab.
Tabuleiro do Norte	861,8	30,3 mil hab.

Fonte: Plataforma Data Viva (2016).

3.3 Economia

O desenvolvimento econômico do Baixo Jaguaribe é baseado principalmente no agronegócio, com destaque para a fruticultura irrigada e a carcinicultura. Outra atividade em crescente evolução é a indústria, em razão da política de apoio ao desenvolvimento a pequena e média empresa, por meio da concessão de financiamento, isenção de impostos, ofertas de terrenos e investimentos em infraestrutura, visando a transferência de fábricas para a região. No setor primário, a produção de frutas possui maior relevância no cenário nacional e internacional, com exportações que chegam a valores anuais de US\$ 30 milhões (CHAVES; ARAÚJO; 2009).

Outra atividade que promove destaque para a região é a extração da cera de carnaúba. De acordo com Lima (2003), a região chegou a responder por aproximadamente 70% da produção do estado e 20% da produção nacional (CHAVES; ARAÚJO; 2009). Segundo dados obtidos na Plataforma Data Viva (2018) a cera de carnaúba correspondeu ao principal produto exportado do Baixo Jaguaribe em 2018, gerando US\$ 10,8 milhões, seguido das bananas (US\$ 2,83 milhões) e dos melões (US\$ 2,55 milhões).

A Tabela 3 representa os 10 municípios do Baixo Jaguaribe com seus respectivos valores do PIB e PIB per capita, bem como a participação de cada município no PIB do estado. As informações presentes na tabela foram coletadas no Anuário do Ceará 2016.

Tabela 3 – Informações econômicas do Baixo Jaguaribe.

Municípios	PIB (R\$)	PIB per capita (R\$)	Participação no PIB do estado
Alto Santo	130 milhões	7.889,82	0,01 %
Ibicuitinga	80 milhões	6.645,24	0,01 %
Jaguaruana	370 milhões	11.031,69	0,03 %
Limoeiro do Norte	930 milhões	15.842,69	0,08 %
Morada Nova	750 milhões	12.217,13	0,07 %
Palhano	60 milhões	6.910,14	0,01 %
Quixeré	320 milhões	14.889,85	0,03 %
Russas	920 milhões	12.125,66	0,08 %
São João do Jaguaribe	100 milhões	12.618,90	0,01 %
Tabuleiro do Norte	280 milhões	9.294,09	0,02 %

Fonte: Anuário do Ceará (2016).

Dentre os dez municípios do Baixo Jaguaribe, destaca-se Limoeiro do Norte, Russas, Morada Nova e Jaguaruana. Estes apresentam os maiores valores para o PIB do estado e estão entre os melhores colocados no Índice de Desenvolvimento dos Municípios (IDM), parâmetro que visa sintetizar em um único índice diversas dimensões relacionadas ao desenvolvimento dos municípios e permitir a hierarquização de acordo com o nível de desenvolvimento observado. Para seu cálculo foram utilizados trinta indicadores relacionados à aspectos fisiográficos, fundiários e agrícolas, demográficos e econômicos, de infraestrutura e sociais (IPECE, 2017). A Tabela 4 mostra os municípios da microrregião bem como os respectivos valores do IDM e sua colocação em comparação aos demais municípios do estado.

Tabela 4 – Índice de Desenvolvimento Municipal do Baixo Jaguaribe.

Municípios	IDM	Posição entre os demais municípios do estado
Alto Santo	18,04	143°
Ibicuitinga	16,26	159°
Jaguaruana	25,66	67°
Limoeiro do Norte	37,45	20°
Morada Nova	29,79	45°
Palhano	19,51	125°
Quixeré	28,77	49°
Russas	38,59	18°
São João do Jaguaribe	16,61	154°
Tabuleiro do Norte	25,47	69°

Fonte: IPECE (2017).

Os municípios de Russas e Morada Nova, mesmo estando incorporados no setor agrícola, destacam-se pela atividade industrial do setor calçadista. Russas ainda se sobressai na indústria de cerâmicas, liderando a produção de telhas no estado (CHAVES; ARAÚJO; 2009).

A cidade de Jaguaruana é conhecida por sua fabricação de redes, em que inicialmente eram utilizados maquinário rudimentar instalados nas residências e com mão de obra familiar. Com a chegada das empresas, deu-se início a um novo estágio na produção de redes no município, por meio das indústrias modernas, assim, a maioria dos produtores artesanais começaram a se especializar na fabricação de fios, acabamentos, corantes e embalagens (CHAVES; ARAÚJO; 2009). Por fim, o município de Limoeiro do Norte, destaca-se no gerenciamento e controle da agricultura e do agronegócio. A principal ocupação consiste em agricultores na fruticultura.

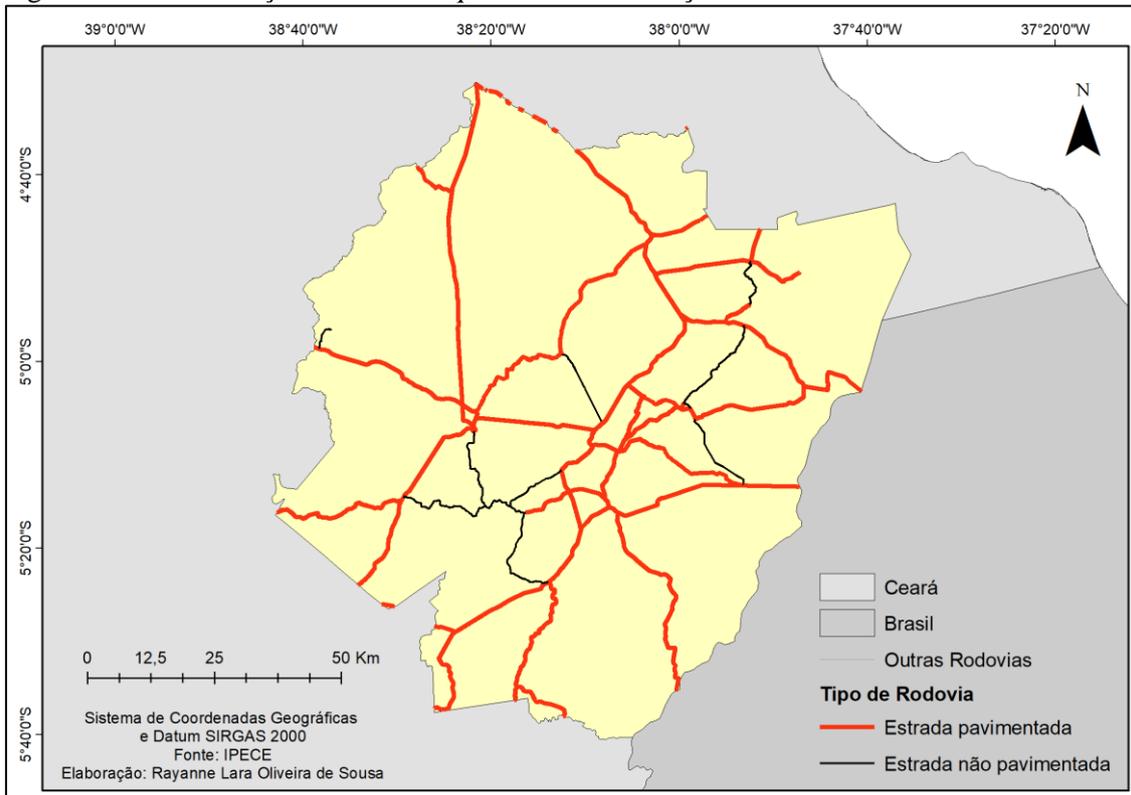
3.4 Infraestrutura Rodoviária

O Baixo Jaguaribe apresenta uma extensa malha rodoviária, sendo a maior parte pavimentada. Entre as principais rodovias, tem-se a BR-116, de jurisdição federal e está interligada a praticamente todos os municípios da microrregião. Corresponde a principal via de escoamento da produção do Baixo Jaguaribe, principalmente da fruticultura, para os portos cearenses.

Outra rodovia bastante importante para a região é a CE-356, conhecida como Estrada da Fruta e que liga os municípios de Russas e Quixeré. Ela é responsável pelo deslocamento da produção da Chapada do Apodi para a BR-116. Além dela, a CE-377, popularmente conhecida como Estrada do Melão, é responsável pela interligação e escoamento da produção de frutas para o Rio Grande do Norte.

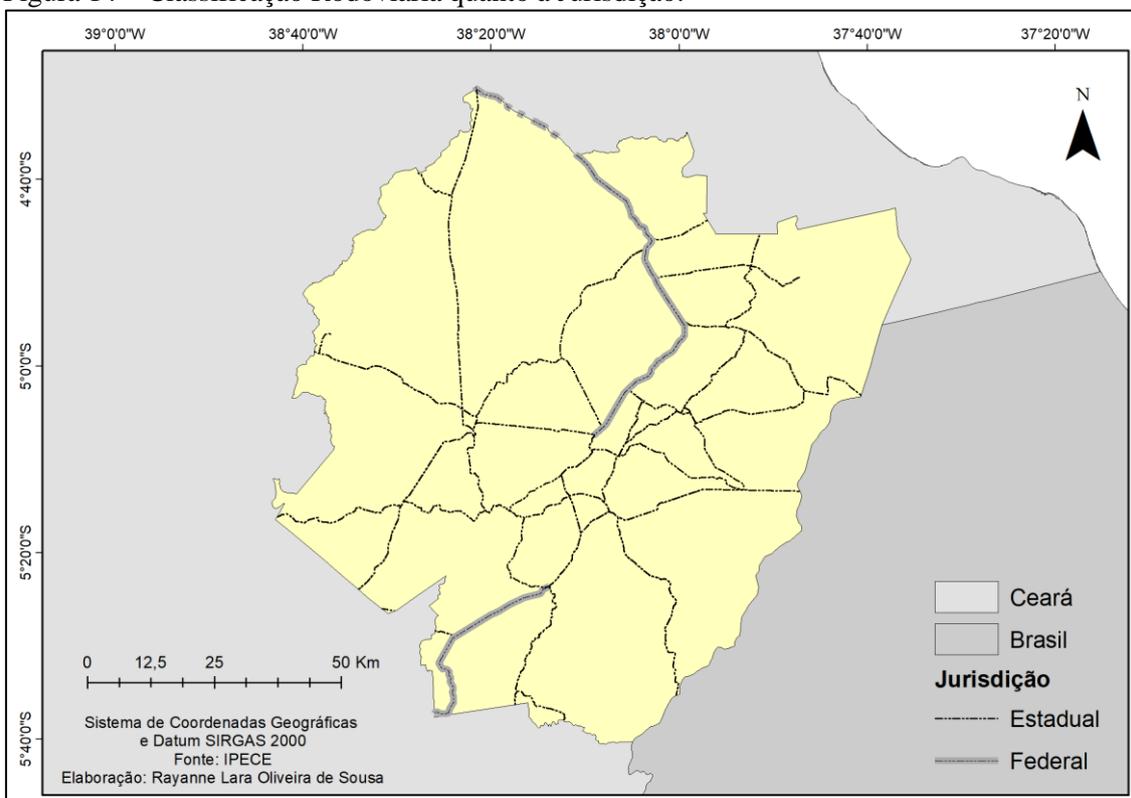
As figuras 13, 14 e 15 representam respectivamente a classificação das rodovias quanto à pavimentação, à jurisdição e às principais rodovias da região.

Figura 13 – Classificação Rodoviária quanto à Pavimentação.



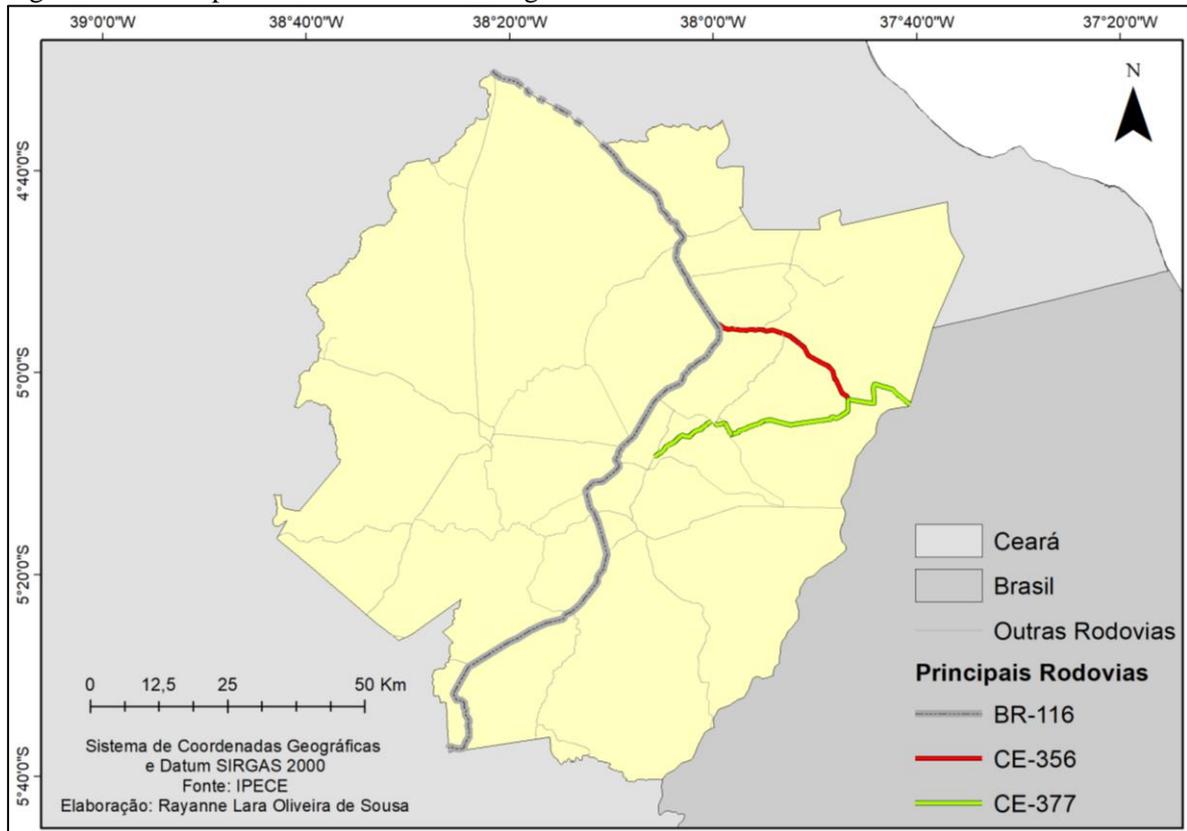
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 14 – Classificação Rodoviária quanto à Jurisdição.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 15– Principais Rodovias do Baixo Jaguaribe.

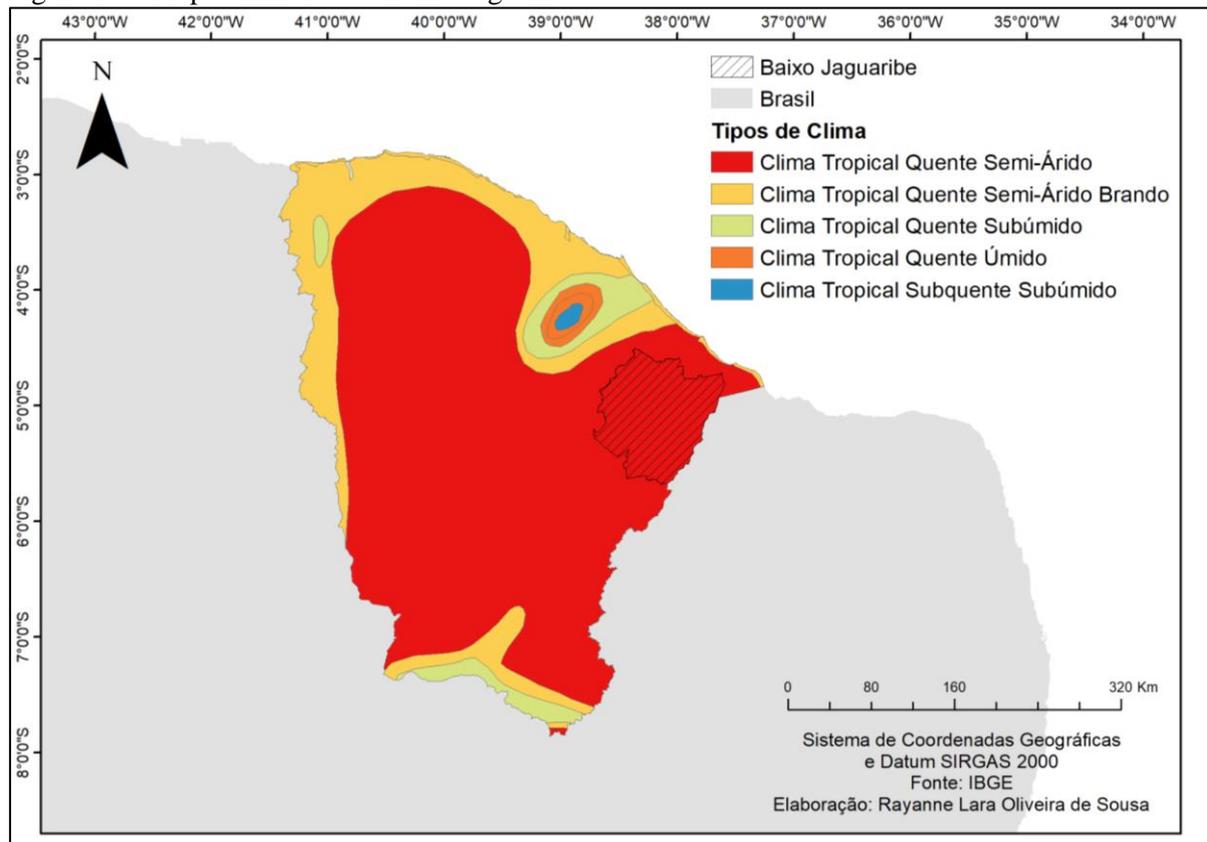


Fonte: Próprio autor (2019).

3.5 Clima

De acordo com o IPECE (2007), o Ceará está dividido em cinco tipos climáticos. São eles: Clima Tropical Quente Semi Árido, Clima Tropical Quente Semi Árido Brando, Clima Tropical Quente Subúmido, Clima Tropical Quente Úmido e Clima Tropical Subquente Subúmido. A microrregião do Baixo Jaguaribe está totalmente inserida na Zona Tropical Quente Semi Árido, como está representado na Figura 16.

Figura 16 – Mapa Climático do Baixo Jaguaribe.

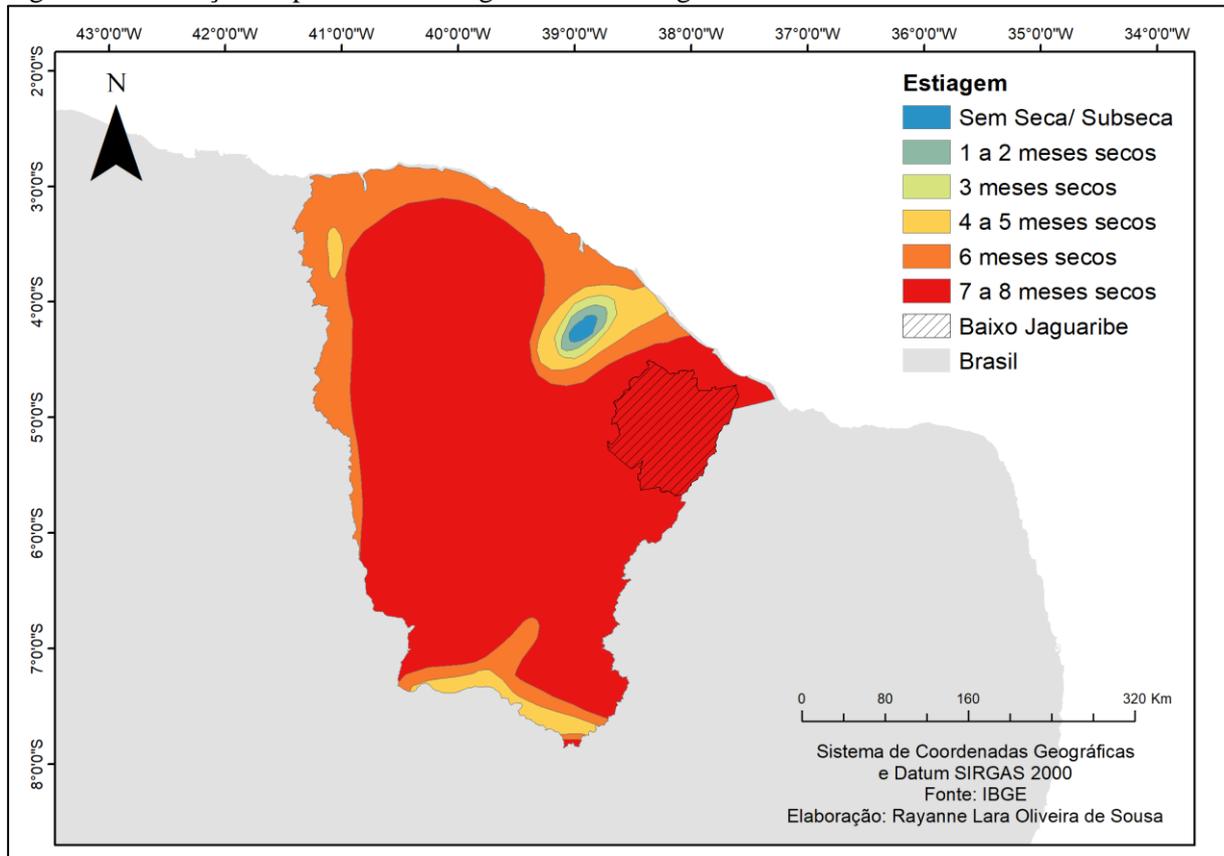


Fonte: Próprio autor (2019).

O Clima Tropical Quente Semi Árido tem como características as temperaturas elevadas – superiores a 25 °C – e índices pluviométricos inferiores a 700 mm/ano (BRANDÃO, 2014). Também é marcante na região os longos períodos de estiagem (provocados principalmente pelo fenômeno El Niño), com chuvas escassas e irregulares. O período de chuvas ocorre devido a passagem das frentes frias, da atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e das bordas dos vórtices ciclônicos em altos níveis (FUNCEME, 2002).

Na Figura 17 está representada a duração da estiagem no estado do Ceará. O Baixo Jaguaribe, como é possível visualizar, apresenta de 7 a 8 meses secos.

Figura 17 – Duração do período de estiagem no Baixo Jaguaribe.

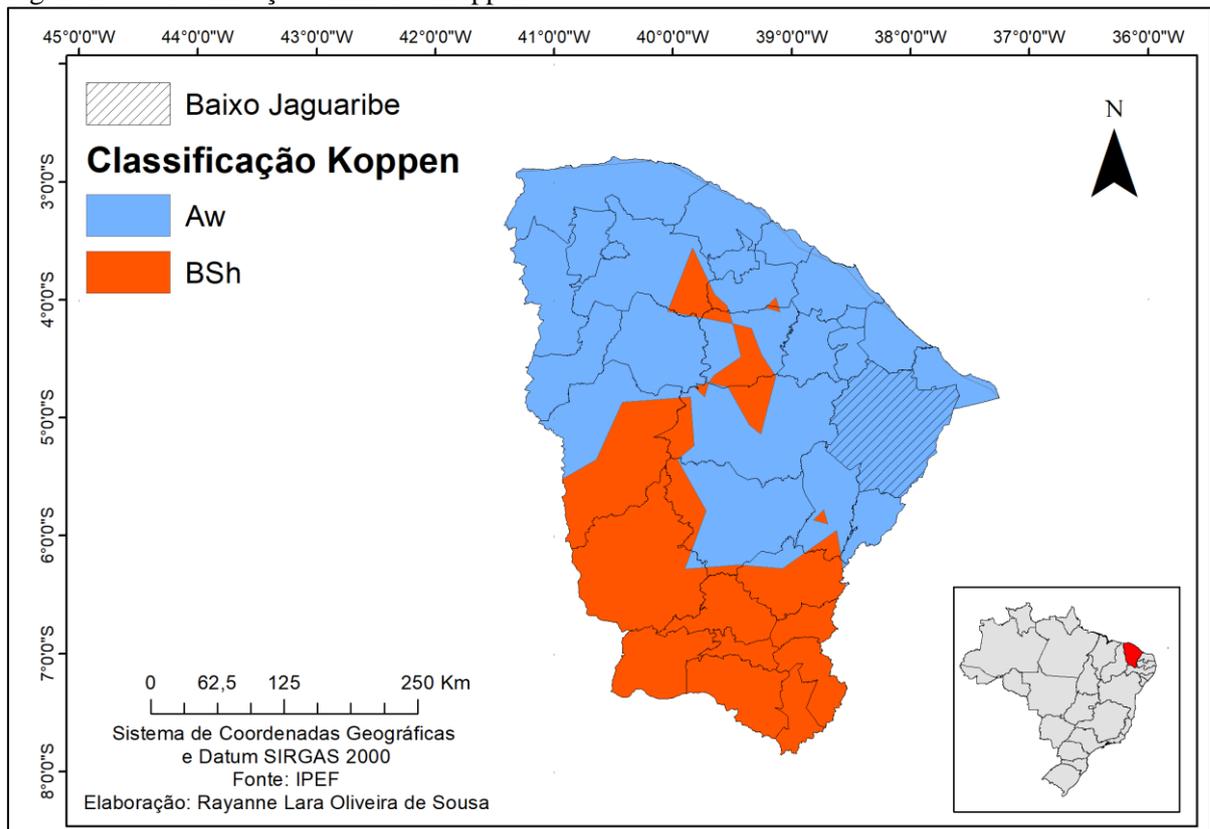


Fonte: Próprio autor (2019).

Outra classificação bastante difundida mundialmente na climatologia é a de Koppen-Geiger. Essa caracterização utiliza como parâmetros a temperatura, precipitações pluviométricas e características sazonais. Ela está dividida em cinco grupos principais: Clima Tropical (A), Seco (B), Temperado (C), Continental e Subártico (D) e Polar e Alpino (E). A classificação ainda está dividida em subgrupos e subtipos.

O estado do Ceará apresenta apenas dois tipos climáticos, segundo a classificação de Koppen. São elas: Aw (Clima Tropical Savânico) e BSh (Clima Semi Árido Quente). Como é possível visualizar na Figura 18, o Baixo Jaguaribe está inserido na região Aw, Clima Savânico que apresenta estação mais seca no inverno, podendo prevalecer o ano todo. A estação chuvosa ocorre no verão, entre os meses de novembro a abril.

Figura 18 – Classificação Climática Koppen.



Fonte: Próprio autor (2019).

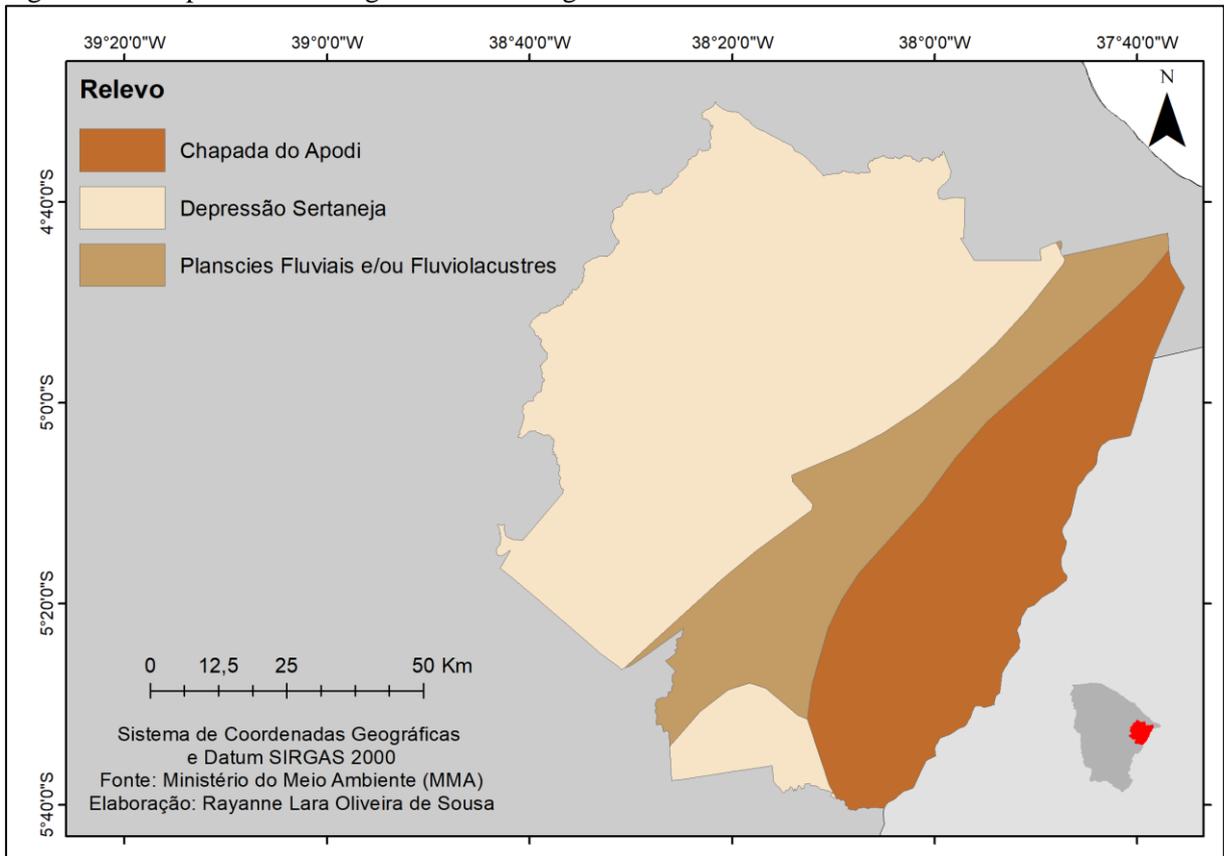
3.6 Relevo

A geomorfologia do Baixo Jaguaribe destaca-se por superfícies planas, em consequência da atuação dos processos erosivos ao longo do tempo que promoveram o dismantelamento do relevo formado por rochas ígnea-metamórficas. Nessas superfícies planas são encontradas algumas formações rochosas que se destacam no território, denominados *inselbergs* (BRANDÃO, 2014).

