

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DA CIDADE DE RIO
BRANCO – ACRE: USO DE ESTATÍSTICA DESCRITIVA,
GEOESTATÍSTICA E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.**

MARCELO DE VASCONCELOS BORGES

ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc.

TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.DM-150/19

BRASÍLIA / DF: JANEIRO /2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DA CIDADE DE RIO BRANCO – ACRE: USO DE
ESTATÍSTICA DESCRITIVA, GEOESTATÍSTICA E ESTATÍSTICA
MULTIVARIADA.**

MARCELO DE VASCONCELOS BORGES

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor.

Banca Examinadora:

Newton Moreira de Souza, D.Sc. (FT/UnB)
(ORIENTADOR)

Patrícia de Araújo Romão, D.Sc. (UFG)
(EXAMINADORA EXTERNA)

Luciano Soares da Cunha, D.Sc. (IG/UnB).
(EXAMINADOR EXTERNO)

José Camapum de Carvalho, Ph.D. (FT/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

FICHA CATALOGRÁFICA

DE VASCONCELOS BORGES, MARCELO

Cartografia geotécnica da cidade de Rio Branco – Acre: uso de estatística descritiva, geoestatística e estatística multivariada [Distrito Federal] 2019

xxix, 290p., 210 X 297 mm (ENC/FT/Unb, Doutor, Geotecnia, 2019)

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia.

Tese de Doutorado

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Cartografia geotécnica | 2. Krigagem |
| 3. Análise de componentes principais | 4. análise hierárquica de processos |

I. ENC/FT/UNB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BORGES, M. V. (2019). Cartografia geotécnica da cidade de Rio Branco – Acre: uso de estatística descritiva, geoestatística e estatística multivariada. Publicação G.DM-150/19. Tese de Doutorado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 290p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcelo de Vasconcelos Borges

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Cartografia geotécnica da cidade de Rio Branco – Acre: uso de estatística descritiva, geoestatística e estatística multivariada.

GRAU / ANO: Doutor / 2019.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta Tese de Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta Tese de Doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marcelo de Vasconcelos Borges
Curso de Engenharia Civil
Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre.
email: mborges@ufac.br

RESUMO

Esta pesquisa foi desenvolvida para um trabalho de cartografia geotécnica da cidade de Rio Branco, no estado do Acre, com uso de estatística descritiva, geoestatística e estatística multivariada. Os métodos de exploração do subsolo estão evoluindo para técnicas mais modernas, e a possibilidade de se fazer um cadastro das informações desses ensaios, localizando geograficamente, permite uma análise espacial. As informações produzidas são arquivadas em banco digitais de dados. Porém, para que essas informações possam embasar análises e fornecer conclusões confiáveis, elas necessitam ser tratadas por meio de técnicas estatísticas. As informações topográficas adquiridas por sistemas LIDAR (Light Detection and Ranging) permitiram a criação de um modelo numérico do terreno (MNT) que serviu de base para extração da rede de drenagem e para diferentes análises das feições geomorfológicas. A proposta de amostragem sistemática da área de estudo, levando em consideração a relação da escala de trabalho do mapeamento geotécnico e o tamanho da área de investigação, permite dimensionar a malha de amostragem e quantificar os ensaios para obtenção dos atributos geotécnicos. A montagem de um banco de dados de atributos geotécnicos, geológicos e topográficos, manipulados em um sistema de informações geográficas (SIG), apoiada em diferentes análises estatísticas consagradas, permite conhecer de forma mais detalhada a variabilidade desses atributos. A análise estatística descritiva dos atributos permite uma melhor compreensão de seu conjunto, descrevendo a variabilidade e comportamento em torno da média, o que possibilita uma melhor interpretação dos resultados. Já a análise geoestatística com krigagem ordinária se mostra eficiente na detecção de anisotropia direcional e o conhecimento da variabilidade espacial permite a separação de áreas distintas em função dos diferentes atributos geotécnicos analisados. A análise de componentes principais, por sua vez, permite julgar a importância dos atributos geotécnicos com maior peso na combinação linear dos primeiros componentes principais (CP1 e CP2) que são os mais relevantes do ponto de vista da variabilidade. Por fim, a análise hierárquica de processos combinada com os resultados obtidos na análise de componentes principais possibilita a escolha dos atributos que influenciam a tomada de decisão para um critério de importância relativa atribuído ao relacionamento entre os atributos, e viabiliza a elaboração das cartas de diferentes índices AHP, aplicadas à escolha preliminar do tipo de fundação a ser utilizada nas obras.

Palavras-chaves: cartografia geotécnica, análise de componentes principais, krigagem, análise hierárquica de processos.

ABSTRACT

This research was developed for a geotechnical cartography work in the city of Rio Branco, in the state of Acre, Brazil, using descriptive statistics, geostatistics and multivariate statistics. Underground surveying methods have been evolving to modern techniques, and the possibility of registering geographically located tests provides a spatial analysis. The information produced by these methods is stored in digital databases. However, in order for this information to support technical analyses and provide reliable conclusions, data must be treated using statistical approaches. Topographic information acquired by LIDAR (Light Detection and Ranging) systems allowed the creation of a Digital Terrain Model (DTM), which was a basis for drainage network extraction and for different analyses of the geomorphological features. The systematic sampling approach for the studied area, which takes into account the geotechnical mapping scale and the size of the respective area, enables one to design the sampling mesh and to quantify the required tests for obtaining geotechnical attributes. The assembly of a database formed by geotechnical, geological and topographic attributes, manipulated into a Geographic Information System (GIS), supported by different statistical analyses, allows a detailed understanding of the variability of these attributes. The descriptive statistical analysis of the attributes provides a better understanding of its set by describing its variability and behavior next to the mean, which allows a better interpretation of the results. Geostatistics analysis, on the other hand, by using ordinary kriging regression, is an efficient method for detecting directional anisotropy, and knowing spatial variability allows one to separate different areas according the different geotechnical attributes analyzed. In addition, the assessment of principal components supports the judgement of attribute importance that presents highest weight when performing linear combination of the two first principal components (PC1 and PC2), that are the most relevant ones, considering their variability. Finally, hierarchical analysis of processes combined with the results obtained from the assessment of principal components allow one to choose the attributes that influence decision making for a criterion of relative importance associated to the relationship among the attributes. Furthermore, it enables elaboration of charts presenting different AHP indexes, applied to the preliminary choice of the foundation type to be used in the construction works.

Key-words: geotechnical cartography, Principal Component Analysis, kriging, Analytic Hierarchy Process.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA.....	2
1.3 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA.....	3
1.4 CARÁTER DA PESQUISA.....	3
1.5 DEFINIÇÃO DA PESQUISA.....	3
1.6 OBJETIVO DA PESQUISA	4
1.6.1 Objetivo geral.....	4
1.6.2 Objetivos específicos.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	5
2.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA COM KRIGAGEM ORDINÁRIA NO CASO ANISOTRÓPICO.....	7
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COM ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	11
2.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIO COM TÉCNICA AHP.....	12
2.5 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	13
2.6 ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS DOS SOLOS	15
2.6.1 Ensaio de resistência a penetração de cone Panda	15
2.6.2 Ensaio de resistência a penetração SPT	16
2.6.3 Pesos específicos do solo	16
2.6.4 Frações granulométricas dos solos.....	17
2.6.5 Limite de plasticidade e limite de liquidez.....	18
2.6.6 Fluides dos solos pela tangente de alfa e tangente de beta	19
2.6.7 Índice de plasticidade, índice de consistência, índice de liquidez e índice de atividade	20

2.6.8	Cores dos solos.....	22
2.6.9	Umidade natural e umidade higroscópica dos solos	23
2.6.10	Nível d'água freático, nível d'água piezométrico e tipos de aquíferos	24
2.6.11	A importância da difratometria de raios X para identificação e caracterização dos minerais do solo	25
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.3	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.4	CARACTERÍSTICAS FLUVIOMÉTRICAS DA ÁREA DE ESTUDO	33
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.	ANÁLISES E RESULTADOS	35
5.1	DADOS TOPOGRÁFICOS OBTIDOS POR PERFILAMENTO A LASER AEROTRANSPORTADO NA ÁREA DE ESTUDO	35
5.2	IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
5.3	CONSTRUÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DO TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
5.4	REDE DE DRENAGEM DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
5.5	ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
5.6	BANCO DE DADOS DIGITAL DE ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS OBTIDOS EM SONDAgens SPT.....	52
5.7	RELAÇÃO DA ESCALA DE TRABALHO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E A MALHA DE AMOSTRAGEM.....	56
5.8	AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO E ENSAIOS REALIZADOS NA FASE DE EXPLORAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS	63
5.9	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	66
5.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS, OBTIDOS NA ÁREA DE ESTUDO.....	69

5.5.1	Estatística descritiva do atributo resistência a penetração do cone panda Qd ...	70
5.5.2	Estatística descritiva do atributo resistência a penetração N _{spt}	75
5.5.3	Estatística descritiva do atributo peso específico seco (kgf/m ³)	80
5.5.4	Estatística descritiva da profundidade do nível d'água.....	85
5.5.5	Estatística descritiva dos atributos fração areia fina, silte e argila.....	90
5.5.6	Estatística descritiva do atributo umidade natural dos solos.....	99
5.5.7	Estatística descritiva do atributo peso específico real dos grãos.....	104
5.5.8	Estatística descritiva do atributo umidade higroscópica dos solos.	109
5.5.9	Estatística descritiva dos atributos limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade	114
5.5.10	Estatística descritiva do atributo tangente de alfa	122
5.5.11	Estatística descritiva do atributo tangente de beta.	126
5.5.12	Estatística descritiva do atributo índice de atividade dos solos.	130
5.5.13	Estatística descritiva do atributo índice de consistência dos solos.....	134
5.5.14	Estatística descritiva do atributo índice de liquidez dos solos	138
5.5.15	Estatística descritiva do atributo cor do solo.....	143
5.5.16	Gráficos de dispersão dos atributos.....	144
5.11	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA COM KRIGAGEM ORDINÁRIA NO CASO ANISOTRÓPICO.....	154
5.11.1	Análise geoestatística do atributo resistência a penetração do cone panda Qd. 155	
5.11.2	Análise geoestatística do atributo resistência a penetração do N _{spt}	160
5.11.3	Análise geoestatística dos atributos fração areia fina, silte e argila	165
5.11.4	Análise geoestatística do atributo peso específico seco do solo	176
5.11.5	Análise geoestatística da profundidade do nível d'água	180
5.11.6	Análise geoestatística do atributo umidade natural dos solos	184
5.11.7	Análise geoestatística do atributo índice de consistência dos solos.....	188
5.11.8	Análise geoestatística do atributo peso específico real dos grãos	192

5.11.9	Análise geoestatística do atributo umidade higroscópica dos solos.....	196
5.11.10	Análise geoestatística do atributo limite de liquidez	200
5.11.11	Análise geoestatística do atributo limite de plasticidade.....	204
5.11.12	Análise geoestatística do atributo índice de plasticidade	208
5.11.13	Análise geoestatística do atributo tangente de alfa.....	212
5.11.14	Análise geoestatística do atributo tangente de beta	216
5.11.15	Análise geoestatística do atributo índice de atividade.....	220
5.11.16	Análise geoestatística do atributo índice liquidez	224
5.12	ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COM ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	228
5.12.1	Análise de componentes principais da matriz de atributos geotécnicos da unidade geológica Aluvião.	239
5.13	ANÁLISE MULTICRITÉRIO COM TÉCNICA AHP.....	242
5.13.1	Análise multicritério: índice AHP para estimativa de capacidade de carga dos solos.	242
5.13.2	Análise multicritério AHP para obtenção de valores de susceptibilidade de deformabilidade e expansividade dos solos.	250
5.13.3	Análise multicritério AHP para obtenção de valores de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais.	257
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	264
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	266
	ANEXO.....	274

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Feições principais do semivariograma	10
Figura 2 – Detecção de anisotropia do atributo estudado, no software SPRING, através semivariograma de superfície (CAMARGO e FELGUEIRAS, 2015).	11
Figura 3 - Limites de Atterberg (DAS e SOBHAN, 2014)	18
Figura 4 - Reta de fluidez para determinação da tangente de alfa e tangente de beta, (a) apresenta o gráfico, para obtenção da tangente de alfa, com teor de umidade no eixo da ordenadas e logaritmo de N no eixo das abscissas, (b) apresenta o gráfico, para obtenção da tangente de beta, o logaritmo do teor de umidade no eixo das ordenadas e logaritmo de N no eixo das abscissas.	19
Figura 5 - Gráfico estimando proporções de mosqueados e fragmentos grosseiros (MUNSELL, 2013).....	23
Figura 6 - Carta do estado do Acre com limites municipais	26
Figura 7 - Carta de localização do perímetro urbano, no município de Rio Branco, Acre (área de estudo)	27
Figura 8 – Bacia do rio Acre, em destaque as microbacias a montante de Rio Branco. Imagem topográfica (SRTM) com altitudes em metros (DUARTE, 2013)	27
Figura 9 - Carta do perímetro urbano da cidade de Rio Branco e APA's Raimundo Irineu Serra e Lago do Amapá	28
Figura 10 - Carta geológica da cidade de Rio Branco – AC (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006)	30
Figura 11 - Afloramento de siltito castanho claro intercalado por camadas centimétricas de areia fina. Detalhe da presença de material orgânico (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).....	31
Figura 12 - Afloramento, na calha do Rio Acre, de argilito bruno estratificado da Formação Solimões (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).	31
Figura 13 - Aluviões, banco de areia depositado na calha do rio Acre, na área urbana da cidade de Rio Branco (MELO e MARMOS, 2006).	31
Figura 14 – Aluviões e terraços fluviais as margens do rio Acre (adaptado de LATRUBESSE, 1996 apud FERES, 1998).....	33
Figura 15 - Fluxograma de trabalho para a pesquisa	34
Figura 16 - Composição do Sistema LIDAR (Aeroimagem, 2016).....	36
Figura 17 - Sensor ADS-80, da fabricante Suíça Leica Geosystem, utilizado na área de estudo, pela empresa Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevantamento (AEROIMAGEM, 2016)..	37

Figura 18 – a) Imagem obtida com sensor ADS-80 aerotransportado, na área de estudo, com resolução de pixel de 15cm, data da imagem janeiro de 2014. b) Imagem obtida com satélite Quickbird, disponível no Google Earth Pro, com resolução de pixel de 60cm, data da imagem fevereiro de 2014.....	37
Figura 19 - Carta imagem da área de estudo	38
Figura 20 - Grade retangular gerada com interpolador linear	39
Figura 21 - Carta da rede de drenagem da cidade de Rio Branco - Acre, área de estudo.	43
Figura 22 - Modelo tridimensional da área de estudo, com ampliação vertical.....	44
Figura 23 - Carta hipsométrica da área de estudo	45
Figura 24 - Carta de relevo sombreado da área de estudo	46
Figura 25 - Carta de classes de relevo em função da declividade	47
Figura 26 - Carta curvatura perfil.....	48
Figura 27 - Carta curvatura plana.....	49
Figura 28 - Orientação de vertentes baseada em curvas de nível (Florenzano, 2011).	50
Figura 29 - Gráfico de percentual de orientação de vertentes na área de estudo.	50
Figura 30 - Carta de orientação de vertentes.....	51
Figura 31 - Carta de localização das sondagens SPT na área de estudo	53
Figura 32 - Interface gráfica no Microsoft Excel do banco de dados de sondagens SPT	54
Figura 33 - Matriz de atributos geotécnicos obtidos de sondagens SPT na área de estudo.	55
Figura 34 - Perfil de sondagem SPT realizada na área de estudo.	55
Figura 35 - Gráfico de tendência crescente na escala bi logarítmica da relação da escala de trabalho em função da área de influência da investigação (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).	60
Figura 36 - Gráfico de tendência crescente na escala bi logarítmica da relação da escala de trabalho em função da área de influência da investigação (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).	61
Figura 37 - Relação da escala de trabalho em função da área de influência da investigação e variabilidade do atributo (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).	62
Figura 38 - Carta malha de amostragem sistemática da área de estudo na escala de trabalho 1:25.000.....	64
Figura 39 – Ensaio de campo, (a) Ensaio de penetração do cone Panda, realizado até 4 metros de profundidade, (b) Furo a trado manual com 10 centímetros de diâmetro até 4 metros de profundidade, (c) Medida inicial com trado seco e medida final com trado cheio, para estimativa de volume escavado a cada metro perfurado, (d) Armazenagem com filme plástico PVC de solo	

com umidade natural preservada, nas profundidades 0,5m, 1,5m, 2,5m e 3,5m de cada furo, (e) Armazenagem e identificação (número do furo, profundidade e data da amostragem) das 4 amostras por furo, respectivamente 1m, 2m, 3m e 4m.	65
Figura 40 - Carta de localização das amostras para ensaio de difração de raios X.....	68
Figura 41 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo resistência a penetração do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3. ..	72
Figura 42 - Histograma do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	74
Figura 43 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo resistência a penetração Nspt (golpes), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	77
Figura 44 - Histograma do atributo resistência a penetração Nspt, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	79
Figura 45 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo peso específico seco do solo (kgf/m ³), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	82
Figura 46 - Histograma do atributo peso específico seco do solo (kgf/m ³), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	84
Figura 47 - Resumo gráfico das medidas estatísticas da profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	87
Figura 48 - Histograma da profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	89
Figura 49 - Resumo gráfico das medidas estatísticas dos atributos frações constituintes dos solos para as 416 amostras, coletadas em toda a área de estudo.	90
Figura 50 - Resumo gráfico das medidas estatísticas dos atributos fração areia fina, silte e argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	92
Figura 51 – Histogramas dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 1.....	94
Figura 52 - Histogramas dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 2.....	96
Figura 53 - Histogramas dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 3.....	98
Figura 54 – Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	101
Figura 55 - Histograma do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	103

Figura 56 - Resumo gráfico das medidas estatísticas atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	106
Figura 57 - Histograma do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	108
Figura 58 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	111
Figura 59 - Histograma do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	113
Figura 60 - Resumo gráfico das medidas estatísticas dos atributos limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	116
Figura 61 - Histograma do atributo limite de liquidez, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	119
Figura 62 - Histograma do atributo limite de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	120
Figura 63 - Histograma do atributo índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	121
Figura 64 - Histograma das medidas estatísticas do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	123
Figura 65 - Histograma do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	125
Figura 66 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	127
Figura 67 - Histograma do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	129
Figura 68 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	131
Figura 69 - Histograma do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	133
Figura 70 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	135
Figura 71 - Histograma do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	137

Figura 72 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	140
Figura 73 - Histograma do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	142
Figura 74 - Gráfico de cores predominantes nas amostras, sem levar em conta as proporções de mosqueados.	143
Figura 75 - Gráfico das principais combinações de cores identificadas nas amostras mosqueadas	144
Figura 76 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus fração areia fina, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	146
Figura 77 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus fração silte, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	147
Figura 78 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus fração argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	148
Figura 79 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	149
Figura 80 - Gráfico de dispersão do atributo fração argila versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	150
Figura 81 - Gráfico de dispersão do atributo índice de atividade dos solos versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	151
Figura 82 - Gráfico de dispersão do atributo índice de plasticidade versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	152
Figura 83 - Gráfico de dispersão do atributo limite de liquidez versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	153
Figura 84 - Detecção de anisotropia pelo semivariograma de superfície do atributo resistência a penetração do cone panda, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	155
Figura 85 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo resistência a penetração do cone panda, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	156
Figura 86 - Carta classes de resistência a penetração do cone panda Qd (MPa), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1)	157
Figura 87 - Carta classes de resistência a penetração do cone panda Qd (MPa), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	158

Figura 88 - Carta classes de resistência a penetração do cone panda Qd (MPa), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).....	159
Figura 89 - Detecção de anisotropia pelo semivariograma de superfície do atributo resistência a penetração do Nspt, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3. ..	160
Figura 90 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo resistência a penetração Nspt, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	161
Figura 91 - Carta classes de resistência a penetração Nspt (golpes), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	162
Figura 92 - Carta classes de resistência a penetração Nspt (golpes), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	163
Figura 93 - Carta classes de resistência a penetração Nspt (golpes), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	164
Figura 94 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo fração areia fina, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	165
Figura 95 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo fração silte, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	165
Figura 96 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo fração argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	166
Figura 97 – Carta classes do atributo fração areia fina (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	167
Figura 98 - Carta classes do atributo fração silte (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	168
Figura 99 - Carta classes do atributo fração argila (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	169
Figura 100 - Carta classes do atributo fração areia fina (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	170
Figura 101 - Carta classes do atributo fração silte (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	171
Figura 102 - Carta classes do atributo fração argila (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	172

Figura 103 - Carta classes do atributo fração areia fina (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).....	173
Figura 104 - Carta classes do atributo fração silte (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	174
Figura 105 - Carta classes do atributo fração argila (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	175
Figura 106 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo peso específico seco do solo, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	176
Figura 107 - Carta classes do atributo peso específico seco do solo ((kgf/m ³), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	177
Figura 108 - Carta classes do atributo peso específico seco do solo (kgf/m ³), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	178
Figura 109 - Carta classes do atributo peso específico seco do solo (kgf/m ³), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	179
Figura 110 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção, da profundidade do nível d'água, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	180
Figura 111 - Carta classes da profundidade do nível d'água (m), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	181
Figura 112 - Carta classes da profundidade do nível d'água (m), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	182
Figura 113 - Carta classes da profundidade do nível d'água no solo (m), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	183
Figura 114 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	184
Figura 115 - Carta classes do atributo umidade natural dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	185
Figura 116 - Carta classes do atributo umidade natural dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	186
Figura 117 - Carta classes do atributo umidade natural dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	187

Figura 118 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	188
Figura 119 - Carta classes do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	189
Figura 120 - Carta classes do atributo índice de peso específico seco do solo (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	190
Figura 121 - Carta classes do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	191
Figura 122 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	192
Figura 123 - Carta classes do atributo peso específico real dos grãos (g/cm ³), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	193
Figura 124 - Carta classes do atributo peso específico real dos grãos (g/cm ³), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	194
Figura 125 - Carta classes do atributo peso específico real dos grãos (g/cm ³), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	195
Figura 126 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	196
Figura 127 - Carta classes do atributo umidade higroscópica dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	197
Figura 128 - Carta classes do atributo umidade higroscópica dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	198
Figura 129 - Carta classes do atributo umidade higroscópica dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	199
Figura 130 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo limite de liquidez, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	200
Figura 131 - Carta classes do atributo limite de liquidez dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	201
Figura 132 - Carta classes do atributo limite de liquidez dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	202

Figura 133 - Carta classes do atributo limite de liquidez dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	203
Figura 134 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo limite de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	204
Figura 135 - Carta classes do atributo limite de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	205
Figura 136 - Carta classes do atributo limite de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	206
Figura 137 - Carta classes do atributo limite de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	207
Figura 138 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	208
Figura 139 - Carta classes do atributo índice de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	209
Figura 140 - Carta classes do atributo índice de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	210
Figura 141 - Carta classes do atributo índice de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	211
Figura 142 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	212
Figura 143 - Carta classes do atributo tangente de alfa (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	213
Figura 144 - Carta classes do atributo tangente de alfa (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	214
Figura 145 - Carta classes do atributo tangente de alfa (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	215
Figura 146 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	216
Figura 147 - Carta classes do atributo tangente de beta (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).....	217

Figura 148 - Carta classes do atributo tangente de beta (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	218
Figura 149 - Carta classes do atributo tangente de beta dos solos (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).....	219
Figura 150 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	220
Figura 151 - Carta classes do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	221
Figura 152 - Carta classes do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	222
Figura 153 - Carta classes do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).....	223
Figura 154 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de liquidez, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	224
Figura 155 - Carta classes do atributo índice de liquidez (adimensional),	225
Figura 156 - Carta classes do atributo índice de liquidez (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).....	226
Figura 157 - Carta classes do atributo índice de liquidez (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	227
Figura 158 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 1.....	234
Figura 159 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 2.....	234
Figura 160 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 3. Tabela 65 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 1.....	235

Figura 161 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos, amostras obtidas na área 1.....	238
Figura 162 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos, amostras obtidas na área 2.....	238
Figura 163 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos, amostras obtidas na área 3.....	239
Figura 164 – Localização dos furos de sondagem pertencentes a unidade geológica Aluvião.	241
Figura 165 - Resultado Gráfico Biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre os atributos e as componentes PC1 e PC2 da unidade geológica Aluvião..	242
Figura 166 - Critério de importância relativa entre os atributos e razão de consistência para valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	243
Figura 167 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).....	244
Figura 168 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos da unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).....	245
Figura 169 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3).....	246
Figura 170 - Carta de capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone Panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).	247
Figura 171 - Carta de capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone Panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).	248