Outra estrutura geomorfológica é a compreendida pela Chapada do Apodi, com topo plano e levemente escarpado no sentido norte, apresentando um relevo em formato de cuesta, em que seu declive é assimétrico (LUCENA, 2014).

Os tipos de relevo encontrados no Baixo Jaguaribe são: Depressão Sertaneja, Planície Fluvial do Rio Jaguaribe e Chapada do Apodi, que são representados na Figura 19.

Figura 19 – Mapa Geomorfológico do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.6.1 Depressão Sertaneja

Consiste no conjunto de superfícies de aplainamento que suprimem um complexo conjunto de rochas ígneas-metamórficas, encobertas pela caatinga. Esse domínio é constituído por vastas áreas aplainadas, caracterizadas por uma rede de drenagem de baixa densidade. Localiza-se normalmente na base de maciços montanhosos ou em escarpas de chapadas. Também está presente nessas regiões os *inselbergs* ou agrupamento desses, formados por rochas graníticas resistentes que se destacam na paisagem. As Figuras 20 e 21 mostram alguns dos *inselbergs* encontrados pelo território do Baixo Jaguaribe (BRANDÃO, 2014)

Figura 20 – *Inselberg* presente no município de Morada Nova.



Fonte: COSTA (2014).

Figura 21 – *Inselberg* presente no município de Tabuleiro do Norte.



Fonte: OLIVEIRA FILHO (2003).

Ressalta-se ainda a ocorrência de maciços residuais cristalinos que se sobressaem topograficamente em meio as planícies semiáridas. As superfícies planas da Depressão Sertaneja estão estabelecidas em cotas baixas (variando de 40 a 350 metros). Corresponde ao domínio mais extenso do estado e está embasado em rochas ígneo-metamórficas. Os solos da região são rasos e pedregulhosos, com fertilidade natural baixa a alta e a caatinga como vegetação dominante. Nela, destaca-se o processo de intemperismo físico com alta erodibilidade natural devido ao escoamento superficial difuso que ocorre na região (BRANDÃO, 2014).

3.6.2 Planícies Fluviais e/ou Fluviolacustres

São formadas pela deposição de sedimentos ao longo do tempo geológico, decorrente do exercício que os rios executam: erodindo em alto curso, transportando em médio curso e depositando em baixo curso. No Baixo Jaguaribe está presente a Planície Fluvial do Rio Jaguaribe, marcada pelo processo de deposição sobre o embasamento cristalino, essa foi formada devido a interação dos processos geomorfológicos e climáticos, em virtude do desgaste das rochas do embasamento e pelas mudanças climáticas ocorridas no período Cenozoico (MAIA, 2005).

3.6.2.1 Planícies Fluviais do Rio Jaguaribe

O domínio geomorfológico presente no Baixo Jaguaribe é caracterizado por baixas altimetrias, relevos planos, solos ricos e densa vegetação (MAIA, 2004). Devido a suas peculiaridades, a região é propensa para o uso agroextrativista, sendo que é intensa a prática da irrigação na região (LUCENA, 2014).

Por se tratar de uma área de deposição, os aluviões funcionam como bons reservatórios, favorecendo maior armazenamento e menor escoamento, visto o contexto climático da região (Semi Árido) com longo período seco, com média de 8 meses de duração. Porém, por ser uma região sedimentar, de fácil infiltração, é presente a ocorrência de uma grande quantidade de água subterrânea. Tal fato possui uma grande importância econômica para a região e comunidade local (MAIA, 2004).

3.6.3 Chapada do Apodi

Localizada na porção oriental do estado do Ceará, na divisa com o Rio Grande do Norte, esse domínio geomorfológico pertence a bacia Potiguar. Consiste em um baixo platô, constituído de rochas sedimentares. Seu topo possui altimetrias que variam de 80 a 160 metros. Trata-se de um relevo dissimétrico, com inclinação suave na direção norte-nordeste. Possui face íngreme e erodida com 50 a 100 metros de desnível para Sul e Sudeste (BRANDÃO, 2014)

Está delimitado ao sul e oeste pela Depressão Sertaneja e pela Planície Fluvial do Rio Jaguaribe. Seu topo plano possui solos pouco profundos com alta fertilidade natural. A área em questão está assente sobre rochas do tipo calcárias (BRANDÃO, 2014)

O processo de infiltração está mais suscetível a ocorrer do que o escoamento superficial, assim, no topo, a densidade de drenagem é baixa, porém seu potencial hidrogeológico é alto. Dessa forma, na Chapada do Apodi são desenvolvidos importantes projetos de fruticultura irrigada com a utilização da água subterrânea nela presente (BRANDÃO, 2014)

3.7 Geologia

A formação geológica mais antiga e vasta do estado do Ceará compreende o Complexo Cristalino, a base sobre a qual todos os outros depósitos geológicos vieram a se assentar. Essa formação é originária da era arqueozóica, que teve início há aproximadamente 4 bilhões de anos (SOBRINHO, 1941). Nesse período ocorreu o desenvolvimento da crosta terrestre, surgindo as primeiras rochas cristalinas e magmáticas.

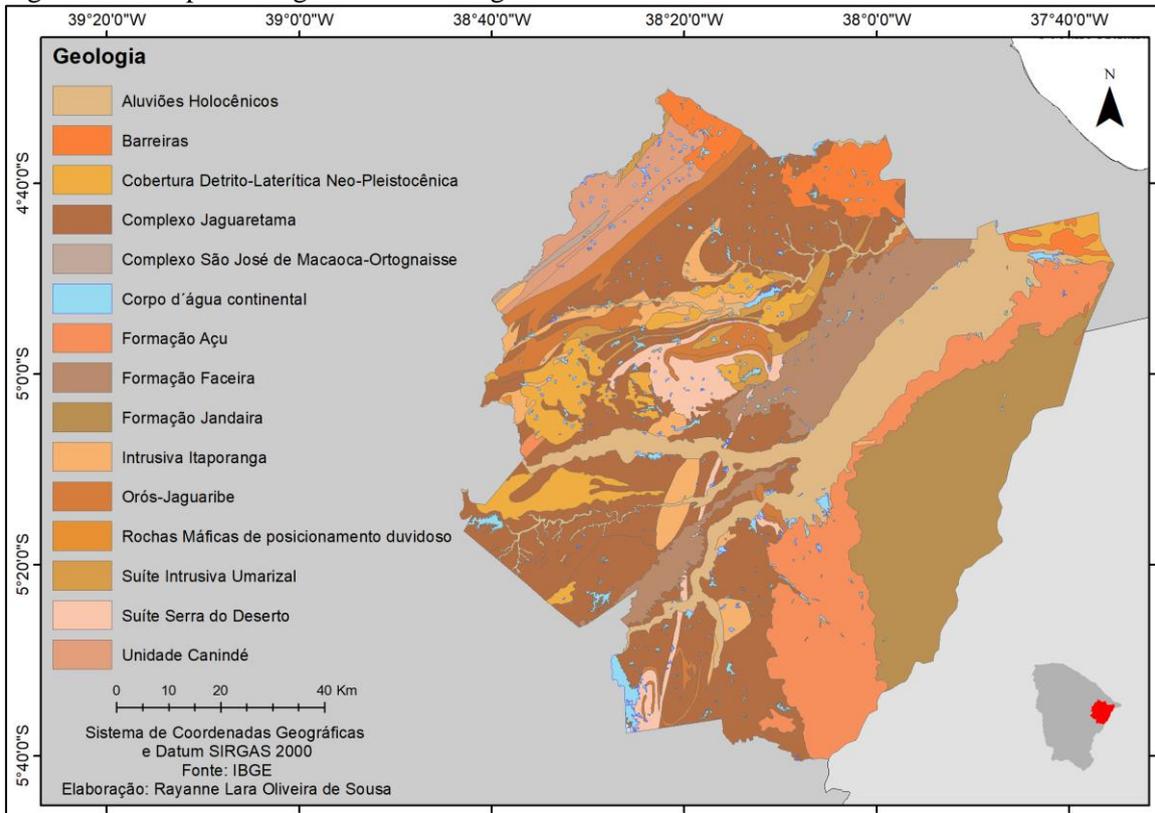
Sobre as camadas do escudo cristalino se assentaram os depósitos sedimentares correspondentes a era proterozóica (SOBRINHO, 1941). As rochas originárias dessa era podem ser encontradas na porção ocidental do Baixo Jaguaribe, região onde está localizada a Depressão Sertaneja, caracterizada por rochas ígneas e metamórficas que se desenvolveram nos períodos neoproterozóico e paloproterozóico, respectivamente.

As formações da era mesozóica são encontradas, no Baixo Jaguaribe, na Chapada do Apodi, que consiste em um planalto de baixa altimetria, sustentado por rochas sedimentares e constituído por uma fina camada de arenito assentada sobre o terreno primitivo. Sobre o horizonte de arenito há a presença de uma camada considerável de calcáreo, que pode chegar até 200 metros de profundidade (SOBRINHO, 1941).

As estruturas que datam da era cenozoica no Ceará correspondem a regiões bem definidas em toda a zona costeira. A sua espessura é bem variável, podendo chegar a 500 metros. No Baixo Jaguaribe, a região compreendida pela Planície Fluvial, teve sua origem nessa era geológica. Seu terreno é constituído por argilas de cores variadas e por arenitos moles. Nas Planícies Fluviais também predominam materiais superficiais depositados no terreno que datam da era quaternária (SOBRINHO, 1941).

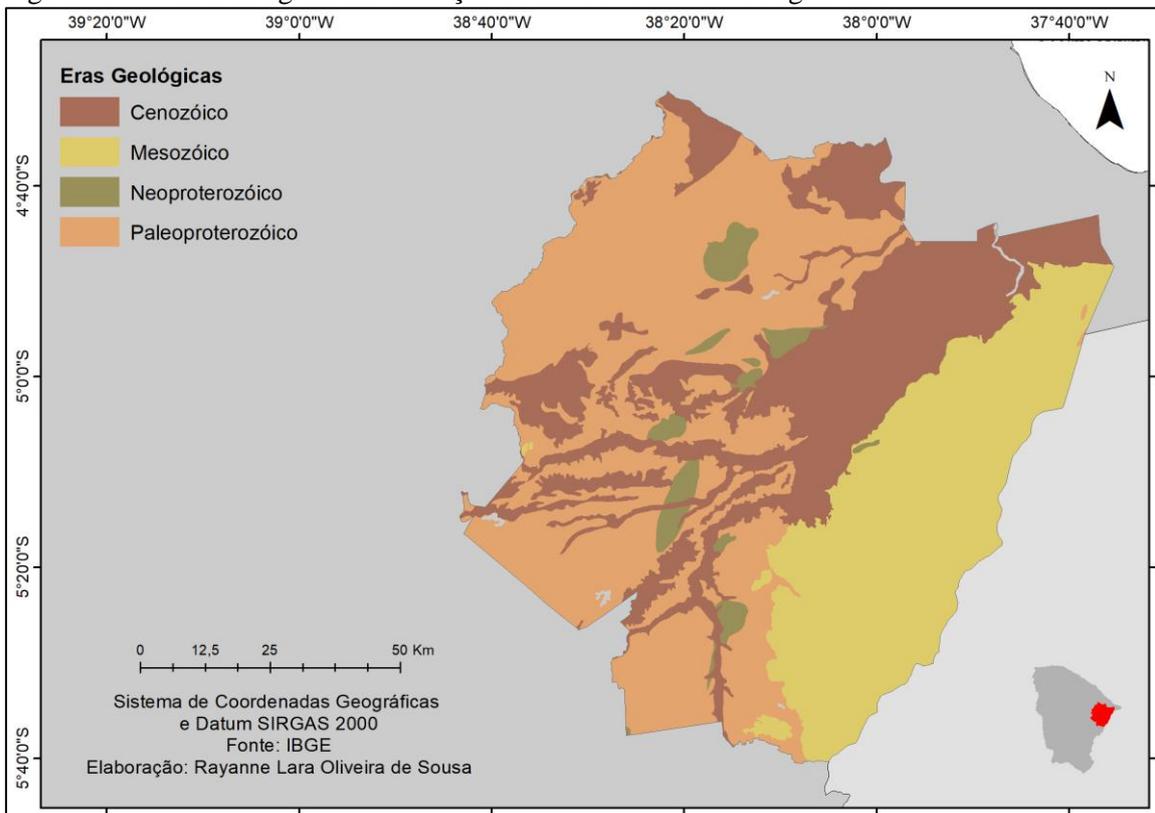
A Figura 22 demonstra como estão distribuídas as classes litológicas no Baixo Jaguaribe. E a figura 23 mostra as eras geológicas em que se originaram o território onde hoje constitui o Baixo Jaguaribe.

Figura 22 – Mapa Geológico do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 23 – Eras Geológicas da formação do território do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.8 Pedologia

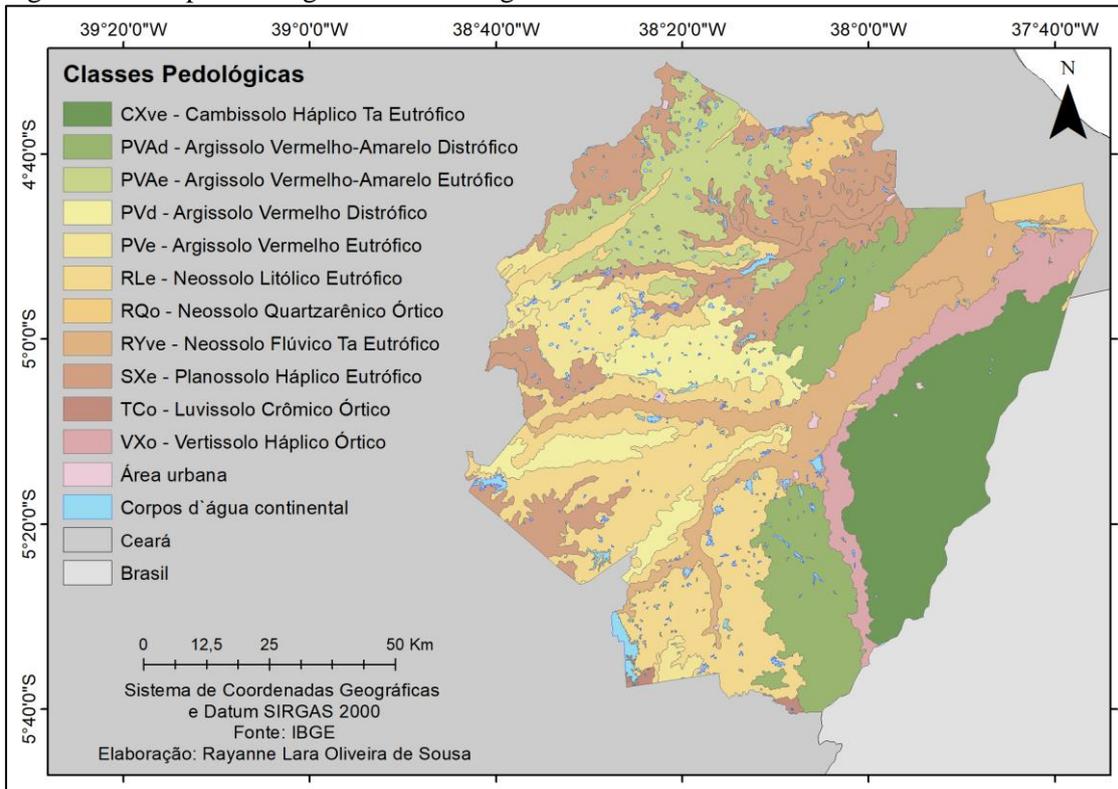
De acordo com a Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006) o solo consiste em uma coleção de corpos naturais, formados por parcelas sólidas, líquidas, gasosas, tridimensionais e dinâmicas. É constituído também por materiais minerais e orgânicos. Abrangem a maior seção da superfície continental do planeta. Contém matéria viva e podem ser modificados pela interferência antrópica.

Os solos são organizados em camadas ou horizontes que se diferenciam da rocha de origem por conta das transformações resultantes de fatores climáticos, antropológicos, de relevo e de organismos (EMBRAPA, 2006).

A classificação dos solos usada nacionalmente é a presente no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) da EMBRAPA. Essa caracterização é desenvolvida por meio de informações geomorfológicas, físicas, químicas e minerais do terreno, além de parâmetros externos, de clima, vegetação, relevo, material de origem, condições hídricas, entre outros (EMBRAPA, 2006).

A classificação do SiBCS divide os solos em seis níveis categóricos, são eles: ordem, subordem, grande grupo, subgrupo, família e série. Os dois últimos ainda estão em desenvolvimento. O primeiro nível categórico está dividido em 13 ordens: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos. No Baixo Jaguaribe são encontrados os solos demonstrados na Figura 24.

Figura 24 – Mapa Pedológico do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.8.1 Argissolo

Os solos dessa ordem são constituídos por material mineral com notável diferenciação entre as camadas, quanto à cor, estrutura e textura. Os teores de argila crescem com a profundidade, apresentando assim maior coesão e plasticidade em profundidades maiores. O horizonte superficial manifesta textura média a arenosa (EMBRAPA, 2006).

Em relação a drenagem, podem ser de moderados a bem drenados, apresentando maior retenção de água abaixo da superfície, quando a textura é argilosa. Nesse caso, o solo é indicado para exploração agrícola, visto a elevada capacidade de reserva de água. Quando o gradiente textural varia de médio a arenoso, com presença de cascalho e relevo acentuado, o terreno está mais suscetível a erosão e apresenta fertilidade baixa (EMBRAPA, 2006).

No Baixo Jaguaribe são encontradas as seguintes classificações para essa ordem: argissolo vermelho-amarelo distrófico e eutrófico e argissolo vermelho distrófico e eutrófico.

3.8.1.1 Argissolo Vermelho-Amarelo: Distrófico e Eutrófico

A subordem vermelho-amarelo indica solos com presença de óxidos de ferro hematita e gothita. Variam de profundos a muito profundos, bem estruturados e drenados. Apresentam textura média a muito argilosa. Quanto ao terceiro nível categórico, caracteriza-se por distrófico por possuir baixa fertilidade natural, ao contrário dos eutróficos, que apresentam alta fertilidade, sendo propícios para o uso agrícola (EMBRAPA, 2006).

3.8.1.2 Argissolo Vermelho: Distrófico e Eutrófico

Os argissolos de cores vermelhas apresentam altos teores de óxidos de ferro. Quanto à proporção de argila, na camada subsuperficial é encontrada em maior quantidade, quando se compara com o horizonte superficial. Essa diferenciação de textura e estrutura é facilmente percebida em campo. A sua fertilidade natural é bem variada. Quando classificado no grande grupo distrófico, apresenta baixa fertilidade. Quando caracterizado como eutrófico, demonstra alta fertilidade (EMBRAPA, 2006).

3.8.2 Cambissolo

De acordo com o Embrapa (2006) esse tipo de solo possui características que variam bastante de um local para outro, visto a heterogeneidade do material, o relevo e as condições climáticas. Dessa forma, eles podem ser desde bem até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos e de cor bruno até vermelho escuro.

3.8.2.1 Cambissolo Háptico Ta Eutrófico

Consiste na classificação encontrada no Baixo Jaguaribe, mais precisamente na Chapada do Apodi. São solos que ocorrem em relevo montanhoso, com pequenas profundidades e presença de pedras pelo terreno, o que pode limitar o seu uso. Porém, segundo informações da Embrapa (2006) o solo também apresenta argila de alta atividade e alta fertilidade, o que justifica o elevado potencial agrícola da região.

3.8.3 *Luvissolo*

Esses solos são pouco profundos e com notável diferenciação entre suas camadas, devido à variação de sua textura e cor. Podem ser bem ou mal drenados e apresentam argila de alta atividade por conta da presença de argilominerais. Normalmente ocorrem em áreas de clima seco e com relevo montanhoso. Identifica-se por boa fertilidade natural, sendo propícios para o uso agrícola, porém, seu uso pode ser limitado devido os declives acentuados do relevo (EMBRAPA, 2006).

3.8.3.1 *Luvissolo Crômico Órtico*

São encontrados em regiões de elevada restrição hídrica, característica presente no Baixo Jaguaribe. Estes apresentam boa permeabilidade e alta fertilidade. Os Luvissolos Crômicos Órticos não apresentam restrições para uso e manejo. As profundidades consideráveis para o enraizamento das plantas e o relevo suave favorecem o uso agrícola (EMBRAPA, 2006).

3.8.4 *Neossolo*

São constituídos por material mineral ou orgânico de pouca espessura. Suas características preponderantes são provenientes do material que lhe deu origem, dessa forma, são considerados solos pouco evoluídos e de difícil caracterização quanto ao seu processo de formação (EMBRAPA, 2006). As classificações encontradas no Baixo Jaguaribe para essa ordem são: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, Neossolo Litólico Eutrófico e Neossolo Quartzarênico Órtico.

3.8.4.1 *Neossolo Flúvico Ta Eutrófico*

São solos formados a partir da sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes, assim sua espessura e granulometria são bastante diversificadas. No Baixo Jaguaribe, essa caracterização ocorre na Planície Fluvial do Rio Jaguaribe. São solos férteis, com argila de alta atividade, tornando a região propícia para a agropecuária (EMBRAPA, 2006).

3.8.4.2 Neossolo Litólico Eutrófico

O Neossolos Litólico são solos rasos e com espessura superficial inferior a 50 cm. Normalmente estão muito limitados quanto ao seu uso, visto sua pouca profundidade, presença de rochas e relevo acentuado. Tais fatores prejudicam o crescimento radicular da vegetação, o uso de máquinas e aumentam o risco de erosão. Na microrregião em questão está presente o grande grupo eutrófico, que correspondem a solos de alta fertilidade (EMBRAPA, 2006).

3.8.4.3 Neossolo Quartzarênico Órtico

Correspondem a solos formados por sedimentos arenoquartzoso e marinho. Caracterizam-se por grandes profundidades, textura arenosa, boa drenagem, pouca coesão, baixa fertilidade natural e baixa capacidade de retenção de água. Outra característica marcante é a presença do elevado lençol freático. Normalmente são encontrados em Baixadas Litorâneas, região de ocorrência de dunas. No Baixo Jaguaribe são encontrados na parte mais próxima ao litoral cearense. A classificação órtica indica um solo sem restrição ao uso e ao manejo (EMBRAPA, 2006).

3.8.5 Planossolo

Localizado em áreas planas ou com ondulação suave, de cotas baixas. São pouco profundos. Superficialmente apresenta cor clara e textura arenosa. Com o aumento da profundidade, a textura passa a ser argilosa e pouco permeável. São solos com boa fertilidade natural e com grande capacidade de fornecer nutrientes à vegetação. O relevo suave também beneficia a atividade agrícola (EMBRAPA, 2006).

3.8.5.1 Planossolo Háptico Eutrófico

São solos com alta fertilidade e com grande condição nutricional, o que os tornam adequados para o uso agrícola. Além disso não possui caráter sódico, ou seja, elevados teores de sódio que causariam toxicidade para as plantas (EMBRAPA, 2006).

3.8.6 Vertissolo

Tem como características principais: restrição à percolação de água, mais de 30% de argila em sua constituição e presença de fendas de retração que se abrem geralmente no período mais seco. Apresenta elevado teor nutricional, que é favorável para a plantação. Porém seu uso é limitado devido ao alto teor de argila, que o torna bastante pegajoso quando molhado e com elevada dureza, quando seco. Ocorrem em áreas planas e com ondulosos suaves, depressões e antigas lagoas (EMBRAPA, 2006).

3.8.6.1 Vertissolo Háptico Órtico

Solos com boa fertilidade, porém quando secos apresentam-se como torrões compactos devido a elevada dureza. E quando molhados se tornam pegajosos, tornando seu uso em desvantagem para uso agrícola. A classificação órtica indica solos com não restrição ao uso e manejo. Esses solos também podem ser utilizados em pastagens (EMBRAPA, 2006).

3.9 Hidrografia

A microrregião do Baixo Jaguaribe está inserida nas Bacias Hidrográficas do Banabuiú, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe e Metropolitana. As áreas da microrregião correspondentes a cada Bacia estão mostradas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Bacias Hidrográficas situadas no Baixo Jaguaribe.

Bacias Hidrográficas	Área da microrregião correspondente a cada Bacia Hidrográfica (km ²)	Participação do Baixo Jaguaribe em cada Bacia Hidrográfica
Do Baixo Jaguaribe	5.398	54,30 %
Do Banabuiú	1.977	19,89 %
Do Médio Jaguaribe	1.705	17,15 %
Metropolitana	860	8,65 %

Fonte: Próprio autor (2019).

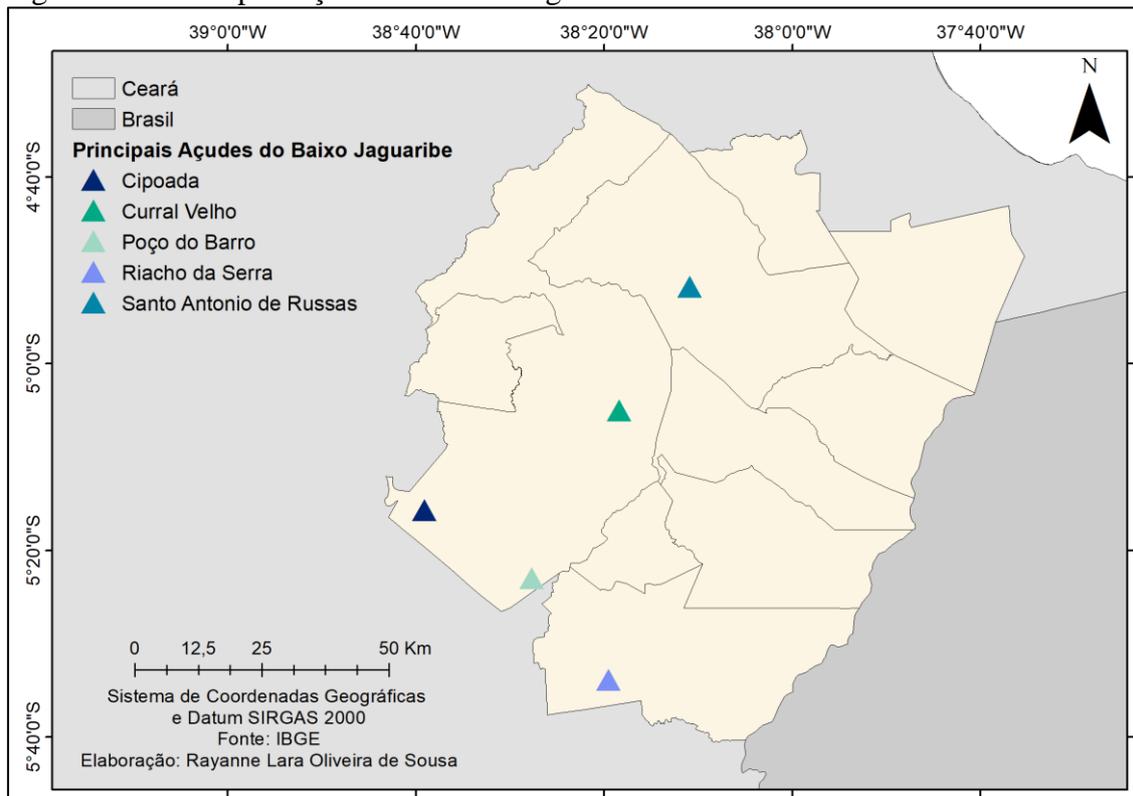
Em relação aos açudes encontrados na região, a Tabela 6 apresenta os principais, bem como onde eles se localizam, sua capacidade de armazenamento e o atual volume armazenado. A Figura 25 mostra como estão distribuídos esses açudes pela microrregião.

Tabela 6 – Principais Açúdes do Baixo Jaguaribe.

Açúdes	Município	Capacidade de armazenamento (hm ³)	Volume armazenado (hm ³)	Volume armazenado %
Santo Antônio de Russas	Russas	24	17,88	74,51
Curral Velho	Morada Nova	12,17	8,04	66,11
Poço do Barro	Morada Nova	52	11,04	21,23
Cipoada	Morada Nova	86,09	5,70	6,62
Riacho da Serra	Alto Santo	23,47	1,56	6,65

Fonte: FUNCEME (2019).

Figura 25 – Principais açúdes do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

No que se refere à hidrografia, o Baixo Jaguaribe tem como principal curso d'água o Rio Jaguaribe, que representa o maior e mais importante rio do Ceará. Ele nasce na Serra da Joanhina, em Tauá, e deságua no município de Fortim, no Oceano atlântico, percorrendo 633 km (LABOMAR, 2003).

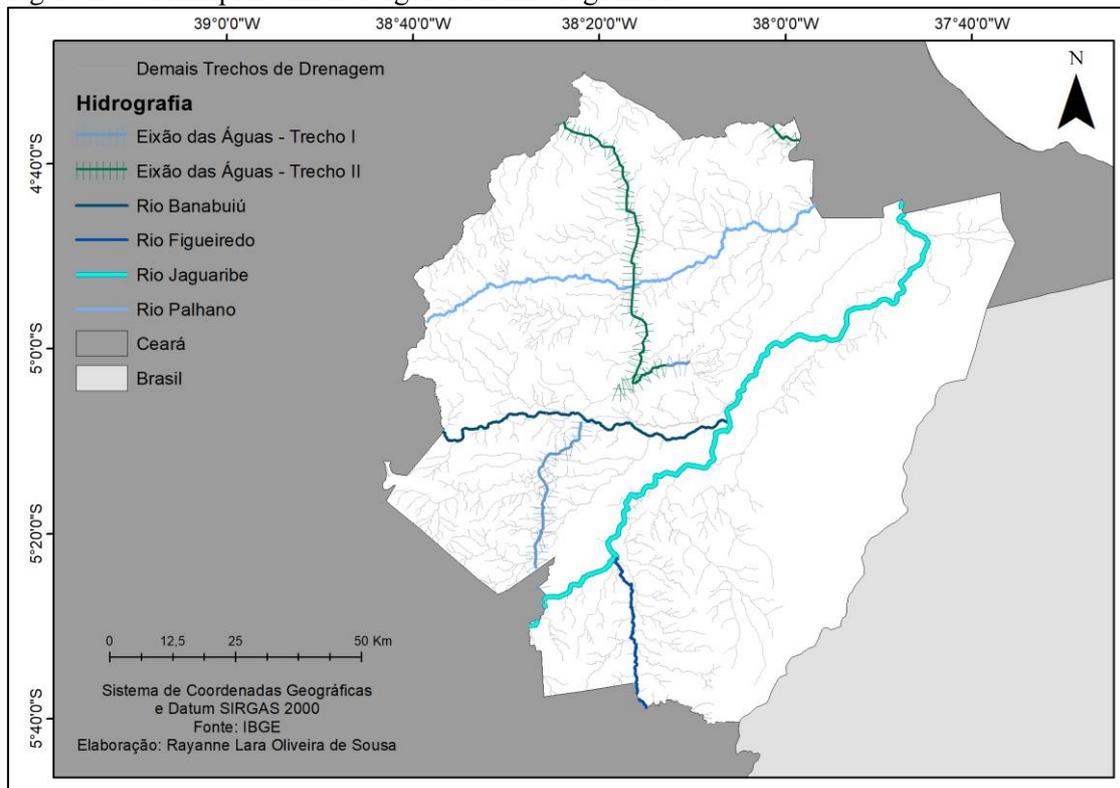
Outro curso d'água bastante importante para o estado e para o Baixo Jaguaribe é o rio Banabuiú. Consiste em um dos principais afluentes do rio Jaguaribe e é responsável direto pela água utilizada no município de Morada Nova. Além desses, outros rios em destaque são: Rio Palhano, Rio Figueiredo, entre outros. Ambos são afluentes do rio Jaguaribe.

Além dos cursos naturais, no Baixo Jaguaribe também está presente alguns trechos do Eixão das Águas. Maior obra de infraestrutura hídrica do estado, foi desenvolvido com o

objetivo de manter o abastecimento de água na região metropolitana de Fortaleza, transpondo água do Açude Castanhão até a capital do estado (SHR, 2015).

Ao todo são 256 km de extensão, que atendem comunidades e perímetros irrigados ao longo do seu trajeto, entre eles o Perímetro Irrigado do Tabuleiro de Russas. A obra está dividida em cinco trechos. No Baixo Jaguaribe estão alocados os Trechos I, que se inicia no Açude Castanhão e termina no Açude de Curral Velho, em Morada Nova, com 53,2 km de extensão, e o Trecho II, que tem início no Açude Curral Velho e tem fim na Serra do Félix, Beberibe, com 46,2 km (SHR, 2015). Os principais cursos hídricos da microrregião estão representados na Figura 26.

Figura 26 – Principais cursos d'água do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor.

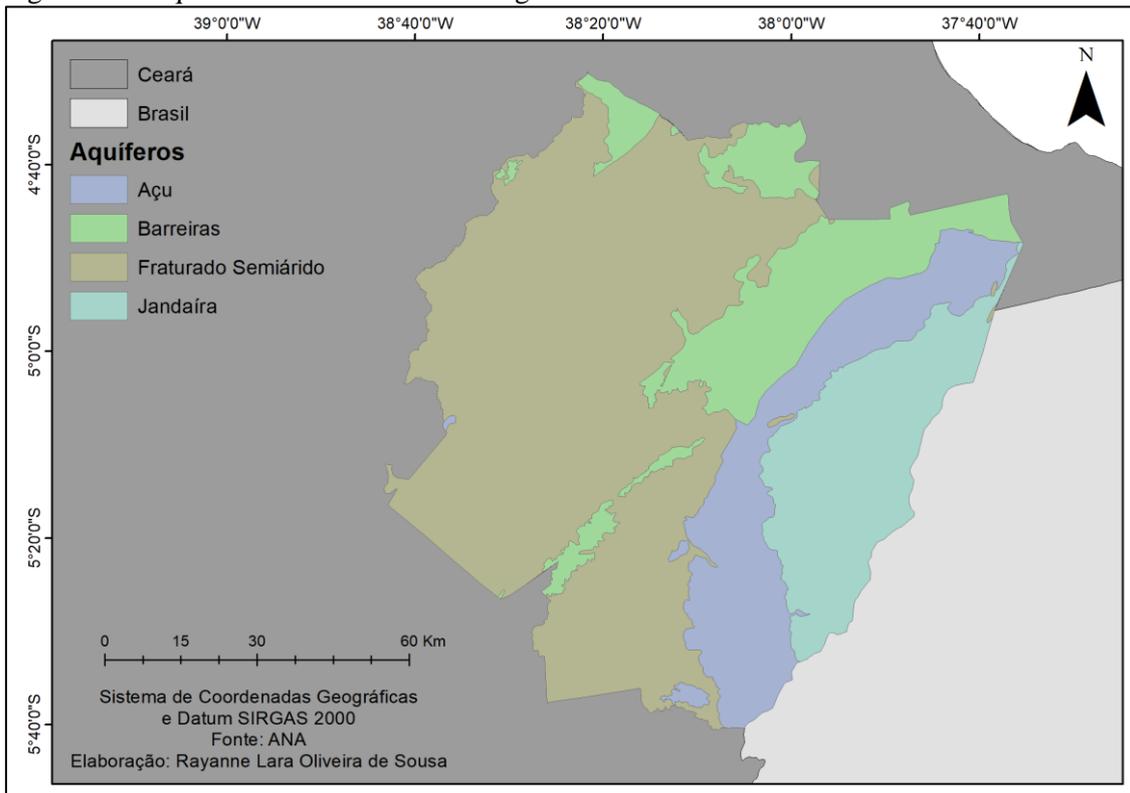
Quanto às águas subterrâneas, o Baixo Jaguaribe contempla os seguintes aquíferos: Jandaíra, Açú, Barreiras e Fraturado Semi Árido. Os aquíferos Jandaíra e Açú estão inseridos em terreno constituído por calcáreos, e são muito utilizados na irrigação da fruticultura na Chapada do Apodi. São aquíferos livres, heterogêneos, hidráulicamente anisotrópicos e de circulação cárstica. A recarga de suas águas subterrâneas ocorre por infiltração da precipitação pluviométrica. Porém, esse processo é dificultado pelas condições de deficiência hídrica (VASCONCELOS, 2010).

O sistema Barreiras é constituído de rochas sedimentares pouco consolidadas. São classificados como aquítarde por apresentar baixa permeabilidade e porosidade. A sua recarga é proveniente da precipitação pluviométrica, rios e lagos e infiltração de unidades aquíferas sobrepostas (OLIVEIRA, 2017).

O aquífero Fraturado Semi árido corresponde à formação de maior ocorrência do estado do Ceará. São constituídos pela formação cristalina fraturada, e apresenta baixa produtividade e alto teor de sais. A capacidade do aquífero está relacionado com a infiltração e percolação da água. Dessa forma, sua recarga e qualidade da água depende de fatores exógenos: clima, relevo, vegetação, entre outros, como também fatores endógenos: a estrutura das rochas que apresentam soluções mineralizantes hidrotermais (OSÓRIO, 2018).

A Figura 27 mostra como ocorre a distribuição dos aquíferos no território da microrregião do Baixo Jaguaribe.

Figura 27 – Aquíferos situados no Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.10 Vegetação

Todo o território cearense está inserido no Bioma Caatinga, que possui como características principais: uma vegetação submetida a um clima quente e semiárido, com espécies adaptadas à deficiência hídrica e endêmicas a essas áreas.

No Baixo Jaguaribe a vegetação predominante, de acordo com a classificação utilizada pelo IBGE (2012) e Veloso (1945), consiste nas Savanas Estépicas, caracterizadas por vegetais campestres, com estrato lenhoso e espinhoso, em decorrência do clima preponderante semiárido, com longos períodos de estiagem. Ela se divide nos subgrupos: Savana Estépica Florestada, Savana Estépica Arborizada, Savana Estépica Parque e Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa. A Tabela 7 mostra as vegetações natural e modificada que podem ser encontradas na microrregião do Baixo Jaguaribe (IBGE, 2012).

Tabela 7 – Cobertura do solo no Baixo Jaguaribe.

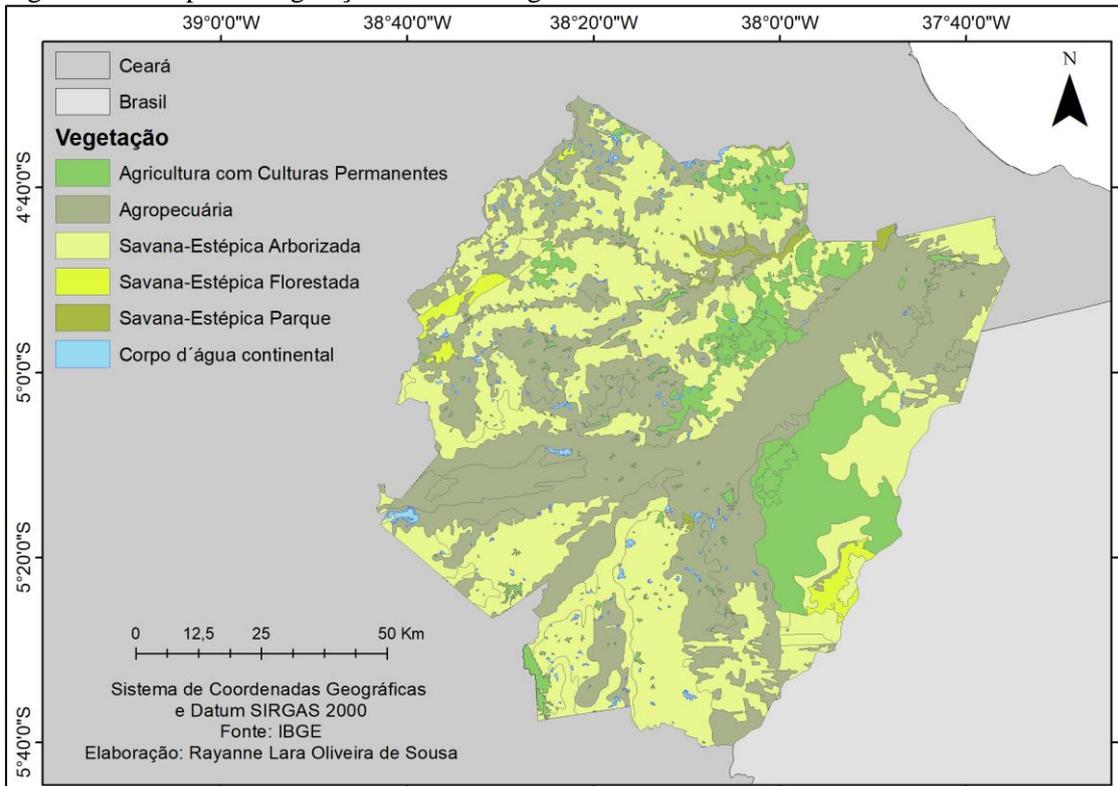
Vegetação	Área (km²)	Ocorrência (%)
Vegetação Natural	4.290,0	43,16
Área Modificada	5.449,0	54,82
Massa d'água	201,0	2,02
Total	9.940,9	100%

Fonte: Próprio autor (2019).

A caatinga vem, constantemente, sendo modificada pelo homem, o que ocasiona um intenso processo de desertificação, ao trocar sua vegetação natural por extensas plantações, através do desmatamento e das queimadas.

Por meio da Figura 28 é possível visualizar como a vegetação está distribuída pela região, bem como perceber que áreas consideráveis do Baixo Jaguaribe são destinadas para a agricultura e agropecuária, modificando a vegetação natural da região.

Figura 28 – Mapa da Vegetação do Baixo Jaguaribe.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.10.1 Savana Estépica Arborizada

Vegetação com fisionomia rala e de baixa estatura, com morfologia graminóide e sujeita ao fogo. Sua composição florística possui a capacidade de se adequar ao habitat, caracterizando o ambiente de acordo com o espaço geográfico (IBGE, 2012).

3.10.2 Savana Estépica Florestada

A Savana Estépica Florestada corresponde a subgrupo encontrado em solos constituídos de arenitos lixiviados profundos. Presente em clima tropical, é uma vegetação que apresenta a mesma estrutura baixa e com ramificação irregular. Sua composição florística apresenta a capacidade de sobreviver a longos períodos de seca. O caule possui casca grossa, separado em lâminas. Suas raízes e caules subterrâneos são espessos, servindo para o acúmulo de água e nutrientes, permitindo a sobrevivência da planta nos longos períodos de seca da região (IBGE, 2012).

3.10.3 Savana Estépica Parque

Essa vegetação é bastante análoga a vegetação arborizada, porém sua alocação pelo terreno ocorre de forma semelhante a vegetais plantados. Sua composição florística é lenhosa e raquítica e se situam sobre um denso tapete de gramíneas (IBGE, 2012).

3.11 Considerações Finais

Com base em todo o estudo geoambiental realizado nesse capítulo e na fundamentação teórica descrita no capítulo anterior, foi possível determinar como iria proceder a escolha dos pontos de coleta dos materiais e os ensaios necessários para realizar a caracterização geotécnica. No capítulo seguinte serão apresentados como se deu a escolha dos solos e o programa experimental utilizado nessa pesquisa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será descrito como se deu a coleta das amostras, bem como o procedimento experimental utilizado para a posterior caracterização geotécnica.

O primeiro passo para a caracterização dos solos da região do Baixo Jaguaribe foi a coleta do material. A princípio foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito das características geoambientais da região para melhor compreensão de como deveria ocorrer a coleta do solo.

Com os materiais coletados prosseguiu com o programa experimental, que contemplou tantos os ensaios tradicionais, quanto os não convencionais. Dessa forma, toda a metodologia de como ocorreu os passos citados anteriormente será melhor descrita nos tópicos a seguir.

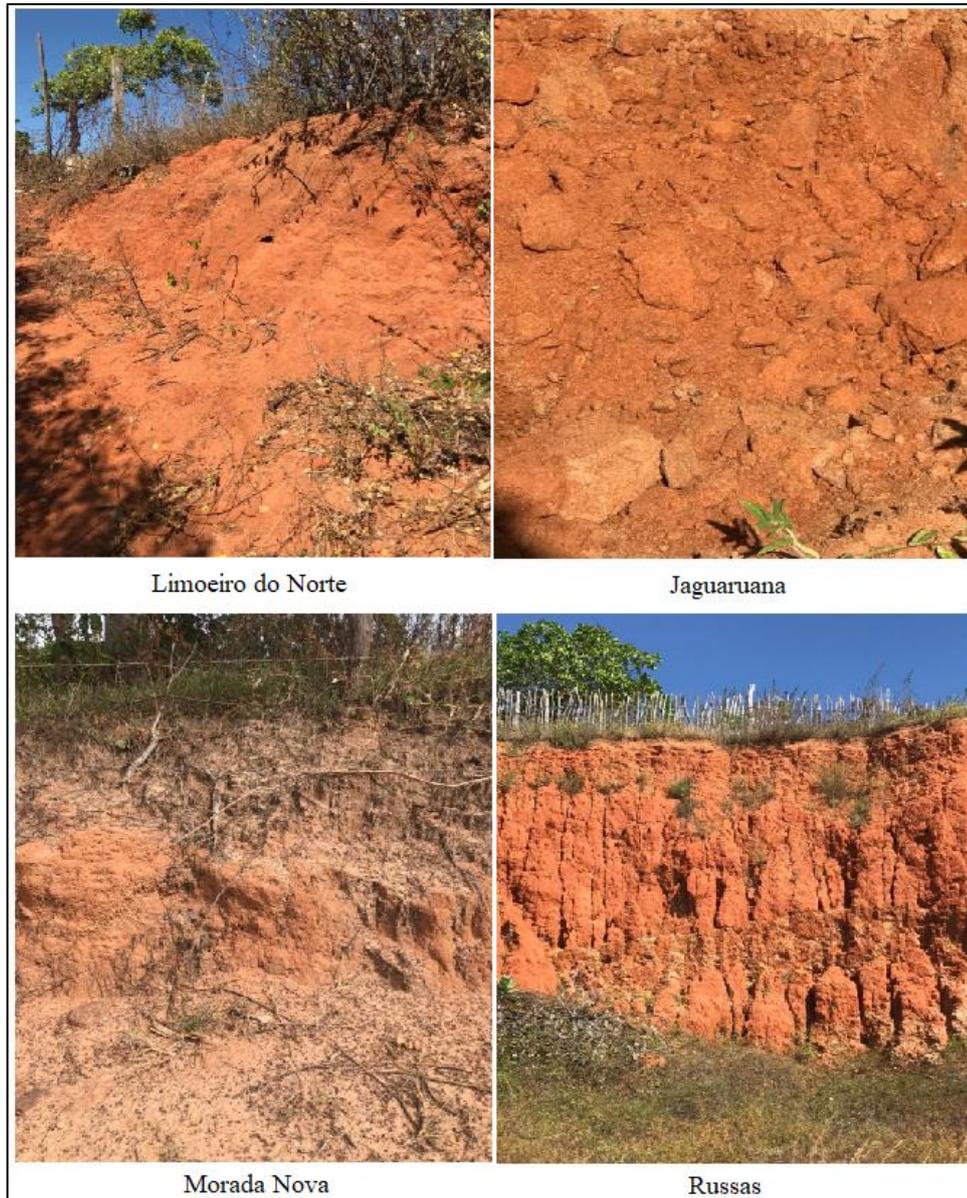
4.2 Materiais Coletados

Para a realização da coleta das amostras de solo, foi utilizado, inicialmente, o mapa geológico do estado do Ceará com suas respectivas unidades litoestratigráficas. Como critério de seleção foram escolhidos os pontos para coleta situados em áreas, que de acordo com o Mapa Geológico do Estado do Ceará, estivesse presente materiais laterizados. A coleta do solo também foi definida por meio da visualização do mesmo e em regiões em que era possível e permitido o acesso.

Por conta do curto período da pesquisa, não foi possível a coleta de material em todos os municípios do Baixo Jaguaribe. Foram selecionadas quatro amostras dos municípios com maior destaque na microrregião em relação a critérios econômicos e sociais. São esses: Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova e Russas.

As amostras foram identificadas de acordo com a nomenclatura de cada município de onde elas foram retiradas. A figura 29 mostra o aspecto visual das quatro amostras de solo coletadas.

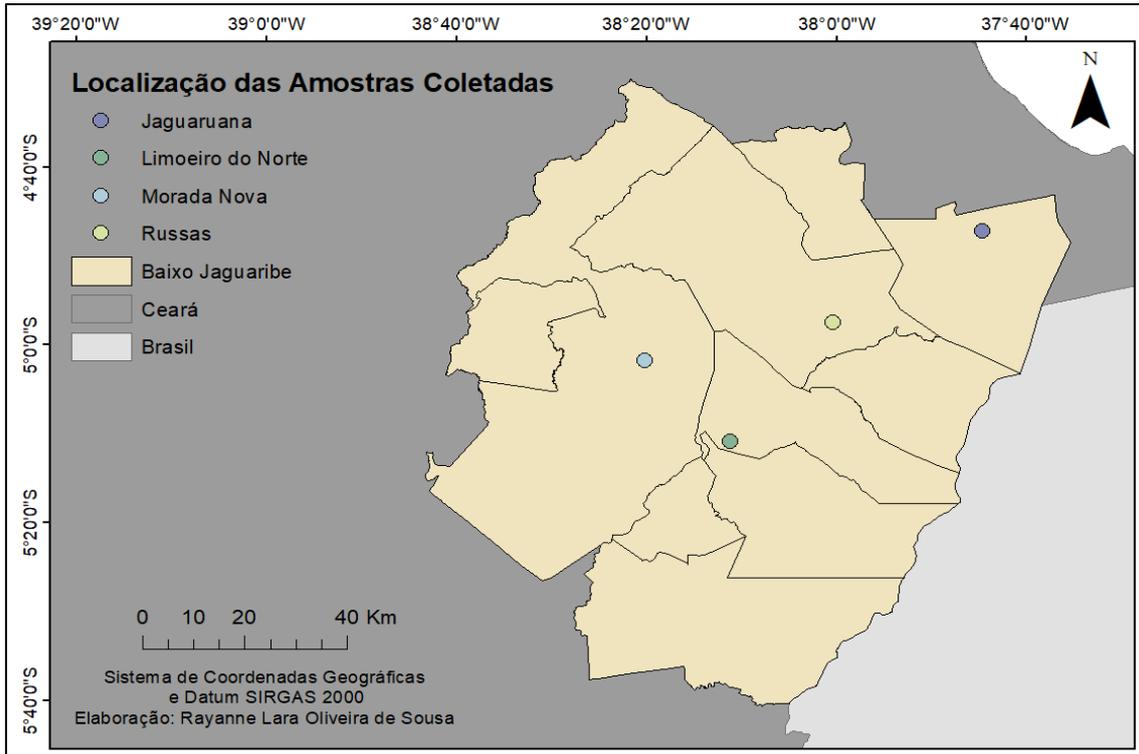
Figura 29: Aspecto visual dos solos coletados.



Fonte: Próprio autor (2019).

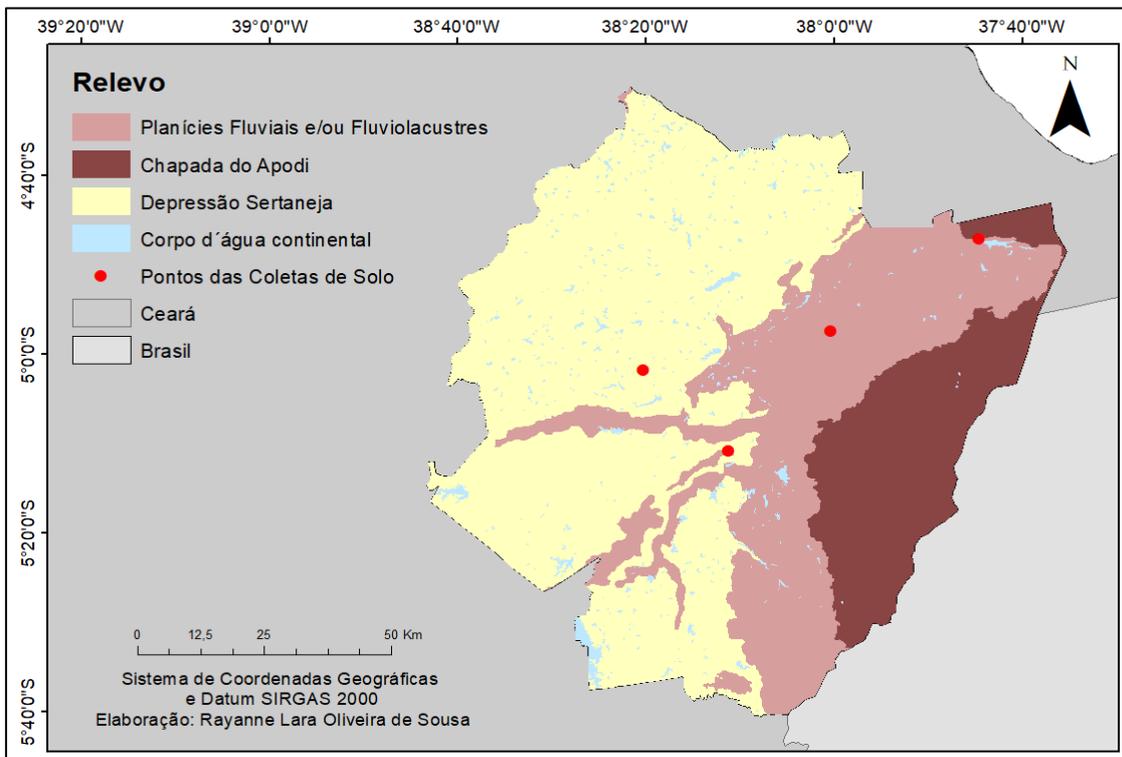
A figura 30 mostra a localização dos pontos de coleta no Baixo Jaguaribe. As figuras 31, 32 e 33 demonstram os pontos de coleta nos Mapas de Relevo, de Vegetação e Pedológico, respectivamente.

Figura 30 – Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe.



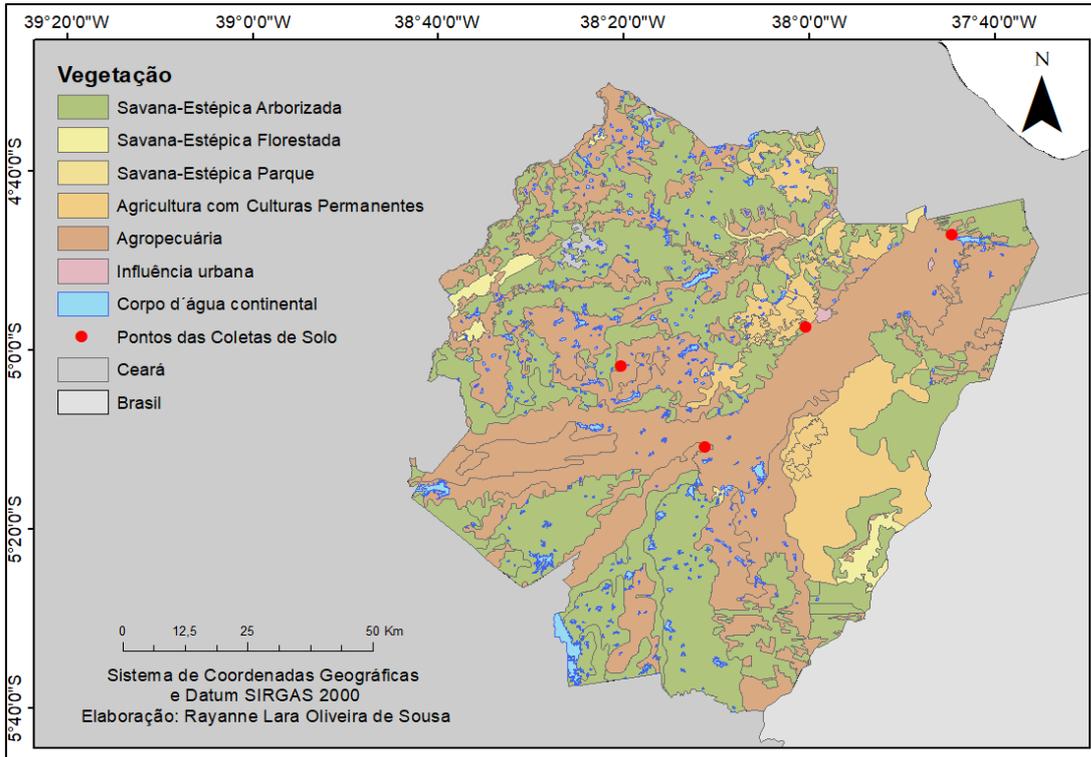
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 31 – Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe no Mapa de Relevo.



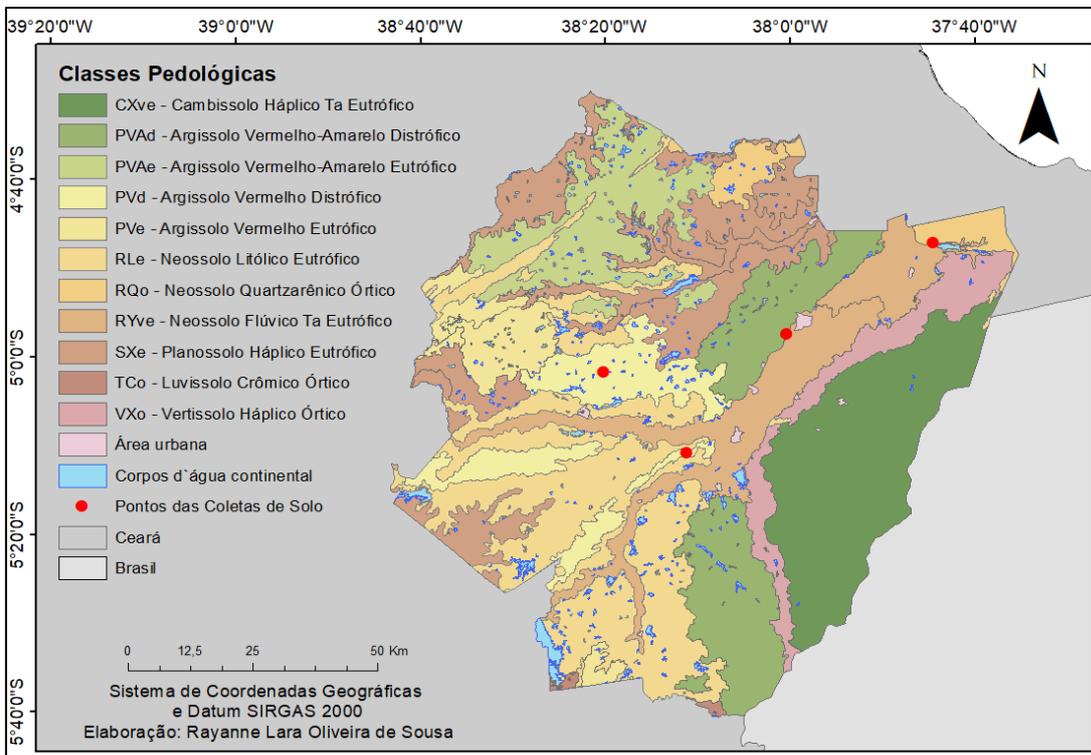
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 32 – Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe no Mapa de Vegetação.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 33 – Localização das Amostras Coletadas no Baixo Jaguaribe no Mapa Pedológico.



Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3 Programa Experimental

Os ensaios inicialmente executados para a realização da pesquisa foram os ensaios de caracterização: Limites de consistência e granulometria. A partir desses ensaios foi possível a classificação tradicional da AASTHO.