Figura 172 - Carta de capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone Panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	249
Figura 173 - Critério de importância relativa entre os atributos e razão de consistência para valores AHP de susceptibilidade de deformabilidade e expansividade dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	250
Figura 174 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade e expansividade dos solos, na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	251
Figura 175 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade e expansividade dos solos, na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	252
Figura 176 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade e expansividade dos solos, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distrito urbano (área 3).	253
Figura 177 - Carta classes de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano (área 1).	254
Figura 178 - Carta classes de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, na unidade geológica Formação Solimões no 2° distrito urbano (área 2).	255
Figura 179 - Carta classes de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).	256
Figura 180 - Critério de importância relativa entre os valores AHP de capacidade de carga dos solos (invertidos), valores AHP de susceptibilidade à deformabilidade/expansividade dos solos e declividade do terreno, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	257

Figura 181 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).	258
Figura 182 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).	259
Figura 183 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3).	260
Figura 184 - Carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir do índice AHP de capacidade de carga (inversos), índice AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).	261
Figura 185 - Carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir do índice AHP de capacidade de carga (invertidos), índice AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).	262
Figura 186 - Carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir do índice AHP de capacidade de carga (invertidos), índice AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).	263
Figura 187 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 1 metro), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	275
Figura 188 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	275
Figura 189 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	276
Figura 190 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	276
Figura 191 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 32 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	277
Figura 192 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 32 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	277

Figura 193 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 32 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	278
Figura 194 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 32 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	278
Figura 195 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 36 na profundidade 1 metro), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	279
Figura 196 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 36 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	279
Figura 197 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 36 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	280
Figura 198 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 36 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.	280
Figura 199 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 62 na profundidade 1 metro), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2º distrito urbano.	281
Figura 200 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 62 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2º distrito urbano.	281
Figura 201 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 62 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2º distrito urbano.	282
Figura 202 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 62 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2º distrito urbano.	282

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de valores para comparação pareada, segundo Satty (1980).....	13
Tabela 2 - Classificação dos solos com base no índice de plasticidade (IAEG, 1979).....	20
Tabela 3 - Classificação dos solos em função do índice de consistência (ABNT - NBR 6502)	21
Tabela 4 - Classificação dos solos em função do índice de atividade (SKEMPTON, 1953) ..	21
Tabela 5 -Diferentes propostas, segundo vários autores, apresentando: escala de trabalho, área de influência das sondagens (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).....	59
Tabela 6 - Ensaio realizados na fase de exploração na área de estudo.....	65
Tabela 7 – Minerais presentes nas amostras de solo, analisadas por difração de raios X.....	66
Tabela 8 - Resumo das medidas estatísticas do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3	71
Tabela 9 - Distribuição de frequência do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	73
Tabela 10 - Resumo das medidas estatísticas do atributo resistência a penetração Nspt (golpes), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	76
Tabela 11 - Distribuição de frequência do atributo resistência a penetração Nspt (golpes), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	78
Tabela 12 - Resumo das medidas estatísticas do atributo peso específico seco (kgf/m^3), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	81
Tabela 13 - Distribuição de frequência do atributo peso específico seco do solo (kgf/m^3), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3	83
Tabela 14 - Resumo das medidas estatísticas do atributo profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	86
Tabela 15 - Distribuição de frequência da profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	88
Tabela 16 - Resumo das medidas estatísticas dos atributos fração areia fina, silte e argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3	91
Tabela 17- Distribuição de frequência dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 1.....	93
Tabela 18 - Distribuição de frequência dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 2.....	95

Tabela 19 - Distribuição de frequência dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 3.....	97
Tabela 20 - Resumo das medidas estatísticas do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	100
Tabela 21 – Distribuição de frequência do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	102
Tabela 22 - Resumo das medidas estatísticas do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	105
Tabela 23 - Distribuição de frequência do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	107
Tabela 24 - Resumo das medidas estatísticas do atributo do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	110
Tabela 25 - Distribuição de frequência do atributo do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	112
Tabela 26 - Resumo das medidas estatísticas dos atributos limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	115
Tabela 27 - Distribuição de frequência dos atributos limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade (a), (b) e (c) obtidos na área 1, (d), (e) e (f) obtidos na área 2, e (g), (h) e (i) obtidos na área 3.....	117
Tabela 28 - Resumo das medidas estatísticas do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	122
Tabela 29 - Distribuição de frequência do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	124
Tabela 30 - Resumo das medidas estatísticas do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	126
Tabela 31 - Histograma do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	128
Tabela 32 - Resumo das medidas estatísticas do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.....	130
Tabela 33 - Distribuição de frequência do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	132
Tabela 34 - Resumo das medidas estatísticas do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	134

Tabela 35 - Distribuição de frequência do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	136
Tabela 36 - Resumo das medidas estatísticas do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	139
Tabela 37 - Distribuição de frequência do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.	141
Tabela 38 – Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo resistência a penetração do cone panda Qd.	156
Tabela 39 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado para o atributo resistência a penetração do N _{spt}	161
Tabela 40 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo fração areia fina.	166
Tabela 41 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo fração silte.	166
Tabela 42 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo fração argila.	166
Tabela 43 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo peso específico seco do solo.	176
Tabela 44 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para a profundidade do nível d'água.	180
Tabela 45 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo umidade natural dos solos.	184
Tabela 46 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de consistência dos solos.	188

Tabela 47 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo peso específico real dos grãos.	192
Tabela 48 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo umidade higroscópica dos solos.	196
Tabela 49 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de liquidez.	200
Tabela 50 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de plasticidade dos solos.	204
Tabela 51 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de plasticidade dos solos.	208
Tabela 52 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo tangente de alfa.	212
Tabela 53 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo tangente de beta.	216
Tabela 54 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de atividade.	220
Tabela 55 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de liquidez.	224
Tabela 56 - Matriz de atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre (área 1).	231
Tabela 57 - Matriz de atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre (área 2).	232

Tabela 58 - Matriz de atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre (área 3).....	232
Tabela 59 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na área 1.	233
Tabela 60 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na área 2.	233
Tabela 61 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na área 3.	233
Tabela 62 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos para área 1.	233
Tabela 63 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos para área 2.	233
Tabela 64 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos para área 3.	233
Figura 160 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 3.	
Tabela 65 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 1.....	235
Tabela 66 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 2.	236
Tabela 67 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 3.	236
Tabela 68 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 1.	236
Tabela 69 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 2.	237
Tabela 70 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 3.	237

Tabela 71 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 1.....	237
Tabela 72 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 2.....	237
Tabela 73 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 3.....	237
Tabela 74 - Valores de média dos atributos da unidade geológica Aluvião.	240
Tabela 75 - Matriz de autovalores com peso da variabilidade das componentes principais da unidade geológica Aluvião.....	240
Tabela 76 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos nos componentes principais da unidade geológica Aluvião.....	240
Tabela 77 - Matriz de atributos obtidos na área 1 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.	283
Tabela 78 - Matriz de atributos, obtidos na área 2 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.	283
Tabela 79 - Matriz de atributos obtidos na área 3 de estudo, unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.	284
Tabela 80 - Matriz do atributo número de golpes Nspt, obtidos na área 1 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.....	285
Tabela 81 - Matriz do atributo número de golpes Nspt obtidos na área 2 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.....	289
Tabela 82 - Matriz do atributo número de golpes Nspt obtidos na área 3 de estudo, unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.....	290

1. INTRODUÇÃO

Nos subitens do capítulo 1, serão apresentados os seguintes itens: apresentação, motivação, importância, caráter, definição, objetivo geral e específicos da pesquisa.

1.1 APRESENTAÇÃO

Desde que o homem começou a construir sua moradia, utiliza o solo como elemento de suporte das fundações e, conseqüentemente, das suas construções.

As informações geotécnicas do subsolo de determinada região podem proporcionar informações para as obras de engenharia. São inúmeras as questões que surgem com a implantação de obras que solicitam hidráulica e mecanicamente os solos.

Os conhecimentos científicos adquiridos sobre o comportamento dos solos, os métodos racionais, as relações empíricas, mostram a preocupação em busca de soluções para as obras geotécnicas.

Os métodos de exploração do subsolo estão evoluindo para técnicas mais modernas, e a possibilidade de se fazer um cadastro das informações desses ensaios, localizando geograficamente, pode-se tirar proveito ainda maior deste recurso, permitindo a análise espacial de uma área. Toda a quantidade e diversidade de dados produzidos são arquivados em banco digitais de dados. Para que forneçam informações e deem suporte a conclusões confiáveis, eles necessitam ser tratados por meio de técnicas estatísticas.

A metodologia proposta neste trabalho para definir as unidades geotécnicas considera uma abordagem com uso de estatística descritiva, geoestatística com krigagem ordinária no caso anisotrópico, estatística multivariada com análise de componentes principais e análise multicritério AHP, aplicados nas matrizes de atributos geotécnicos e geomorfológicos, para elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao uso de fundações superficiais, considerando o ambiente geológico e geomorfológico para caracterizar o subsolo da área de estudo.

Também é apresentada uma proposta que relaciona a escala de trabalho do mapeamento geotécnico com a quantificação de pontos de amostragem.

Este trabalho de pesquisa tem como hipótese ser possível conceber um mapeamento geotécnico, utilizando um banco de dados de atributos geotécnicos, geológicos e geomorfológicos, manipulados em um sistema de informações geográficas (SIG), apoiado em diferentes análises estatísticas consagradas, objetivando um conhecimento mais detalhado da variabilidade desses atributos. Este mapeamento, além de auxiliar no planejamento da ocupação urbana, serve como informação adicional no planejamento e levantamento preliminar para escolha do tipo de fundação a ser utilizada na área de estudo.

1.2 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

A cidade de Rio Branco, como a maioria das cidades da Amazônia, possui espaço para ampliar seus limites, por isso torna-se espontaneamente horizontal. A maior parte das edificações são executadas com fundações do tipo superficiais, e estão construídas em diferentes unidades geológicas, geomorfológicas e geotécnicas, abrangendo grandes regiões da cidade.

A Amazônia, devido a sua posição geográfica e seu tamanho, apresenta unidades geotécnicas de solo, cujo comportamento, por vezes, difere dos solos descritos nas bibliografias usuais de geotecnia. A maioria dessas unidades geotécnicas, especialmente no estado do Acre, é formada por solos oriundos de rochas sedimentares, parcialmente saturados, com presença de argilominerais expansivos, proporcionando um comportamento ainda pouco estudado.

A cartografia geotécnica, nos últimos anos, tornou-se uma ferramenta importante para temas relacionados ao planejamento urbano e regional.

Um problema que se apresenta na cartografia geotécnica é definir qual a seleção de ensaios (campo e laboratório) e a quantidade para aquisição dos atributos do solo, respeitando o objetivo e escala das cartas geotécnicas. Atualmente, existem diferentes propostas de relações entre escala de trabalho e quantidade de pontos de amostragem.

Uma parte da resposta para o problema acima mencionado resulta da utilização de diferentes técnicas de análises estatísticas de atributos geotécnicos e geomorfológicos, aplicada na área de estudo. Nesse contexto, a cidade de Rio Branco apresenta abundância de terrenos baldios, que são locais utilizados para execução de ensaios de campo, um extenso arquivo de laudos geotécnicos sobre o meio físico, pertencentes a empresas locais de sondagem a percussão. Esse cenário motivou a realização da presente pesquisa na área urbana na cidade.

Outra questão de interesse pela área de estudo escolhida também está no fato de Rio Branco configurar-se como uma cidade relativamente nova, com um rápido processo de expansão urbana, apresentando problemas relativos à ocupação desordenada de determinadas feições de relevo. Dentre esses problemas estão aqueles que se referem à ocupação inadequada de fundos de vale, a aceleração e deflagração de processos erosivos, movimentos de massas, e recalques por adensamento e por expansão dos solos destacados nos trabalhos de Feres (1998), Hid (2000), Borges (2007) e Nascimento (2016).

1.3 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Estudos de grandes áreas na Amazônia Ocidental, em especial no estado do Acre, com informações de levantamentos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos, devidamente interpretados, são considerados de aplicação na geotecnia cartográfica.

Os bancos de dados digitais que cruzam informações do solo acerca de seus atributos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos são comuns na cartografia geotécnica, porém, existem poucos bancos de dados de ensaios disponíveis para a Amazônia Ocidental.

As informações das cartas geológicas, associadas as cartas geomorfológicas e geotécnicas, completam o quadro em que se estabelecem “zonas geotécnicas” que tenha por finalidade subsidiar decisões sobre planejamentos de ocupações urbanas. Além disso, a sistematização de uma metodologia para cartografia geotécnica aplicada aos solos da Amazônia Ocidental, por exemplo, nas cidades da bacia do rio Acre, permite que estudos sejam realizados por equipes multidisciplinares, visando à implementação da mais adequada forma de uso ou ocupação para determinadas áreas.

1.4 CARÁTER DA PESQUISA

A pesquisa pode ser considerada como exploratória, pois visa familiarizar-se com as características geotécnicas dos solos na cidade de Rio Branco, inserida na bacia hidrográfica do rio Acre, que é uma região do país, cientificamente comparando, ainda pouco conhecida, pouco explorada, gerando e aprofundando o conhecimento da realidade. Do ponto de vista da sua natureza, a pesquisa é considerada aplicada, dirigida à solução de problemas específicos de cartografia geotécnica. Sob a forma de abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa na fase de tratamento estatístico dos atributos obtidos na fase exploratória, com levantamento topográfico, imagens de alta resolução, ensaios de campo e laboratório com amostras georreferenciadas.

1.5 DEFINIÇÃO DA PESQUISA

A definição da pesquisa visa estabelecer quais assuntos principais serão abordados: mapeamento geotécnico, estatística descritiva, geoestatística com krigagem ordinária aplicada ao caso anisotrópico, estatística multivariada com análise de componentes principais e análise multicritério com técnica AHP (análise hierárquica de processos). Define também os limites da área de estudo, separadas por unidades geológicas distintas. As análises utilizadas consideram o objeto, a escala, a malha de amostragem, a representatividade de maneira mais completa das variabilidades dos atributos geotécnicos e geomorfológicos da área de estudo.

1.6 OBJETIVO DA PESQUISA

1.6.1 Objetivo geral

O objetivo geral é a cartografia geotécnica apoiada em diferentes técnicas de análises estatísticas, aplicada na área de estudo, que compreende o perímetro urbano da cidade de Rio Branco, capital do Acre. Este trabalho pretende aplicar o uso da estatística descritiva, geoestatística por krigagem ordinária no caso anisotrópico, estatística multivariada com análise das componentes principais e análise de multicritério com técnica AHP, para análises dos atributos, considerando as quantidades de pontos de amostragem. De forma, que melhor represente a variabilidade dos atributos, permitindo produzir cartas geotécnicas, que visam otimizar procedimentos de investigação detalhada para planejamento das ocupações das cidades, especialmente as localizadas na bacia hidrográfica do rio Acre. A partir de levantamentos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos na área de estudo, pretende-se qualificar, quantificar e espacializar as variações dos solos e de seus atributos geotécnicos, permitindo agregar unidades geotécnicas em parcelas mais homogêneas, que representem menor variabilidade, em função dos atributos de classificação e das características utilizadas para distinção dos solos.

1.6.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa, resumidamente, são listados a seguir: 1) Realizar investigação de referências bibliográficas de estudos geotécnicos, geológicos, e geomorfológicos disponíveis para a cidade de Rio Branco (área de estudo); 2) Delimitar a área de estudo; 3) Elaborar um modelo numérico do terreno da área de estudo; 4) Elaborar um mapeamento da rede de drenagem da área de estudo; 5) Realizar um mapeamento das feições geomorfológicas da área de estudo; 6) Analisar diferentes propostas de autores que tratam da relação escala de trabalho e pontos de amostragem, para então determinar um padrão de correlação entre as propostas; 7) Planejar a malha de amostragem, para a área de estudo delimitada, em função da relação escala de trabalho e pontos de amostragem; 8) Montar um banco de dados digitais de atributos geotécnicos para a área de estudo, a partir de ensaios de campo e laboratório; 9) Realizar um mapeamento geotécnico da área de estudo utilizando estatística descritiva, geoestatísticas com krigagem ordinária no caso anisotrópico, estatística multivariada com análise dos componentes principais, e análise de multicritério com técnica AHP; 10) Elaboração de diferentes cartas para a área de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos subitens do capítulo 2, será apresentado uma breve revisão bibliográfica dos principais conceitos e temas abordados nessa pesquisa.

2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os autores Andrade e Ogliari (2013) afirmam que qualquer trabalho de análise estatística inicia com a análise descritiva de dados, com o objetivo de obter conhecimento sobre eles. Em muitos casos, com uma boa análise descritiva de dados, atende-se os objetivos da pesquisa (principalmente em estudos realizados através de levantamentos), enquanto em outros, ela serve como uma primeira aproximação da análise final.

Segundo Andrade e Ogliari (2013) a estatística descritiva trata da organização, apresentação, resumo e exploração dos dados, a qual permite que o pesquisador adquira um bom conhecimento e senso crítico sobre os dados observados, ajudando-o a responder os objetivos de uma pesquisa.

A estatística descritiva, segundo Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários.

Ou ainda, segundo Fonseca e Martins (1996), a estatística descritiva se constitui num conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma amostra.

Segundo Runger e Montgomery (2012) estatística descritiva é organizar e resumir os dados em maneiras que facilitem sua interpretação e análise subsequente.

Vale aqui definir o que é população e amostra. Segundo Fonseca e Martins (1996), população é um conjunto de indivíduos ou atributos que apresentam pelo menos uma característica em comum. A população pode ser finita ou infinita. Na prática, quando uma população é finita, com um número grande de elementos, considera-se como população infinita. Considerando-se a impossibilidade, na maioria das vezes, do tratamento de todos os elementos da população, retira-se a amostra, escolhida de conformidade com algum critério de amostragem.

Segundo Field (2009) amostra é definida como a coleta de um pequeno subconjunto de uma população, o qual é utilizada as informações para aferir coisas sobre toda a população.

As ferramentas mais utilizadas, nesta pesquisa, para a estatística descritiva dos atributos são as tabelas de distribuição de frequência, os gráficos tipo histograma, as medidas de tendência central e as medidas de dispersão.

A distribuição de frequência, segundo Andrade e Ogliari (2013), é a correspondência entre as categorias ou valores de um atributo e as respectivas frequências observadas.

Uma maneira de organizar os dados são as distribuições de frequências. O estudo destas distribuições nos permite conhecer a forma, a maneira como os valores de um atributo se comporta. Assim, é possível ter uma ideia global dos valores. Uma distribuição de frequências pode ser representada em forma de tabela ou gráfico (ANDRADE e OGLIARI, 2013).

A forma mais usual, segundo Andriotti (2013), de representação gráfica de dados amostrais é o histograma. Há dois tipos de histograma utilizados: o simples e o acumulado. Histograma é uma figura que consiste em um grupo de retângulos que tem por base o eixo das abscissas e por ponto médio o valor central do intervalo de classe. Se todos esses intervalos forem iguais, o que é indicado para evitar correções, as alturas desses retângulos serão proporcionais às frequências de classe e se tomam as alturas como iguais às frequências.

As medidas que possibilitam representar um conjunto de dados relativos à observação de determinado fenômeno de forma resumida, são as medidas de tendência central. Segundo Andrade e Ogliari (2013), as medidas de tendência central mais utilizadas para resumir um conjunto de dados são a média aritmética e a mediana.

Os autores Andriotti (2013) e Andrade e Ogliari (2013) definem a média aritmética, também referida simplesmente como média, como a soma dos valores numéricos de um atributo (variável) dividido pelo número de valores. A média aritmética é uma medida de fácil compreensão e aplicação, usa todos os valores da amostra, é um valor único e fácil de incluir em fórmulas matemáticas, tendo a desvantagem de ser afetada por valores extremos. Segundo Field (2009), a média é um modelo mais simples em estatística, porque representa um resumo dos dados.

Os autores Rumsey (2012) e Andriotti (2013) definem a mediana como o valor que divide um determinado conjunto ordenado de dados em duas partes iguais, de modo que metade dos dados terá valores inferiores, e metade terá valores superiores à mediana, e no caso de haver número ímpar de dados, a mediana vale exatamente o valor central, desde que os dados estejam ordenados, e se houver quantidade par de dados, a mediana valerá a média aritmética dos dois valores centrais.

A comparação da média com a mediana fornece uma medida da assimetria da distribuição. Em particular, uma média mais elevada que a mediana indica que os valores no topo da distribuição estão muito distantes do centro, em comparação aos valores que estão na parte de baixo da distribuição.

Quando uma medida de tendência central é utilizada para representar um conjunto de dados, é necessário que esta medida seja acompanhada de uma medida de dispersão que resuma a variabilidade dos dados (ANDRADE e OGLIARI, 2013).

As medidas de dispersão, segundo Fonseca e Martins (1996), são medidas estatísticas utilizadas para avaliar o grau de variabilidade dos valores em torno da média, e servem para medir a representatividade da média. Segundo Andrade e Ogliari (2013) uma medida de dispersão quantifica a magnitude da variabilidade dos dados, e para os métodos estatísticos, a medida de dispersão é de fundamental importância, pois a estatística só existe porque os fenômenos têm variabilidade.

Segundo Andrade e Ogliari (2013), as principais medidas de dispersão utilizadas são a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Para o cálculo da variância e do desvio padrão, o princípio básico é analisar os desvios das observações em relação à média aritmética. Em cada caso, o valor zero para a variância ou desvio padrão indica ausência de variação; o valor da medida de dispersão vai aumentando à medida que aumenta a variação.

Segundo Andriotti (2013) a variância dos dados é obtida por meio dos seguintes passos: a) calcular a média aritmética dos dados disponíveis; b) subtrair a média de cada observação, c) obtendo o respectivo desvio; d) elevar ao quadrado todos os desvios obtidos em b); e) somar todos os valores obtidos em c); f) dividir o valor obtido em d) por $(n-1)$, em que n vale o número de observações da amostra.

O desvio padrão, que equivale à raiz quadrada positiva da variância, é a medida que retoma o padrão de mensuração dos dados originais. O coeficiente de variação é a medida que vale o resultado da divisão do desvio padrão pela média aritmética, cujo resultado mostra o quão maior (ou menor) o desvio padrão é da média. Valores elevados (superiores a 1), representam amostras com grande heterogeneidade e valores abaixo de 0,4 refletem homogeneidade da amostra (ANDRIOTTI, 2013).

2.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA COM KRIGAGEM ORDINÁRIA NO CASO ANISOTRÓPICO

O sul-africano Danie Gerhardus Krige, estatístico, engenheiro de minas e professor da Universidade de Witwatersrand da República da África do Sul, iniciou, na década de 1950, a publicação de resultados de seus estudos sobre dados relativos a atividades desenvolvidas em minas de ouro do Rand, na África do Sul. Esses estudos geraram a geoestatística como instrumento de avaliação de jazidas minerais. O engenheiro francês Georges François Paul Marie Matheron em 1965 foi quem primeiro utilizou o termo geoestatística e a noção de variograma, conceito introduzido pela teoria das variáveis regionalizadas. Segundo Matheron,

a geoestatística é a aplicação do formalismo das funções aleatórias ao reconhecimento e à estimação dos fenômenos naturais (ANDRIOTTI, 2013).

Os autores Landim (2002), Yamamoto e Landim (2013) afirmam que o estudo geoestatístico tem como ponto de partida um conjunto de observações que constituem uma amostra. As observações, de natureza quantitativa ou qualitativa, são usadas para inferir os atributos do fenômeno espacial em estudo. Na realidade, o fenômeno espacial desconhecido representa a população da qual uma amostra foi extraída.

O fenômeno espacial é o conjunto de todos os valores possíveis do atributo de interesse, que define a distribuição e variabilidade espaciais desse atributo dentro de um dado domínio em 2D ou 3D (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

A geoestatística, segundo Landim (2002) e Andriotti (2013), trata as variáveis (atributos) como regionalizadas, podendo mesmo ser considerada uma aplicação prática da teoria das variáveis regionalizadas. Um ponto importante a ser destacado nessa teoria é a importância dada as relações espaciais existentes entre as observações que compõem uma amostra. A geoestatística possibilita, também, a quantificação dos erros cometidos nas avaliações, e não faz todo o tratamento de dados de forma integrada: é preciso parar no fim de cada etapa e selecionar, interpretar, também não cria dados, apenas trata as informações disponíveis.

De acordo com Camargo e Felgueiras (2015) a modelagem geoestatística envolve algumas etapas:

- análise: objetiva descrever a variabilidade espacial do fenômeno em estudo, denominada de análise estrutural ou modelagem do semivariograma;
- inferência: objetiva estimar valores de uma variável distribuída no espaço em locais não amostrados, denominada de krigagem;
- simulação: objetiva construir um conjunto de realizações equiprováveis ou igualmente representativas do fenômeno em estudo.

As vantagens reconhecidas da geoestatística sobre outras técnicas convencionais de predição, segundo Andriotti (2013) são as seguintes:

- o estudo da variabilidade espacial (a análise de um variograma é uma técnica disponível para medir a variabilidade espacial de uma variável regionalizada);
- a suavização (a estimação geoestatística suaviza ou faz a regressão de valores preditos, baseada na proporção da variabilidade total da amostra levada em conta pelas variações aleatórias; quanto maior for a variabilidade da amostra, menos as observações

individuais representam a sua vizinhança imediata e mais elas são suavizadas, com maior incerteza associada);

- o desagrupamento (ou efeito de anular as concentrações localizadas de observações);
- a determinação da anisotropia (os comportamentos da variabilidade nas diferentes direções são considerados);
- a precisão (a krigagem fornece valores precisos sobre as áreas ou pontos a serem avaliados);
- a incerteza (estimativa obtida por meio da krigagem associa a margem de erro que acompanha à estimativa).

A krigagem ordinária é um método local de estimativa e, dessa forma, a estimativa em um ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima (ANDRIOTTI, 2013).

O variograma é uma função intrínseca que reflete a estrutura do fenômeno estudado, medindo as relações estatísticas, pelas covariâncias, que existem entre as amostras espaçadas de sucessivos valores de h (distância que separa os pontos de amostragem). É uma função crescente com h até um determinado valor de h , valor conhecido como amplitude. Define-se variograma, segundo Andriotti (2013), como a variância do erro que se comete ao estimar um teor desconhecido em $(x+h)$ pela ajuda de um ponto dado em (x) ; consideramos o variograma como a variância da estimativa de $t(x+h)$ por $t(x)$.

A Figura 1 apresenta as feições principais do semivariograma: alcance, patamar e efeito pepita.

Alcance de um variograma é a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes, ou seja, a partir da qual a variação média entre duas observações não é mais função da distância entre elas, dando lugar à independência, sem correlações espaciais, objeto da estatística clássica. Em outras palavras, o alcance reflete o grau de homogeneização entre as amostras, ou seja, quanto maior o seu valor, mais homogêneo será o fenômeno ou processo estudado. O alcance do variograma representa a zona de influência de uma observação e separa o campo estruturado, amostras correlacionadas, do campo aleatório, amostras independentes (ANDRIOTTI, 2013).

Patamar de um variograma é o valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza (ANDRIOTTI, 2013).

Se fosse possível coletar duas amostras no mesmo local, ou seja, se h pudesse ser igual a zero, considerando a inexistência de erros de qualquer espécie (de amostragem, analítico ou outro), essas duas amostras deveriam registrar o mesmo valor para qualquer variável que fosse estudada. Na prática, entretanto, isso não é possível; trabalha-se com limites, ou seja, quando a distância entre dois pontos diminui gradativamente tendendo a zero, a descontinuidade que pode ocorrer nesse ponto (a origem do variograma) recebe o nome de efeito pepita (ANDRIOTTI, 2013).

Os autores Yamamoto e Landim (2013) afirmam que o efeito pepita pode ser resultado tanto da variabilidade do fenômeno espacial em estudo como da escala de amostragem.

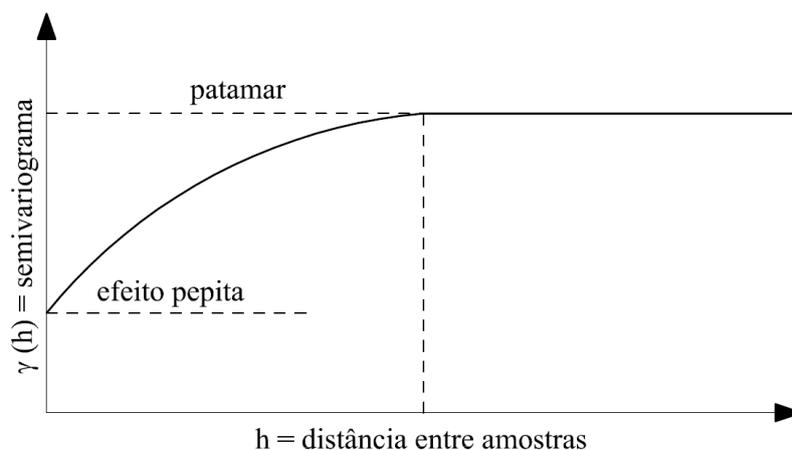


Figura 1 - Feições principais do semivariograma

Os fenômenos espaciais normalmente apresentam anisotropia quando a função variograma muda conforme a direção. Ao detectar a presença de anisotropia, elas devem ser modeladas, ou seja, ajustadas a um modelo teórico único de variograma. Na fase de modelagem, bem como na sua utilização para fins de estimativa e simulação, deve-se considerar a correção da anisotropia. O objetivo correção da anisotropia é a obtenção de um variograma isotrópico único para o modelo de correção espacial, ou seja, um modelo com parâmetros comuns (efeito pepita, variância espacial e amplitude) em todas as direções (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Segundo Lopes (2003), Camargo e Felgueiras (2015), a anisotropia pode ser facilmente detectada através do emprego do semivariograma de superfície (também conhecido como mapa de semivariograma), um gráfico bidimensional que fornece uma visão geral da continuidade espacial do fenômeno em estudo, apresentado na Figura 2. Através do semivariograma de superfície é possível detectar os eixos de anisotropia.

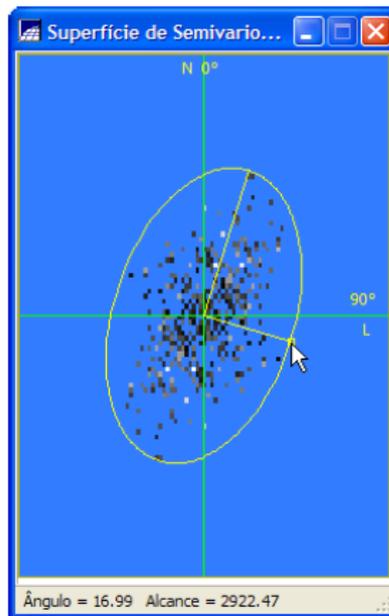


Figura 2 – Detecção de anisotropia do atributo estudado, no software SPRING, através semivariograma de superfície (CAMARGO e FELGUEIRAS, 2015).

A modelagem da anisotropia, segundo Camargo e Felgueiras (2015), consiste em unir os dois modelos de semivariograma (definidos para duas direções ortogonais entre si, com maior e menor continuidade) em um modelo único e consistente, de modo a reportar a estrutura de correlação espacial do fenômeno investigado em qualquer direção. Não existe uma forma direta e automática de lidar com a modelagem da anisotropia. Esse é um passo importante que exige conhecimento e prática do analista.

A transformação de dados, em diversas circunstâncias, segundo Yamamoto e Landim (2013), é necessária para a estimativa geoestatística. Os métodos de estimativa que usam os dados transformados fazem uso do estimador da krigagem ordinária.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COM ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Dois ou mais atributos podem se relacionar de diversas formas. Enquanto um estudo pode ter interesse, por exemplo, na inter-relação de atributos categóricos (ou não métricos), a fim de avaliar existência de eventuais associações entre suas categorias, outro estudo pode ter interesse de criar indicadores de desempenho (novos atributos) a partir da existência de correlações entre os atributos originais métricos. Um terceiro estudo pode ter interesse na identificação de grupos homogêneos eventualmente formados a partir da existência de similaridades dos atributos entre observações de determinado banco de dados. Em todas essas situações, a pesquisa poderá fazer uso da análise estatística multivariada (FÁVERO e BELFIORE, 2015).

No caso de um atributo medido em amostras, no sentido geotécnico, a análise é feita por intermédio da estatística univariada. Se forem obtidos valores de diversos atributos em cada amostra, as técnicas para a análise desses dados são fornecidas pela estatística multivariada. Essa análise estatística de mensurações múltiplas sobre uma amostra fornece um melhor entendimento na razão direta do número de atributos utilizados e permite considerar simultaneamente a variabilidade dos diversos atributos medidos. Entre os métodos mais utilizados em Geociências, segundo Landim (2011), destaca-se a análise de componentes principais.

A análise de componentes principais é o método de ordenação, mais conhecido e com mais exemplos de aplicação em Geociências, segundo Landim (2011). Pode-se destacar os trabalhos de, Moita Neto e Moita (1997), Maldonado (1999), Masson (2002), Christofolletti (2003), Bernardi et al. (2009), Folle (2009), Folle et al. (2009), Motta e Ferreira (2011), Silva (2011), Carrino et al. (2011), Oliveira (2013).

Segundo Landim (2011), trata-se de uma técnica para encontrar componentes lineares de atributos correlacionados por meio do cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre atributos.

O método apresenta melhores resultados se, originalmente, já existir alguma correlação entre atributos ou grupo de atributos e se o número de atributos for significativo.

Moita Neto e Moita (1997) afirmam que a análise de componentes principais também pode ser usada para julgar a importância dos próprios atributos originais escolhidos, ou seja, os atributos originais com maior peso na combinação linear dos primeiros componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico.

2.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIO COM TÉCNICA AHP

Os modelos matemáticos são utilizados para construir critérios claros e objetivos para apoio a decisão, segundo Vaidya e Kumar (2006), Martins e Coelho (2012), Nascimento (2016), o mais recomendado é o método AHP (Análise Hierárquica de Processos), desenvolvido por Saaty (1977). A tomada de decisão se faz pela seleção do caminho adequado para realizar uma ação baseados em critérios escolhidos.

No método AHP, os diferentes atributos que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes atributos, conforme uma escala pré-definida apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala de valores para comparação pareada, segundo Satty (1980)

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada - Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema - A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais

A partir da escolha dos critérios para comparação e do estabelecimento da importância relativa de cada atributo, o modelo AHP informa uma razão de consistência (CR). Essa é utilizada para determinar o grau de coerência, ou seja, indica a probabilidade de que as comparações tenham sido geradas aleatoriamente, segundo Satty (1980). A razão de consistência deve ser inferior a 0,10, e, quando ocorrem valores superiores a esse é necessário a realização de revisões nas comparações realizadas, segundo Saaty (1980).

2.5 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Zuquette e Gandolfi (2013) relatam que Langen em 1913 apresentou na Feira de Construções de Leipzig (Alemanha), documentos gráficos, que deram início à cartografia geotécnica no mundo. E que foi a partir desse evento que as cartas foram surgindo com maiores informações, análises diferenciadas e detalhes em função das escalas, nos quais se classificavam os atributos do meio físico para diferentes usos.

Os autores Zuquette e Gandolfi (2013), afirmam que a elaboração de trabalhos de cartografia e mapeamento geotécnico no Brasil tiveram início dos anos de 1965-1966 pelo professor Haberlehner, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com a primeira publicação no 20º Congresso Brasileiro de Geologia, em Porto Alegre (RS).

Os autores Gomes, Marques e Franco (2017) afirmam que é a partir do desenvolvimento da cartografia digital que a cartografia geotécnica ganha impulso como um dos instrumentos para planejamento e gestão, constituindo uma representação gráfica das limitações e potencialidades do meio físico.

Segundo Fitz (2012) os termos cartas e mapas, são usados muitas vezes, como sinônimos, o que deve ser encarado com certo cuidado. Por causa de suas próprias características, a terminologia de mapa ou carta é utilizada diferentemente, de acordo com o país e o idioma correspondente. No caso do Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) confere às seguintes definições:

- Mapa: representação gráfica, em geral numa superfície plana e numa determinada escala, com a representação de acidentes físicos e culturais da superfície da Terra, ou de um planeta ou satélite.
- Carta: representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização plana, geralmente em média ou grande escala, de uma superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, obedecendo a um plano nacional ou internacional.

Os autores Cláudio e Barbassa (2012) afirmam que se pode classificar qualquer atividade ligada ao mapeamento da superfície, ou mesmo da análise de suas características, como processamento de informações espaciais, já que o termo processamento está ligado à manipulação de dados para as gerações de informações ligadas à Terra.

Dentre as definições tecnológicas e outras mais abrangentes, encontradas na literatura sobre os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), de forma cronológica, destaca-se as seguintes.

Salamuni e Stellfeld (2001) – “é sistema integrado de bancos de dados que permite, mais do que a simples observação de uma carta, o acesso à informações e dados de forma automática e de visualização simultânea em ambiente computacional”.

Silva e Zaidam (2011) – “são investigações de atributos de espacialidade, indispensáveis na análise, compreensão, e equacionamento das relações topológicas intrínsecas aos fenômenos ambientais, no interesse do estudo de certa complexidade, que implicam em manipulações de enormes quantidades de dados”.

Silva (2012) – “são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementado, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do processamento digital de imagens (PDI) e da Geoestatística”.

Os fenômenos relacionados ao mundo real podem ser descritos de três maneiras: espacial, temporal e temática. Espacial quando a variação muda de lugar para lugar (declividade, altitude, profundidade do solo); temporal quando a variação muda com o tempo (densidade demográfica, ocupação do solo) e temáticas quando as variações são detectadas através de mudanças de características (geologia, cobertura vegetal). Estas três maneiras de se observar os fenômenos que ocorrem na superfície da terra são, coletivamente, denominados dados espaciais (Sinton, 1978).

Um dos fatores, destacado por Silva (2012), que distingue os dados espaciais dos demais é o fato de que eles, de uma maneira geral, são relacionados a superfícies contínuas, como, por exemplo, a superfície topográfica, a variação de temperatura, a pressão etc., e cada ponto contém as coordenadas X, Y, Z, podendo ter precisão ilimitada. Outra particularidade dos dados espaciais é a sua dependência espacial, ou seja, a tendência de a vizinhança influenciar uma determinada localização e possuir atributos similares (ANSELIM, 1989). Um importante conceito a ser fixado quando se trabalha com dados espaciais é a resolução espacial. Tobler (1979) define resolução espacial de dados geo-referenciados como o conteúdo do domínio geométrico dividido pelo número de amostragem, normalizadas pela dimensão espacial. A alta resolução está associada à maior discriminação dos atributos, portanto a um número maior de amostragem. E, ao contrário, a baixa resolução está associada a uma pobre discriminação dos atributos, estando associada a um número menor de amostragem.

2.6 ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS DOS SOLOS

Os subitens a seguir apresentam uma revisão bibliográfica dos ensaios para determinação dos atributos geotécnicos que foram utilizados na pesquisa, são eles: resistência à penetração do cone panda (Qd), número de golpes (Nspt), peso específico seco, fração granulométrica dos solos, umidade natural dos solos, umidade higroscópica dos solos, peso específico real dos grãos, limite de liquidez, limite de plasticidade, inclinação da reta de fluidez pela tangente de alfa, inclinação da reta de fluidez pela tangente de beta, índice de plasticidade, índice de atividade, índice de liquidez e índice de consistência e cores dos solos.

2.6.1 Ensaio de resistência a penetração de cone Panda

O penetrômetro dinâmico eletrônico para solos Panda, de procedência francesa para investigação de solos, criado em 1991 pelo engenheiro francês Roland Gourvès, pertence a um grupo de penetrômetros dinâmicos cuja principal ideia consiste em cravar no solo uma ponta fixa a um conjunto de hastes por meio de golpes de um martelo. Segundo Navarrete (2009), sua originalidade reside em utilizar uma energia variável (energia cinética fornecida pelos golpes do martelo), a qual é medida de maneira indireta pelos sensores situados no próprio penetrômetro. Para cada golpe do martelo, um processo numérico automatizado permite medir e registrar a resistência dinâmica da ponta. O procedimento está normatizado pela Norma Francesa XP P 94-105-2000, segundo Afnor (2000). Uma das grandes vantagens deste penetrômetro, segundo Navarrete (2009) é que ele permite uma prospecção de centímetro em centímetro das camadas de baixa e média resistência, pelo controle da energia de cravação, ajustando a intensidade dos golpes.

2.6.2 Ensaio de resistência a penetração SPT

O ensaio SPT constitui-se em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração é obtida por trado e circulação de água, utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. Amostras representativas do solo são coletados a cada metro de profundidade por meio de amostrador padrão com diâmetro externo de 50 mm. O procedimento de ensaio consiste na gravação do amostrador no fundo de uma escavação (revestida ou não), usando-se a queda de peso de 65 kg de uma altura de 750 mm. O valor N_{spt} é o número de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar 300 mm após uma cravação inicial de 150 mm (SCHANAID e ODEBRECHT, 2012).

As vantagens desse ensaio com relação aos demais são: simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico de ensaio que pode ser relacionado por meio de propostas não sofisticadas, mas diretas, com regras empíricas de projeto. Apesar das críticas pertinentes que são continuamente feitas à diversidade de procedimentos utilizados para a execução do ensaio e à pouca racionalidade alguns métodos de uso e interpretação, esse é o processo dominante ainda utilizado na prática de engenharia de fundações (SCHANAID e ODEBRECHT, 2012).

2.6.3 Pesos específicos do solo

O peso específico de um solo, segundo Fiori e Carmignami (2013), é definido como a razão entre o peso de um determinado componente das três partes físicas do solo (grãos, água e ar) e o seu volume. Assim se pode ter:

- **Peso específico natural:** é definido como a razão entre o peso da amostra de solo e o seu volume como coletado no campo.
- **Peso específico do solo seco:** é definido como a razão entre o peso do solo seco, pelo volume total da amostra de solo, depois adequadamente seca em uma estufa.
- **Peso específico saturado:** é dado pela razão entre o peso total da amostra de solo depois de saturada com água, ou seja, quando todos os vazios estão completamente cheios de água, e o seu volume.
- **Peso específico submerso:** é dado pelo peso específico do solo *in situ* quando está submerso na água e submetido ao empuxo de Arquimedes, não sendo possível sua medida por via direta.
- **O peso específico real dos grãos do solo (G_s)** é a razão entre o peso dos grãos constituintes do solo e o volume ocupado por eles. O peso aqui levado em conta é aquele

que subsiste após a perda de toda água intersticial, por processo de secagem em estufa (não se considerando a água que entra na composição química dos minerais).

- Densidade relativa das partículas ou dos grãos: É definida como a razão entre o peso específico dos grãos do solo e o peso específico da água. A norma DNER -ME 093/94 prescreve o ensaio de determinação da densidade relativa dos grãos do solo.

Segundo Fiori e Carmignami (2013), distinguem-se vários pesos específicos para o solo *in situ*. Eles são medidos em amostras tomadas com os procedimentos mecânicos, o que pode dar lugar a uma perda parcial da água intersticial, redução do peso da amostra, ou a erros de medida do volume da amostra (geralmente com a subestimação por causa da compactação).

2.6.4 Frações granulométricas dos solos

A análise granulométrica é a determinação do tamanho das partículas presentes no solo, expressa como uma percentagem do peso seco total. Geralmente são utilizados dois métodos para encontrar a distribuição granulométrica do solo: (a) ensaio de peneiramento – para partículas com diâmetros maiores que 0,075mm; (b) ensaio de sedimentação – para partículas com diâmetros menores que 0,075mm (DAS e SOBHAN, 2014).

De acordo com Pinto (2006), para o reconhecimento do tamanho dos grãos de um solo, realiza-se a análise granulométrica, que consiste, em geral, de duas fases: peneiramento e sedimentação.

Segundo as dimensões das suas partículas e dentro de determinados limites convencionais, as frações constituintes dos solos recebem designações próprias que se identificam com as acepções usuais dos termos. Essas frações, de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT), são: pedregulho – conjunto de partículas cujas dimensões (diâmetros equivalentes) estão compreendidas entre 76 e 4,8mm, areia, entre 4,8 e 0,05mm; silte, entre 0,05 e 0,005mm; argila, inferiores a 0,005 mm (Caputo e Caputo, 2015).

No Brasil, a norma ABNT NBR 7181 (1988) prescreve o método para a análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento.

2.6.5 Limite de plasticidade e limite de liquidez

O autor Pinto (2006), afirma que, para a mesma porcentagem de fração argila, o solo pode ter comportamento muito diferente, dependendo das características dos minerais presentes. Segundo os autores Das e Sobhan (2014), quando existe um argilomineral em um solo granular fino, este pode ser remoldado na presença de alguma umidade sem desagregar. Esta natureza coesiva é causada pela água adsorvida ao redor das partículas de argila.

O comportamento de um solo argiloso varia enormemente em função do teor de umidade (w), podendo passar no estado quase líquido, a exemplo de lama, até um estado sólido, como, por exemplo, as cerâmicas. Nessa passagem, podem ser definidos vários estados intermediários de consistência, e os teores de umidade que os define são conhecidos como limite de consistência de Atterberg, em homenagem ao engenheiro agrônomo sueco Atterberg (1911) que propôs a subdivisão (FIORI e CARMIGNAMI, 2013).

De acordo com Caputo e Caputo (2015), sendo a umidade de um solo muito elevada, ele se apresenta como um fluido denso e se diz no estado líquido. À medida que evapora a água, ele se endurece e, para um certo $w = LL$ (limite de liquidez), perde sua capacidade de fluir, porém pode ser moldado facilmente e conservar sua forma. O solo encontra-se agora, no estado plástico. Ao continuar a perda de umidade, o estado plástico desaparece até que, para $w = LP$ (limite de plasticidade), o solo se desmancha ao ser trabalhado. Esse é o estado semisólido. Continuando a secagem, ocorre a passagem gradual para o estado sólido. O limite entre os dois estados é um teor de umidade, $w = LC$ (limite de contração). Portanto, em uma base arbitrária e dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico e líquido, como mostra a Figura 3.

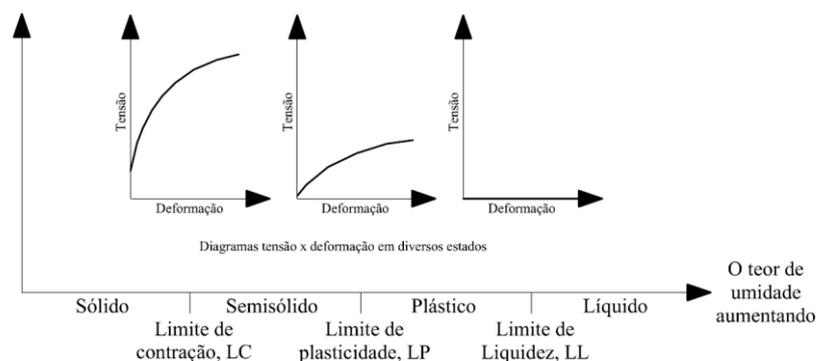


Figura 3 - Limites de Atterberg (DAS e SOBHAN, 2014)

Os procedimentos de ensaios são padronizados no Brasil pela ABNT para determinação limite de liquidez e limite de plasticidade, respectivamente, pelo método ABNT NBR 6459 (1984) e ABNT NBR 7180 (1988).

2.6.6 Fluidez dos solos pela tangente de alfa e tangente de beta

Na Figura 4 são apresentadas as retas de fluidez para obtenção da tangente de alfa e tangente de beta. No gráfico, para a obtenção da tangente de alfa, o teor de umidade é colocado no eixo das ordenadas, e o logaritmo de N (número de golpes do aparelho de ensaio de limite de liquidez), é colocado no eixo das abscissas, com essa forma, é possível obter a inclinação da reta de fluidez, representada pelo ângulo α . No gráfico, para obtenção da tangente de beta, o logaritmo do teor de umidade é colocado no eixo das ordenadas, e o logaritmo de N é colocado no eixo das abscissas, dessa maneira, é possível obter a inclinação da reta de fluidez, representada pelo ângulo β .