Em seguida foi realizado o ensaio mecânico de compactação para as quatro amostras de solo com a finalidade de obtenção da umidade ótima dos mesmos. Por fim, foram realizados os ensaios necessários para a classificação não tradicional, MCT. São eles: Mini-MCV, Perda de massa por imersão e Mini-CBR. A figura 34 representa um fluxograma que mostra os ensaios realizados para um melhor entendimento e organização da pesquisa.

Figura 34 – Fluxograma dos ensaios realizados.

Ensaio Realizado	Tradicional	Ensaio de Caracterização	Limites de consistência Granulometria
		Ensaio Mecânico	Ensaio de Compactação Triaxial
	Não Tradicional	MCT	Mini-MCV
			Perda de massa por imersão
			Mini-CBR

Fonte: Próprio autor (2019).

4.3.1 Ensaio de Caracterização para Classificação Tradicional

Os ensaios iniciais realizados com as amostras de solo coletadas foram os ensaios de caracterização: Limites de Consistência e Granulometria. Com esses ensaios foi possível a classificação tradicional da AASTHO dos solos.

4.3.1.1 Limites de consistência

A consistência de um solo depende diretamente da quantidade de água presente no mesmo. Dessa forma, o solo pode se apresentar nas formas sólida, semissólida, plástica e líquida. Quanto maior o teor de umidade, ou seja, mais líquido o solo, menor a resistência do cisalhamento que o material possui. Com a perda de umidade, o material começa a se apresentar nas formas semissólida e sólida, tornando-se quebradiço. Os limites de consistência calculados para os solos são o limite de liquidez e o índice de plasticidade.

O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade equivalente à passagem do estado plástico para o estado líquido. Para sua determinação são utilizados os procedimentos descritos na Norma Rodoviária DNER-ME 122/94. Nela estão retratados todo o processo e a aparelhagem necessária para o ensaio.

O limite de plasticidade corresponde ao teor de umidade do solo no qual o material passa do estado plástico para o semissólido. Sua metodologia é descrita na Norma Rodoviária DNER-ME 082/94.

As figuras 35 e 36 representam respectivamente aparelhos utilizados para a realização do ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.

Figura 35: Aparelho de Casagrande.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 36: Placa de vidro esmerilhada.



Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3.1.2 Granulometria

O ensaio de granulometria é realizado com a finalidade de determinar a porcentagem de material que cada faixa de tamanho de partículas representa na massa total. A distribuição granulométrica é determinada por meio dos ensaios de peneiramento e sedimentação, que é utilizado para a determinação da granulometria dos materiais finos do solo.

Os ensaios utilizados para realização da análise granulométrica dos solos coletados para essa pesquisa estão descritos na Tabela 8, com suas respectivas normas.

Tabela 8: Ensaio de Granulometria e suas respectivas normas.

Ensaio	Normas
Granulometria por peneiramento	DNER-ME 051/94
Granulometria por sedimentação	DNER-ME 080/94

Fonte: Próprio Autor (2019).

As figuras 37 e 38 representam respectivamente os aparelhos utilizados no peneiramento grosso e fino.

Figura 37: Peneiramento Grosso.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 38: Peneiramento Fino.



Fonte: Próprio Autor (2019).

As figuras 39 e 40 mostram o processo de sedimentação dos materiais nas provetas.

Figura 39: Material em processo de sedimentação:
Solos de Limoeiro e Russas, da esquerda para a direita, respectivamente.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 40: Material em processo de sedimentação:
Solos de Morada Nova e Jaguaruana, da esquerda para a direita, respectivamente.



Fonte: Próprio autor (2019).

4.3.2 Ensaio de Compactação

Para a determinação da umidade ótima dos solos e sua massa específica seca correspondente foi utilizado o procedimento descrito na Norma Rodoviária DNER-ME 162/94. Para as quatro amostras de solo coletadas foi utilizada a energia de compactação intermediária.

As figuras 41, 42, 43 e 44 representam alguns procedimentos do ensaio de compactação.

Figura 41: Adição de água a amostra de solo.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 42: Homogeneização da umidade.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 43: Compactação da amostra de solo.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 44: Retirada do corpo de prova do cilindro.



Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3.3 Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas

A preocupação com o comportamento dos pavimentos motivou a realização de pesquisas que abordassem de forma mais concreta a relação da aplicação das cargas dos veículos e a resposta dos pavimentos (CUNTO, 1998).

Segundo ELLIOT & THORNTON (1988), durante a passagem de um veículo sobre o pavimento, ocorre inicialmente o aumento da tensão e das deformações até um valor máximo e em seguida as tensões tendem a diminuir até se anularem, porém, nem todas as deformações são recuperadas. Dessa forma, os materiais apresentam dois tipos de deformação: uma permanente e outra reversível ou resiliente (CUNTO, 1998).

Assim, entende-se por resiliência a capacidade dos materiais de acumular energia, quando aplicada a carga, sem ocorrer sua ruptura, ou seja, a capacidade do material voltar ao estado natural após a aplicação da tensão.

Desse modo, o módulo de resiliência é expresso como a relação entre as deformações resilientes e as tensões provenientes da aplicação de carregamentos repetidos, conhecidas por tensão desvio. É calculado pela equação 1.

$$MR = \frac{\sigma d}{\varepsilon R} \quad (1)$$

Onde:

MR é o módulo de resiliência do material;

σd é a tensão desvio;

εR é a deformação resiliente.

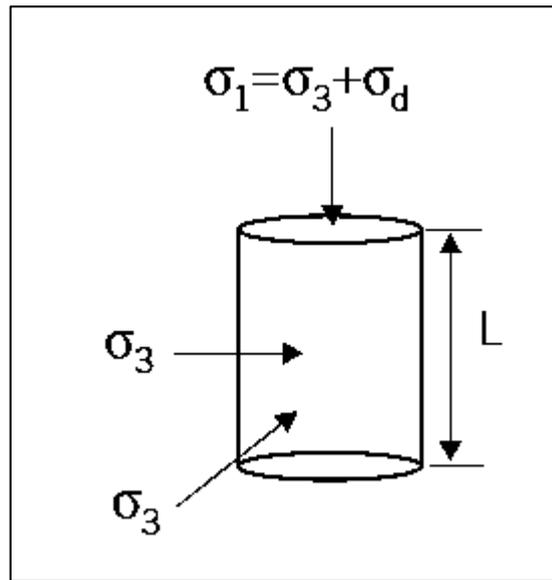
Estes parâmetros são determinados a partir do ensaio Triaxial de cargas repetidas. Que consiste em determinar o comportamento do material em confinamento e com a aplicação de repetidos ciclos de carga (MASCARENHAS, 2016).

A duração da aplicação da carga é de 0,1 segundos com 0,9 segundos de repouso. A aplicação da carga é semi-senoidal, como forma de melhor representar o carregamento correspondente a passagem da roda de um veículo.

O ensaio conta com duas fases, a de condicionamento, que tem a finalidade de eliminar as deformações plásticas iniciais e a fase de registro das deformações. Durante a fase de registro de deformações, são utilizadas diferentes tensões de confinamento (σ_3), que

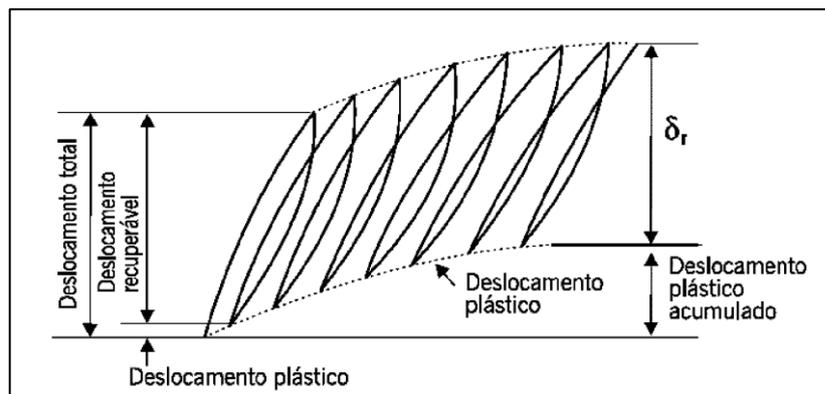
correspondem a pressão de ar injetada dentro da célula do equipamento, e tensões solicitantes (σ_1), totalizando 18 pares de tensões. A figura 45 mostra o esquema que representa a aplicação das tensões durante o ensaio no corpo de prova. No período de repouso apenas as tensões de confinamento permanecem, sendo nula a tensão desvio (σ_d), que equivale à diferença das tensões σ_1 e σ_3 . A Figura 46 mostra os deslocamentos do corpo de prova durante as aplicações dos ciclos de carga.

Figura 45: Tensões aplicadas durante o ensaio triaxial de cargas repetidas.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Figura 46: Deslocamento dos corpos de prova quando submetidos ao ensaio triaxial.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Como forma de melhor representar o módulo de resiliência para os solos brasileiros, foram elaborados alguns modelos matemáticos a depender da constituição dos solos.

Em solos granulares, foi verificado que o módulo de resiliência é melhor representado quando se considera apenas a influência da tensão confinante. Assim, a equação 2, apresentada abaixo, corresponde ao Modelo de Tensão Confinante.

$$MR = K1 \cdot \sigma_3^{K2} \quad (2)$$

Onde:

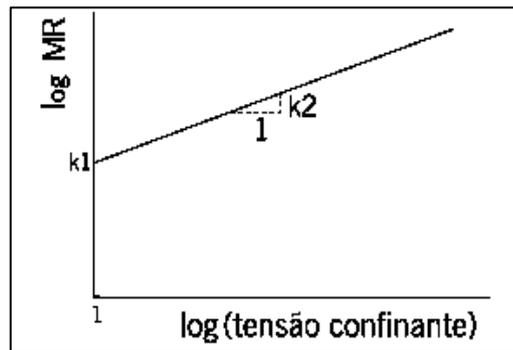
MR é o módulo de resiliência do material;

σ_3 é a tensão de confinamento;

K1 e K2 são os parâmetros da regressão.

O modelo de Tensão Confinante para solos granulares pode ser melhor demonstrada na figura 47, em que para menores valores de tensão de confinamento, menor o Módulo de Resiliência e consequentemente, maiores deformações.

Figura 47: Modelo da tensão confinante.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Já em solos coesivos, a variação do Módulo de Resiliência é melhor representado em função do Modelo da Tensão Desvio, demonstrado na equação 3.

$$MR = K1 \cdot \sigma_d^{K2} \quad (3)$$

Onde:

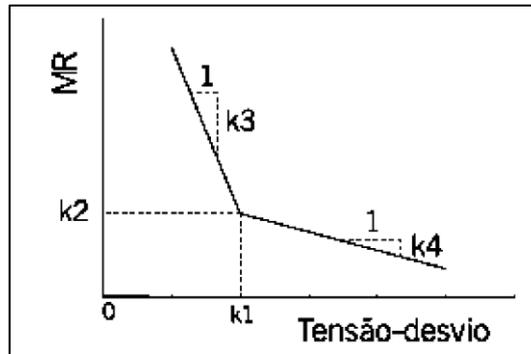
MR é o módulo de resiliência do material;

σ_d é a tensão desvio;

K1 e K2 são os parâmetros da regressão.

Tal modelo pode ser exemplificado no gráfico da figura 48, que corresponde a uma reta de coeficiente angular negativo e escala log-log. Com o aumento da tensão desvio há o decréscimo do módulo de resiliência.

Figura 48: Modelo da tensão desvio.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Além dos comportamentos granulares e coesivos, há solos que dependem da tensão de confinamento e da tensão desvio combinadas, como por exemplos os solos areno-argilosos. Dessa forma, foi proposto o Modelo Composto, como forma de melhor representar os solos com essa constituição. A equação 4 descreve esse modelo.

$$MR = K1. \sigma_3^{K2}. \sigma_d^{K3} \quad (4)$$

Onde:

MR é o Módulo de Resiliência do material;

σ_3 é a tensão de confinamento;

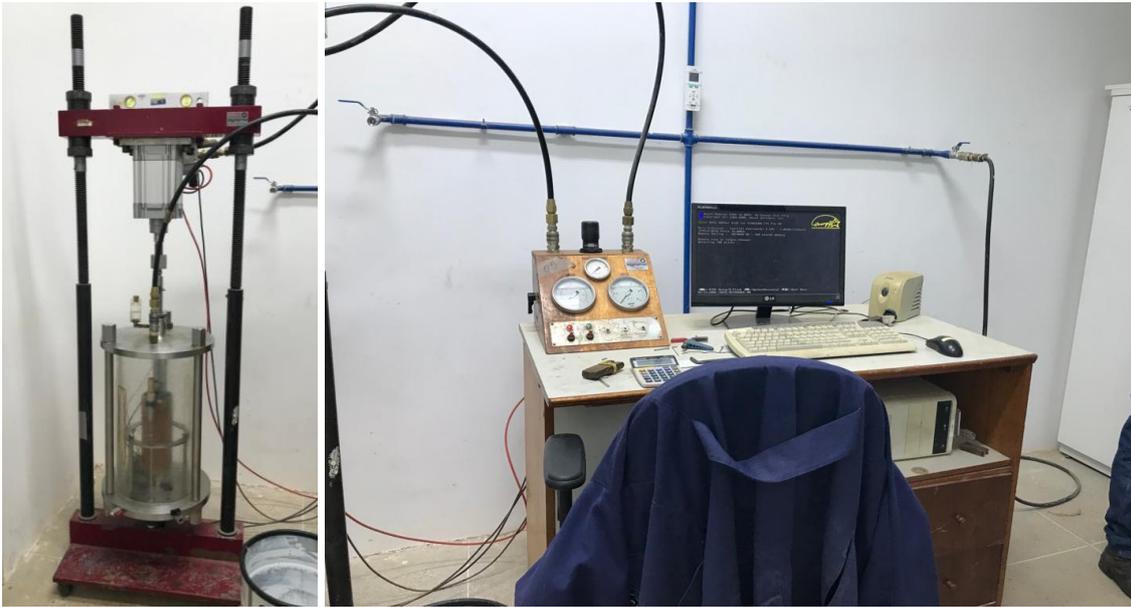
σ_d é a tensão desvio;

K1, K2 e K3 são os parâmetros da regressão.

Os modelos citados anteriormente foram todos aplicados nos solos coletados para a pesquisa após a execução dos ensaios correspondentes. O procedimento foi realizado conforme a Norma DNIT 134/2010 – ME.

A figura 49 mostra o equipamento Triaxial de cargas repetidas utilizado para realização do ensaio do módulo de resiliência no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici.

Figura 49: Equipamento Triaxial de cargas repetidas.



Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3.4 Ensaio para Classificação MCT

A Metodologia MCT, desenvolvida por Nogami e Villibor, utiliza como ensaios o Mini-MCV e a perda de massa por imersão. Além desses, o ensaio de Mini-CBR também é utilizado de forma complementar com a finalidade de determinar a capacidade de suporte dos solos tropicais brasileiros.

Essa sistemática utiliza corpos de prova em miniatura e permite determinar características empíricas do solo. Para sua classificação, são compactados cerca de 200 gramas de material em um molde cilíndrico com 50 mm de diâmetro, em diferentes umidades, entre elas a umidade ótima. São aplicados sucessivos golpes ao corpo de prova e são medidas as alturas resultantes dos mesmos, após a aplicação dos golpes.

Por meio da metodologia também é determinada a perda de massa de cada corpo de prova ao ser submetido a presença de água. Esses são colocados imersos em um tanque de água, durante 24 horas, para posterior determinação da perda de massa.

Para caracterizar o solo nessa sistematização, são determinados alguns parâmetros, são eles: c' , d' , P_i e e' . Por meio deles os solos são classificados como lateríticos e não lateríticos. Esses, são obtidos por meio das relações:

- a) gráfico de número de golpes *versus* afundamento (N-4N) do corpo de prova. Por meio dessa relação é possível a determinação do parâmetro c' , que corresponde a

inclinação da reta que passa pelo ponto de Mini MCV = 10 e afundamento igual a 2 mm. Esse parâmetro reflete a distribuição do tamanho dos grãos no comportamento dos solos. Valores de c' inferiores a 0,5 indicam materiais arenosos, já valores superiores a 2,0 indicam material tipicamente argiloso.

b) gráfico de perda de massa por imersão *versus* Mini-MCV, que é calculado pela equação 5.

$$\text{Mini MCV} = 10.\log \log N \quad (5)$$

Onde:

N equivale ao número de golpes aplicados ao corpo de prova correspondente ao afundamento igual a 2,00 mm. Com essa relação é possível a determinação do parâmetro P_i , que corresponde a porcentagem da perda de massa por imersão em que:

- Mini-MCV = 15, quando a última altura do corpo de prova medida for inferior a 48 mm;
- Mini-MCV = 10, quando a última altura do corpo de prova medida for superior a 48 mm.

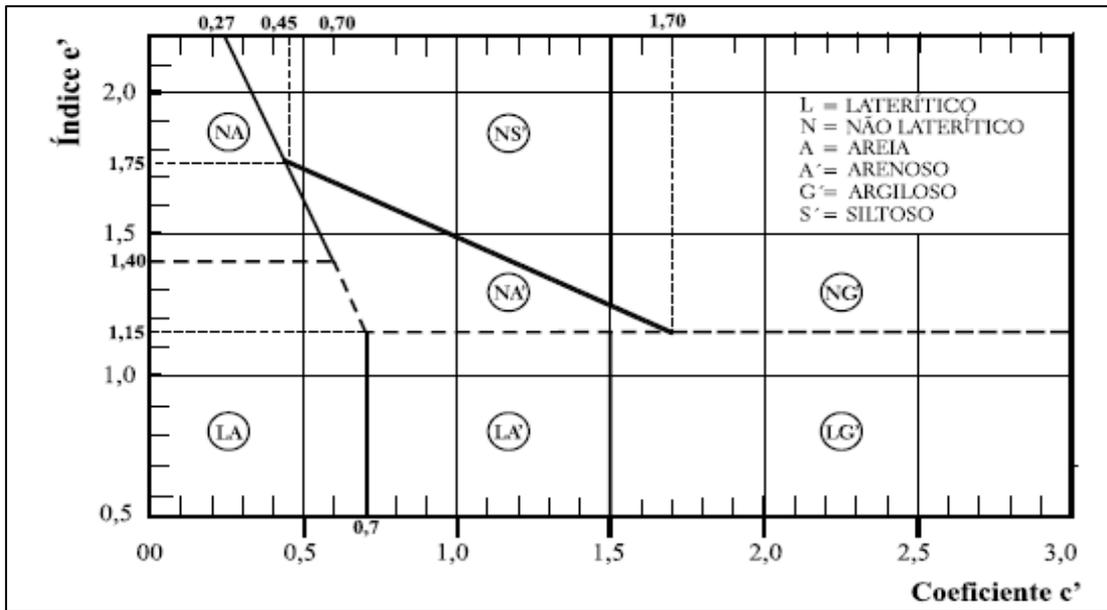
c) gráfico de massa específica aparente seca *versus* umidade. Nessa relação é calculado o parâmetro d' , que relaciona o tamanho do grão com a probabilidade do solo se comportar como laterítico.

Por fim, o parâmetro e' é determinação por meio da Equação 6.

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (6)$$

Com os parâmetros e' e c' o material pode ser caracterizado conforme o ábaco da classificação MCT, apresentado na figura 50.

Figura 50: Classificação MCT.



Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (2009).

4.3.4.1 Mini-MCV

O ensaio de Mini-MCV tem o objetivo de determinar coeficientes empíricos que são necessários para a classificação dos solos tropicais. Os procedimentos adotados para realização do ensaio estão descritos na Norma Rodoviária DNER-ME 258/94. A figura 51 mostra o equipamento Mini-MCV utilizado no ensaio.

Figura 51: Equipamento Mini-MCV.



Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3.4.2 Perda de massa por imersão

Esse ensaio tem a finalidade de determinar a perda de massa por imersão em água dos solos tropicais compactados, com o objetivo de classificá-lo quanto a metodologia MCT e prever seu comportamento quanto à ação de intempéries. O procedimento de ensaio está descrito na Norma Rodoviária DNER-ME 256/94.

As figuras 52 e 53 mostram os corpos de prova, correspondentes ao solo do município de Russas, imersos em água no início do ensaio e após 24 horas, respectivamente.

Figura 52: Corpos de prova imersos em água no início do ensaio.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 53: Perda de massa dos corpos de prova imersos em águas após o período de 24 horas.



Fonte: Próprio autor (2019).

4.3.4.3 Mini CBR

É o ensaio que corresponde a determinação e avaliação da capacidade de suporte dos solos tropicais brasileiros. Seu princípio é o mesmo do ensaio CBR, porém utiliza corpos de prova em dimensões reduzidas: 50 mm de diâmetro e pistão de penetração de 16 mm de diâmetro. Seu procedimento está retratado na Norma Rodoviária DNER-ME 254/97. A figura 54 mostra a prensa Mini-CBR utilizada no ensaio.

Figura 54: Prensa Mini-CBR.



Fonte: Próprio autor (2019).

4.4 Softwares

Para auxiliar ou obter os resultados necessários para a pesquisa foram utilizados alguns programas computacionais. Entre eles: Excel, ArcGIS, LABFit e SisPav. O Excel foi utilizado para organização de dados e obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização, de compactação e para a metodologia MCT.

O ArcGIS foi utilizado para a realização dos mapas temáticos. Corresponde a um Sistema de Informações Geográficas, que tem a finalidade de manipular e analisar informações

georreferenciadas. Para a sua aplicação nessa pesquisa foi empregada a versão 10.5 adquirida pelo próprio autor.

Para a obtenção e análise do módulo de resiliência foi utilizado o *software* LABFit. Esse programa tem o objetivo de tratar e analisar dados experimentais, gerando curvas e gráficos 2D e 3D, por meio da estatística básica e algumas ferramentas matemáticas. O *software* aplicado a essa pesquisa foi adquirido pelo próprio autor.

Por fim, para a realização do dimensionamento do pavimento, por meio da análise estrutural, foi utilizado o SisPav. Desenvolvido com o objetivo de analisar e realizar o dimensionamento de pavimentos, o programa utiliza o Métodos dos Elementos Finitos e a análise elástica de múltiplas camadas. O *software* utilizado também foi adquirido pelo próprio autor.

4.5 Considerações Finais

Esse capítulo contemplou a coleta dos solos da região do Baixo Jaguaribe e todo o programa experimental utilizado para caracterização dos materiais para a pesquisa. O capítulo seguinte vai tratar dos resultados e discussões decorrente dos ensaios realizados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões alcançados com os ensaios realizados para as quatro amostras de solo do Baixo Jaguaribe. Inicialmente são discutidos os resultados para os ensaios de caracterização, seguido do ensaio de compactação e por fim, os ensaios necessários para a classificação MCT.

5.2 Ensaio de caracterização

Os ensaios de caracterização analisados foram: granulometria, limites de consistência e índice de grupo. Os resultados e discussões acerca desses ensaios estão representados nos subitens 5.2.1 e 5.2.2

5.2.1 Granulometria

A tabela 9 mostra os valores encontrados da granulometria para as quatro amostras de solo analisadas.

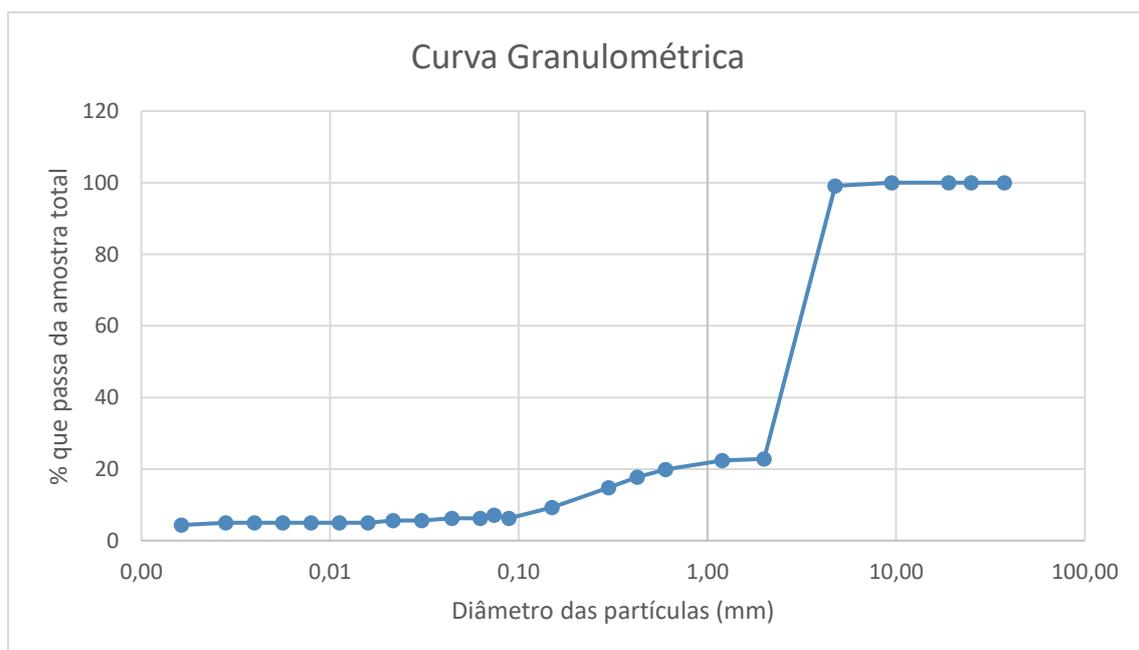
Tabela 9: Análise granulométrica do Baixo Jaguaribe.

Amostras de solo	Granulometria (% que passa)							
	2'' 50	1'' 25	3/8'' 9,5	Nº 4 4,75	Nº 10 2,0	Nº 40 0,425	Nº 100 0,15	Nº 200 0,074
Limoeiro do Norte	100	100	100	99,12	22,87	17,76	9,28	7,15
Jaguaruana	100	100	100	97,10	42,66	38,11	13,00	6,56
Morada Nova	100	100	89,89	76,82	24,50	21,66	14,33	11,08
Russas	100	100	100	96,74	21,41	13,96	8,01	6,52

Fonte: Próprio autor (2019).

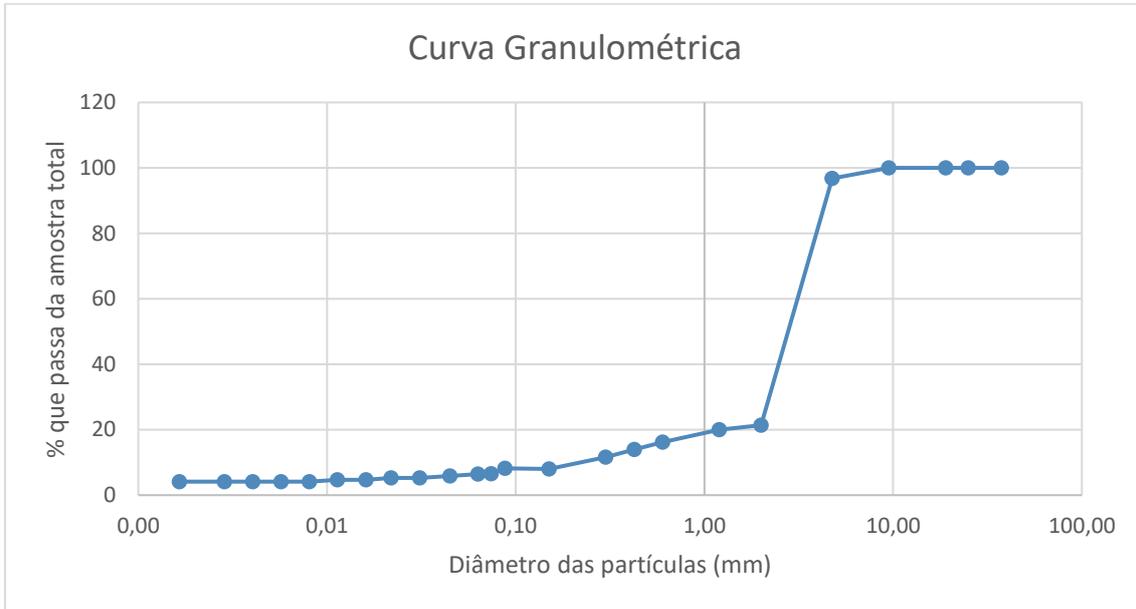
Todos os solos apresentam uma pequena quantidade de finos, inferior a 35%, que de acordo com a classificação AASTHO, corresponde a materiais granulares. As curvas granulométricas dos solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas estão representadas, respectivamente, nas figuras 55, 56, 57 e 58.

Figura 55: Curva granulométrica do solo de Limoeiro do Norte.



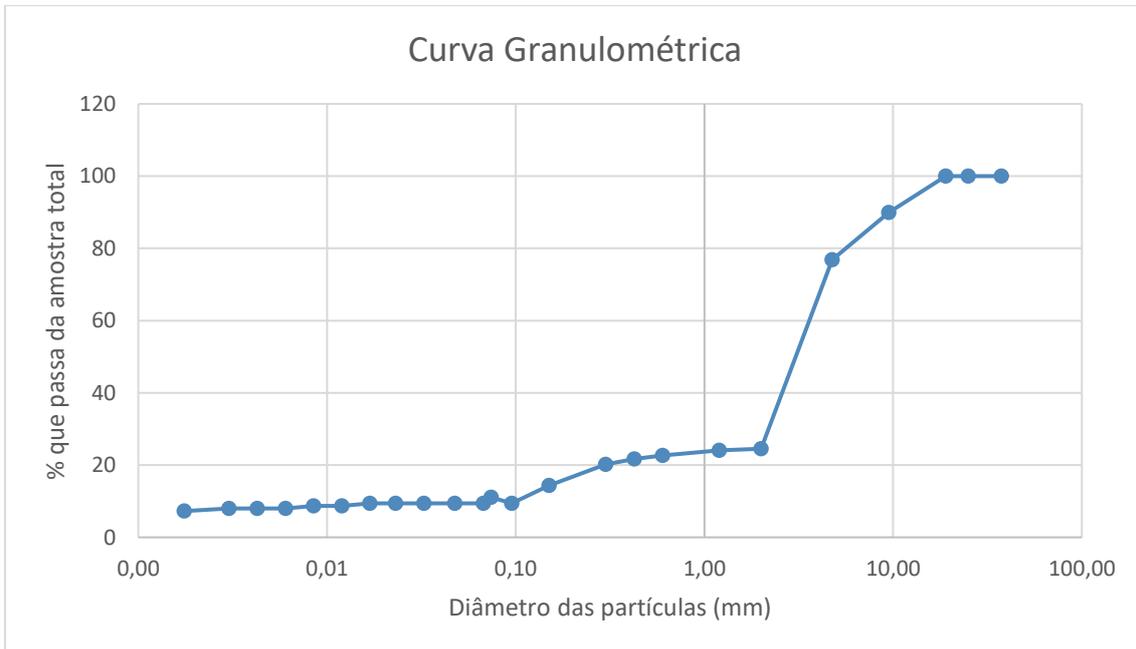
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 56: Curva granulométrica do solo de Russas.