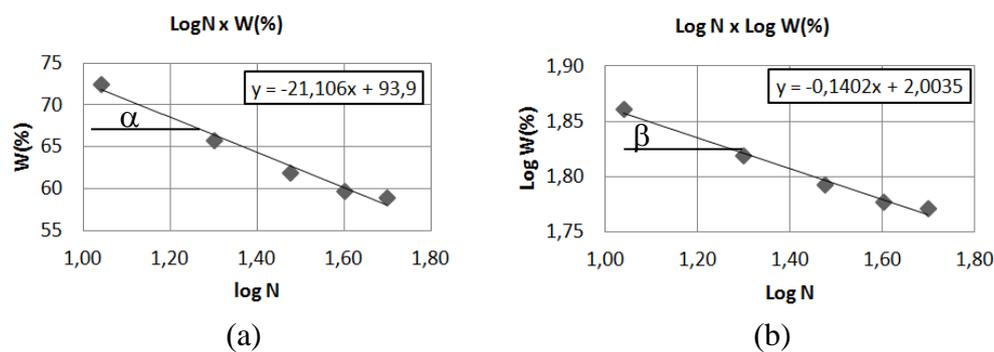


Figura 4 - Reta de fluidez para determinação da tangente de alfa e tangente de beta, (a) apresenta o gráfico, para obtenção da tangente de alfa, com teor de umidade no eixo da ordenadas e logaritmo de N no eixo das abscissas, (b) apresenta o gráfico, para obtenção da tangente de beta, o logaritmo do teor de umidade no eixo das ordenadas e logaritmo de N no eixo das abscissas.

A partir da análise de milhares de ensaios de limites de liquidez, o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (1949) apud Das e Sobhan (2014), na Waterways Experiment Station em Vicksburg, Mississippi, propôs uma equação empírica na forma:

$$WL = Wn \left(\frac{n}{25} \right)^{tg\beta}$$

Segundo Das e Sobhan (2014), a equação geralmente produz bons resultados para o número de golpes entre 20 e 30, com $tg \beta$ igual a 0,121 (mas observe que $tg \beta$ e $tg \alpha$ normalmente não são iguais para todos os solos). Para ensaios de laboratório de rotina, ela pode ser usada para determinar o limite de liquidez quando apenas um ensaio é executado. Esse procedimento geralmente é chamado de método de um ponto e também foi adotado pela ASTM sob a designação D-4318. O motivo pelo qual o método de um ponto produz bons resultados é que em um pequeno intervalo de teor de umidade é envolvido quando N está entre 20 e 30.

2.6.7 Índice de plasticidade, índice de consistência, índice de liquidez e índice de atividade

O Índice de plasticidade (IP) de um solo, segundo Fiori e Carmignami (2013), é dado pela diferença entre os limites de liquidez e plasticidade, fornecendo informações acerca da amplitude da faixa da plasticidade do solo, apresentado na Equação 1.

Equação 1 - Determinação do índice de plasticidade dos solos

$$IP = WL - WP$$

Essa definição segundo Fiori e Carmignami (2013) se integra com o conceito de índice (ou indicador) da maior ou menor plasticidade de um solo, fornecendo uma gama de variação de umidade dentro do domínio plástico. Quanto maior o índice de plasticidade, maior a plasticidade do solo.

A classificação dos solos com base no índice de plasticidade, segundo IAEG (1979), apresentada na Tabela 2, indica que o índice de plasticidade é maior nas argilas e nulo para as areias. A matéria orgânica no solo eleva o valor do limite de plasticidade sem elevar simultaneamente o limite de liquidez e, por isso, tais solos apresentam baixos valores para índice de plasticidade. As argilas são tanto mais compressíveis e deformáveis quanto maior for o índice de plasticidade.

Tabela 2 - Classificação dos solos com base no índice de plasticidade (IAEG, 1979)

Denominação	Índice de plasticidade
Não plásticos	$IP < 1$
Levemente plásticos	$1 < IP < 7$
Moderadamente plásticos	$7 < IP < 17$
Altamente plásticos	$17 < IP < 35$
Extremamente plásticos	$IP > 35$

De um modo geral, quanto maior for o índice de plasticidade, maiores serão os problemas de engenharia relacionados ao uso do solo como material de engenharia, como, por exemplo, para o suporte de edificações, estradas, etc. (FIORI e CARMIGNAMI, 2013).

O índice de consistência (IC), segundo Fiori e Carmignami (2013), mede a consistência de um solo em função da umidade, e é expresso numericamente pela Equação 2.

Equação 2 – Determinação do índice de consistência dos solos.

$$IC = \frac{wL - w}{IP}$$

Na ABNT NBR 6502 é proposta uma classificação dos solos argilosos em função do IC, apresenta da na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos solos em função do índice de consistência (ABNT - NBR 6502)

Denominação	Índice de consistência
Muito mole	IC < 0,5
Mole	0,5 < IC < 0,65
Médio	0,65 < IC < 0,85
Rija	0,85 < IC < 1,00
Dura	IC > 1,00

O índice de liquidez é determinado por meio da relação, apresentado na Equação 3, segundo Ortigão (1993).

Equação 3 - Determinação do índice de liquidez (ORTIGÃO, 1993)

$$IL = \frac{w - wP}{IP}$$

Segundo Fiori e Carmignami (2013), o índice de liquidez é igual a 1 para argilas em que a umidade é igual ao limite de liquidez, e maior que 1 quando a umidade é maior que o limite de liquidez.

O índice de atividade (IA) foi definido por Skempton (1953) apud Fiori e Carmignami (2013) como a razão entre o índice de plasticidade e a porcentagem da fração argila, e é expresso numericamente pela Equação 4. O índice de atividade, segundo Skempton (1953), serve como indicador potencial de variação de volume ou da atividade da argila, de acordo uma classificação dos solos apresenta na Tabela 4.

Equação 4 - Determinação do índice de atividade

$$IA = \frac{IP}{\% \text{ fração argila}}$$

Tabela 4 - Classificação dos solos em função do índice de atividade (SKEMPTON, 1953)

Denominação	Índice de atividade
Argilas inativas	IA < 0,75
Argilas normais	0,75 < IA < 1,25
Argilas ativas	IA > 1,25

O índice de atividade fornece uma indicação da maior ou menor influência das propriedades mineralógicas e químico-coloidais da fração argilosa nas propriedades geotécnicas de solos argilosos, segundo Vargas (1978), trata-se de um índice de grande valor na caracterização geotécnicas dos solos.

2.6.8 Cores dos solos

As cores dos solos são mais convenientemente definidas por meio de comparação com cartas de cores. Normalmente se utiliza para determinação de cores de solos, parte da coleção de cores apresentadas por Munsell (2013). Esta parte do livro, também denominada Munsell soil color charts, contém somente aquela porção de cores necessária para a caracterização dos solos, segundo IBGE (2007). A carta de cores de solo Munsell, contém sete cartas (correspondentes a sete notações de matiz) que somam 444 códigos de cores, organizados com base nas variáveis matiz, valor e croma, já para as cores são 80 nomenclaturas diferentes, ou seja para uma mesma nomenclatura de cor, podem existir mais de um tipo de código de cores.

As notações de matiz em número de sete, são representadas pelos símbolos 10R, 2,5YR, 5YR, 7,5YR, 10YR, 2,5Y e 5Y, que são formados pelas iniciais em inglês das cores que entram em sua composição (R de red - vermelho; Y de yellow - amarelo e YR de yellow-red - vermelho-amarelo), precedidos de algarismos arábicos de 0 a 10, organizados a intervalos de 2,5 unidades. Dentro de cada composição de matiz (R, YR ou Y), os algarismos crescem da esquerda para a direita da caderneta, representando o aumento da participação do amarelo em detrimento da participação do vermelho. O ponto 0 de cada composição de matiz, coincide com o ponto de máxima participação da composição anterior e não é representado. Assim os símbolos de matiz variam sempre de 2,5 a 10 para cada composição, sendo 5 a posição central.

As notações de valores indicam a maior ou menor participação do branco ou do preto (claridade ou escurecimento) em relação a uma escala neutra (acromática) e variam de 0 a 10, posicionadas em escala vertical no lado esquerdo das páginas das cartas, aumentando a intervalos regulares da base para o topo. A notação zero corresponde ao preto absoluto e o 10 ao branco absoluto. As notações de cromas indicam o grau de saturação pela cor espectral. São representadas horizontalmente no fundo das páginas das cartas, aumentando de 0 a 8 (no caso das cartas de solos). O croma zero, corresponde a cores absolutamente acromáticas (branco, preto e cinzento) e na sua representação a notação de matiz é substituída pela letra N de neutra. Para os solos mosqueados, descreve-se a cor da matriz (cor de fundo), a(s) cor(es) do(s) principal(is) mosqueado(s), e os percentuais conforme especificado na Figura 5.

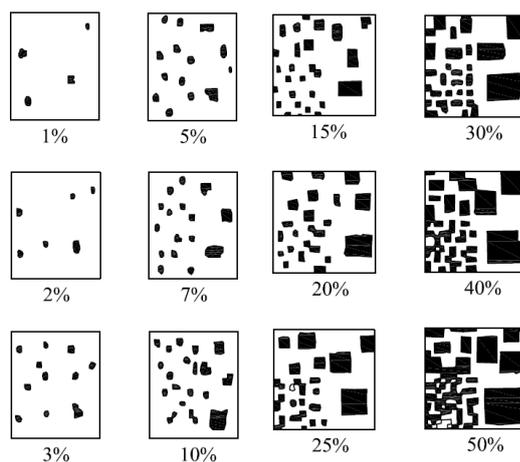


Figura 5 - Gráfico estimando proporções de mosqueados e fragmentos grosseiros (MUNSELL, 2013)

2.6.9 Umidade natural e umidade higroscópica dos solos

Aproximadamente 97% da água na Terra é salgada (constituindo os mares e os oceanos) e 3% é água doce, distribuída da seguinte maneira: cerca de 2% está congelada e 3% é água doce, distribuída da seguinte maneira: cerca de 2% está congelada nas calotas polares e apenas 1% está “livre”. Esse pequeno volume de água doce é “livre” é distribuído da seguinte forma: metade está nos níveis profundos, localizados a mais de 800 m, e a outra se divide entre os níveis subterrâneos mais superficiais, denominados aquíferos 47%, na umidade do solo 0,8%, do ar 0,7% e nos rios e lagos 1,5% (ALONSO, 2007).

De um modo geral, segundo Michelin (1975), os seguintes efeitos podem surgir da ação das águas superficiais ou subterrâneas: redução da resistência ao cisalhamento pela saturação dos solos; variação de volume de alguns solos pelo umedecimento; destruição do atrito intergranular nos materiais granulares pelo bombeamento de lama do subleito; produção de força ascensional no pavimento devido às pressões hidrostáticas; produção de força de arrastamento dos solos pelo fluxo à alta velocidade. Os autores Suzuki et al. (2013), afirmam que a umidade excessiva no subleito e nas camadas da estrutura do pavimento pode ser proveniente de diversas fontes, a saber: infiltração, percolação capilaridade e movimentos em forma de vapor de água associado às variações de temperatura e de outras condições climáticas. Essa água com movimentação irrestrita na estrutura, é uma das principais causas da deterioração precoce dos pavimentos, e sua análise de percolação pode ser simplificada regida pelas leis da hidráulica, aplicadas a escoamentos porosos.

A definição dada por Pinto (2006) para umidade, como a relação entre o peso da água e o peso dos sólidos, é o ensaio de determinação frequente em um laboratório de solos. É expresso

pela letra w. Para a obtenção da umidade natural e da umidade higroscópica, a ABNT NBR 6457 (1986) preconiza o método para determinação do teor de umidade dos solos, em laboratório. A umidade natural do solo é aquela umidade que existente no solo in situ. Ela é um parâmetro importante para auxiliar na explicação de eventos erosivos e de movimentos de massa. Um solo que já possua uma elevada umidade, quando começa uma chuva tende a ficar saturado mais rapidamente que outro que possua um baixo teor de umidade, podendo acontecer com mais rapidez um movimento de massa, ou ainda um processo de escoamento superficial, que poderá acarretar erosão (Guerra e Guerra, 2006). Segundo Weil e Brady (2013), o solo quando deixado secar ao ar, tende a reduzir a umidade, no entanto, essa umidade se dá até um certo limite, e mesmo que permaneça por um longo período exposto a secagem ao ar livre, existirá uma umidade residual, denominada de umidade higroscópica.

2.6.10 Nível d'água freático, nível d'água piezométrico e tipos de aquíferos

Os aquíferos, segundo Alonso (2007), costumam ser divididos em dois tipos: livres (também denominados freáticos) e artesianos. Os aquíferos livres são aqueles em que a água assume uma pressão igual à atmosférica, por sua vez, os aquíferos artesianos apresentam a água submetida a uma pressão superior à atmosférica.

Dois situações específicas podem ocorrer nos aquíferos livres. A primeira é o chamado aquífero suspenso, também conhecido por nível freático empoleirado, que ocorre quando a água está em uma espécie de concha formada por uma camada de solo pouco permeável, situada acima do nível freático da região. Geralmente esse tipo de aquífero é transitório, pois a água escoar por intermédio da camada pouco permeável, abastecendo o aquífero inferior. O tempo necessário para o escoamento da água depende da altura da “concha” e do coeficiente de permeabilidade da camada por onde se processa a percolação (ALONSO, 2007).

Nos aquíferos freáticos, a variação do nível de água corresponde à variação do volume de água armazenada. Ao contrário, à variação do nível piezométrico não está correlacionada com a variação do volume de água armazenada, mas com a variação da pressão que está submetida. Na medição dos níveis de água de um aquífero livre usa-se o medidor de nível de água. Se o aquífero é artesiano, a variação da pressão da água é medida com piezômetro, termo que significa literalmente medidor de pressão (ALONSO, 2007). Segundo Guerra e Guerra (2006), o nível d'água freático corresponde à distância medida entre a superfície do solo e a superfície freática, num poço.

2.6.11 A importância da difratometria de raios X para identificação e caracterização dos minerais do solo

A difratometria de raios X é uma poderosa ferramenta para estudos de minerais do solo, particularmente aqueles presentes na fração argila. A cada ano são ampliados substancialmente seus horizontes de aplicação na identificação e caracterização (tamanho, grau de cristalinidade, substituintes isomórficos) dos compostos cristalinos presentes nos solos (RESENDE et al., 2011). Segundo Ferreira et al. (1999) as possibilidades da difratometria de raios X, aliadas aos conhecimentos de geotecnia, podem permitir a previsão sobre o comportamento físico-mecânico do solo, determinado em grande parte, pelos componentes da fração argila. O autor Pinto (2006), afirma que, para a mesma porcentagem de fração argila, o solo pode ter comportamento muito diferente, dependendo das características dos minerais presentes.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nos subitens do capítulo 3 será realizada a caracterização da área de estudo, apresentando a localização, as unidades geológicas e suas feições geomorfológicas.

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Amazônia Ocidental, na porção leste do estado do Acre, na área urbana do município de Rio Branco, capital do estado.

O estado do Acre faz divisa com a Bolívia e com o Peru, sendo o rio Acre uma divisa natural entre o Brasil e esses países, em grande parte do seu curso.

A Figura 6 apresenta a carta do estado do Acre, com os limites dos 22 municípios existentes. Na Figura 7 é apresentada a área urbana e o limite do município de Rio Branco, que possui 8.835,541 km².

Na Figura 8 é apresentado a bacia do rio Acre, e as cidades que ficam localizadas nas margens do rio Acre. As bases cartográficas foram disponibilizadas pela prefeitura municipal de Rio Branco. Na Figura 9 é apresentado o perímetro urbano da cidade de Rio Branco, com aproximadamente 140,41 km², perímetro de 76,75 km e as áreas de proteção ambiental Irineu Serra e lago do Amapá.

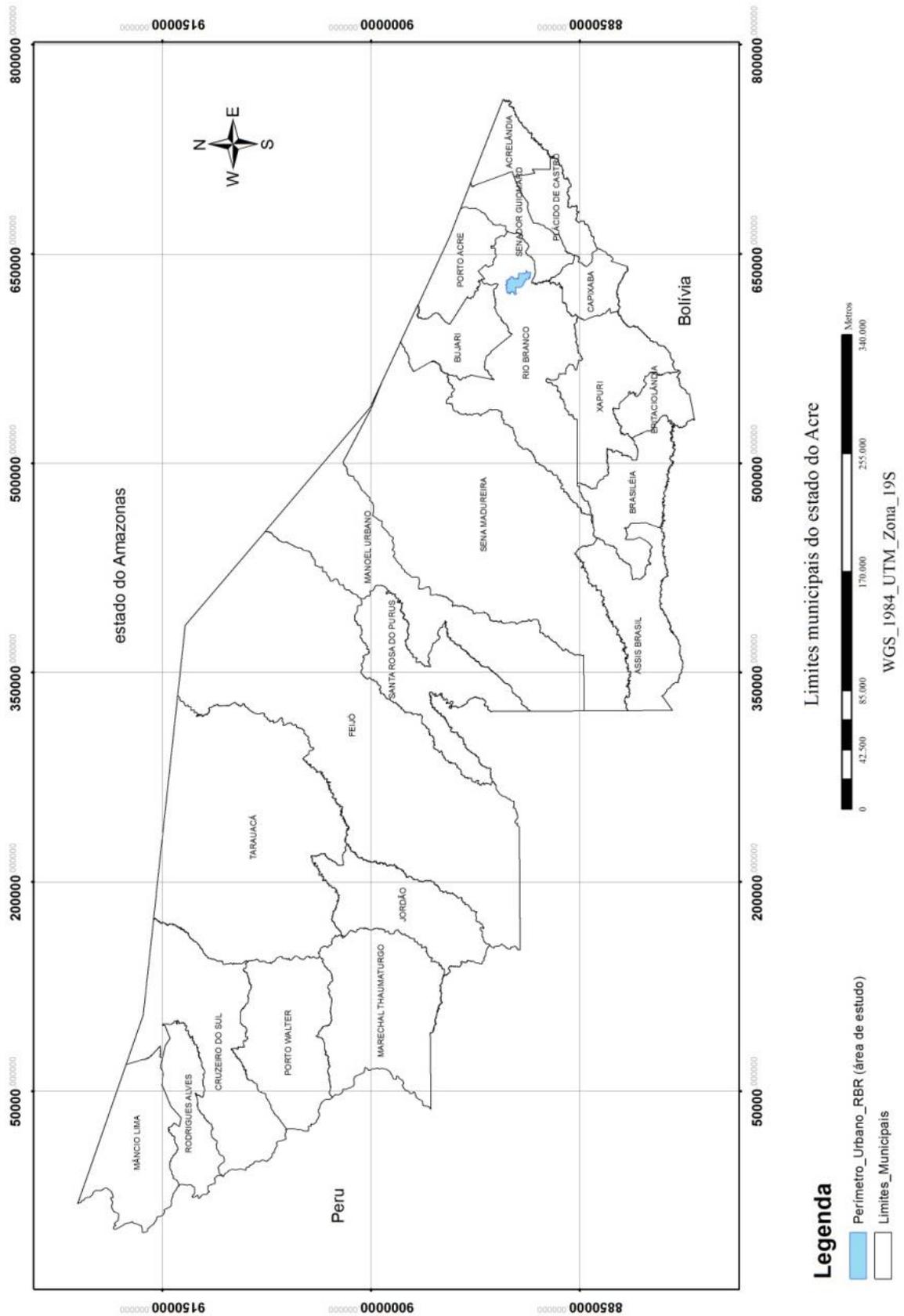


Figura 6 - Carta do estado do Acre com limites municipais

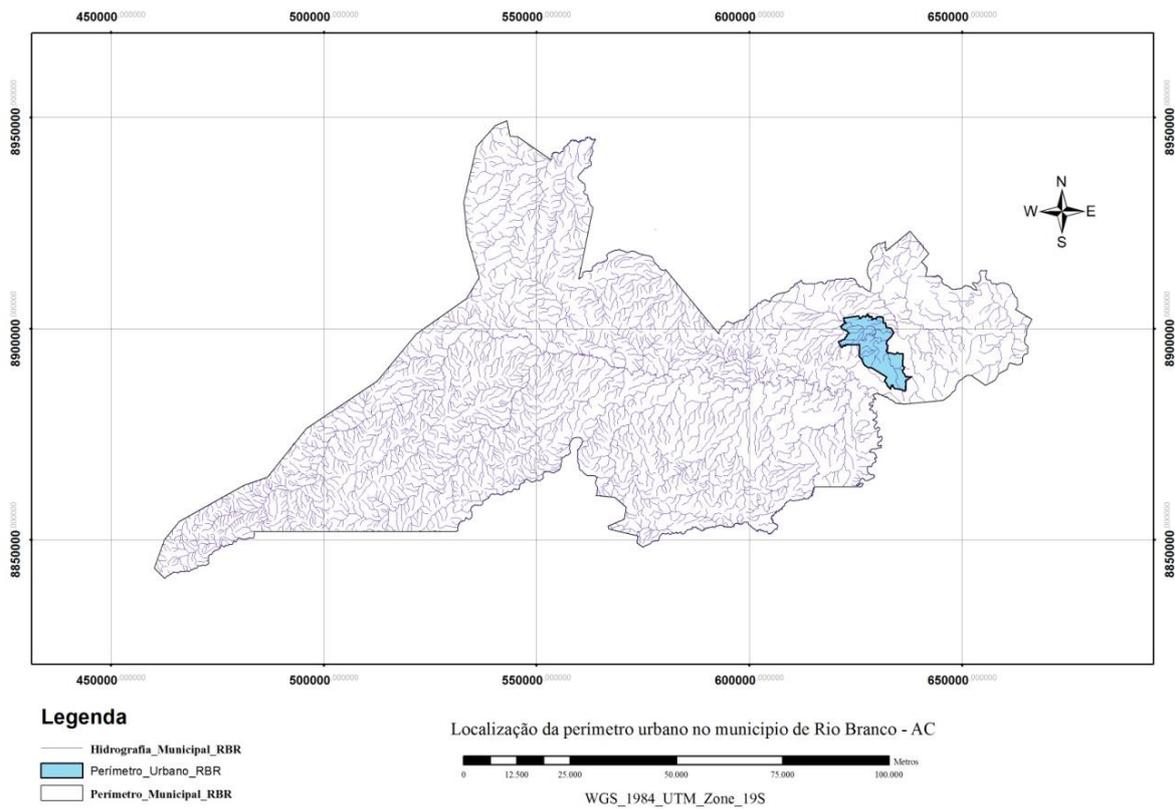


Figura 7 - Carta de localização do perímetro urbano, no município de Rio Branco, Acre (área de estudo)

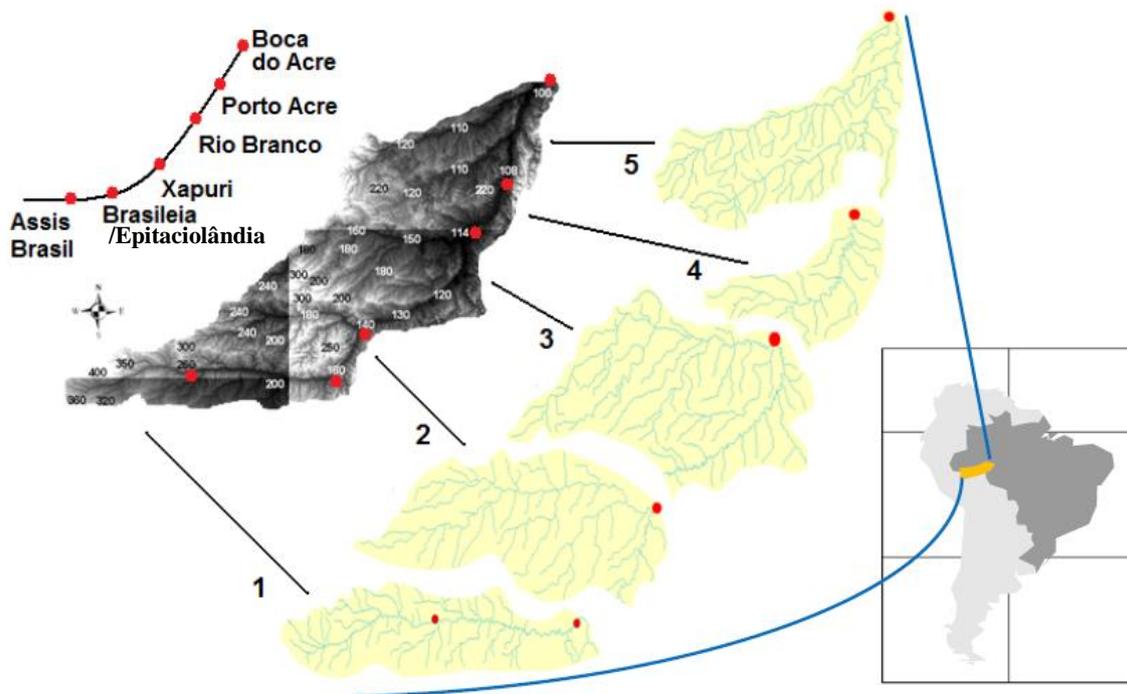


Figura 8 – Bacia do rio Acre, em destaque as microbacias a montante de Rio Branco. Imagem topográfica (SRTM) com altitudes em metros (DUARTE, 2013)