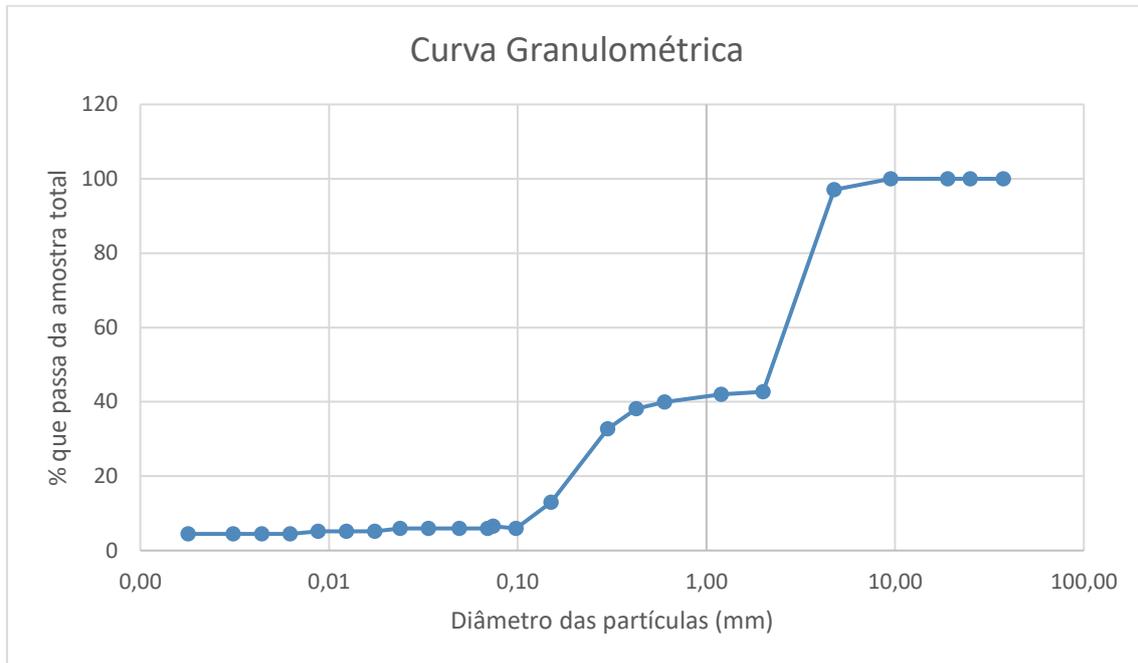
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 57: Curva granulométrica do solo de Morada Nova.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 58: Curva granulométrica do solo de Jaguaruana.



Fonte: Próprio autor (2019).

De acordo com Norma DNIT 141/2010 existem seis faixas granulométricas, que variam da Faixa A à Faixa F, que classificam os materiais utilizados em bases de pavimento. Segundo a norma, para o material ser considerado adequado para o uso deve se enquadrar em uma dessas faixas, que estão representadas na figura 59.

Figura 59: Granulometria do material utilizado como base de pavimentos.

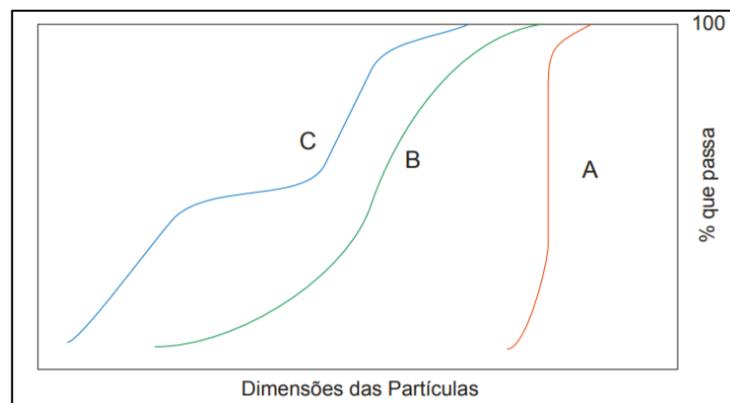
Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Fonte: DNIT 141 (2010).

Comparando os valores da análise granulométrica dos solos estudados com os valores das faixas granulométricas indicadas pelo DNIT, observa-se que apenas o solo do município de Jaguaruana se enquadra na Faixa E. Dessa forma, os demais solos não seriam apropriados para uso em base de pavimentos.

Os materiais ainda podem ser classificados por sua uniformidade e graduação. Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) o solo pode ser enquadrado em uma das três curvas representadas na figura 60 abaixo.

Figura 60: Tipos de granulometria.



Fonte: DNIT (2006).

A curva A representa os solos uniformes em que os grãos apresentam, aproximadamente, a mesma dimensão. A curva B representa os solos bem graduados, com partículas abrangendo uma extensa faixa de valores. Por fim, a curva C, correspondem a solos mal graduados, em que faltam algumas partículas de determinadas dimensões. Essas propriedades são determinadas com base nos coeficientes de uniformidade e de curvatura, representados, respectivamente, pelas equações 7 e 8.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (7)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (8)$$

Em que:

C_u : coeficiente de uniformidade;

C_c : coeficiente de curvatura;

D_{10} : diâmetro das partículas do solo em relação a 10% do material que passa;

D_{30} : diâmetro das partículas do solo em relação a 30% do material que passa;

D_{60} : diâmetro das partículas do solo em relação a 60% do material que passa.

Assim, quanto a uniformidade e graduação, o solo pode ser classificado de acordo com os seguintes limites dos parâmetros:

$C_u < 5$: solo muito uniforme.

$5 < C_u < 15$: medianamente uniforme.

$C_u > 15$: não uniforme

$1 < C_c < 3$: solo bem graduado

$C_c < 1$ ou $C_c > 3$: solo mal graduado

A tabela 10 mostra os valores dos parâmetros calculados para os solos analisados nessa pesquisa.

Tabela 10: Coeficientes de uniformidade e de curvatura dos solos estudados.

Amostras de solo	Cu	Cc
Limoeiro do Norte	20	9,8
Jaguaruana	21,54	0,23
Morada Nova	51,43	17,50
Russas	15,50	7,11

Fonte: Próprio autor (2019).

Observando os valores é possível concluir que as quatro amostras são: não uniformes e mal graduadas, limitando seu uso nas obras rodoviárias, de acordo com as classificações convencionais.

5.2.2 Limites de Liquidez, Índice de Plasticidade, Índice de Grupo e Classificação AASTHO.

Os resultados encontrados para os ensaios de limite de consistência e do índice de grupo (IG), bem como a classificação AASTHO para os solos analisados estão representados na tabela 11.

Tabela 11: Resultados do LL, IP, IG e classificação AASTHO para os solos analisados.

Amostras de solo	LL	IP	IG	AASTHO
Limoeiro do Norte	17,76	13,64	0	A-2-6
Jaguaruana	-	NP	0	A-3
Morada Nova	20,66	16,87	0	A-2-6
Russas	17,02	13,18	0	A-2-6

Fonte: Próprio autor (2019).

De acordo com a classificação AASTHO, todos os solos podem ser utilizados como regularização de subleito, pois os valores encontrados para o IG – parâmetro que determina quão apropriado o solo é para uso em subleitos de pavimentos – correspondem a zero, valor que determina um bom material para uso em pavimentação.

Os solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Morada Nova e Russas são classificados como A-2-6, segundo a classificação da AASTHO, que equivale a solos granulares com presença de finos argilosos.

O solo do município de Jaguaruana é o tipo A-3, que corresponde a uma areia fina mal graduada típica de praia ou deserto, condição que pode ser comprovada pela proximidade da região da coleta do solo com o litoral.

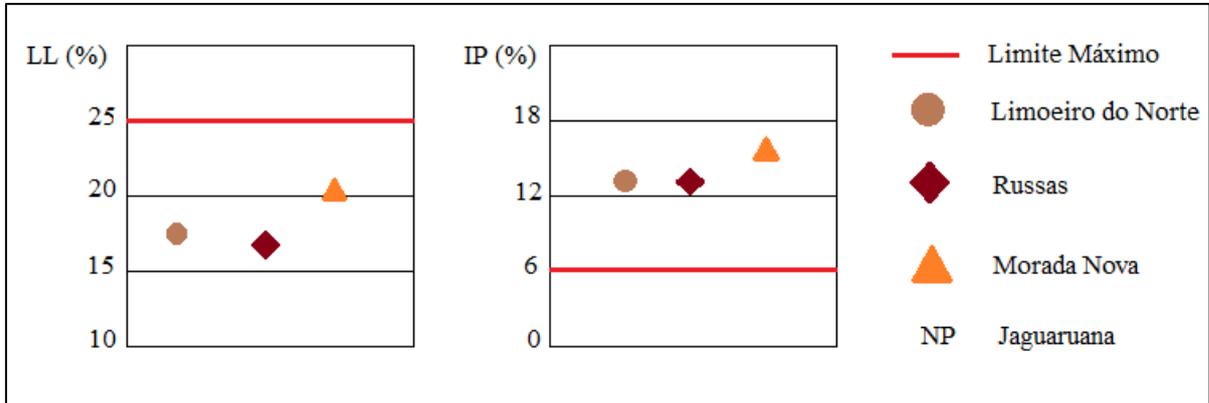
Embora a condição para regularização de subleito seja satisfeita para os solos analisados, a presença de finos nos materiais A-2-6 e a mal graduação das areias finas da classe A-3, que dificulta sua compactação, os materiais analisados não seriam apropriados, segundo a classificação tradicional, para o uso em base ou sub-base de pavimentos, que são as camadas superiores e que recebem a maior concentração de tensões por estarem mais próximas da aplicação das cargas provenientes dos veículos.

Tal fato também está aliado aos valores encontrados para LL e IP dos solos estudados. De acordo com a classificação AASTHO, para o material ser adequado para uso nas camadas mais superiores do pavimento, devem possuir $LL < 25\%$ e $IP < 6\%$. Assim, os materiais analisados - com exceção do solo representativo do município de Jaguaruana, que consiste em um material não plástico – possuem IP superior a 6%, tornando-os não apropriados para uso em base e sub-bases de pavimentos.

Foi elaborado o esquema representado na figura 61 para melhor compreensão dos valores encontrados para os limites de consistência dos solos analisados em comparação aos limites impostos pela classificação convencional. Como é possível observar, os solos de Limoeiro do Norte, Morada Nova e Russas seriam descartados para uso em camadas de

pavimentos, de acordo com a classificação tradicional, ainda amplamente utilizada no meio rodoviário.

Figura 61: Esquema de representação dos LL e IP para os solos estudados.



Fonte: Próprio autor (2019).

5.3 Ensaio de compactação

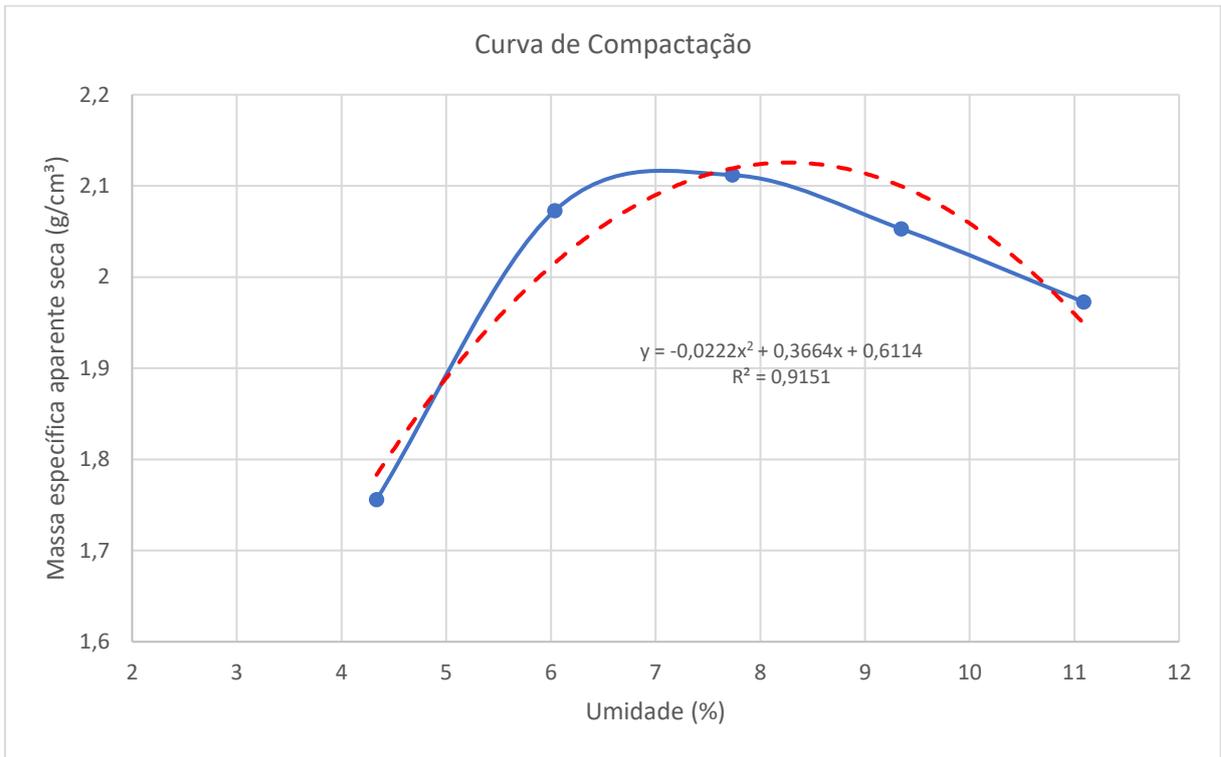
Os resultados encontrados com o ensaio de compactação para as quatro amostras analisadas estão representados na tabela 11. As curvas de compactação obtidas para os solos de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas estão demonstradas nas figuras 62, 63, 64 e 65, respectivamente.

Tabela 12: Resultados do ensaio de compactação.

Amostras de solo	Umidade ótima (%)	Massa específica aparente seca (g/cm ³)
Limoeiro do Norte	8,25	2,12
Jaguaruana	7,44	1,94
Morada Nova	11,51	1,94
Russas	7,92	2,10

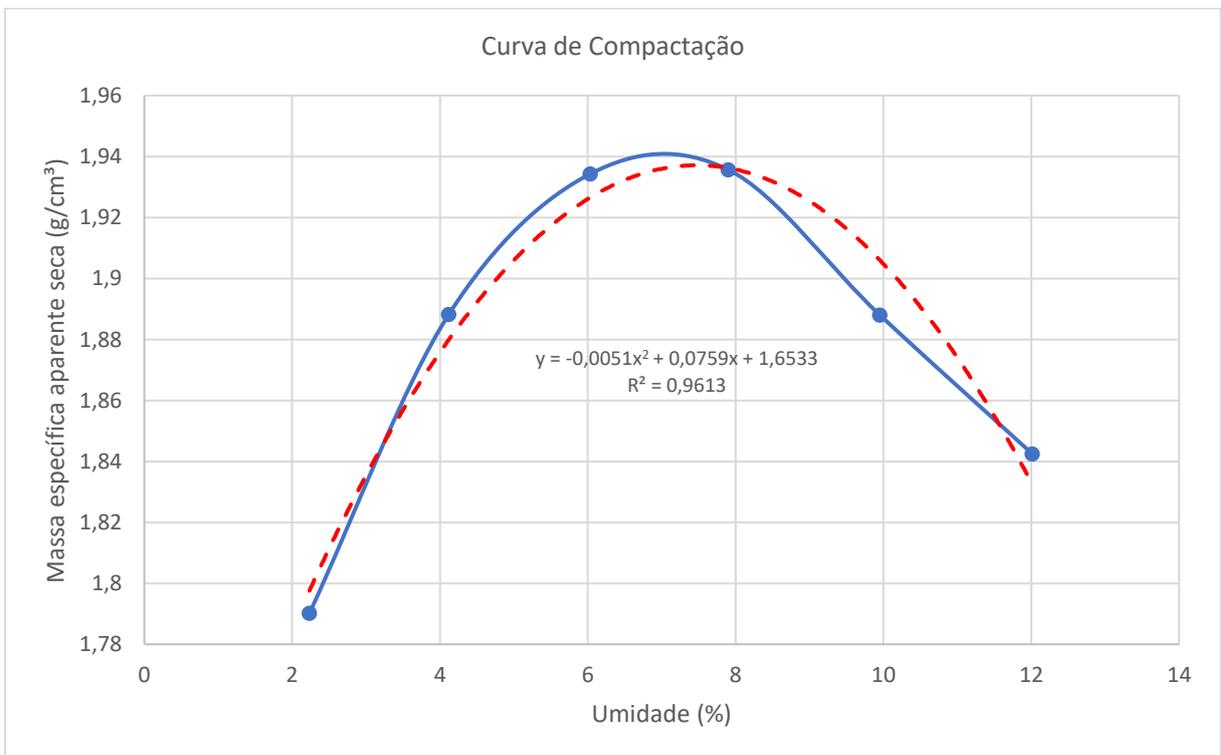
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 62: Curva de compactação do solo de Limoeiro do Norte.



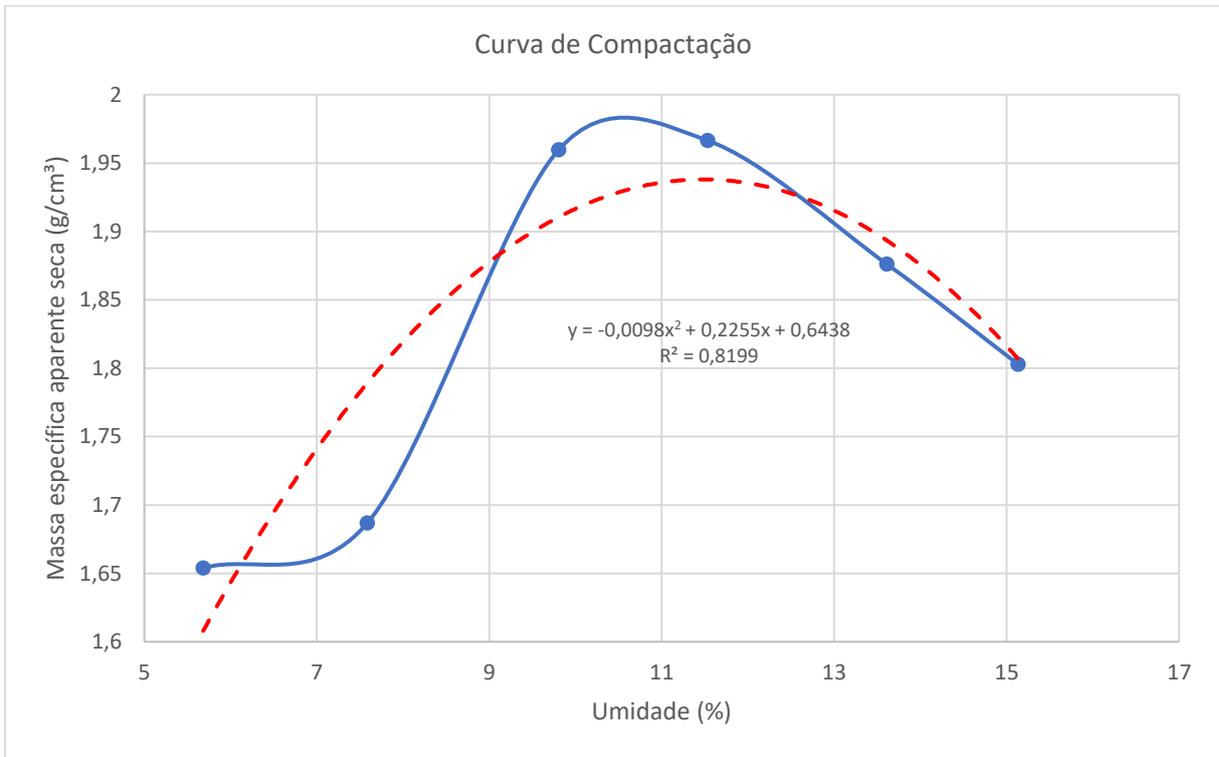
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 63: Curva de compactação do solo de Jaguaruana.



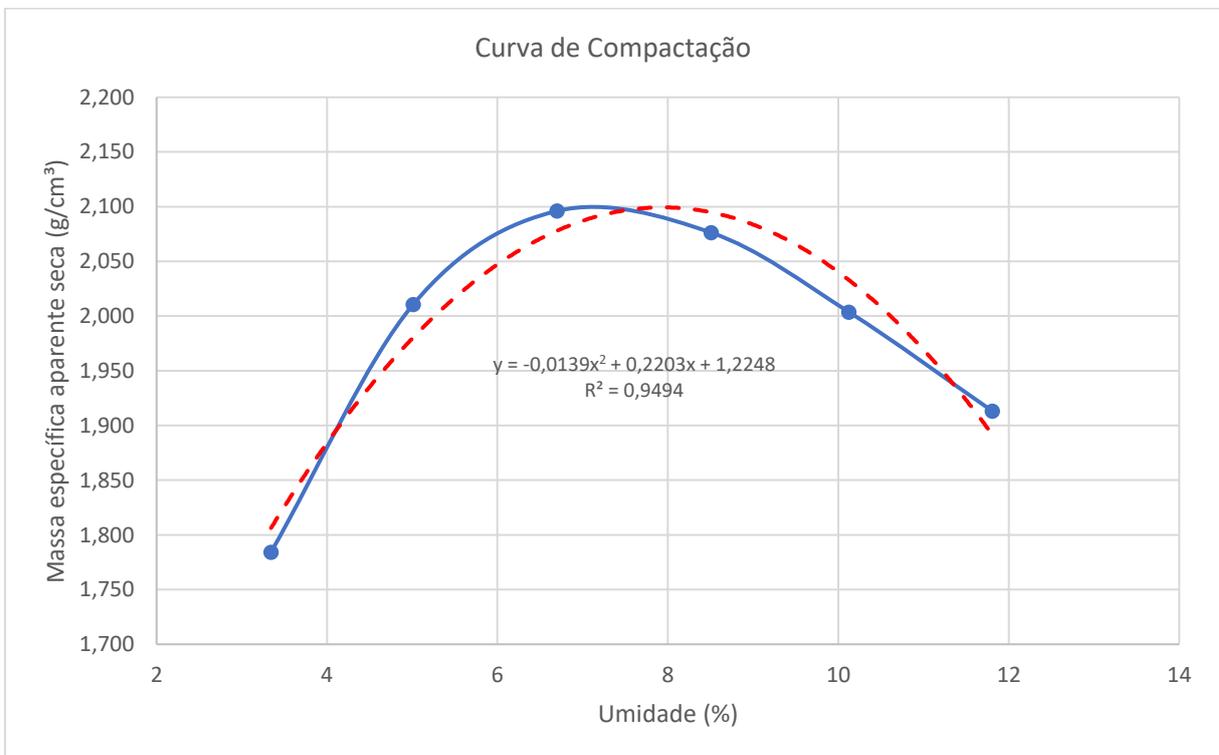
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 64: Curva de compactação do solo de Morada Nova.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 65: Curva de compactação do solo de Russas.



Fonte: Próprio autor (2019).

5.4 Ensaio triaxial de cargas repetidas

Para a verificação do módulo de resiliência dos solos foi testado os modelos da tensão confinante e da tensão desvio e o modelo composto, mostrados abaixo:

$$\text{Modelo 1: } MR = K1. \sigma_3^{K2}$$

$$\text{Modelo 2: } MR = K1. \sigma_d^{K2}$$

$$\text{Modelo 3: } MR = K1. \sigma_3^{K2}. \sigma_d^{K3}$$

Foi utilizado o programa LABFit para verificar qual modelo melhor representa cada uma das amostras estudadas. Os resultados encontrados estão listados na tabela 13, relacionando cada modelo com o coeficiente de regressão (R^2) que determina o quanto cada modelo consegue se aproximar do comportamento real.

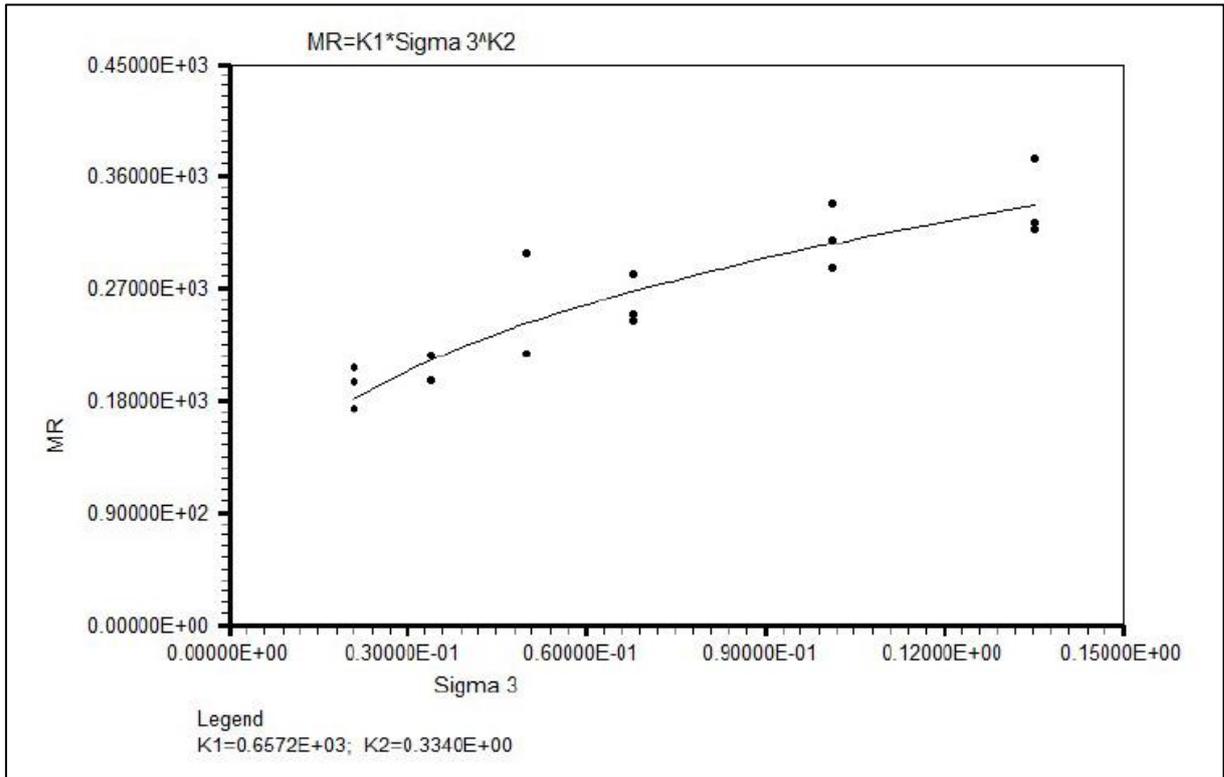
Tabela 13: Resultado módulo de resiliência.

Amostras de solo	Modelo 1 MR = K1. σ_3^{K2}	Modelo 2 MR = K1. σ_d^{K2}	Modelo 3 MR = K1. $\sigma_3^{K2}. \sigma_d^{K3}$
Limoeiro do Norte	0,8285982	0,5121248	0,8296100
Jaguaruana	$0,7336522 \times 10^{-2}$	0,1659462	0,5108550
Morada Nova	$0,2467280 \times 10^{-2}$	0,2346907	0,7271161
Russas	0,7897451	0,4897754	0,8864953

Fonte: Próprio autor (2019).

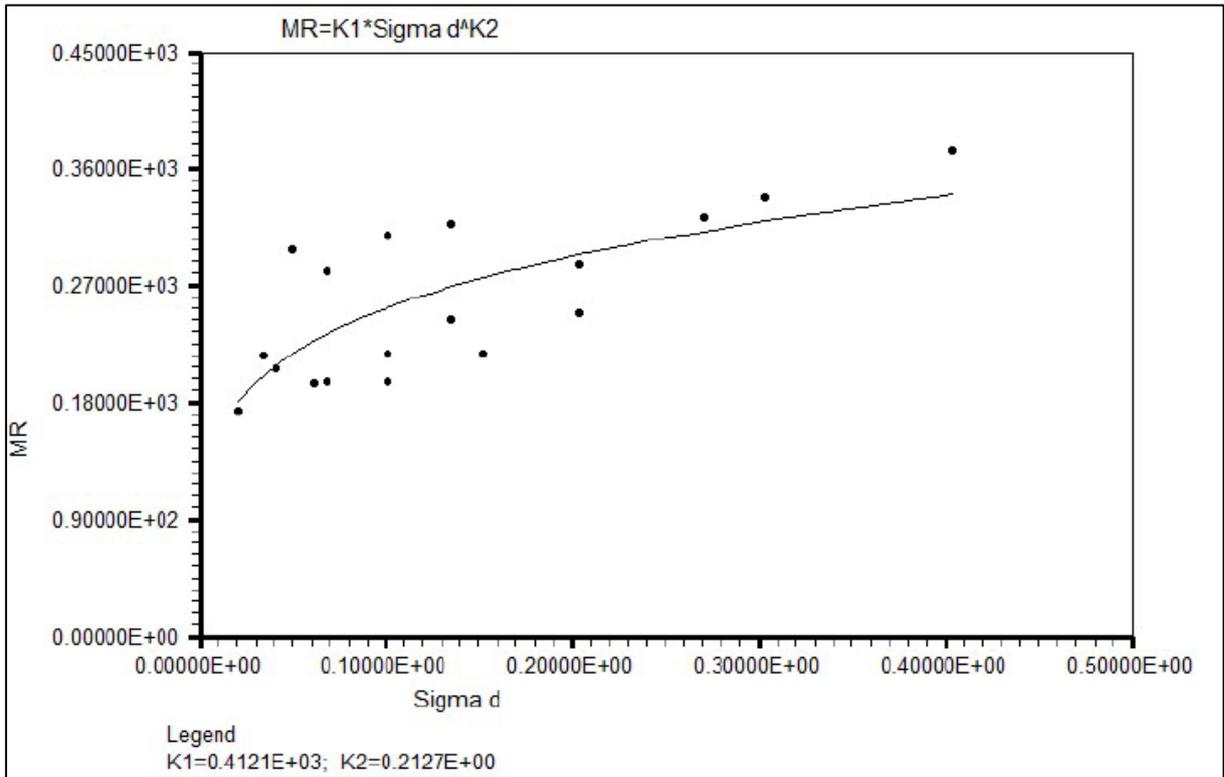
As figuras 66 a 77 mostram a representação gráfica dos modelos utilizados para análise do módulo de resiliência em cada uma das amostras.

Figura 66: Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Limoeiro do Norte.



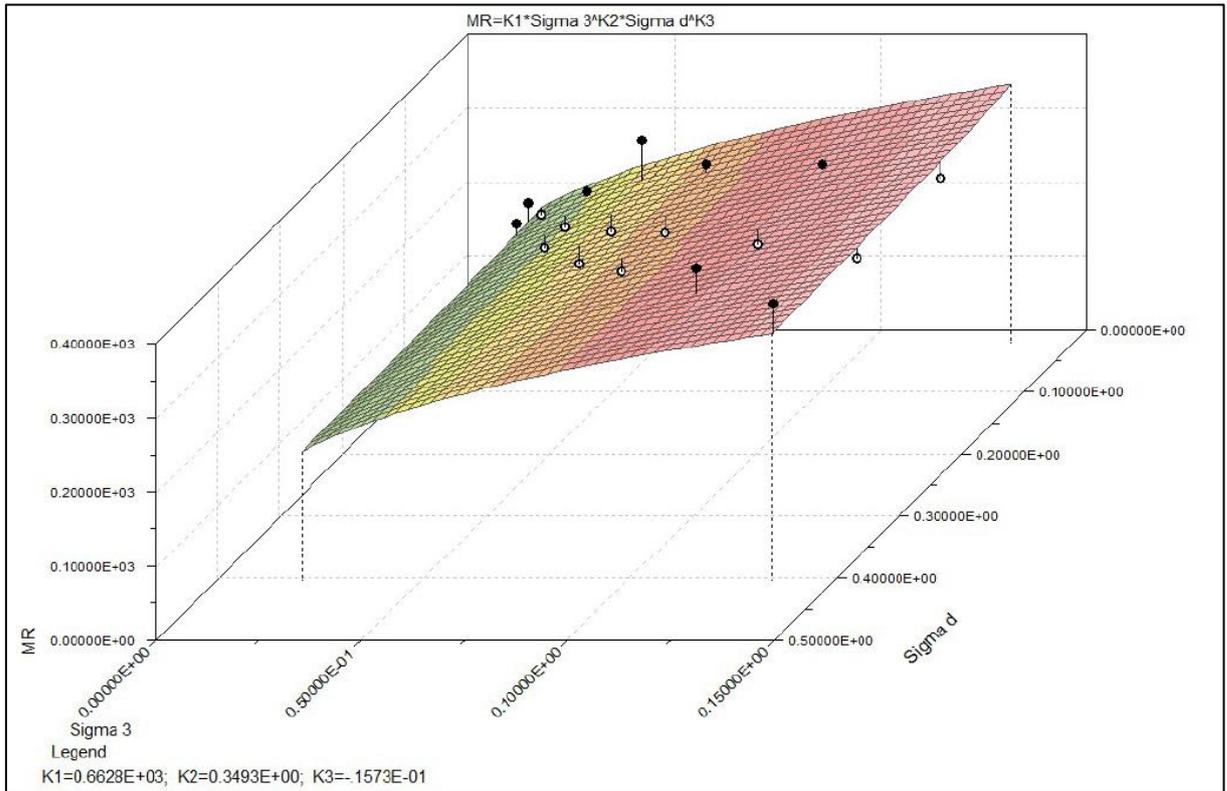
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 67: Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Limoeiro do Norte.



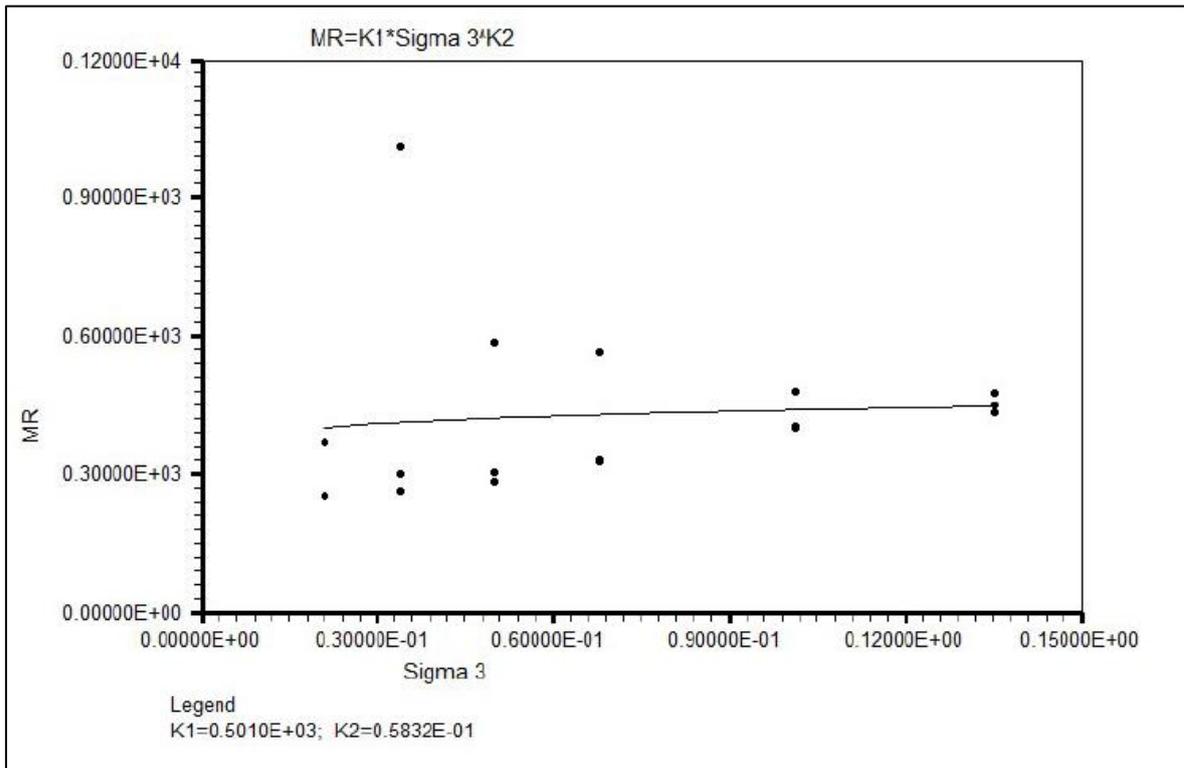
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 68: Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Limoeiro do Norte.



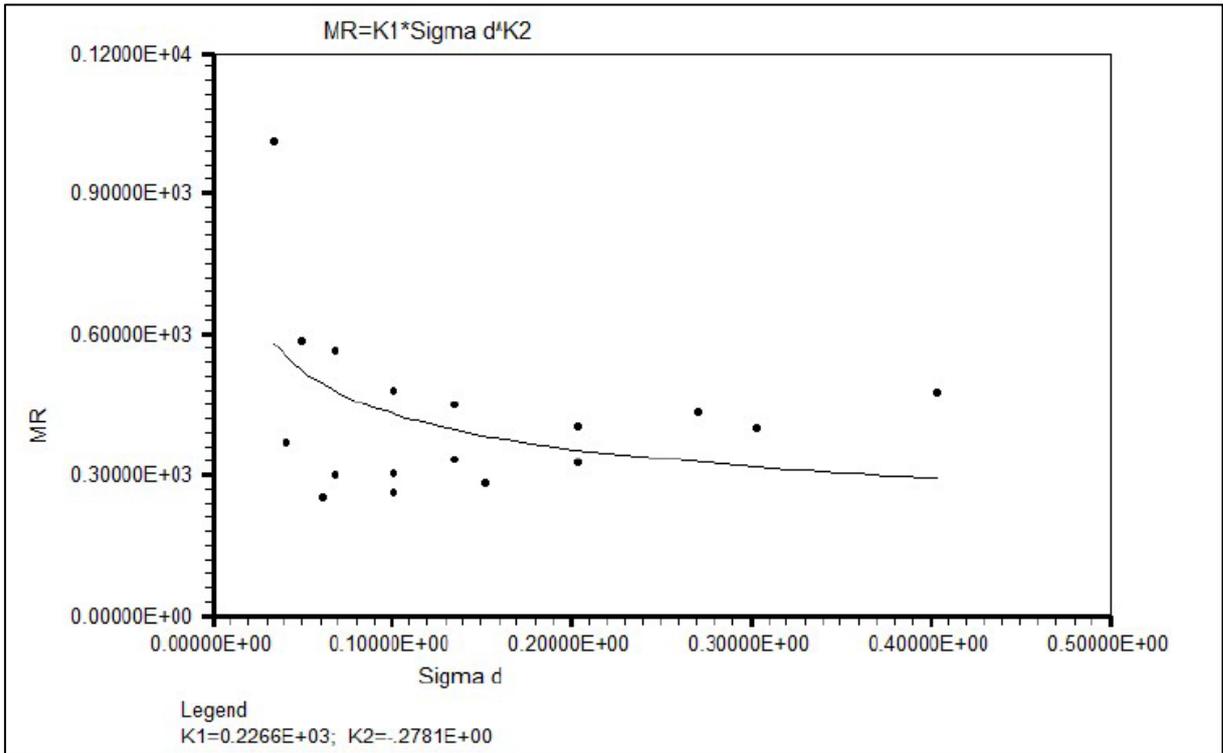
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 69: Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Jaguaruana.



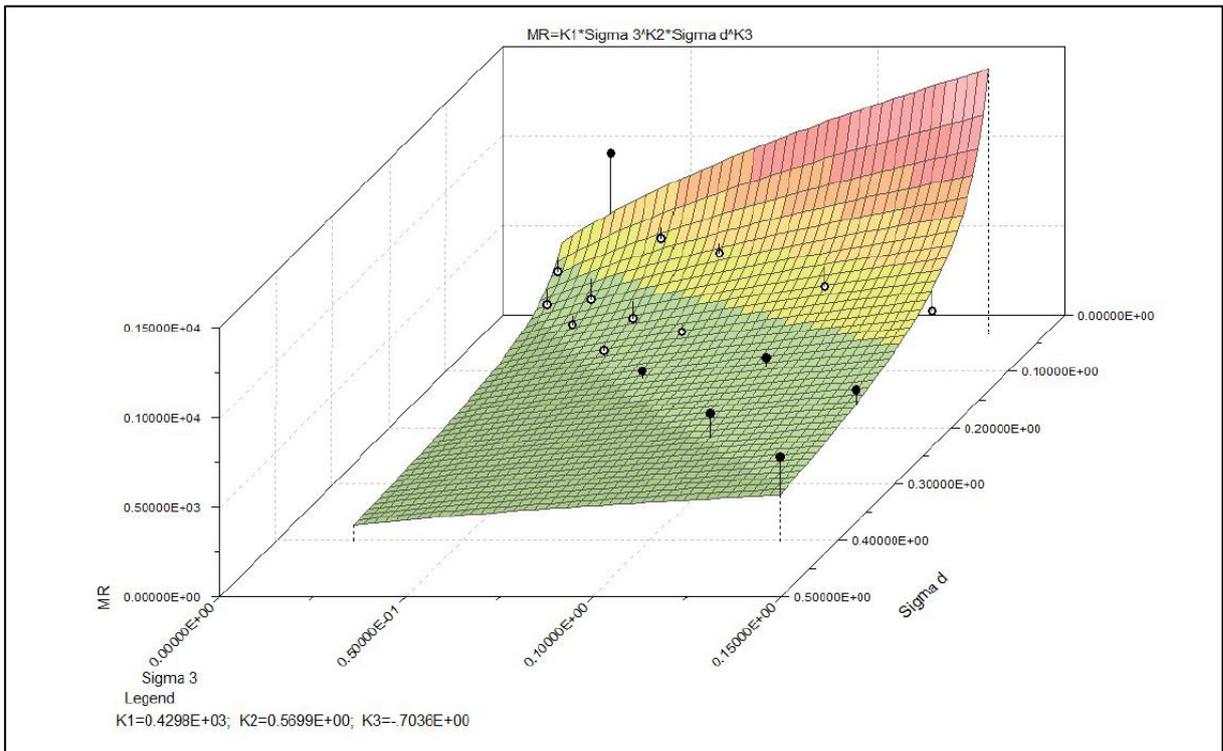
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 70: Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Jaguaruana.



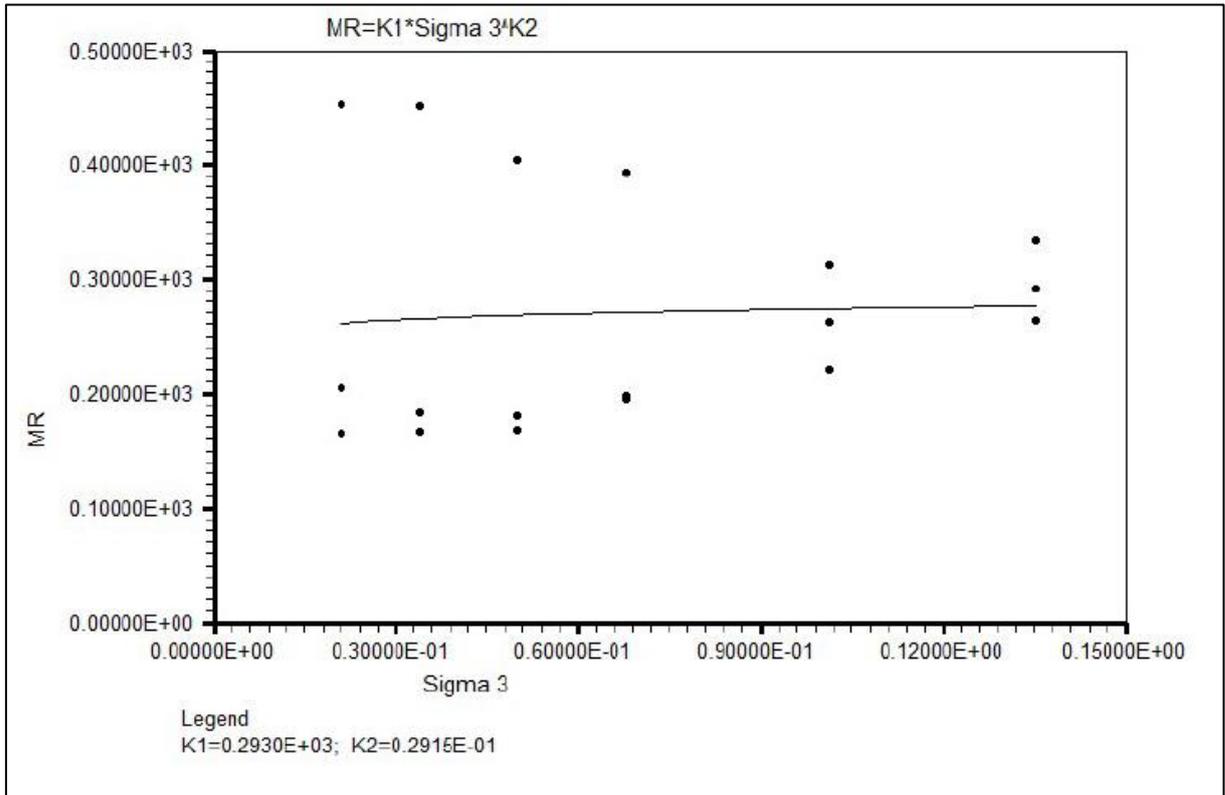
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 71: Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Jaguaruana.



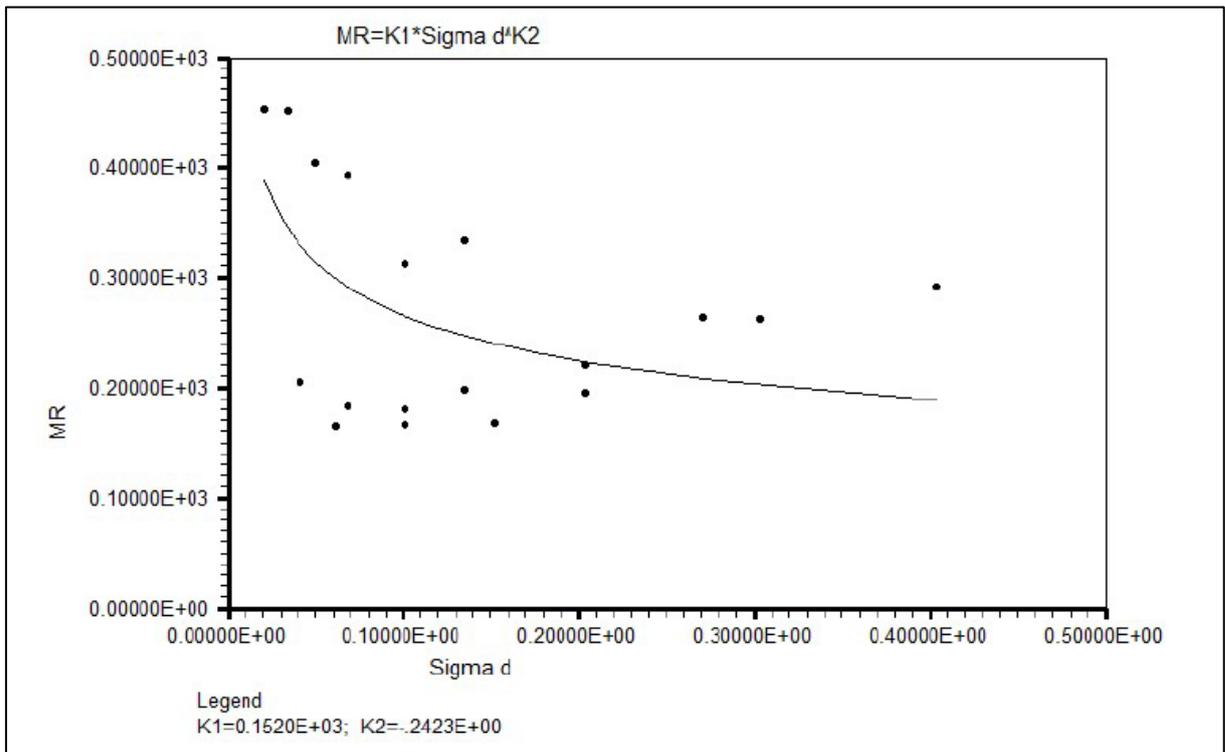
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 72: Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Morada Nova.



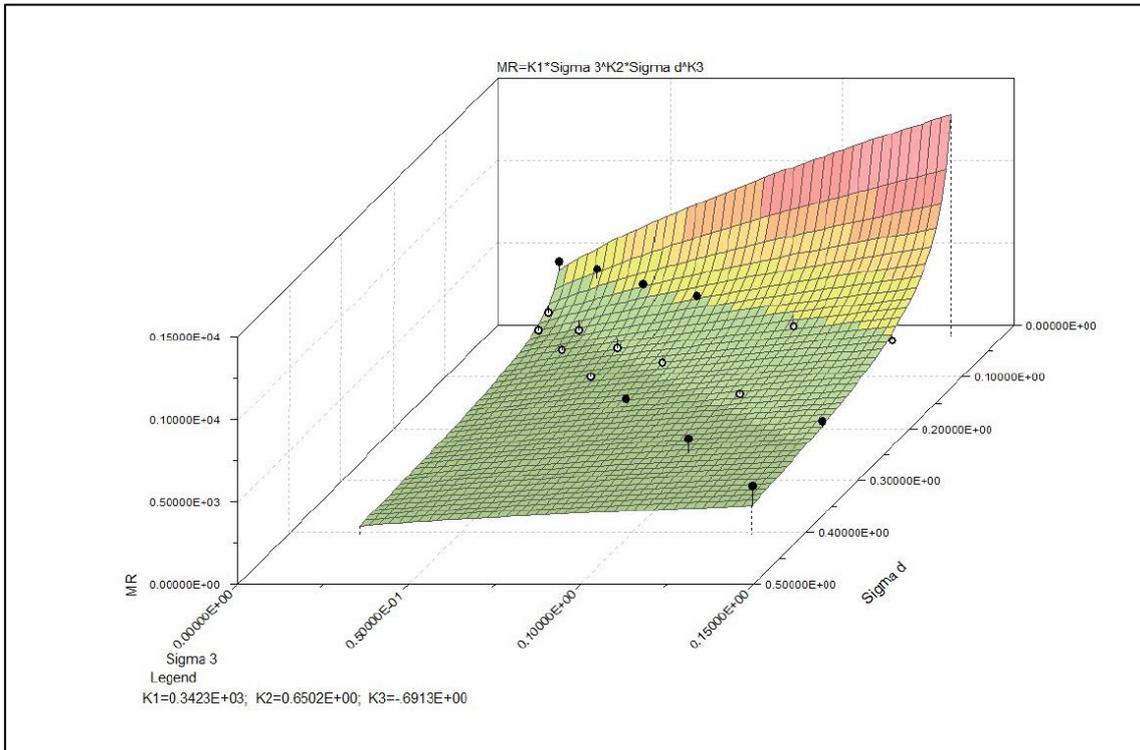
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 73: Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Morada Nova.



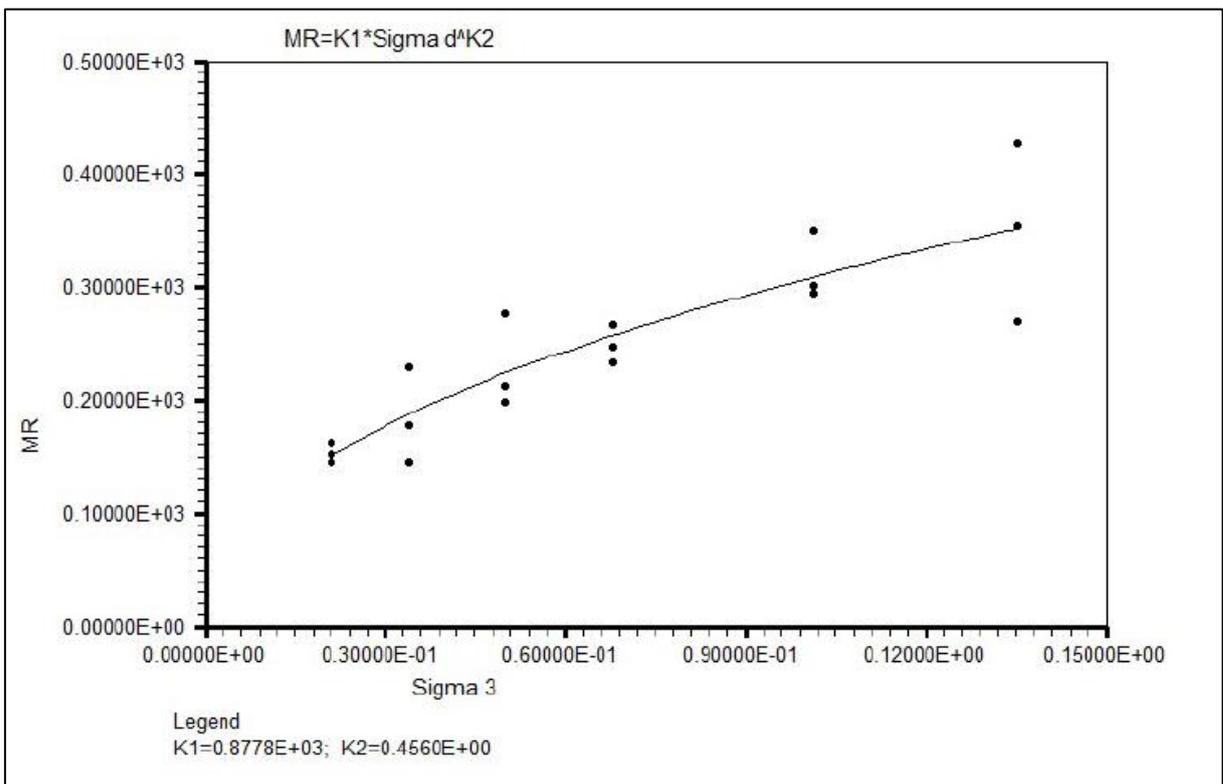
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 74: Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Morada Nova.



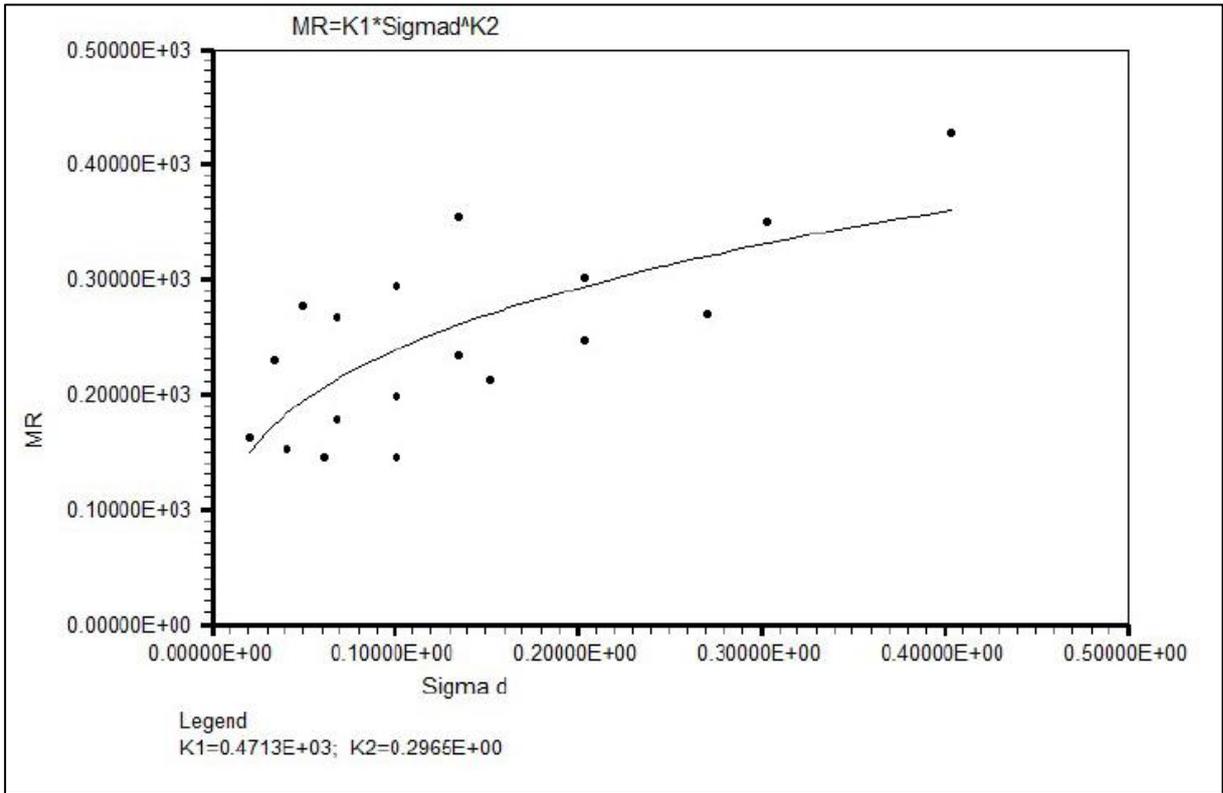
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 75: Modelo 1 para o módulo de resiliência do solo de Russas.