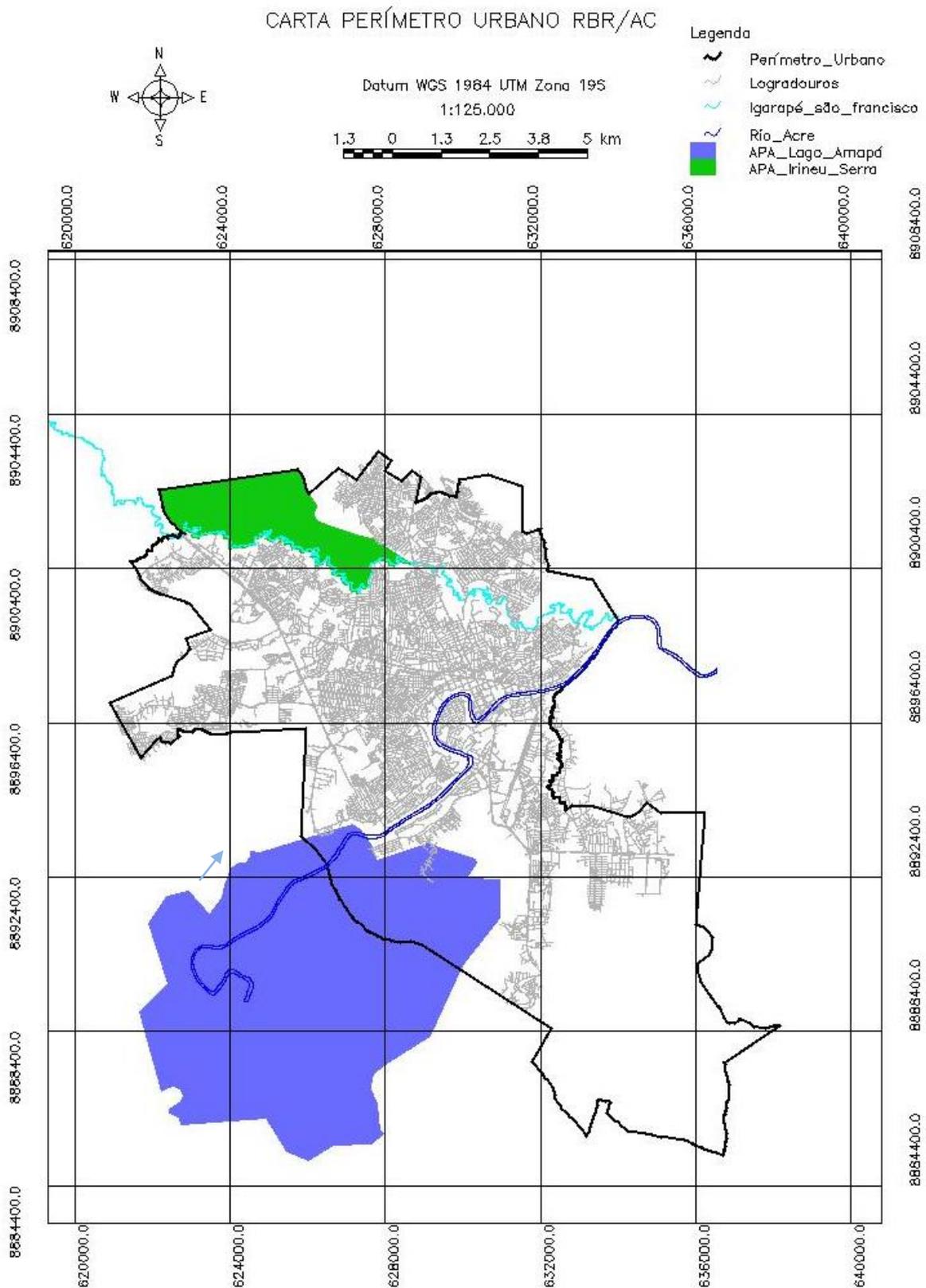


Figura 9 - Carta do perímetro urbano da cidade de Rio Branco e APA's Raimundo Irineu Serra e Lago do Amapá

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Melo e Marmos (2006) afirmam que o substrato da região é constituído por rochas sedimentares essencialmente argilosas reunidas na Formação Solimões. Recobrimo localmente esta unidade ocorrem depósitos de sedimentos inconsolidados associados à planície de inundação do rio Acre, individualizados como Terraços Fluviais para aqueles depósitos aluvionares mais antigos, identificados pela presença de vários paleocanais e meandros abandonados, e os Aluviões recentes que se depositam às margens dos rios e igarapés, conforme apresentado na carta geológica da Figura 10. Sobre a Formação Solimões ocorre também um pacote de sedimentos argilosos, por vezes mosqueado de cor vermelha a cinza esverdeado, distribuídos em uma delgada cobertura (5 a 16m de espessura).

A Formação Solimões é caracterizada por um relevo ondulado, medianamente dissecado, sendo que em direção ao rio Acre a dissecação fica mais intensa. É constituída predominantemente por argilitos laminados e/ou maciços de cor variando de bruno, vermelho e cinza, por vezes ocorrendo intercalações de camadas siltosas e arenosas, conforme apresentado na Figura 11. Outras exposições importantes identificadas por Oliveira e Ferreira (2006) da Formação Solimões se fazem no Rio Acre, conforme apresentado na Figura 12, segundo os autores, são argilitos de cor bruno, estratificados, apresentando leve mergulho para nordeste, destacando a presença de restos vegetais, por vezes com níveis de matéria orgânica. De acordo com Melo e Marmos (2006), o terraço fluvial ocorre principalmente na região do segundo distrito da cidade de Rio Branco (margem direita do rio Acre). Caracteriza-se por terrenos planos com algumas colinas isoladas, marcado pela presença de meandros abandonados de idades distintas, representando áreas emersas na planície de inundação do rio Acre, mesmo durante as cheias. Sua composição é dada pela alternância de pacotes argilosos e arenosos estratificados, recobertos por uma fina camada de argila cinza produto este do recobrimento pela deposição de finos na planície de inundação em épocas de inundação no sistema fluvial. Melo e Marmos (2006) afirmam que esta unidade constitui a principal reserva de água subterrânea da cidade de Rio Branco. Segundo Melo e Marmos (2006), a unidade aluvião ocorre em uma estreita faixa ao longo do rio Acre influenciada pela deposição de material trazido pelas cheias, junto à calha principal e na sua planície de inundação. Recobrem os argilitos da Formação Solimões e são compostos por sedimentos finos formado por areias, silte e argilas inconsolidadas, muitas vezes de difícil distinção dos terraços fluviais mais antigos. É comum a presença de bancos de areia ao longo da calha do rio Acre, conforme apresentado na Figura 13.

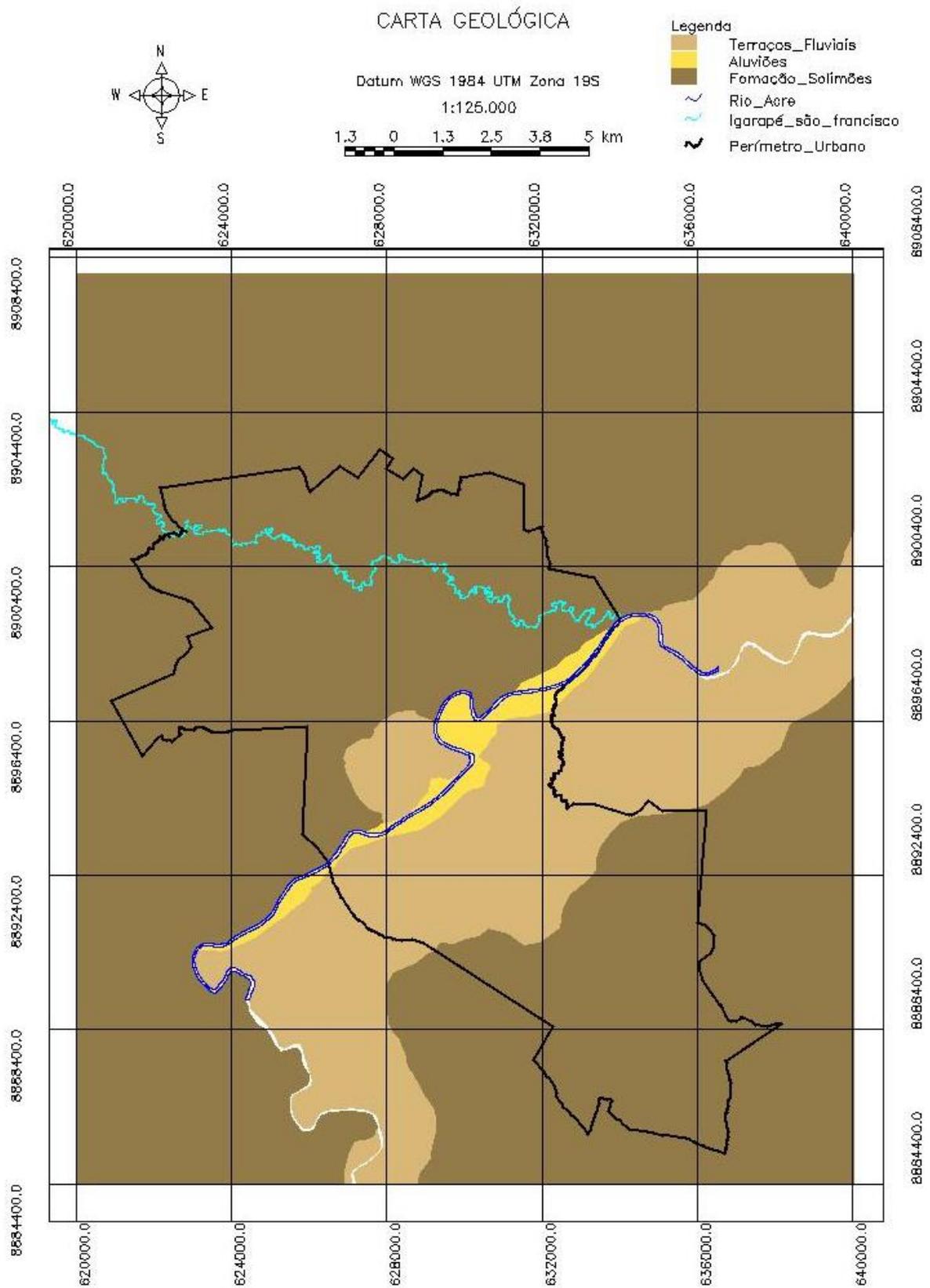


Figura 10 - Carta geológica da cidade de Rio Branco – AC (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006)

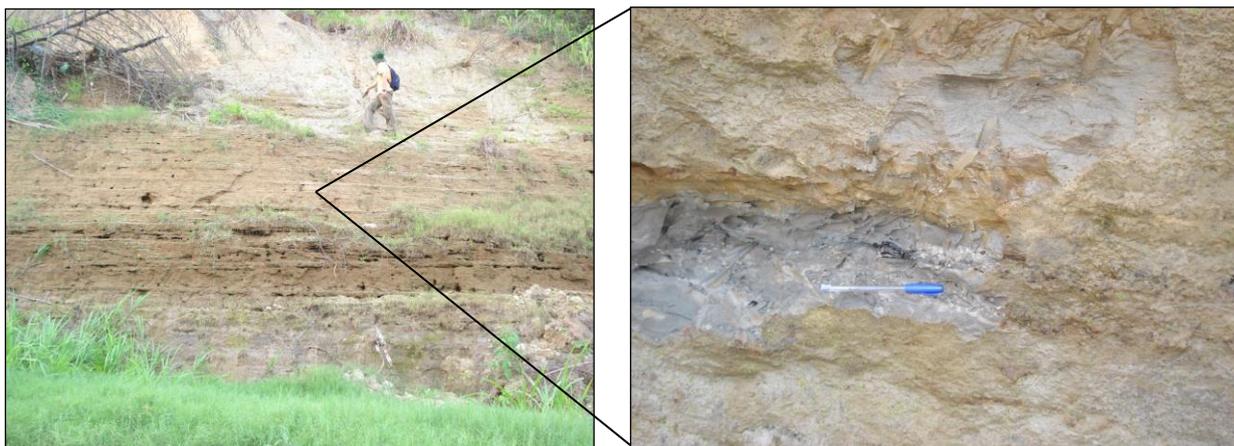


Figura 11 - Afloramento de siltito castanho claro intercalado por camadas centimétricas de areia fina. Detalhe da presença de material orgânico (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).



Figura 12 - Afloramento, na calha do Rio Acre, de argilito bruno estratificado da Formação Solimões (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).



Figura 13 - Aluviões, banco de areia depositado na calha do rio Acre, na área urbana da cidade de Rio Branco (MELO e MARMOS, 2006).

3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A região geomorfologicamente está enquadrada dentro do que o Projeto RADAM em 1976 denominou de Depressão Rio Acre – Rio Javari, em contato com o Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental. De acordo com RADAMBRASIL (1976), o município de Rio Branco encontra-se, quase em sua totalidade, sobre a forma de colinas, que são relevos de topo aplainado, pouco convexo, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales em “V” e eventualmente por vales de fundo plano.

Os relevos de colina e as planícies e terraços fluviais, são representados nas cartas geológicas do projeto RADAMBRASIL (1976), pelas siglas, “C” e “Aptf”, respectivamente. Segundo Guerra (1955), a paisagem ondulada da cidade de Rio Branco (área de estudo) foi modelada principalmente pelo aprofundamento do rio Acre, cujo encaixamento acentuado divide a cidade em duas margens, distintas do ponto de vista do relevo. O geomorfólogo Latrubesse (1996) registrou, em carta elaborada na escala 1:40.000, a existência de três níveis de terraço fluvial acontecendo na margem direita do rio Acre. A título ilustrativo, a Figura 14 registra um trecho da área mapeada por Latrubesse (1996) paralelamente ao mesmo trecho de fotografia aérea antiga, a época em que a região era menos urbanizada.

Oliveira e Ferreira (2006) afirmam que o relevo da área de estudo apresenta-se por vezes bastante ondulado, situa-se sobre uma topografia constituída de terraços e colinas em níveis diferenciados. A paisagem ondulada está relacionada principalmente ao rebaixamento do rio Acre, com seu leito apresentando considerável grau de encaixamento.

Há que se destacar a importância do controle estrutural para a instalação da drenagem atual que, em muitos lugares é controlado por falhas e/ou fraturas a exemplo do Igarapé São Francisco, afluente do rio Acre (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).

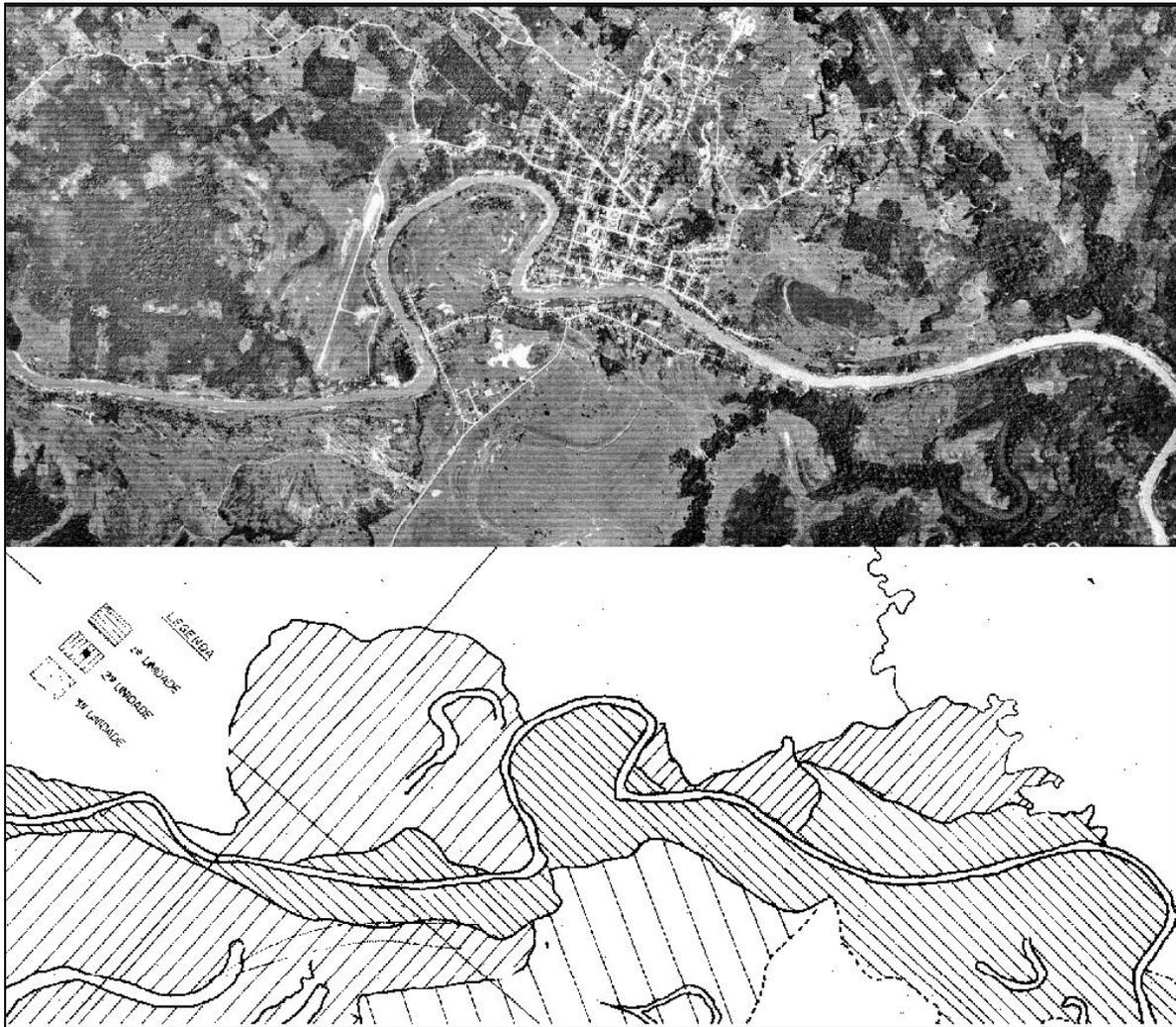


Figura 14 – Aluviões e terraços fluviais as margens do rio Acre (adaptado de LATRUBESSE, 1996 apud FERES, 1998)

3.4 CARACTERÍSTICAS FLUVIOMÉTRICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O regime pluviométrico da região caracteriza-se por um período chuvoso que vai de outubro a abril com precipitação média anual de 1.944 mm, verificada para o período 1970 a 2000. O trimestre mais chuvoso ocorre entre janeiro e março, sendo responsável por cerca de 40% da precipitação total anual, e o período mais seco prolonga-se de maio a setembro, respectivamente, coincidindo com o período de águas altas e baixas para a bacia do rio Acre. A variação anual das chuvas no meio urbano é apreciável, com desvio padrão de 228 mm e picos que podem chegar a valores próximos de 140 mm diários (DUARTE, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma de trabalho para a pesquisa, apresentado na Figura 15, resumidamente, exhibe os materiais, os métodos, as análises utilizadas e os produtos cartográficos gerados na pesquisa.

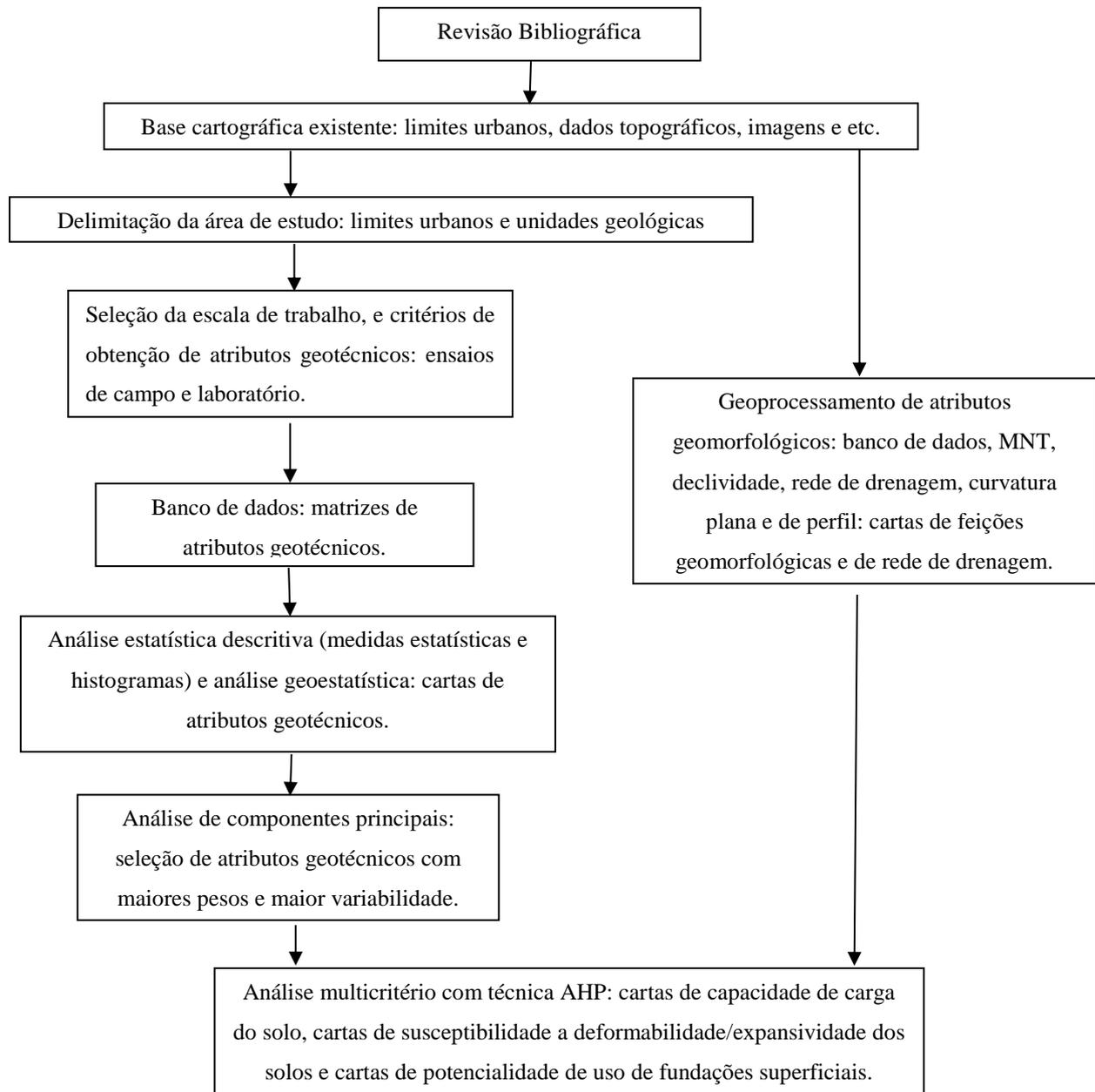


Figura 15 - Fluxograma de trabalho para a pesquisa

5. ANÁLISES E RESULTADOS

No capítulo 5 é apresentado os resultados e as análises da pesquisa, que de forma resumida são: o modelo numérico do terreno, rede de drenagem, as cartas geomorfológicas, os bancos de dados digitais de atributos geotécnicos, geológicos e geomorfológicos, a relação da escala de trabalho do mapeamento geotécnico e a malha de amostragem, a amostragem sistemática da área de estudo e os ensaios realizados na fase de exploração, a caracterização mineralógica dos solos com difração de raio x, análise estatística descritiva dos atributos geotécnicos, análise geoestatística com krigagem ordinária no caso anisotrópico, análise estatística multivariada com análise de componentes principais e análise multicritério com técnica AHP.

5.1 DADOS TOPOGRÁFICOS OBTIDOS POR PERFILAMENTO A LASER AEROTRANSPORTADO NA ÁREA DE ESTUDO

As informações topográficas podem, atualmente, ser obtidas a partir de MNTs adquiridos por sistemas LIDAR (Light Detection and Ranging), que segundo Brandalize (2002) é um sistema que adquire dados digitais de elevação do terreno com precisão equivalente ao GPS, mas de forma muito mais eficaz, pois o sensor principal do sistema está localizado em uma aeronave cujo deslocamento, sobre uma área de interesse, é extremamente rápido quando comparado com os levantamentos convencionais. Segundo Baltsavias (1999) o sistema LIDAR baseia-se no cálculo da distância entre o sensor e a superfície e o tempo de duração entre a emissão e o retorno do pulso. O princípio básico de funcionamento deste sistema, de acordo com Brandalize (2002) é a obtenção de registros contínuos de coordenadas espaciais, as quais constituem os elementos primários para modelagem do terreno e geração de uma carta topográfica derivada destas informações. O pulso LASER de alta precisão é direcionado para o solo por uma abertura no bojo de uma aeronave, esta abertura pode ser a mesma utilizada para a operação de câmaras aéreas na execução de coberturas aerofotogramétricas. Na Figura 16 é apresentado a composição do sistema LIDAR.

O perfilamento a laser foi realizado para a Prefeitura Municipal de Rio Branco - AC em janeiro de 2014, na área de estudo. O sensor utilizado pela empresa Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevanteamento, é denominado Leica ALS 60 e possui a frequência de 200kHz. Ele forneceu pontos com precisão centimétrica, com penetração em áreas de sombras e de cobertura vegetal. Essa é uma vantagem indiscutível sobre os processos fotogramétricos convencionais que usam a correlação de imagem ou a captação de curvas de nível para

modelagem de terreno. O produto final do perfilamento a laser foi um arquivo shapefile com curvas de nível com equidistâncias de 1 metro.

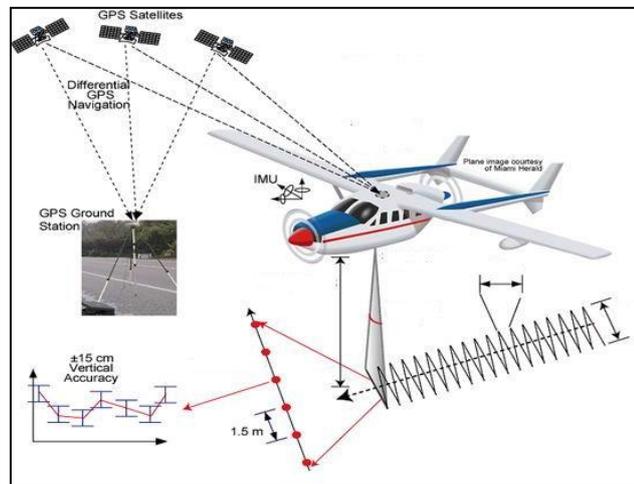


Figura 16 - Composição do Sistema LIDAR (Aeroimagem, 2016).

5.2 IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ortofotocarta da área de estudo foi realizada pela empresa Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevantamento em janeiro de 2014, para a Prefeitura Municipal de Rio Branco – AC tendo sido um produto de grande demanda, dada a riqueza de informação das imagens e a precisão cartográfica. Trata-se de uma retificação diferencial de imagens de fotografias aéreas baseada num modelo numérico do terreno (MNT). O processo visa à correção dos efeitos de distorção das lentes e inclinação da câmera aérea, das variações de escala da imagem e, deslocamentos dos objetos devido ao relevo. A obtenção das ortofotocartas, passando pela mosaicagem, aerotriangulação, modelo numérico do terreno, ortoretificação, tratamento de contraste e brilho, é automática e executada em estações fotogramétricas e usando *software* específico.

A empresa Aeroimagem operou, na área de estudo, um sensor aerofotogramétrico digital ADS-80, da fabricante Suíça Leica Geosystem, apresentado na Figura 17. É um sensor de varredura de linha (pushbroom) com três visadas (anterior, nadir e posterior) que permitem a visualização de estereoscopia em 100% da faixa imageada, operando nas bandas do visível (RGB) e infravermelho próximo (IR), com captura de imagens com resolução espacial de até 05 (cinco) centímetros. Possui 12 linhas de detecção de 12.000 pixels cada uma, dispostas da seguinte maneira: A visada anterior, possui uma linha pancromática; A visada nadir, possui duas linhas pancromáticas, uma no infravermelho próximo e três nos canais do visível (azul, verde e vermelho); e na visada posterior, possui uma linha pancromática, uma no infravermelho próximo e três no RGB (SILVA, 2012a).



Figura 17 - Sensor ADS-80, da fabricante Suíça Leica Geosystem, utilizado na área de estudo, pela empresa Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevantamento (AEROIMAGEM, 2016).

As imagens geradas a partir desse sensor, com GSD de 15 cm, utilizadas na área de estudo, possibilitam gerar cartas com escala aproximada de 1:1.000, com acurácia no eixo X,Y de 0,25m. Uma comparação de imagens, numa região pertencente a área de estudo, com sensor ADS-80 aerotransportado e satélite Quickbird obtido no Google Earth Pro, em janeiro e fevereiro de 2014, são apresentadas nas Figura 18 (a), respectivamente. A carta imagem da área de estudo é apresentada na Figura 18 (b).



(a)



(b)

Figura 18 – a) Imagem obtida com sensor ADS-80 aerotransportado, na área de estudo, com resolução de pixel de 15cm, data da imagem janeiro de 2014. b) Imagem obtida com satélite Quickbird, disponível no Google Earth Pro, com resolução de pixel de 60cm, data da imagem fevereiro de 2014.

CARTA IMAGEM

1:100.000

WGS_1984_UTM_Zone_19S

Legenda

— PERIMETRO URBANO

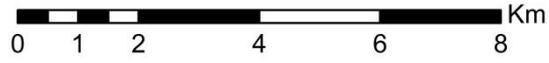


Figura 19 - Carta imagem da área de estudo

5.3 CONSTRUÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DO TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO.

Segundo Bruch, Gruber e Hansen (2009), os modelos numéricos de terreno são ferramentas muito úteis na representação dos fenômenos espaciais. Através deles é possível se fazer diversas análises de forma muito mais segura e rápida. São úteis não somente na representação de aspectos morfológicos, mas de qualquer fenômeno espacialmente contínuo.

O software utilizado para criação do modelo numérico do terreno da área de estudo foi o sistema de processamento de informações georreferenciadas - SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Na elaboração do modelo numérico do terreno foram utilizados os dados de altimetria, da área de estudo, adquiridos por sistemas LIDAR (Light Detection and Ranging).

Na elaboração do MNT foi gerada uma grade triangular sem linha de quebra, e posteriormente uma grade retangular gerada com interpolador linear, apresentado na Figura 20, a imagem em níveis de cinza, onde os valores mais escuros correspondem aos pontos de valor de cota da grade mais baixos e os tons de cinza mais claros aos valores mais altos.

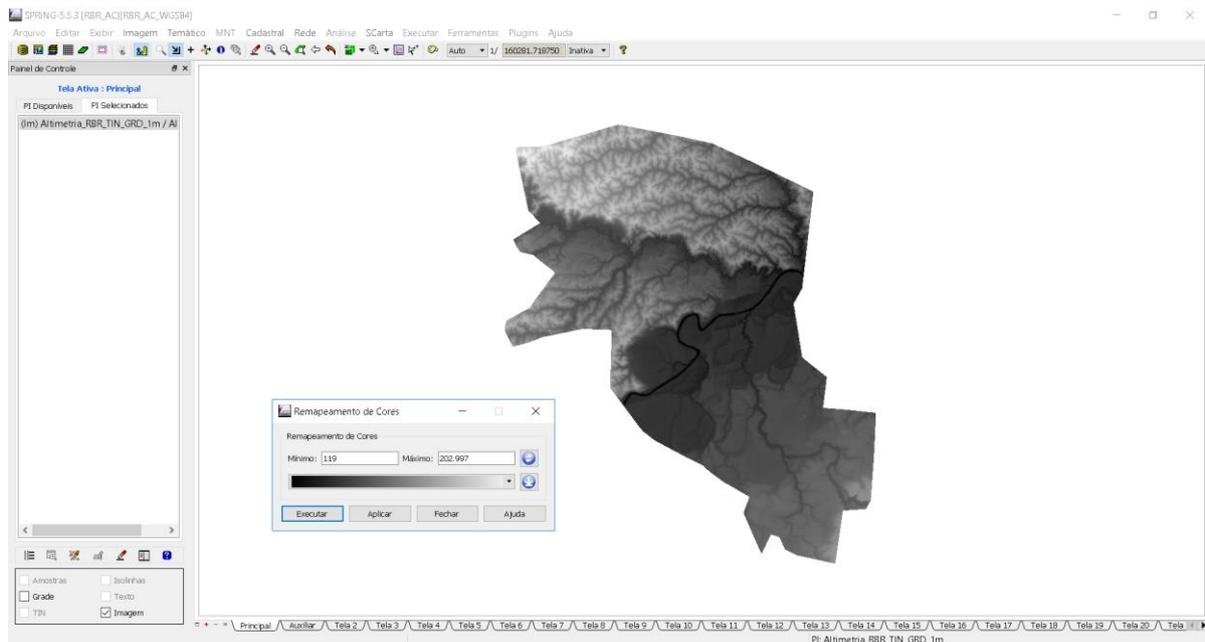


Figura 20 - Grade retangular gerada com interpolador linear

5.4 REDE DE DRENAGEM DA ÁREA DE ESTUDO

O software Terrahidro foi utilizado para extração da rede de drenagem, a partir do modelo numérico do terreno. Sendo um aplicativo geográfico em desenvolvimento, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, para atender a demanda por ambientes computacionais que possibilitem o estudo hidrológico integrado na unidade da bacia, segundo Rosim et al. (2003).

A extração automática da rede de drenagem, apresentada na Figura 21, resumidamente, seguiu os passos:

- Extração de fluxos locais;
- Cálculo da área de contribuição;
- Determinação de rede drenagem;
- Determinação dos segmentos de drenagem;
- Vetorização da rede de drenagem

5.5 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

Um modelo tridimensional da área de estudo, é apresentado na Figura 22, confeccionado a partir das curvas de nível originadas do sistema LIDAR.

A área de estudo possui amplitude altimétrica de 84 m, com mínimo de 119 m e máximo de 203 m de altitude, conforme apresentado na carta hipsométrica na Figura 23. As áreas mais baixas são encontradas na calha e planície de inundação do rio Acre, com cotas próximas a 130 metros, denominadas por Melo e Marmos (2006) de unidade geomorfológica de planícies e terraços fluviais, que constituem áreas de sedimentação, planas, resultantes de acumulação fluvial, e geralmente sujeitas a inundações periódicas.

A carta de relevo sombreado, apresentada na Figura 24, foi criada a partir de três imagens sombreadas todas com elevação de 30° (graus) e exagero de relevo 10 vezes, com azimutes 135°, 180° e 225°, numa composição em variados níveis de cinza, com utilização de RGB nessa ordem de azimutes.

Na Figura 25 é apresentada a carta de classes de relevo em função de declividade. A classificação foi realizada como recomendado no manual técnico de pedologia, conforme recomendado por IBGE (2007), que classifica o relevo em plano quando possui superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades inferiores a 2 graus; Suave Ondulado - superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos), configurando pendentes ou encostas com declives entre 2 até 5 graus; Ondulado -

superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos pendentes ou encostas com declives maiores que 5 até 11 graus; Forte Ondulado - superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de colinas ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos, configurando encostas ou pendentes com declives maiores que 11 até 24 graus; Montanhoso quando possui superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente entre 24 à 37 graus; Escarpado quando possui áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, usualmente ultrapassando 37 graus, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias e vertentes de declives muito fortes.

Nas Figura 24 e Figura 25, é possível observar que a noroeste e centro-oeste da área de estudo são observados relevos ondulados e pouco mais dissecados com rede drenagem mais incisiva. Na margem direita do igarapé São Francisco, em geral é caracterizado por colinas suaves e drenagem pouco entalhada. Na margem direita do rio Acre, predominantemente, comportam meandros abandonados e patamares mais elevados, que também podem comportar meandros abandonados. Oliveira e Ferreira (2006) destacam a importância do controle estrutural para a instalação da drenagem atual que, em muitos lugares é controlado por falhas e/ou fraturas a exemplo do igarapé São Francisco.

Alguns tipos de feições geomorfológicas são considerados unidades básicas do relevo e fundamentais para explicar o desenvolvimento das paisagens. Segundo Guerra e Guerra (2006), as vertentes que são definidas como planos de declives que divergem a partir das cristas enquadrando o vale, também podem ser descritas, de maneira mais simples, como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação a horizontal, que apresenta um gradiente e uma orientação no espaço, e dessa forma, segundo Neto e Faria (2014), podem ser classificadas de acordo com a sua curvatura no plano ou em perfil.

De acordo com a definição dada por Veloso (2002), a curvatura no plano é a taxa de variação da orientação da vertente e refere-se ao caráter divergente/convergente do terreno associado aos fluxos, enquanto a curvatura no perfil é a taxa de variação da declividade na direção de sua orientação e está relacionada ao caráter convexo/côncavo do terreno, sendo decisiva na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o mesmo.

A classificação das vertentes em relação ao perfil é analisada de acordo com seu valor de curvatura e teoricamente, vertentes retilíneas tem valor de curvatura nulo, vertentes côncavas

os tem negativa e convexas tem curvatura positiva. Porém, vertentes com valores nulos são muito raras na natureza, assim muito pouco do que se julga retilíneo apresenta valor de curvatura realmente nulo, mas sim valores pertencentes a um intervalo de tolerância na vizinhança desse valor (DOS ANJOS, JUNIOR E NUNES, 2011).

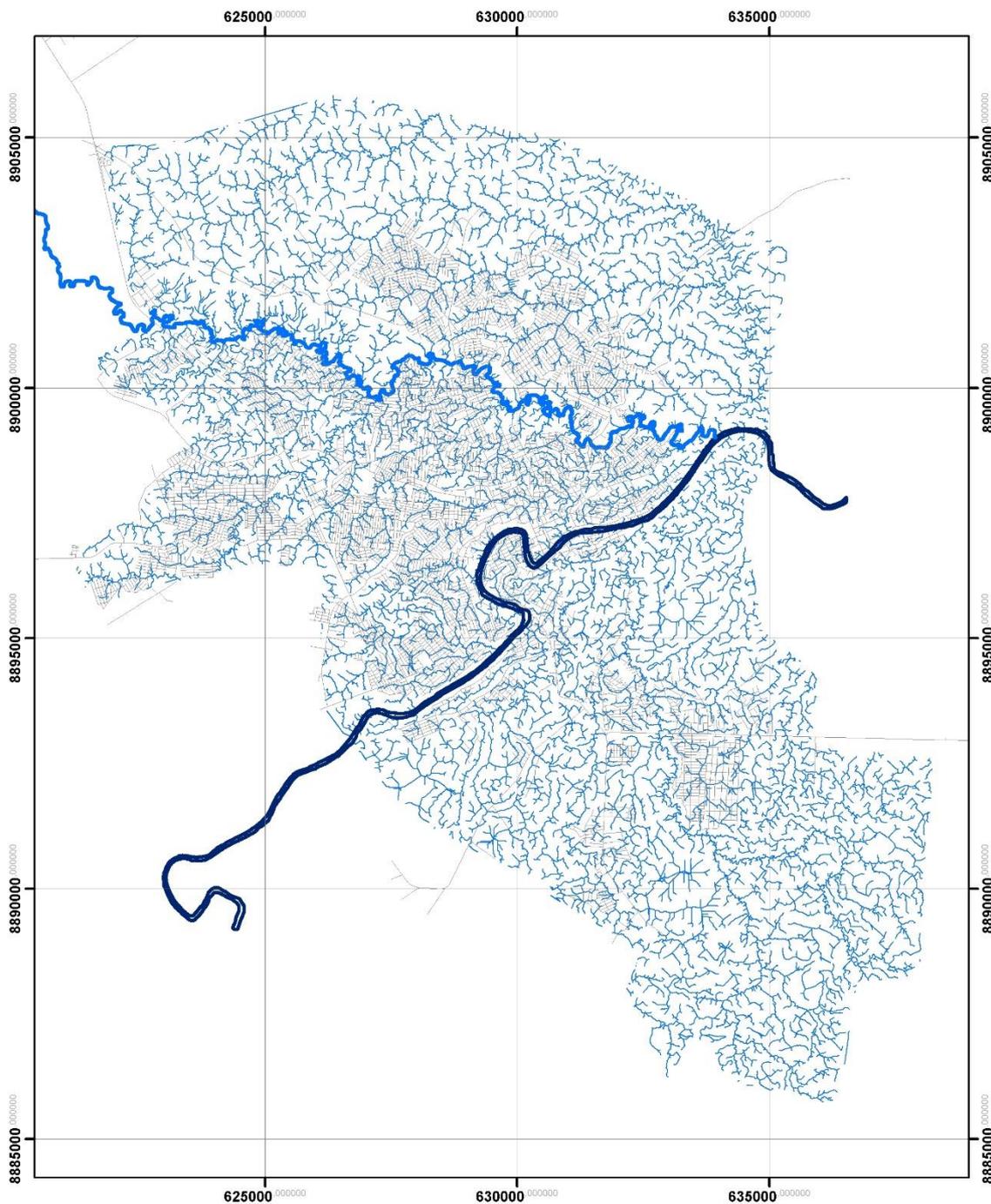
Nas Figura 26 e Figura 27 são apresentadas, respectivamente, a carta de curvatura em perfil e a carta de curvatura plana, elaboradas a partir de um algoritmo no programa Legal, aplicativo do SPRING, segundo a proposta de Zevenbergen e Thorne (1987).

A maior parte da área de estudo predominantemente é retilínea ou plana (cor verde), conforme é possível observar na carta de curvatura plana e carta de curvatura em perfil, e nas proximidades dos canais de drenagem as superfícies côncavas/convexas e divergentes/convergentes são mais presentes.

A orientação de vertentes, segundo Florenzano (2011), é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimutes, isto é, em relação ao Norte geográfico, onde o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção, no sentido horário. A orientação de vertentes, corresponde à direção azimutal do vetor cujo módulo é a declividade. Na carta, é dada pela direção transversal da isolinha local, no sentido descendente, conforme exemplificação proposta por Florenzano (2011) na *Figura 28*. Na área de estudo, o percentual separado por orientação de vertentes é apresentado na *Figura 29*.

Quanto maior a latitude, maior a influência da orientação de vertentes no regime térmico e conseqüentemente no regime hídrico, destaca Florenzano (2011), isso ocorre por causa da incidência de energia solar, maior nas vertentes orientadas ao Norte do que ao Sul.

Nos relevos planos, segundo Florenzano (2011), a determinação de orientação de vertentes é sem significado, uma vez que, nessa situação, o módulo de declividade (gradiente) é nulo ou quase nulo, conforme apresentado nas áreas de cor branca na carta de orientações de vertentes, apresentadas na *Figura 30*.

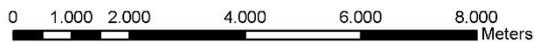


Carta da rede de drenagem da cidade de Rio Branco - Acre, área de estudo (obtida no software TerraHidro)

Legenda

-  Rio Acre
-  Igarapé São Francisco
-  Rede de Drenagem
-  Logradouros

Escala.: 1: 100.000



Datum: WGS 1984 UTM Zona 19S

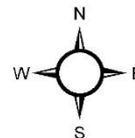


Figura 21 - Carta da rede de drenagem da cidade de Rio Branco - Acre, área de estudo.