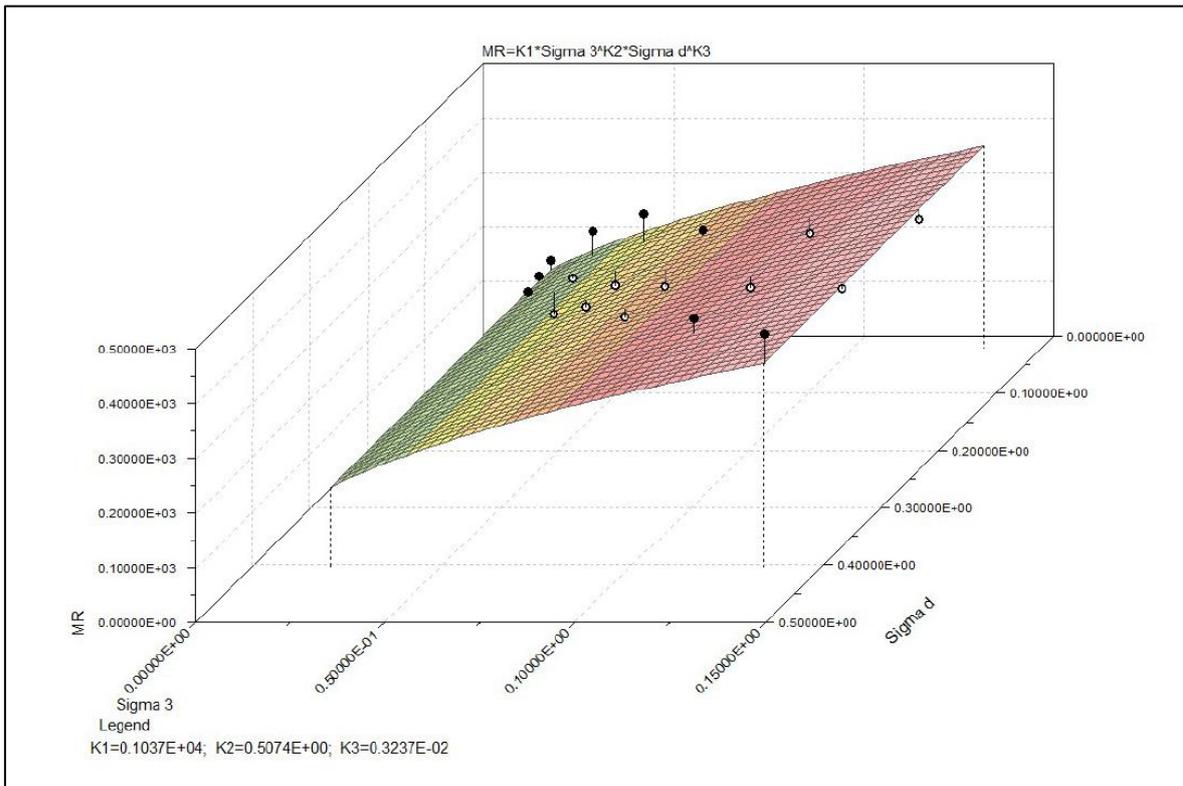
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 76: Modelo 2 para o módulo de resiliência do solo de Russas.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 77: Modelo 3 para o módulo de resiliência do solo de Russas.



Fonte: Próprio autor (2019).

Com os resultados encontrados, verificou-se que o modelo que melhor se adequou aos solos analisados foi o modelo 3, que corresponde ao modelo composto.

Por meio das superfícies representadas graficamente do modelo composto, é possível concluir que os solos de Limoeiro do Norte e Russas tem seu módulo de resiliência mais propenso a variações da tensão de confinamento, com menor influência da tensão desvio, mostrando um comportamento mais semelhante dos solos granulares. Já para os solos dos municípios de Jaguaruana e Morada Nova, o modelo composto apresentou maior influência no módulo de resiliência para variações na tensão desvio.

5.5 Metodologia MCT

Os resultados dos ensaios de Mini MCV, perda de massa por imersão e Mini CBR estão representados na tabela 14, bem como a classificação MCT correspondente a cada amostra de solo.

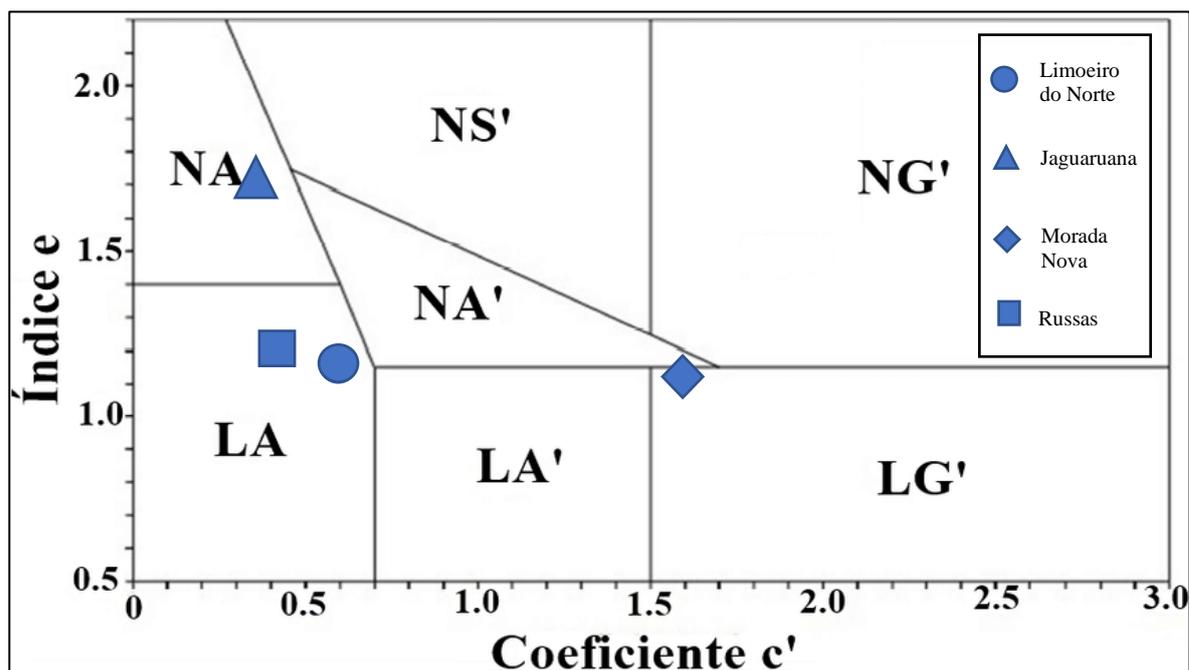
Tabela 14 Resultado da Metodologia MCT.

Amostras de solo	c'	d'	e'	Pi (%)	Classificação MCT
Limoeiro do Norte	0,64	44,17	1,170	115	LA
Jaguaruana	0,32	13,99	1,747	390	NA
Morada Nova	1,60	80,66	1,149	127	LG'
Russas	0,44	55,30	1,199	136	LA

Fonte: Próprio autor (2019).

Por meio dos resultados encontrados foi possível realizar a classificação MCT por meio do ábaco mostrado na figura 78.

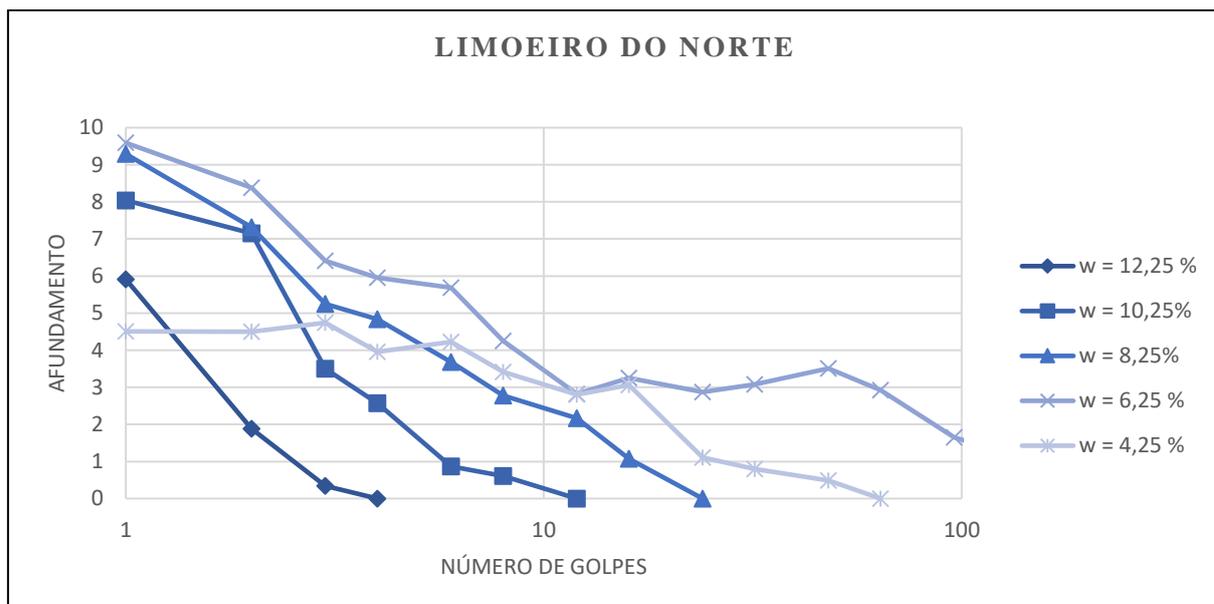
Figura 78: Classificação MCT para as amostras estudadas.



Fonte: Próprio Autor (2019).

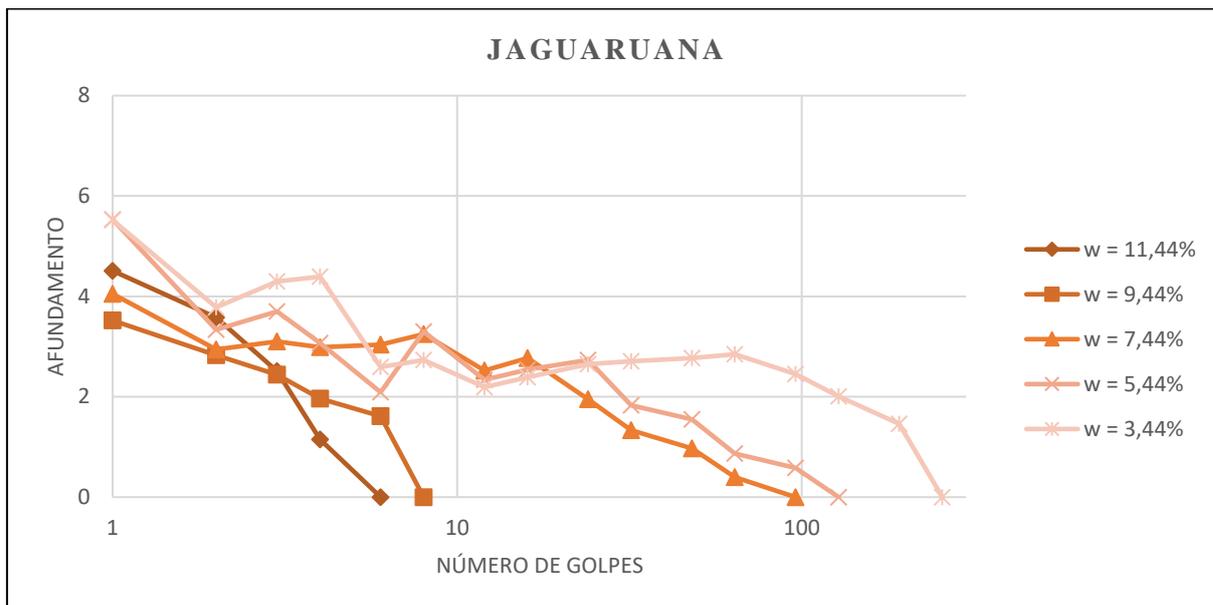
As figuras 79 a 82 mostra o gráfico da relação do número de golpes versus afundamento do corpo de prova ensaiado dos solos de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas, respectivamente. Por meio dessa relação é determinado o parâmetro c' .

Figura 79: Número de golpes *versus* afundamento do corpo de prova para o solo de Limoeiro do Norte.



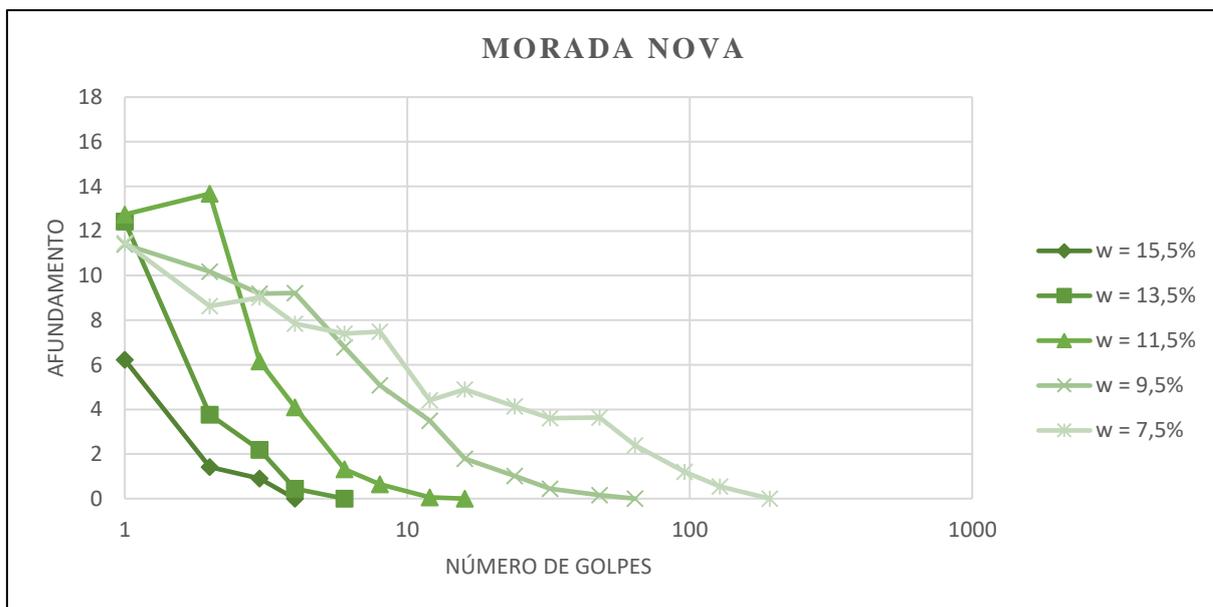
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 80: Número de golpes *versus* afundamento do corpo de prova para o solo de Jaguaruana.



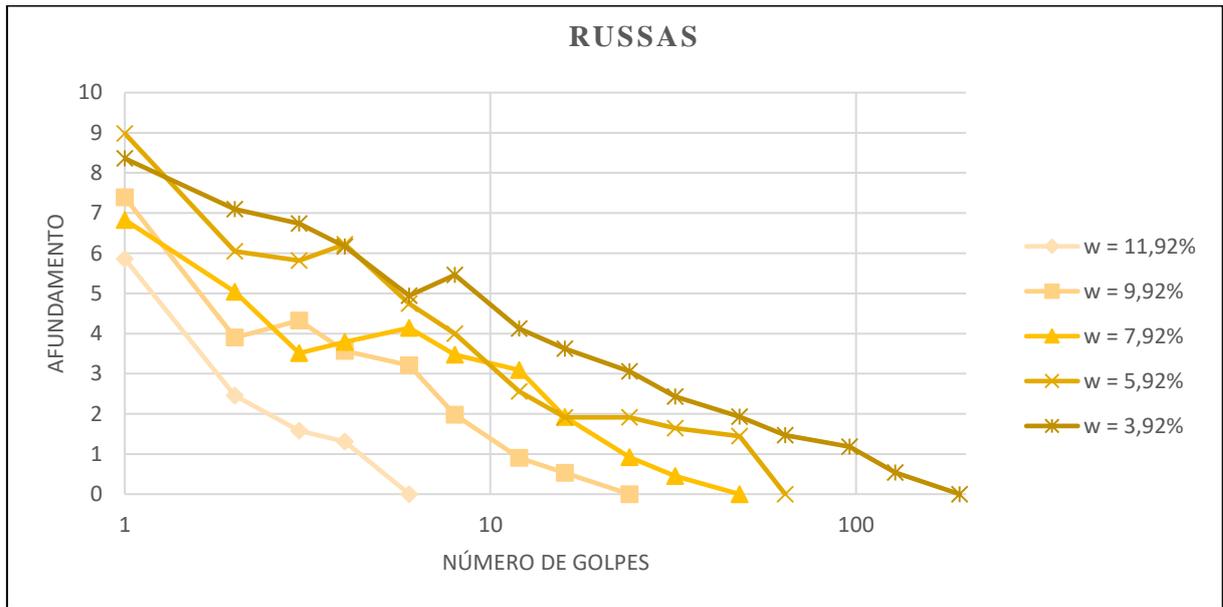
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 81: Número de golpes *versus* afundamento do corpo de prova para o solo de Morada Nova.



Fonte: Próprio autor (2019).

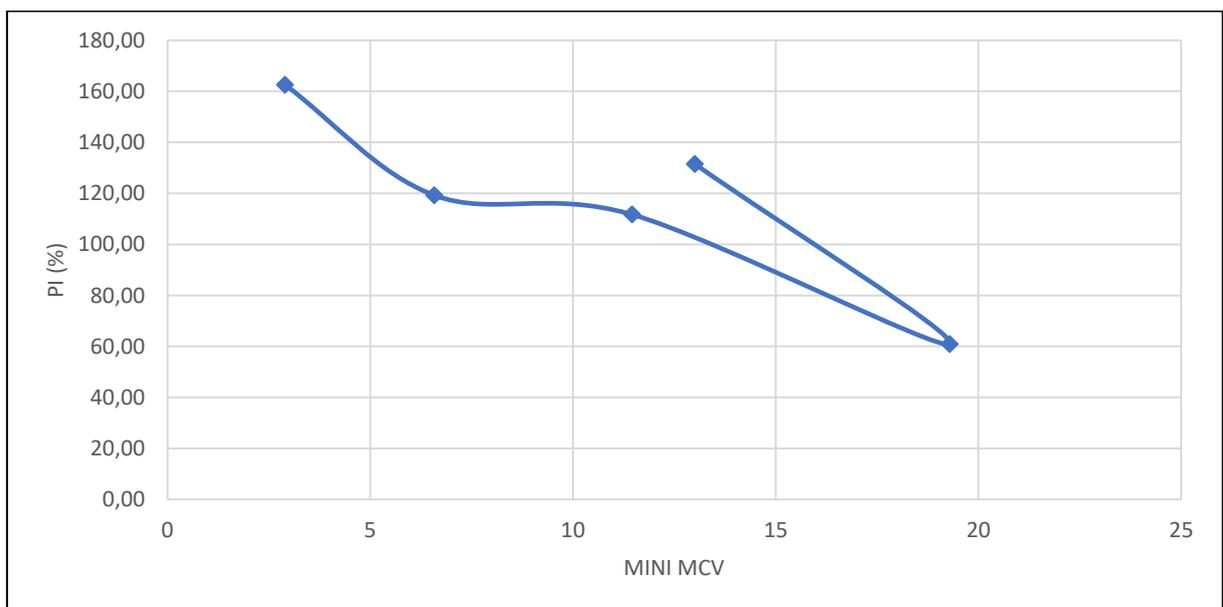
Figura 82: Número de golpes *versus* afundamento do corpo de prova para o solo de Russas.



Fonte: Próprio autor (2019).

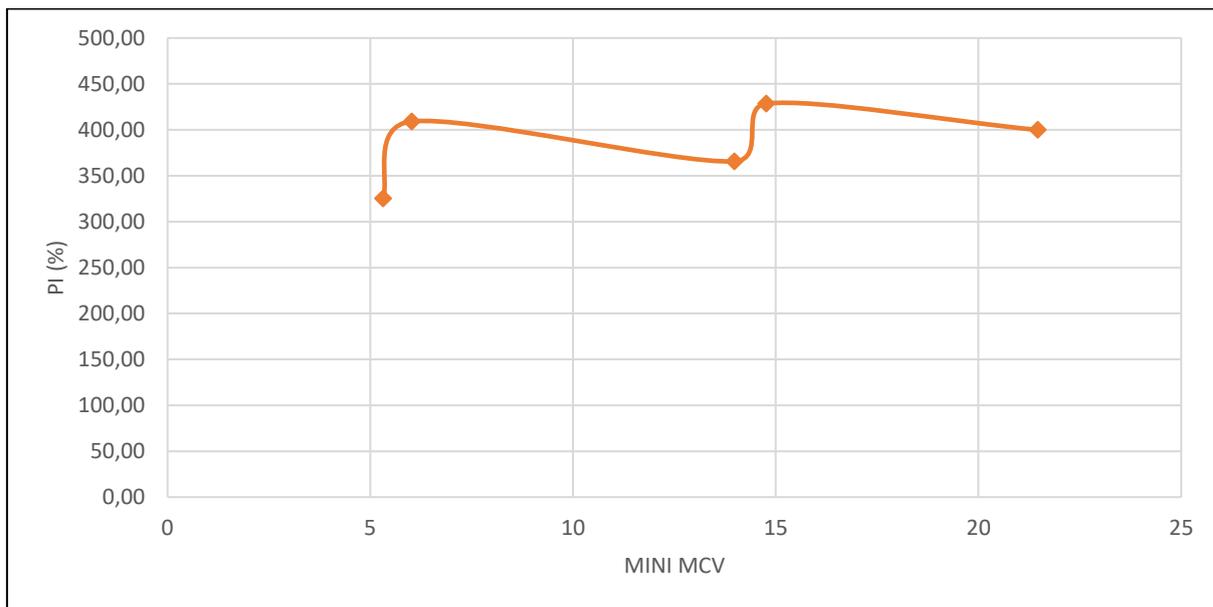
As figuras 83 a 86 representam o gráfico de perda de massa por imersão *versus* Mini-MCV para os solos de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas, respectivamente.

Figura 83: Perda de massa por imersão *versus* Mini-MCV para o solo de Limoeiro do Norte.



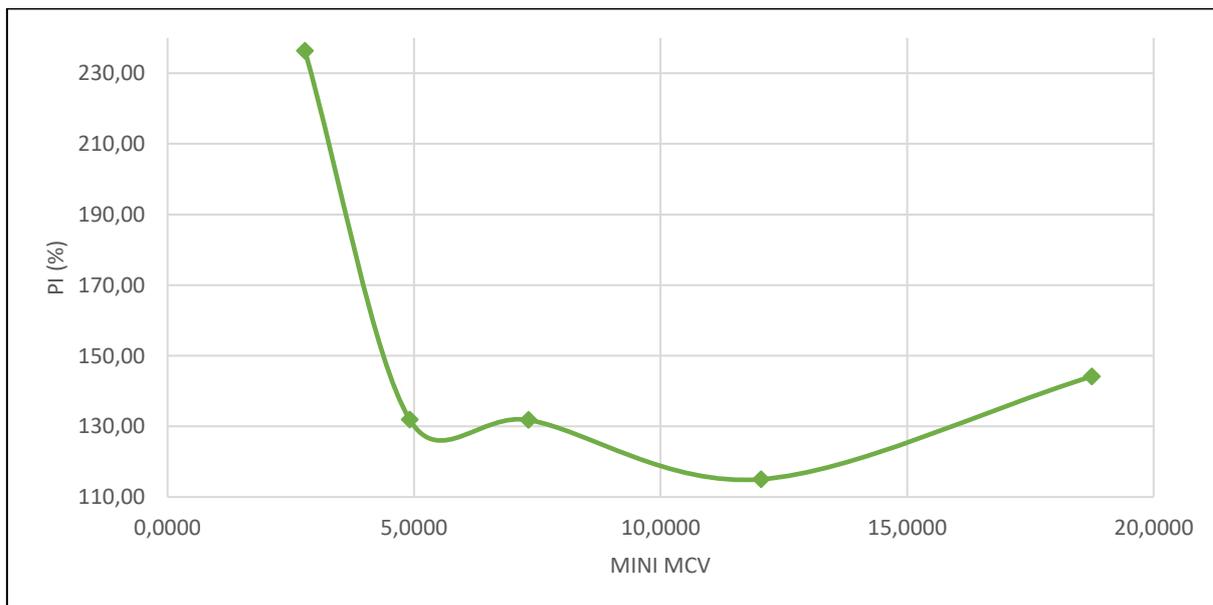
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 84: Perda de massa por imersão *versus* Mini-MCV para o solo de Jaguaruana.



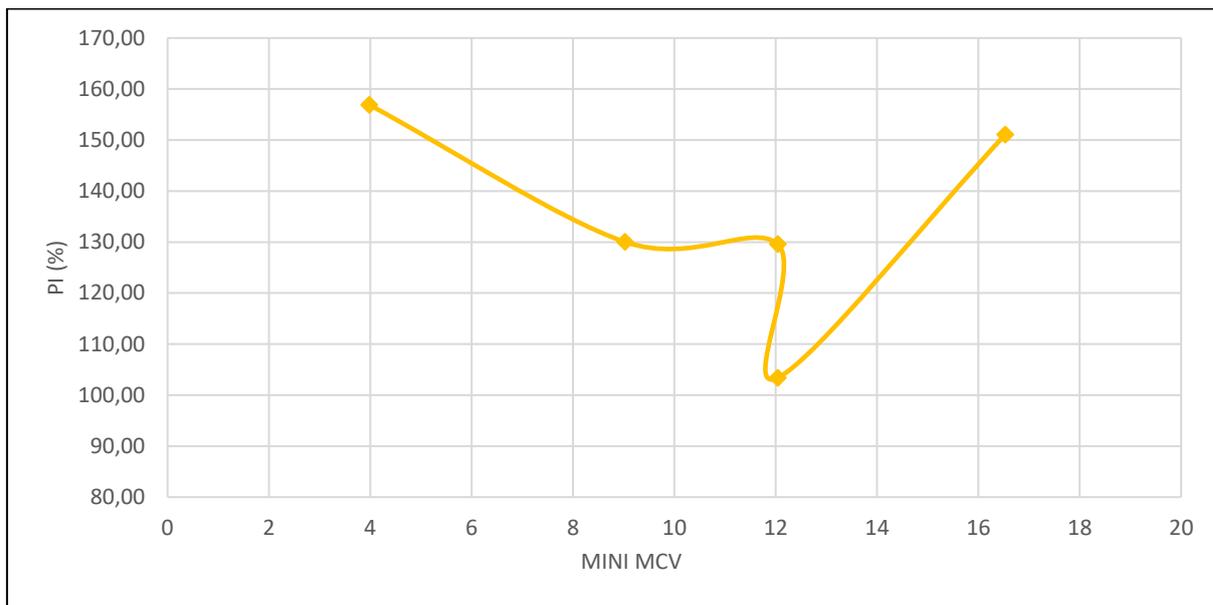
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 85: Perda de massa por imersão *versus* Mini-MCV para o solo de Morada Nova.



Fonte: Próprio autor (2019).

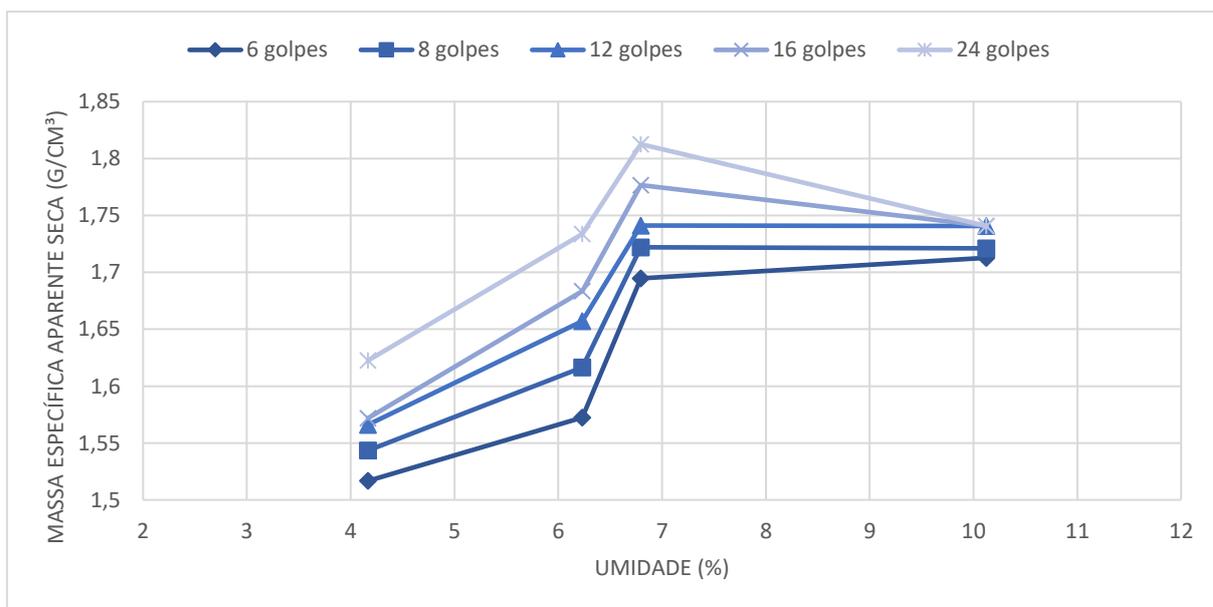
Figura 86: Perda de massa por imersão *versus* Mini-MCV para o solo de Russas.



Fonte: Próprio autor (2019).

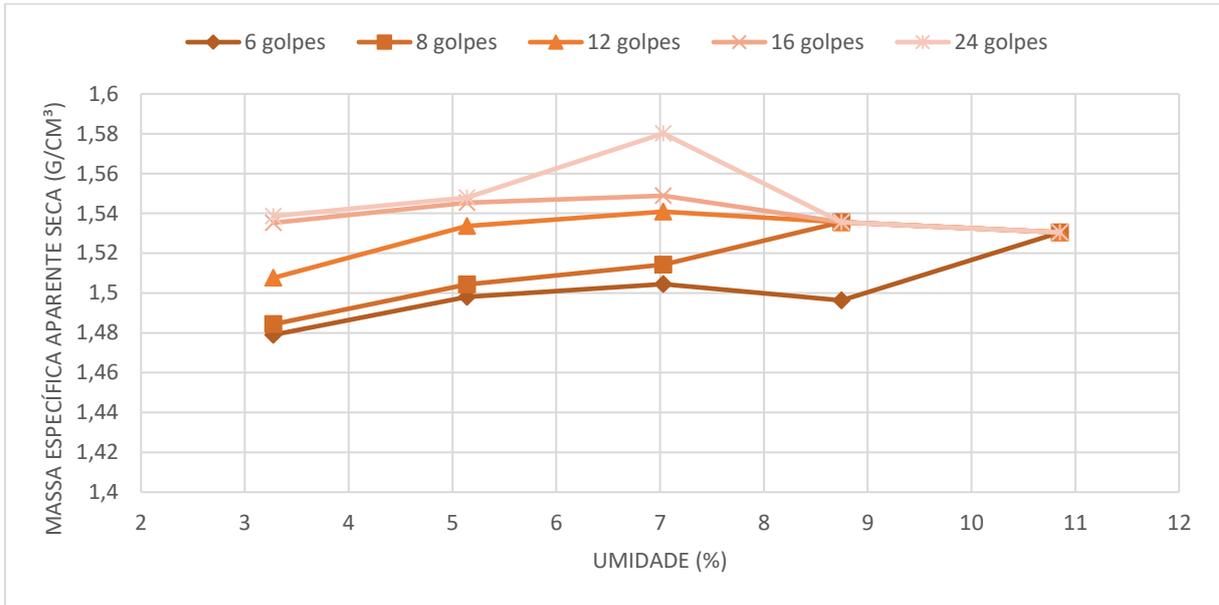
As figuras 87 a 90 representam os gráficos da massa específica aparente seca *versus* umidade para os solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas, respectivamente.