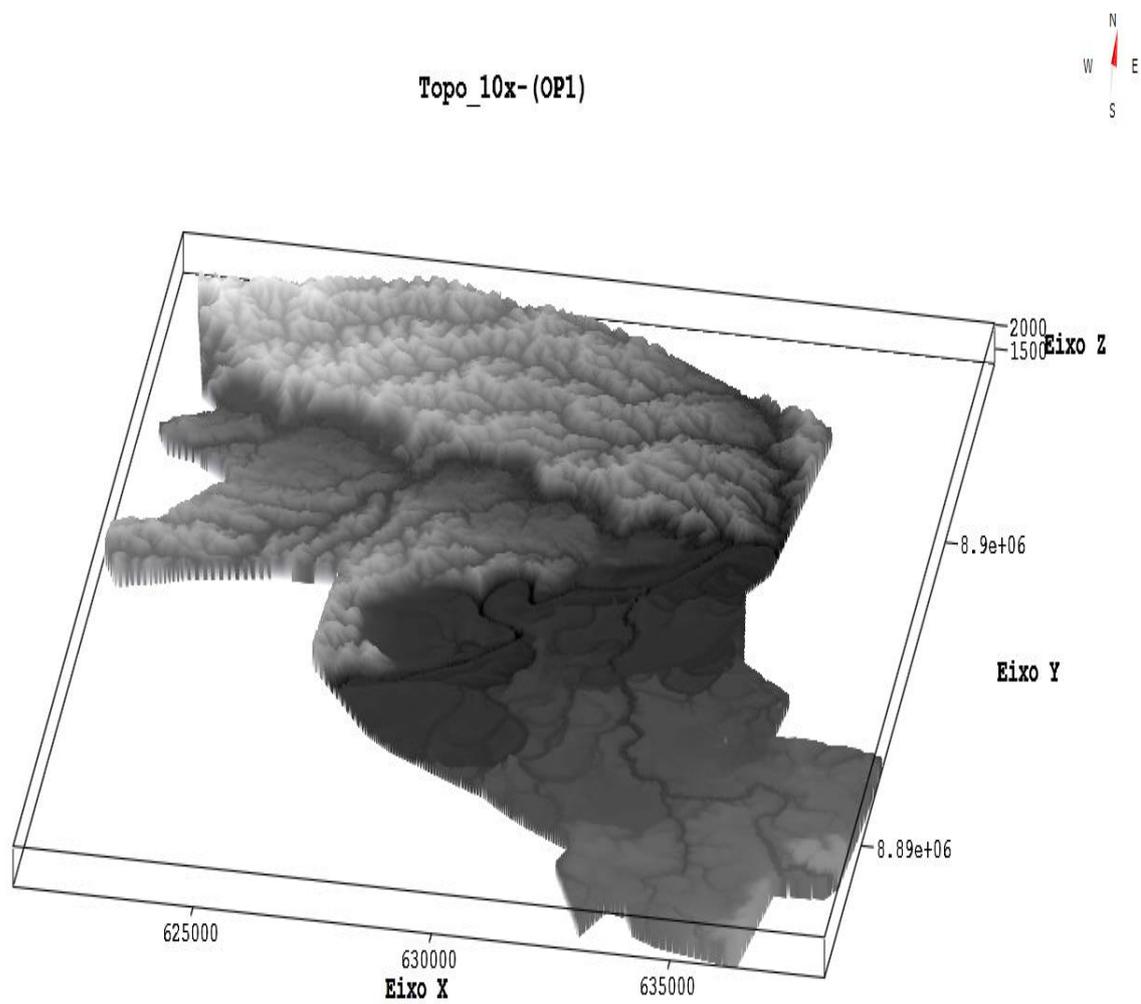


Figura 22 - Modelo tridimensional da área de estudo, com ampliação vertical

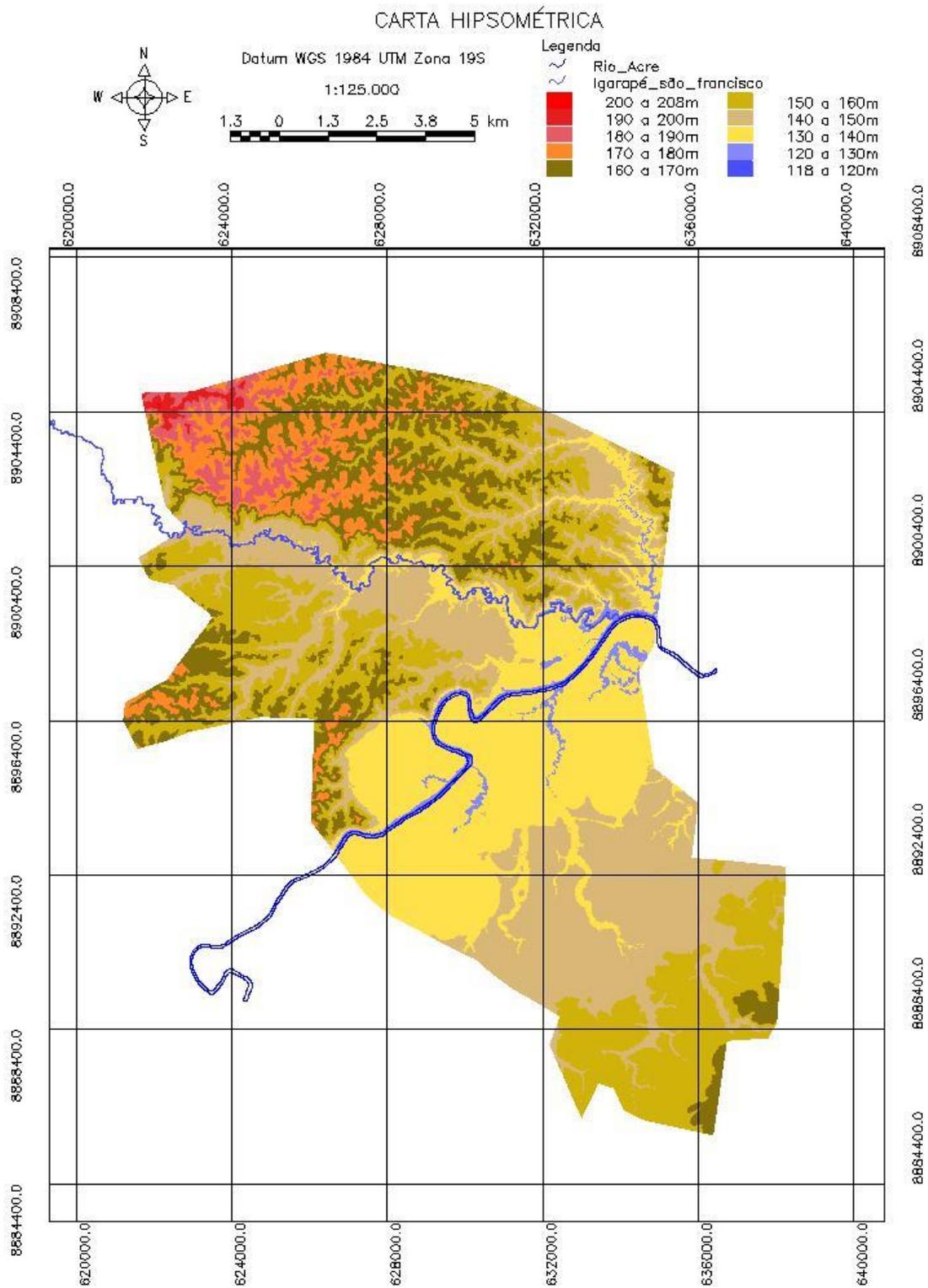


Figura 23 - Carta hipsométrica da área de estudo

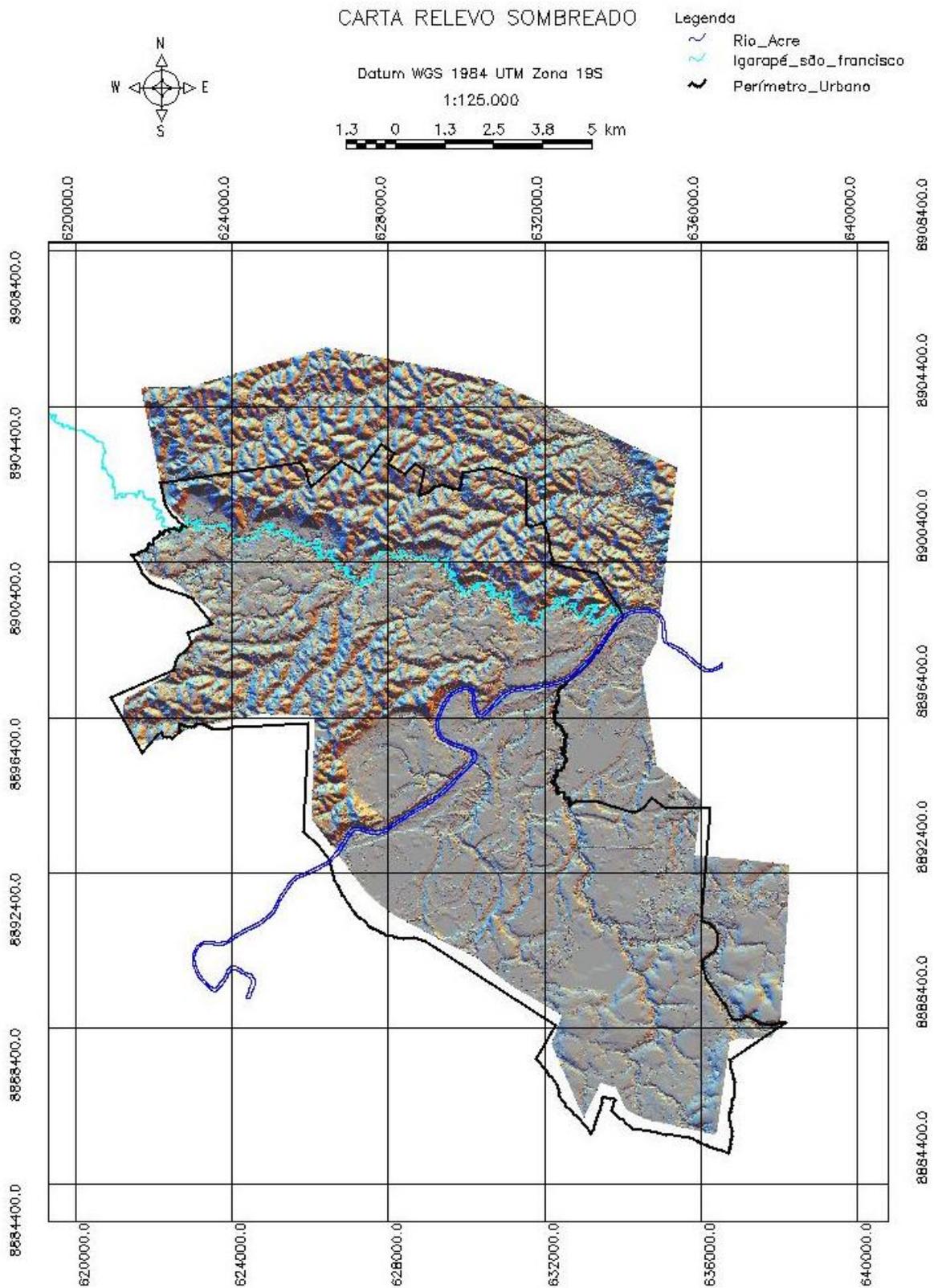


Figura 24 - Carta de relevo sombreado da área de estudo

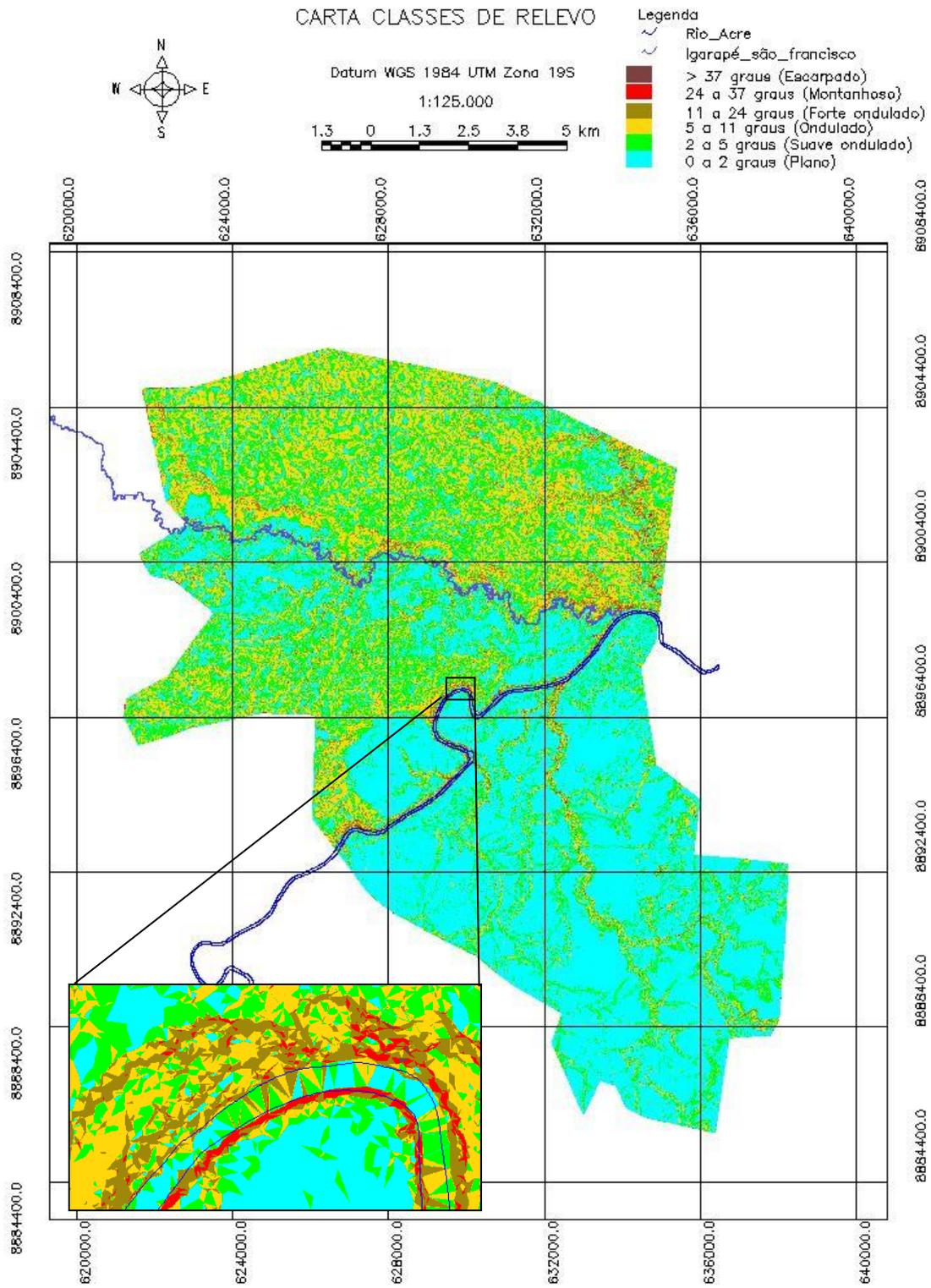


Figura 25 - Carta de classes de relevo em função da declividade

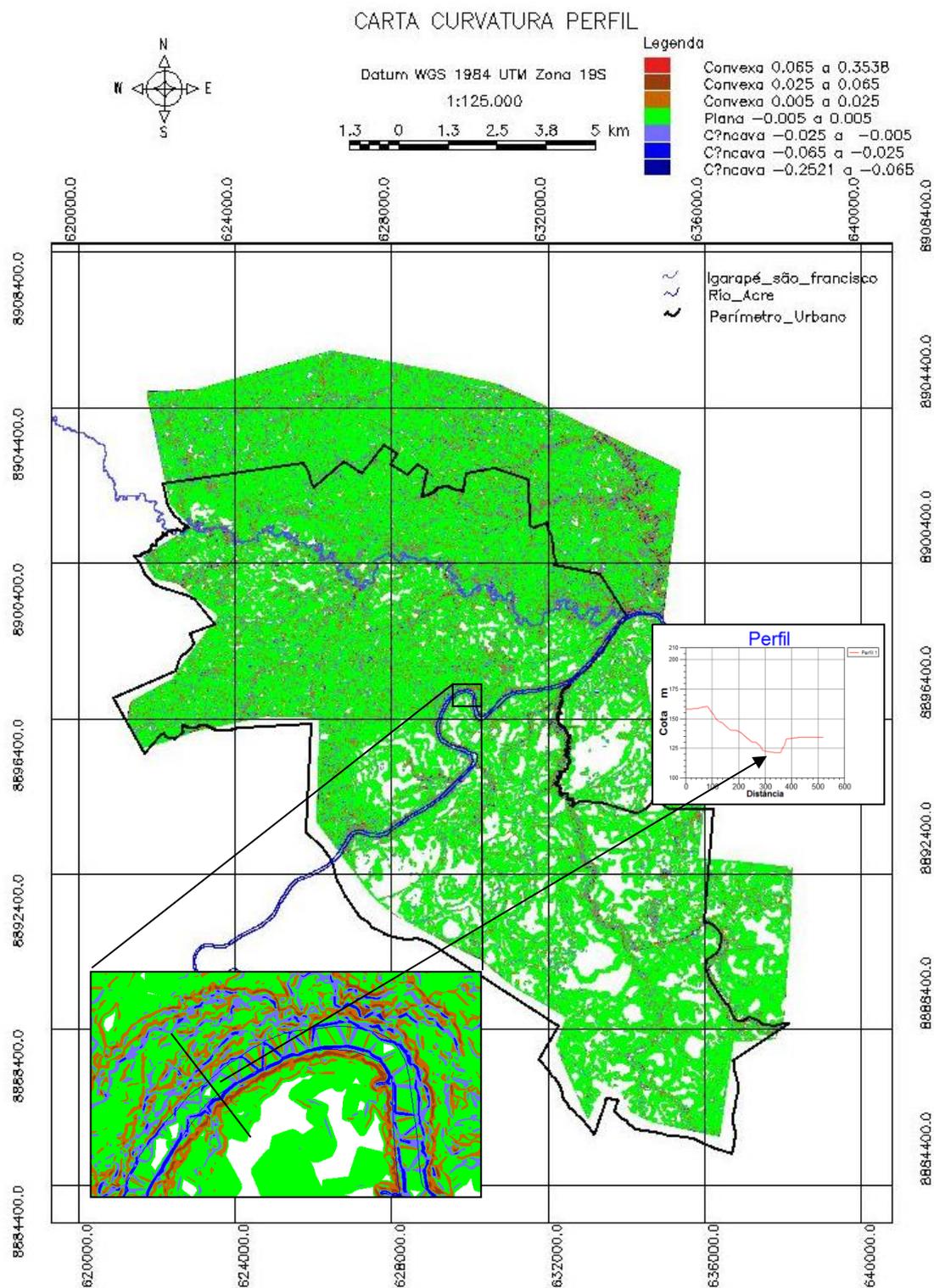


Figura 26 - Carta curvatura perfil

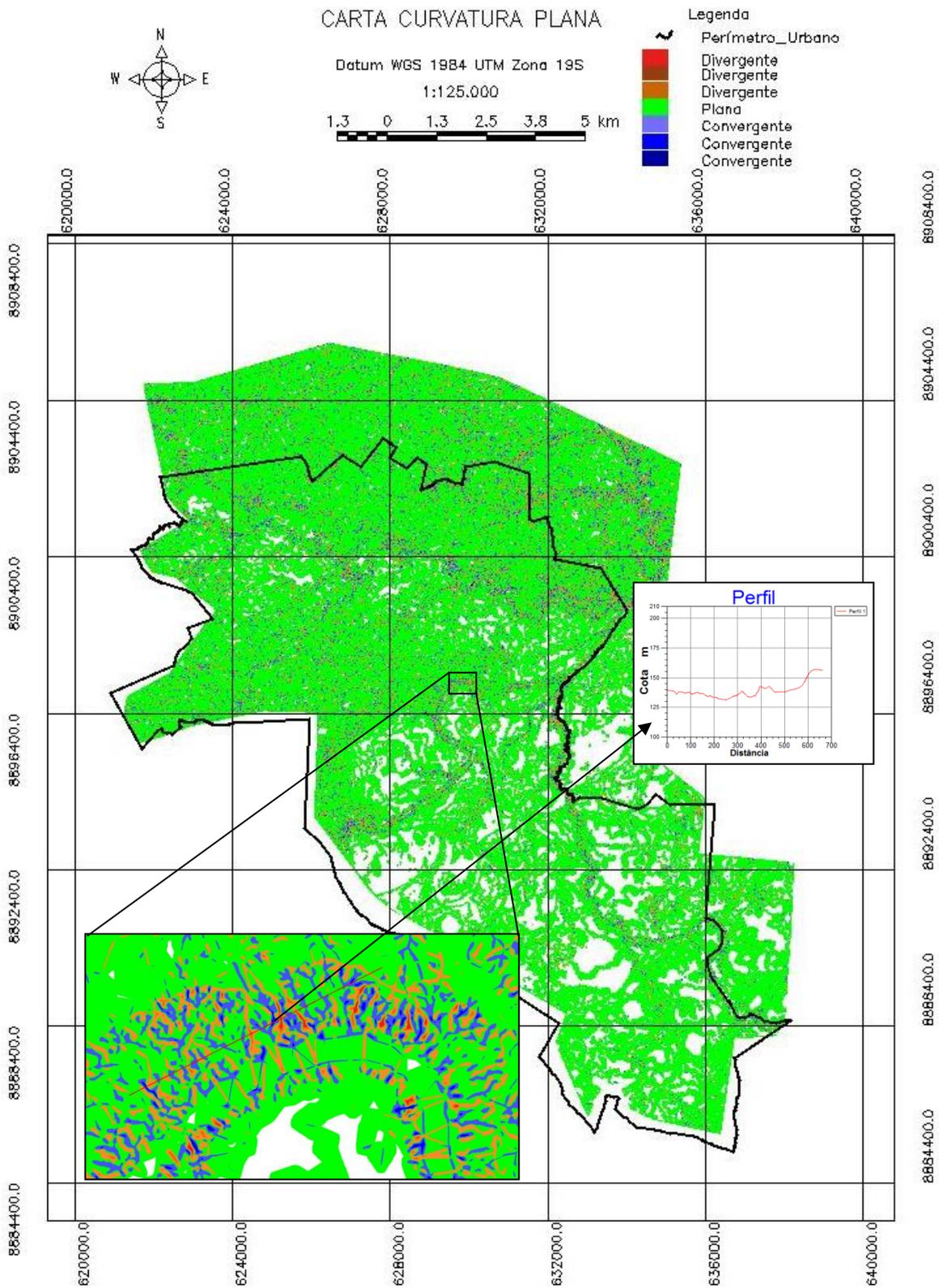


Figura 27 - Carta curvatura plana

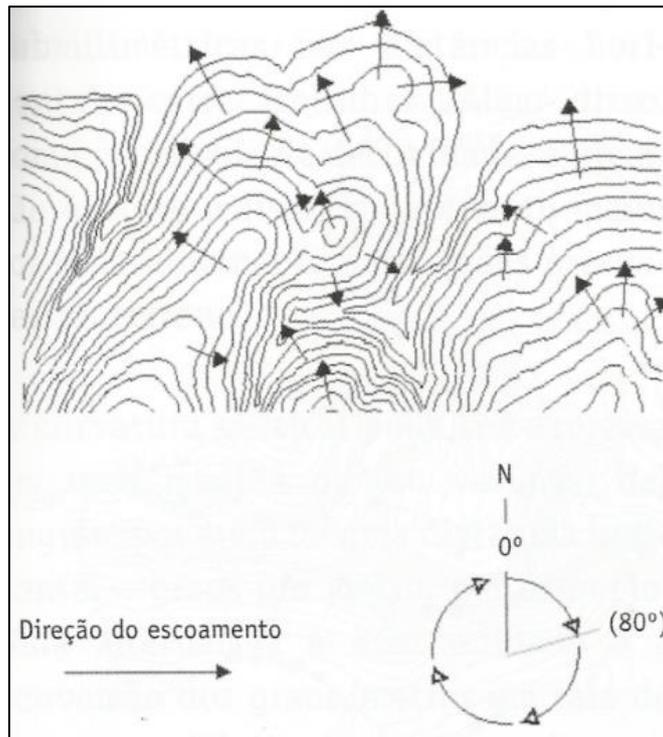


Figura 28 - Orientação de vertentes baseada em curvas de nível (Florenzano, 2011).

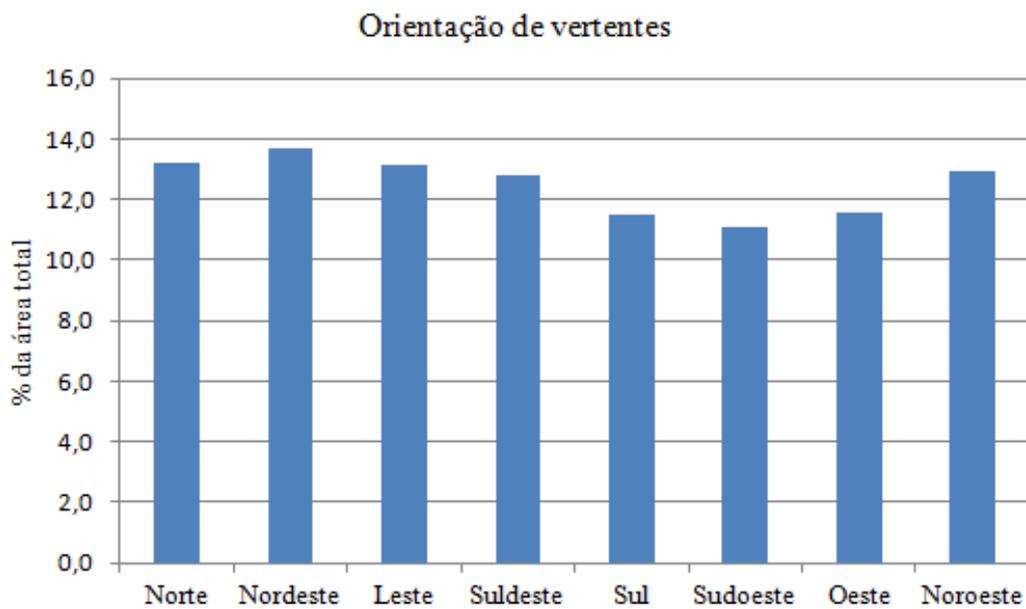


Figura 29 - Gráfico de percentual de orientação de vertentes na área de estudo.

CARTA ORIENTAÇÃO DE VERTENTES

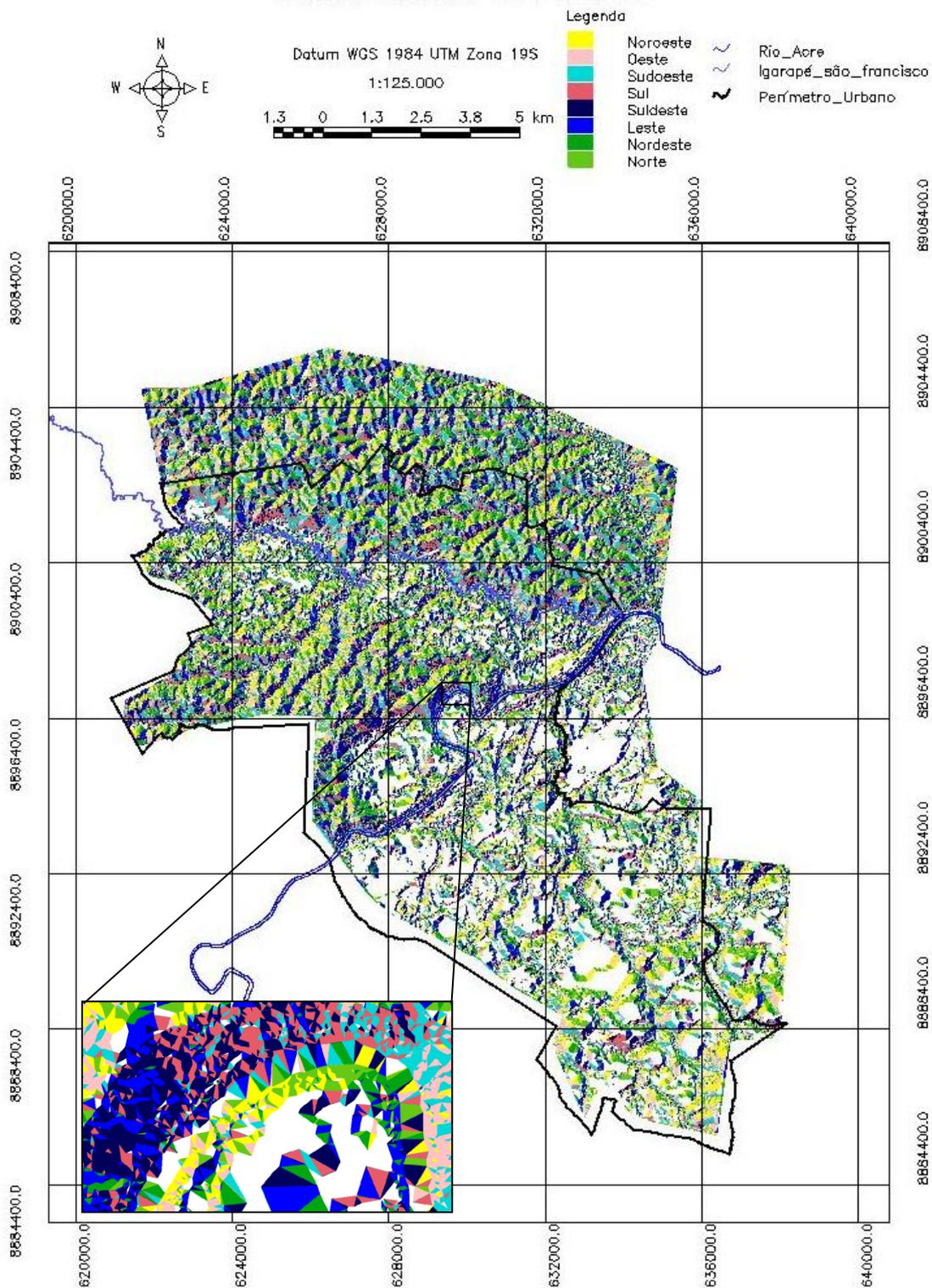


Figura 30 - Carta de orientação de vertentes

5.6 BANCO DE DADOS DIGITAL DE ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS OBTIDOS EM SONDAgens SPT

É possível admitir que as campanhas de sondagens SPT realizadas na área de estudo, com certa limitação, se encaixam em uma amostragem do tipo aleatória, na variável localização geográfica, visto que os locais de sondagem de diferentes campanhas não pertencem a uma malha sistemática, mas distribuídas casualmente, conforme eram atendidas as solicitações de clientes que pretendem obter o reconhecimento das características geotécnicas do terreno.