Figura 87: Massa específica aparente seca *versus* umidade para o solo de Limoeiro do Norte.



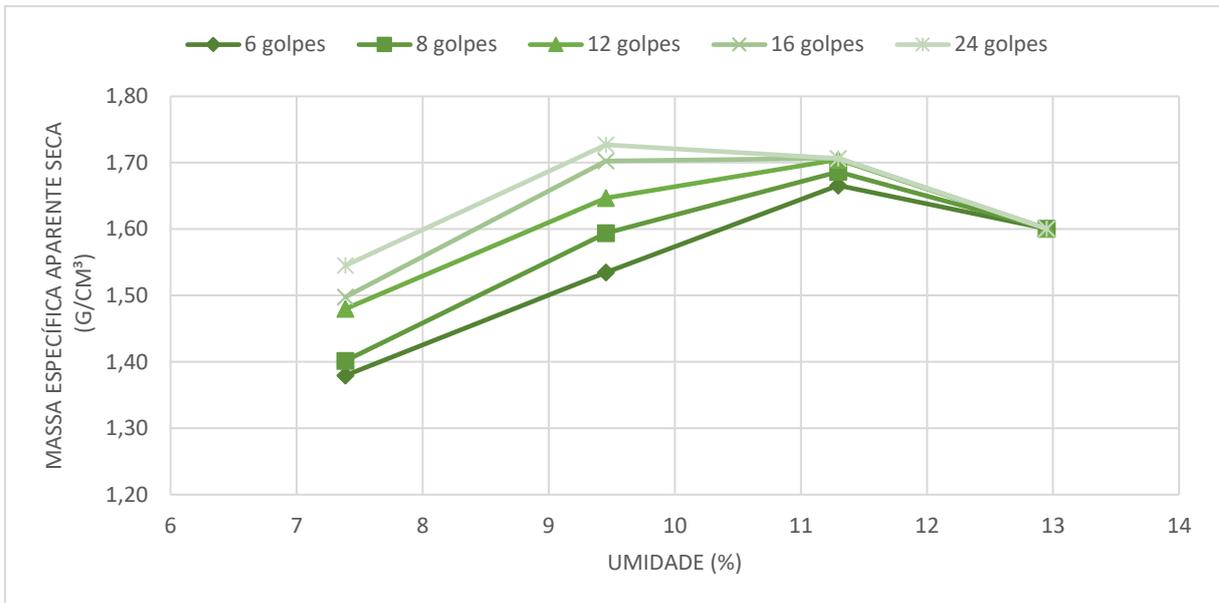
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 88: Massa específica aparente seca *versus* umidade para o solo de Jaguaruana.



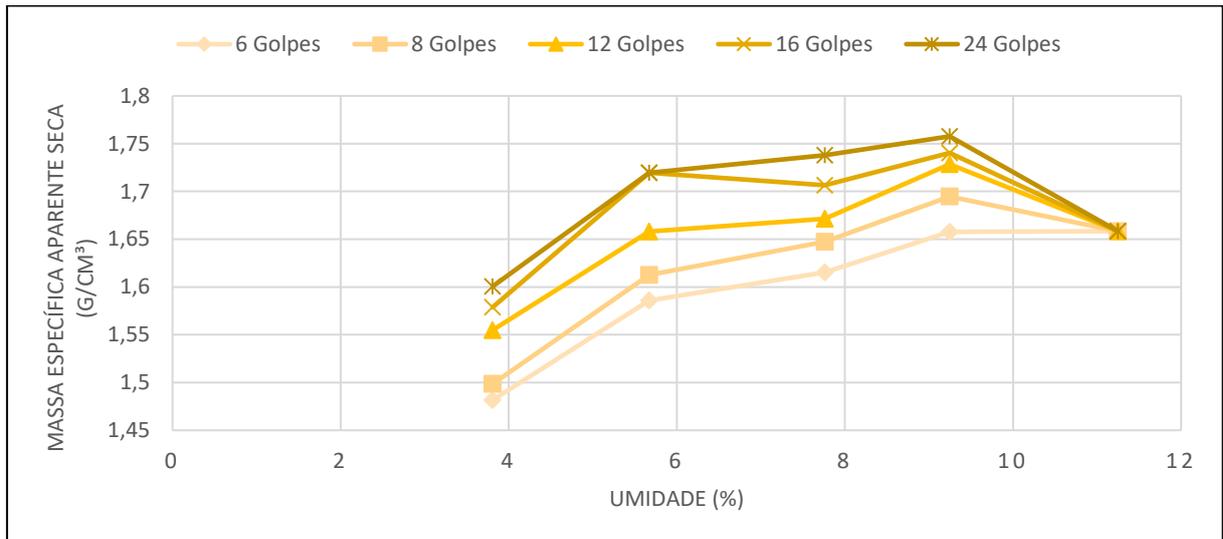
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 89: Massa específica aparente seca *versus* umidade para o solo de Morada Nova.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 90: Massa específica aparente seca *versus* umidade para o solo de Russas.



Fonte: Próprio autor (2019).

Com os resultados obtidos para a classificação MCT é possível concluir que apenas a amostra de Jaguaruana não é classificada como material laterítico e dessa forma não seria apropriado para uso em obras rodoviárias.

As amostras de Limoeiro do Norte e Russas foram classificadas como Areia Laterítica, que de acordo com figura 91, correspondem a segunda opção como uso em base de pavimentos. A amostra de Morada Nova foi classificada como solo argiloso laterítico e corresponde a terceira opção quanto ao uso de base de pavimentos.

Figura 91: Informações diversas a respeito da caracterização MCT.

GRANULOMETRIAS TÍPICAS Designações do T1-71 do DER-SP (equivalentes da Mississippi River- Commission, USA)			argilas siltes (q,s)	areias siltosas	siltes (k,m) siltes arenosos	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos	areias siltosas	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos	
k=caolínico s=sericítico	m=micáceo q=quartzoso									
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico				L = Laterítico			
GRUPO MCT			NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'	
Propriedades	MINI-CBR (%)	sem imersão perda por imersão	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B	
	EXPANSÃO		B	B	E	M, E	B	B	B	
	CONTRAÇÃO		B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E	
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)		M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B	
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)		E	B, M	E	M, E	B	B	B	
	Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal		EE = Muito Elevado (a) E = Elevado (a)		M = Médio (a) B = Baixo (a)		Vide Tabela III.3 para equivalente numérico			
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°	
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°	
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°	
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°	
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°	
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°	
n = não recomendado										
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas			USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
			AASHO	A - 2	A - 2 A - 4 A - 7	A - 4 A - 5 A - 7 - 5	A - 6 A - 7 - 5 A - 7 - 5	A - 2	A - 2 A - 4	A - 6 A - 7 - 5

Fonte: VILLIBOR (1995).

A tabela 15, 16, 17 e 18 mostram os resultados obtidos com o ensaio de Mini CBR para os solos de Limoeiro do Norte, Jaguaruana, Morada Nova e Russas, em relação as umidades de compactação. De acordo com a metodologia do ensaio, os valores considerados para o Mini CBR são os correspondentes as leituras realizadas nos tempos de 2 e 2,5 minutos. O maior valor encontrado para o Mini CBR na umidade ótima equivale ao valor utilizado.

Tabela 15: Valores de Mini CBR para o solo de Limoeiro do Norte.

Umidades (%)	12,25	10,25	8,25	6,25	4,25
Mini CBR (2,0)	14,32	30,23	71,30	114,51	110,84
Mini CBR (2,5)	15,36	35,02	86,92	132,84	118,75

Fonte: Próprio autor (2019).

Tabela 16: Valores de Mini CBR para o solo de Jaguaruana.

Umidades (%)	11,44	9,44	7,44	5,44	3,44
Mini CBR (2,0)	4,91	3,57	4,47	5,78	15,86
Mini CBR (2,5)	5,49	3,07	4,29	5,49	13,51

Fonte: Próprio autor (2019).

Tabela 17: Valores de Mini CBR para o solo de Morada Nova.

Umidades (%)	15,5	13,5	11,5	9,5	7,5
Mini CBR (2,0)	1,67	4,47	17,01	55,60	84,08
Mini CBR (2,5)	1,82	4,69	17,93	67,05	95,10

Fonte: Próprio autor (2019).

Tabela 18: Valores de Mini CBR para o solo de Russas.

Umidades (%)	11,92	9,92	7,92	5,92	3,92
Mini CBR (2,0)	18,53	47,55	50,25	64,16	102,84
Mini CBR (2,5)	21,56	50,87	53,59	76,37	106,48

Fonte: Próprio autor (2019).

Para os valores de Mini CBR, os solos dos municípios de Limoeiro do Norte e Russas apresentaram na umidade ótima, respectivamente, 86,92 % e 53,59 %. Segundo a figura 92 da metodologia MCT, solos com valores de Mini CBR superiores a 30% apresentam uma capacidade de suporte muito alta. Dessa forma, esses materiais seriam apropriados para uso nas camadas superiores do pavimento, devido a sua excelente capacidade de suporte.

Figura 92: Classificação MCT.

CLASSES		N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"					L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"			
GRUPOS		NA AREIAS	NA' ARENOSOS	NS' SILTOSOS	NG' ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG' ARGILOSOS		
GRANULOMETRIA TÍPICA (MINERAIS)(1)		areias, areias siltosas, siltes (q)	areias siltosas, areias argilosas	silte (k, m), siltes arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas		
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI CBR sem imersão (%)	Muito alto	Alto	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto		
		Alto	Média	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto		
		Média	Baixo	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto		
		Baixo	Baixo	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto		
EXPANSÃO	Perda de Suporte por imersão (%)	Alta	Média	alta	alta	Baixa	Baixa	Baixa		
		Média	Baixa	alta	alta	Baixa	Baixa	Baixa		
		Baixa	Baixa	alta	alta	Baixa	Baixa	Baixa		
		Baixa	Baixa	alta	alta	Baixa	Baixa	Baixa		
CONTRAÇÃO	(%)	Alta	Baixa a Média	Média	alta e média	Baixa	Baixa	Baixa		
		Média	Baixa a Média	Média	alta e média	Baixa	Baixa	Baixa		
		Baixa	Baixa a Média	Média	alta e média	Baixa	Baixa	Baixa		
		Baixa	Baixa a Média	Média	alta e média	Baixa	Baixa	Baixa		
PERMEABILIDADE log (k(cm/s))	(2)	Alta	Baixa	Média	Baixa a média	Baixa	Baixa	Baixa		
		Média	Baixa	Média	Baixa a média	Baixa	Baixa	Baixa		
		Baixa	Baixa	Média	Baixa a média	Baixa	Baixa	Baixa		
		Baixa	Baixa	Média	Baixa a média	Baixa	Baixa	Baixa		
PLASTICIDADE	IP	> 30	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Média a baixa	Baixa a média	Baixa a média		
		> 70	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média		
		Média	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média		
		Baixo	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média		
PROPRIEDADES TÍPICAS DOS GRUPOS DOS SOLOS	LL	> 30	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Média a baixa	Baixa a média	Baixa a média		
		> 70	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média		
		Média	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média		
		Baixo	Média a NP	Média a alta	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média	Baixa a média		

(1)q = quartzo, m = micas, k = caulinita;

(2) Corpos-de-provas compactados na umidade ótima da energia "normal", com sobrecarga padrão quando pertinente, sem fração retida na peneira de 2mm de abertura.

Fonte: DNIT (2006).

Ainda de acordo com a figura 92 da classificação MCT, solos classificados como LG' devem possuir Mini CBR alto, que varia de 12 % a 30%, para se adequar ao uso em obras rodoviárias. Assim, o solo representativo de Morada Nova se enquadra nessa faixa (Mini CBR = 17,93) e possui uma alta capacidade de suporte. Desse modo, sua utilização como material em camadas superiores do pavimento se torna apropriada.

Vale salientar que a viabilidade de um material em determinada camada do pavimento, principalmente as camadas de base e sub-base, dependem diretamente das cargas aplicadas provenientes do tráfego. Assim, pavimentos que vão ser destinados para maiores solicitações, devem ser projetados com materiais de melhor capacidade de suporte.

Por fim, para o solo do município de Jaguaruana, os resultados de Mini CBR foram bem inferiores (Mini CBR = 4,47), correspondendo a uma baixa capacidade de suporte. Tal fato, alia-se ao solo não ser laterítico, tornando-o inadequado para uso em camadas granulares do pavimento.

5.6 Avaliação estrutural das amostras

Com o objetivo de realizar uma análise estrutural dos solos estudados, foi utilizado o *software* de simulação de dimensionamento de pavimentos SisPav. Os solos foram analisados quanto a sua capacidade de suporte quando utilizados como base de pavimentos. Foi aplicado o modelo composto para análise, por ser o que melhor representou o comportamento das quatro amostras de solo estudadas.

Como critérios adotados para o dimensionamento, foi considerado como camada de revestimento a mistura asfáltica do tipo CAP 50/70, com propriedades predefinidas pelo *software*. A sub-base adotada foi um material granular com características também já predefinidas pelo programa. Como material de subleito, utilizou-se um solo fino e argiloso com baixa capacidade de suporte.

Para realização da verificação estrutural, também deve ser inserido o parâmetro de capacidade de tráfego, que é representado pelas solicitações do eixo padrão simples, N. Assim, tendo por referência o trabalho de MASCARENHAS (2016), foram considerados os níveis de tráfego: leve ($N = 10^5$), médio ($N = 10^6$) e pesado ($N = 10^7$). Os valores para o coeficiente de Poisson também foram predefinidos pelo programa. Foi adotada uma vida de projeto de 10 anos.

Os resultados para o dimensionamento realizado nas quatro amostras de solo estão representados na tabela 19.

Tabela 19: Avaliação estrutural para os solos do Baixo Jaguaribe.

Amostras de solo	Tráfego (N)	Espessura Revestimento (m)	Espessura Base (m)	Espessura Sub-base (m)	Vida de Projeto
Limoeiro do Norte	Leve (10 ⁵)	0,050	0,110	0,110	22,9 anos
	Médio (10 ⁶)	0,075	0,150	0,150	14 anos
	Pesado (10 ⁷)	Sem Suporte	Sem Suporte	Sem Suporte	-
Jaguaruana	Leve (10 ⁵)	0,050	0,110	0,110	Elevada
	Médio (10 ⁶)	0,075	0,150	0,150	29,5 anos
	Pesado (10 ⁷)	Sem Suporte	Sem Suporte	Sem Suporte	-
Morada Nova	Leve (10 ⁵)	0,050	0,110	0,110	Elevada
	Médio (10 ⁶)	0,075	0,150	0,150	19,6 anos
	Pesado (10 ⁷)	Sem Suporte	Sem Suporte	Sem Suporte	-
Russas	Leve (10 ⁵)	0,050	0,150	0,150	17 anos
	Médio (10 ⁶)	0,100	0,150	0,150	10,9 anos
	Pesado (10 ⁷)	Sem Suporte	Sem Suporte	Sem Suporte	-

Fonte: Próprio autor (2019).

Com os resultados apresentados é possível concluir que todos os solos podem ser utilizados como base de pavimentos submetidos a um tráfego leve e médio, exigindo pequenas espessuras para as camadas. Também foi verificado que a vida útil de projeto se mostrou superior ao valor adotado inicialmente, em todos os solos estudados.

Para os materiais considerados de revestimento, sub-base e subleito, as quatro amostras de solo não se tornaram adequadas para um tráfego pesado, requerendo camadas muito espessas e que tornaria uma obra rodoviária inviável do ponto de vista econômico.

Os resultados obtidos mostraram que os solos estudados podem ser utilizados em camadas de base de pavimentos, divergindo dos resultados alcançados com a classificação tradicional, que limita o uso desses materiais à regularização de subleito.

5.7 Considerações Finais

Nesse capítulo foram apresentados os resultados e discussões relativos aos ensaios realizados. À vista disso, no capítulo seguinte serão expostas as conclusões obtidas com a pesquisa, bem como sugestões para futuros trabalhos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Considerações iniciais

Nesse capítulo serão expostas as principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros a respeito da caracterização geotécnica do Baixo Jaguaribe voltada para a pavimentação.

Durante a elaboração da pesquisa, foi constatada a falta de informações acerca da caracterização dos solos da microrregião com fins de pavimentação. Dessa forma, espera-se que essa pesquisa contribua para futuras obras de execução e manutenção rodoviárias da região, visto a grande importância econômica que o Baixo Jaguaribe exerce sobre o estado, em que seu desenvolvimento está sustentado diretamente nas condições viárias, por ser o principal meio de escoamento da produção.

De modo geral, os solos do Baixo Jaguaribe, por meio da classificação tradicional, ainda utilizada como parâmetro para a escolha de materiais, não seriam apropriados para uso em camadas do pavimento. Porém, segundo a nova metodologia MCT, própria para caracterização dos solos tropicais brasileiros, esses mesmos solos, são considerados adequados para utilização em obras rodoviárias e possuem uma alta capacidade de suporte. Assim, pelas normas ainda utilizadas no meio rodoviário, esses materiais seriam descartados, promovendo sua subutilização.

Espera-se com essa pesquisa mostrar a não adequação das normas tradicionais aos solos brasileiros, em especial aos solos da região do Baixo Jaguaribe, e apresentar a necessidade de utilização da caracterização dos materiais tropicais por meio de normas e procedimentos que melhor os represente.

Também espera-se auxiliar com informações acerca dos materiais da região, caracterizando-os com a finalidade de uso na pavimentação, beneficiando futuras obras rodoviárias da região, quanto a custo de aquisição e transporte de materiais, visto que esses solos estudando são naturalmente encontrados e de fácil acesso, tornando essas obras mais viáveis do ponto de vista econômico.

6.2 Considerações quanto classificação AASTHO

Com o ensaio de granulometria, concluiu-se que os solos são mal graduados e não uniformes. E possuem uma pequena parcela de finos.

Em relação às faixas granulométricas adotadas pelo DNIT, apenas o solo do município de Jaguaruana se mostrou compatível com a faixa E. Tal fato limita o uso dos materiais na região nas camadas granulares do pavimento.

Com os ensaios de limite de consistência, os solos apresentaram LL inferior ao limite máximo exigido na norma DNIT 141/2010, porém, quanto ao IP, os solos apresentaram valores superiores ao limite máximo de 6%. Assim, esses materiais não seriam utilizados nas camadas mais superiores do pavimento.

Os solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Morada Nova e Russas foram classificados segundo a AASTHO na classe A-2-6, material granular com presença de finos siltosos ou argilosos. Já o município de Jaguaruana foi classificado como A-3, areia fina. Todos os solos analisados possuem um bom comportamento como material de subleito.

Portanto, para camadas granulares, a partir dos resultados obtidos com os ensaios de caracterização e a classificação tradicional, os solos analisados nessa pesquisa não seriam utilizados.

6.3 Considerações quanto ao módulo de resiliência

Com os resultados do módulo de resiliência para os solos estudados, verificou-se que o modelo composto foi o que melhor representou o comportamento desses materiais. Dessa forma, esses solos sofrem influência tanto da tensão de confinamento, quanto da tensão desvio, mostrando que eles apresentam um comportamento areno-argiloso.

Com o modelo composto foi dimensionado alguns pavimentos com base constituída dos materiais analisados. Para todos os solos, o dimensionamento foi satisfatório quando se considerou um tráfego leve e médio. Para utilização em pavimentos solicitados por um tráfego pesado, o material seria empregado em grandes espessuras de camada ou então estabilizados com outro material, tornando mais alto os custos.

6.4 Considerações quanto a metodologia MCT

Quando aplicada a metodologia MCT, os solos do município de Limoeiro do Norte e Russas se enquadraram como LA – areia laterítica – e o solo de Morada Nova como LG’ – argiloso laterítico. O único solo que não foi classificado como laterítico, foi o material do município de Jaguaruana.

Quando a classificação é complementada com os resultados do ensaio de Mini CBR, os solos de Limoeiro e Russas apresentaram uma excelente capacidade de suporte, o que os torna apropriados para uso em base e sub-base de pavimentos rodoviários.

Para o solo de Morada Nova, os valores de Mini CBR ainda ficaram na faixa de alta capacidade de suporte, tornando-o também viável para uso em pavimentos. O solo de Jaguaruana não apresentou resultados satisfatórios para o índice de Mini CBR e aliado à sua caracterização não laterítica, o solo não seria adequado para uso em camadas de pavimentos.

Assim, considerando também a capacidade de carga advinda do tráfego, e por meio da metodologia MCT, os solos dos municípios de Limoeiro do Norte, Morada Nova e Russas são apropriados para uso em pavimentos rodoviários, divergindo dos resultados baseados na classificação tradicional.

6.5 Sugestões para trabalhos futuros

Como forma de tornar mais válida a pesquisa, tem-se como sugestão a expansão da mesma, aumentando a quantidade de amostras a serem ensaiadas, considerando todos os municípios do Baixo Jaguaribe, e posteriormente todo o Vale do Jaguaribe.

REFERÊNCIAS

- BARROSO, Suely Helena de Araújo. **Estudo dos Solos da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação na Engenharia Rodoviária**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-01062016-112348/publico/Tese_Barroso_SuelyHA.pdf Acesso em: 28 abr. 2019.
- BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. Disponível em: <https://www.academia.edu/21661995/Pavimentação%20Asfáltica%20Formação%20Básica%20para%20Engenheiros> Acesso em: 26 set. 2019.
- BRANDÃO, Ricardo de Lima; FREITAS, Luis Carlos Bastos. **Geodiversidade do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16726> Acesso em: 10 out. 2019.
- CHAVES, Maria Lucenir Jerônimo; ARAÚJO, Sergiano de Lima. Modernização Socioespacial e urbanização na região do Baixo Jaguaribe – Ceará. **Casa de Geografia de Sobral**, Sobral, v. 11, n. 1, p. 49-60, 2009. Disponível em: <http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/66> Acesso em: 5 abr. 2019.
- COSTA, Luis Ricardo Fernandes. **Estruturação geoambiental e susceptibilidade à desertificação da sub-bacia hidrográfica do Riacho Santa Rosa – Ceará**. Tese (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/17760> Acesso em: 10 out. 2019.
- CUNTO, Flávio José Craveiro. **Determinação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos e a sua estimativa a partir de ensaios de compressão simples**: estudo de três solos do nordeste brasileiro. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-28022018-142425/publico/Dissert_Cunto_FlavioJC.pdf Acesso em: 9 out. 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Análise Granulométrica**. Método de Ensaio, DNER-ME-051. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me051-94.pdf/view> Acesso em: 8 jul. 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Análise Granulométrica por Peneiramento**. Método de Ensaio, DNER-ME-080. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me080-94.pdf> Acesso em: 8 jul. 2019.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Determinação do Limite de Liquidez - Método de Referência e Método Exedito**. Método de Ensaio, DNER-ME-122. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me122-94.pdf> Acesso em: 8 jul. 2019.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Determinação do Limite de Plasticidade**. Método de Ensaio, DNER-ME-082. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me082-94.pdf>
Acesso em: 8 jul. 2019.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos - Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas**. Método de Ensaio, DNER-ME-162. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me162-94.pdf> Acesso em: 15 jul. 2019.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos Compactados com Equipamento Miniatura - Determinação da Perda de Massa por Imersão**. Método de Ensaio, DNER-ME-256. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me256-94.pdf>
Acesso em: 22 jul. 2019.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini - MCV**. Método de Ensaio, DNER-ME-258. Rio de Janeiro, RJ, 1994. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me258-94.pdf/view> Acesso em: 22 jul. 2019.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini CBR e expansão**. Método de Ensaio, DNER-ME-254. Rio de Janeiro, RJ, 1997. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me254-97.pdf> Acesso em: 22 jul. 2019.

DNIT. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimentacao%20E7%E3o_05.12.06.pdf Acesso em: 28 abr. 2019.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço**. Norma DNIT 141 – ES. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit141_2010_es.pdf Acesso em: 7 out. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI 2006. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf> Acesso em: 7 out. 2019.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. Fortaleza: **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/> Acesso em: 19 ago. 2019.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. Fortaleza: **Sistemas Meteorológicos Causadores De Chuva Na Região Nordeste Do Brasil**, 2002. Disponível em:

http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/entender/entender2.htm Acesso em: 25 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf> Acesso em: 7 out. 2019.

INSTITUTO DE CIENCIAS DO MAR. Efeitos Da Açudagem No Rio Jaguaribe. **Ciência Hoje**, v. 33, n. 197, Rio de Janeiro, RJ, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/224268287_Efeitos_da_Acudagem_no_rio_Jaguari_be Acesso em: 14 out. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Anuário do Ceará, 2016**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2016/>. Acesso em: 22 jul. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Índice de Desenvolvimento dos Municípios 2016**, Fortaleza, CE, 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/05/IDM_2016.pdf Acesso em: 22 jul. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Tipos Climáticos do Ceará**, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126x.htm>. Acesso em: 22 jul. 2019.

LUCENA, Rodrigo Paiva. **O Potencial De Uso Das Jazidas De Argila Na Planície Fluvial Do Rio Jaguaribe Em Russas-Ce**. Tese (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: http://www.uece.br/mag/dmdocuments/rodrigo_paiva_de_lucena.pdf Acesso em: 11 out. 2019.

MAIA, Rúbson Pinheiro. **Erosão E Assoreamento Do Rio Jaguaribe Em Limoeiro Do Norte-Ce: Marcas De Uma Evolução Acelerada**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2004, UFSM, RS. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/5/Rubson%20Pinheiro%20Maia.pdf> Acesso em: 11 out. 2019.

MAIA, Rúbson Pinheiro. **Planície Fluvial Do Rio Jaguaribe: Evolução Geomorfológica, Ocupação E Análise Ambiental**. Tese (Mestrado em Dinâmica Territorial e Ambiental) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp001984.pdf> Acesso em: 11 out. 2019.

MASCARENHAS, Ilania Maria Nascimento. **Caracterização Geotécnica Dos Solos Da Região Metropolitana Do Cariri/Ce Para Uso Em Pavimentação**. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2016.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Fadul. **Pavimento de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Vilibor, 1995. Disponível em: <https://portaldetecnologia.com.br/pavimentacao-de-baixo-custo-com-solos-lateriticos/> Acesso em: 3 jun. 2019.

OLIVEIRA FILHO, Severino Francisco. **Identificação de áreas degradadas no município de Tabuleiro do Norte – CE com ênfase às formações de florestas Dicótilo/Palmácea.** Tese (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6681/1/arquivo6786_1.pdf Acesso em: 11 out. 2019.

OLIVEIRA, Rafael Mota. Estudo Hidroquímico do Aquífero Barreiras no município de Eusébio, Ceará. **Instituto Geológico**, São Paulo, v.38, n. 2, p. 21-36, 2017. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/12151/11701> Acesso em: 15 out. 2019.

OSORIO, Daniela Barbat. **Hidrogeologia do Semiárido Cearense.** Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-30052019-131248/publico/Dissertacao_Mestrado_DanielaBarbat_versaofinal.pdf Acesso em: 15 out. 2019.

PLATAFORMA DATA VIVA. Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG. **Baixo Jaguaribe – Ce.** Disponível em <http://dataviva.info/pt/location/2ce0100> Acesso em: 22 jul. 2019.

RIBEIRO, Antônio Junior Alves. **Um Método para Localização e Estimção das Características Geotécnicas dos Solos da Região Metropolitana de Fortaleza-Ce para fins de Pavimentação.** Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/5461> Acesso em: 6 jun. 2019.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. **Políticas E Ações Estruturantes Do Governo Do Estado Do Ceará Para A Convivência Com A Seca.** Fortaleza, CE, 2015. Disponível em: https://www.jfce.jus.br/images/noticias/docs/Pol%C3%ADticas_e_A%C3%A7%C3%B5es_Estruturantes_do_Governo_do_Estado_do_Cear%C3%A1_para_a_conviv%C3%Aancia_com_a_seca.pdf Acesso em: 15 out. 2019.

SOBRINHO, Thomas Pompeu. Estrutura Geológica do Ceará: noções estratigráficas e geogenia. **Revista do Instituto do Ceará**, Fortaleza, 1941. Disponível em: https://www.institutodoceara.org.br/revista/Rev-apresentacao/RevPorAno/1941/1941-Estrutura_Geologica_do_Ceara.pdf Acesso em: 11 out. 2019.

VASCONCELOS, Sonia Maria Silva; TEIXEIRA, Zulene Almada; NETO, José Alves. Caracterização do Aquífero Jandaíra, porção situada no Estado do Ceará, Brasil. **Geologia**, Fortaleza, v. 23, n. 1, p. 50-60, 2010. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/view/1428> Acesso em: 15 out. 2019.

VILLIBOR, Douglas Fadul; ALVES, Driely Mariane Lancarovici. Classificação de solos tropicais de granulação fina e grossa. **Revista Pavimentação**, Rio de Janeiro, RJ, ano XII, n. 43, jan./mar. 2017. Disponível em: https://issuu.com/revistapavimentacao/docs/revista_43 Acesso em: 3 jun. 2019.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimento de Baixo Custo para Vias Urbanas**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. Disponível em: <https://portaldetecnologia.com.br/wp-content/uploads/2018/04/PAVIMENTOS-DE-BAIXO-CUSTO-PARA-VIAS-URBANAS.pdf> Acesso em: 3 jun. 2019.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos Econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. Disponível em: <https://portaldetecnologia.com.br/pavimentos-economicos-tecnologia-do-uso-dos-solos-finos-lateriticos/> Acesso em: 3 jun. 2019.