Em estatística, quando se fala em amostragem aleatória, a população constituída por N unidades é numerada sequencialmente e, assim, n unidades são sorteadas sem reposição. A componente aleatória é, portanto, o número sequencial escolhido entre 1 e N . Nos estudos geoestatísticos, as observações são feitas em pontos de amostragem localizados dentro da área de estudo e, dessa maneira, a componente aleatória são as coordenadas geográficas escolhidas casualmente, segundo Yamamoto e Landim (2013).

Os dados das sondagens SPT utilizados na pesquisa foram extraídos dos boletins cedidos pelas empresas: O. P. Engenharia Técnica Ltda, Construsonda Ltda, Acresondagens e Fundações Ltda, FUNTAC – Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, todas atuantes no estado do Acre. O banco de dados de sondagens SPT foi formado por 1368 boletins de sondagem, que forneceram as seguintes informações:

- Posicionamento das sondagens no terreno (croquis);
- Endereço dos terrenos;
- Data de execução (entre os anos de 1996 a 2018);
- Perfil estratigráfico do solo;
- Descrição tátil-visual das amostras recolhidas e caracterização geotécnica das camadas sondadas;
- Medidas de profundidade de topo e base das camadas;
- Resultados do SPT para cada metro (N_{SPT});
- Medida da profundidade do nível freático.
- Limite da sondagem (profundidade de alcance).

Houve necessidade de integrar os dados das sondagens com o Modelo Digital do Terreno (MDT), pois nos boletins não havia registro da cota do terreno.

A Figura 31 apresenta a carta de localização das sondagens SPT na área de estudo.

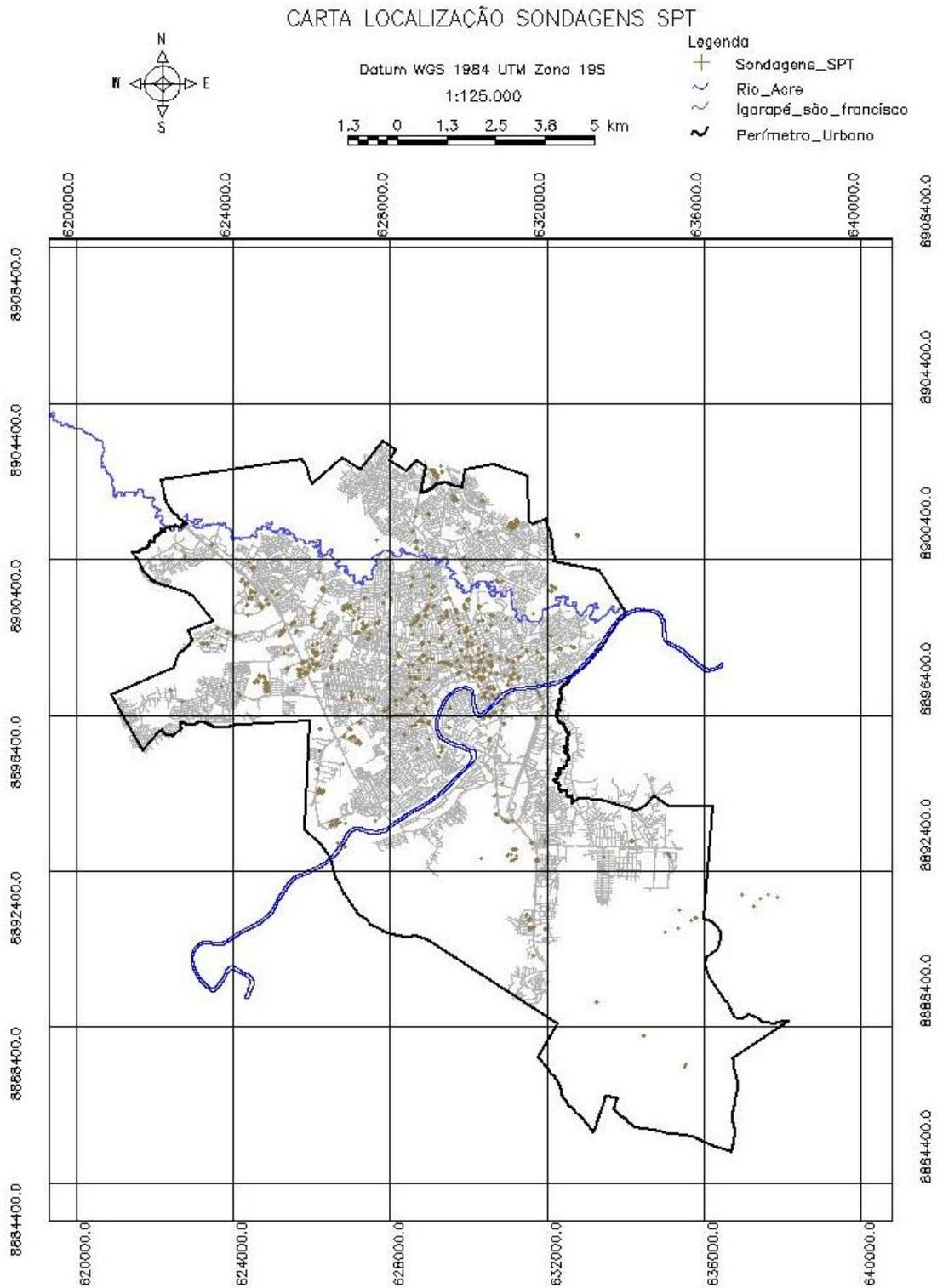


Figura 31 - Carta de localização das sondagens SPT na área de estudo

A compilação das informações acerca dos atributos necessários para realizar as análises estatísticas e geoestatísticas, foi realizada a partir da elaboração de um banco de dados digital, inicialmente através do programa Microsoft Office Excel, uma vez que este programa possui interface e recursos adequados às rotinas de análises processadas posteriormente no SPRING.

O banco de dados de sondagens SPT é composto por várias tabelas que armazenaram os dados presentes nos boletins de sondagens selecionados. A alimentação do banco de dados se deu via formulário, conforme apresentada na Figura 32, que é uma estrutura que concatena as tabelas através de relacionamentos. Posteriormente, todos os dados, desses formulários, foram armazenados em um único arquivo, conforme apresentado na Figura 33. Deste modo, foi possível a organização de todos os dados que, sequencialmente alimentaram o sistema de informação geográfica, utilizando o software SPRING.

Na Figura 34 é apresentado um perfil de sondagem SPT típico de solo encontrado na área de estudo.

RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO SOLO				CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA						
Profundidade (m)	Nº de golpes/25cm			Profundidade da camada (m)	Tipo de solo/Ctd	Coss. de Comp./Ctd	Coss/Ctd	Classif/comp/Ctd	Classif/Ctd			
	2º	3º	Σ									
1	2	4	6	0,5	argila	11	média	3	branco	2	branco	1
2	3	3	6	1,0	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
3	3	4	7	1,5	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
4	4	5	9	2,0	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
5	4	4	8	2,5	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
6	3	5	8	3,0	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
				3,5	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
				4,0	argila	11	média	3	branco/cinza	23	branco	12
				4,5	areia silteosa	2	med. compacta	8	amarelo	5	nilo-hidromórfico	3
				5,0	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarelo	5	nilo-hidromórfico	3
				5,5	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarelo	5	nilo-hidromórfico	3

Figura 32 - Interface gráfica no Microsoft Excel do banco de dados de sondagens SPT

Salvamento Automático 287SP4 ponto 1120.xls - Modo de Compatibilidade - Excel Marcelo Borges

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibir Action Stat Ajuda Diga-me o que você deseja fazer Compartilhar Comentários

Colar Arial 10 N I B U T A A* A^ A~ Quebrar Texto Automaticamente Geral % 0,000 000 000 Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células AutoSoma Preencher Limpar Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar Edição

Local	Sond	Camada	Xoord	Yoord	CotaSond/MDT	CotaSPT	ValorSPT	ProNA24h	cotaNA24h	Classif_Solo	Cod_Classif_Solo	Const-Comp	Cod_Const-Comp	Cor	
1	1120	287SP4	0,500	628813	8898269	153,500	153,500	6	4,050	149,450	argila	11	média	3	brun
2	1120	287SP4	1,000	628813	8898269	153,500	152,500	6	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
3	1120	287SP4	1,500	628813	8898269	153,500	152,000	6	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
4	1120	287SP4	2,000	628813	8898269	153,500	151,500	6	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
5	1120	287SP4	2,500	628813	8898269	153,500	151,000	6	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
6	1120	287SP4	3,000	628813	8898269	153,500	150,500	6	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
7	1120	287SP4	3,500	628813	8898269	153,500	150,000	7	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
8	1120	287SP4	4,000	628813	8898269	153,500	149,500	7	4,050	149,450	argila	11	média	3	bruno/cinz
9	1120	287SP4	4,500	628813	8898269	153,500	149,000	9	4,050	149,450	areia silteosa	2	med compacta	8	amarel
10	1120	287SP4	5,000	628813	8898269	153,500	148,500	9	4,050	149,450	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarel
11	1120	287SP4	5,500	628813	8898269	153,500	148,000	8	4,050	149,450	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarel
12	1120	287SP4	6,000	628813	8898269	153,500	147,500	8	4,050	149,450	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarel
13	1120	287SP4	6,500	628813	8898269	153,500	147,000	8	4,050	149,450	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarel
14	1120	287SP4	7,000	628813	8898269	153,500	146,500	8	4,050	149,450	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarel
15	1120	287SP4	7,500	628813	8898269	153,500	146,000	7	4,050	149,450	areia silteosa	2	pouco compacta	7	amarel
16	1120	287SP4	8,000	628813	8898269	153,500	145,500	7	4,050	149,450	areia silteosa	2	med compacta	8	amarel
17	1120	287SP4	8,500	628813	8898269	153,500	145,000	10	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
18	1120	287SP4	9,000	628813	8898269	153,500	144,500	10	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
19	1120	287SP4	9,500	628813	8898269	153,500	144,000	10	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
20	1120	287SP4	10,000	628813	8898269	153,500	143,500	10	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
21	1120	287SP4	10,500	628813	8898269	153,500	143,000	12	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
22	1120	287SP4	11,000	628813	8898269	153,500	142,500	12	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
23	1120	287SP4	11,500	628813	8898269	153,500	142,000	14	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
24	1120	287SP4	12,000	628813	8898269	153,500	141,500	14	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
25	1120	287SP4	12,500	628813	8898269	153,500	141,000	17	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
26	1120	287SP4	13,000	628813	8898269	153,500	140,500	17	4,050	149,450	areia	1	pouco compacta	7	cinz
27	1120	287SP4	13,500	628813	8898269	153,500	140,000	8	4,050	149,450	areia	1	pouco compacta	7	cinz
28	1120	287SP4	14,000	628813	8898269	153,500	139,500	8	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
29	1120	287SP4	14,500	628813	8898269	153,500	139,000	14	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
30	1120	287SP4	15,000	628813	8898269	153,500	138,500	14	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
31	1120	287SP4	15,500	628813	8898269	153,500	138,000	17	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz
32	1120	287SP4	15,500	628813	8898269	153,500	138,000	17	4,050	149,450	areia	1	med compacta	8	cinz

Boletim de Sondagem ArcGIS Tipo de solo Database

Figura 33 - Matriz de atributos geotécnicos obtidos de sondagens SPT na área de estudo.

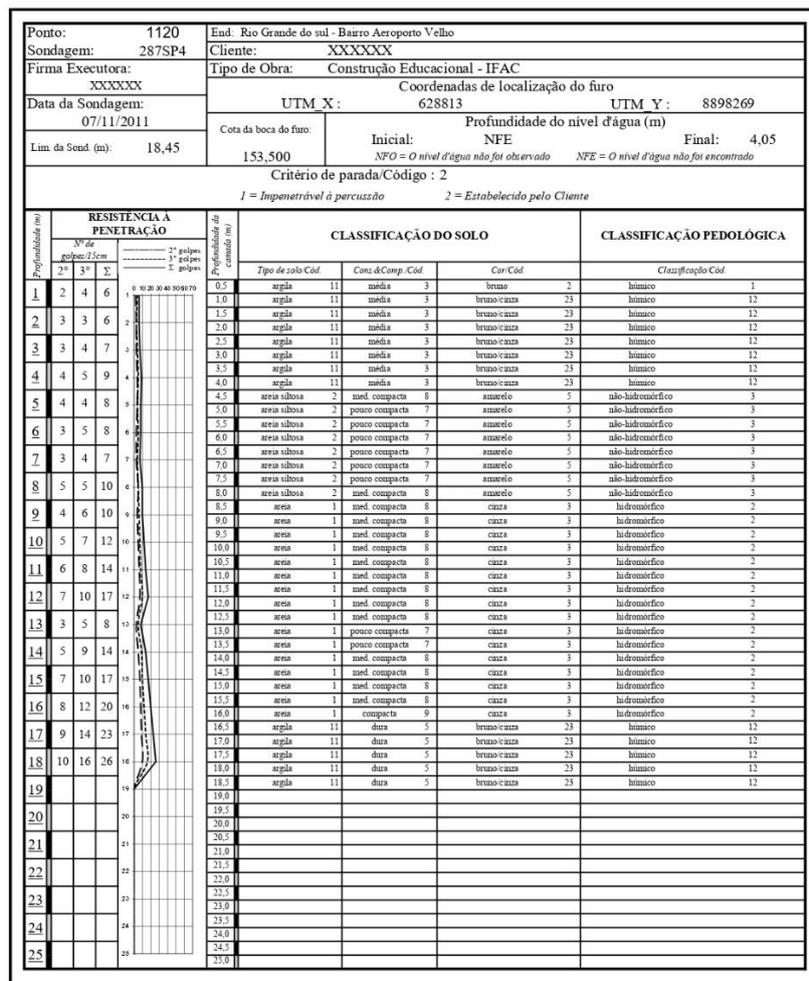


Figura 34 - Perfil de sondagem SPT realizada na área de estudo.

5.7 RELAÇÃO DA ESCALA DE TRABALHO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E A MALHA DE AMOSTRAGEM

A cartografia geotécnica caracteriza-se como um processo destinado para investigação e avaliação geológico-geotécnica, e para isso, necessita sempre de um grupo de atributos vinculados a uma finalidade específica.

Segundo Zuquette e Gandolfi (2013), para cada informação geológico-geotécnica (atributo) corresponde um VER (Volume Elementar Representativo) a ser considerado, obtido, e extrapolado para o maciço. A adequada delimitação do VER possibilita obter resultados que representam satisfatoriamente a variabilidade das informações, em termos espaciais naturais e a devida a erros de obtenção e medidas.

No caso da cartografia geotécnica para uma finalidade específica, as condições devem ser definidas previamente, atendendo à seleção eficiente dos atributos considerados, sua gama de heterogeneidade, e sua classificação devem levar em conta a escala, as definições de como, onde e quanto amostrar.

A representação da variabilidade do meio físico é um desafio no processo de mapeamento geotécnico, sendo fundamental saber como são obtidos e tratados os atributos, iniciando pelo processo de amostragem. Para essa etapa, a análise estatística de dados multivariados e a análise espacial de dados geográficos, servem como ferramenta útil, quando se deseja comparar a variabilidade das amostras e dos atributos.

De acordo com Montgomery e Runger (2013), por variabilidade, entende-se que sucessivas observações de um sistema ou de um fenômeno não produzem exatamente o mesmo resultado, e o pensamento estatístico pode fornecer uma maneira útil para incorporar essa variabilidade em nossos processos de tomada de decisão.

Os pesquisadores Borges, Souza e Silva (2015) avaliaram propostas de diferentes pesquisadores sobre a relação da amostragem e escala de trabalho do mapeamento geotécnico, com base em uma revisão da literatura a partir de um levantamento bibliográfico em livros e nas bases de dados eletrônicas: Scientific Electronic Library On-line (SciELO), Portal de periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) - Ministério da Educação (MEC), Google acadêmico buscador.

Os descritores em português empregados na revisão bibliográfica foram: "investigação geotécnica", "mapeamento geotécnico", "cartografia geotécnica", "quantidade de sondagem". Os seus correspondentes em inglês foram: "geotechnical investigation", "geotechnical mapping", "amount of borehole". O período abordado refere-se à literatura publicada nas

últimas décadas (1970 a 2014). A revisão priorizou estudos de cartografia geotécnica em diferentes escalas.

O objeto de interesse, nos artigos, teses, dissertações e livros, foram às informações relacionadas à quantidade de ensaios, tamanho da área de investigação e escala de trabalho do mapeamento geotécnico.

As seguintes informações foram compiladas das bibliografias pesquisadas: Quantidade de sondagens; Área investigada em m²; Escala de trabalho.

Com os dados, procedeu-se à montagem de planilhas e elaboração de gráficos de dispersão na escala bilogarítmica. Após a montagem dos gráficos de dispersão, foram analisadas as tendências, em função da escala de trabalho versus área de influência da investigação geotécnica para as diferentes propostas.

As seguintes informações: escala de trabalho e área de influência das sondagens são apresentadas na Tabela 5. Observa-se, que existem diferenças de valores para cada proposta ou trabalho.

As propostas metodológicas de Karacsonyi e Remmenyi (1970), Matula e Pasek (1984), Zuquette e Gandolfi (2013), partem das experiências e observações dos autores, que levam em consideração a variabilidade do atributo de forma qualitativa.

Nos trabalhos de teses e dissertações realizadas nas diferentes regiões do Brasil, em diferentes unidades geológico-geotécnicas, também em diferentes escalas, foi possível a partir de diferentes unidades geotécnicas investigadas incluir, de forma qualitativa, a variabilidade desses solos.

Em Gravataí e Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul, solos lateríticos, solos hidromórficos, solos podzólicos são mencionados por Dias (1987). Em Rio Branco no Estado do Acre, neossolos flúvicos, plintossolo argilúvicos e argissolo vermelho e amarelo são mencionados por Borges (2007). Em Brasília no Distrito Federal, solos porosos colapsíveis são mencionados por Mascarenha (2003). Em João Pessoa no Estado da Paraíba, sedimentos aluvionares, sedimentos marinhos fluviais, depósitos arenosos sem dunas, argilitos e arenitos do Grupo Barreiras, Calcários do Grupo Paraíba, são mencionados por Soares (2011). Em Manaus no Estado do Amazonas, solos compostos por argilas lateríticas, argilas arenosas lateríticas e argilas plásticas são mencionados por Roque (2006).

A amostragem está sempre relacionada à escala do mapeamento. As propostas metodológicas dos trabalhos de Karacsonyi e Remenyi (1970), Matula e Pasek (1984), Zuquette e Gandolfi (2013), teses e dissertações realizadas nas diferentes regiões do Brasil,

como: Dias (1987), Borges (2007), Mascarenha (2003), Soares (2011) e Roque (2006) apresentam uma relação entre escala e a malha de amostragem.

A partir dos dados da Figura 5, foram criados os gráficos da Figura 35, Figura 36 e Figura 37, em escala bi logarítmica dos valores de escala de trabalho do mapeamento geotécnico e área de influência da investigação.

Na Figura 35 observa-se uma tendência comum para as diferentes propostas em relação a escala de trabalho e área de influência da sondagem.

Na Figura 36 as retas paralelas, à esquerda e à direita, delimitam os pontos das diferentes propostas, acredita-se que esses limites estão relacionados à variabilidade dos atributos dos solos investigados. Se esta hipótese for verdadeira, decorre que quanto maior a variabilidade do atributo investigado, menor a área de influência de cada sondagem, e maior será a quantidade de sondagens exigidas na investigação.

Na Figura 37, são adicionadas as retas denominadas “relação proporcional”, que representam uma área de 1 cm², 10 cm² e 100 cm², medidos na carta, equivalentes a área no terreno, para as diferentes escalas de trabalho.

As retas correspondentes a terrenos com maior e menor variabilidade, são paralelas entre si, e possuem uma inclinação diferente da reta “relação proporcional”, onde se conclui, que nas diferentes propostas, não existe uma relação linear proporcional entre a área de investigação medida na carta e a área de influência de investigação medida no terreno, para diferentes escalas. A tendência crescente entre a escala de trabalho da carta geotécnica e a área de influência da investigação, observada nos trabalhos dos autores pesquisados, sugere que existe uma convergência de ideias, de que materiais que apresentam maior variabilidade do atributo, devem ser mais intensamente investigados, ou seja, a quantidade de ensaios deve ser maior, do que a quantidade de ensaios realizados nos materiais com menor variabilidade dos atributos geotécnicos.

De forma geral, para escalas de detalhe (1:500 a 1:2.000), deve-se utilizar uma área de influência da investigação equivalente da ordem de 100 cm² na carta. Em escala intermediária (1:2.000 a 1:25.000) deve-se utilizar uma área de influência da investigação equivalente na faixa de 100 cm² a 10 cm² na carta. Em escala regional (menor que 1:25.000) deve-se utilizar uma área de influência da investigação equivalente na faixa de 10 cm² a 1 cm² na carta. De acordo com Borges, Souza e Silva (2015), os valores acima mencionados, servem como número inicial na escolha da área de investigação da sondagem para as diferentes escalas de trabalho e dependem principalmente da complexidade dos terrenos e da finalidade da investigação.

Tabela 5 -Diferentes propostas, segundo vários autores, apresentando: escala de trabalho, área de influência das sondagens (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015)

Propostas	Escala de trabalho	Área de Influência da sondagem (m ²)
ABNT NBR 8036 (1983)	1:2000	7854
ABNT NBR 8036 (1983)	1:100	200
Karacsonyi e Remenyi (1970)	1:100000	785398
Karacsonyi e Remenyi (1970)	1:50000	331830
Karacsonyi e Remenyi (1970)	1:25000	113411
Karacsonyi e Remenyi (1970)	1:10000	31416
Karacsonyi e Remenyi (1970)	1:5000	11309
Matula e Pasek (1984)	1:75000	1000000
Matula e Pasek (1984)	1:50000	333333
Matula e Pasek (1984)	1:25000	100000
Matula e Pasek (1984)	1:15000	66667
Matula e Pasek (1984)	1:5000	40000
Matula e Pasek (1984)	1:2000	25000
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:250000	7852602
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:100000	3926752
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:50000	2615867
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:25000	196350
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:10000	78427
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:5000	52279
Zuquetti e Gandolfi (2013)	1:2000	31416
Dias, R. D. (1987)	1:80000	241667
Mascarenha, M. M. A. (2003)	1:100	100
Soares, W. C. (2011)	1:10000	52098
Roque, W. V. (2006)	1:125000	2119760
Borges, M. V. (2007)	1:25000	42623

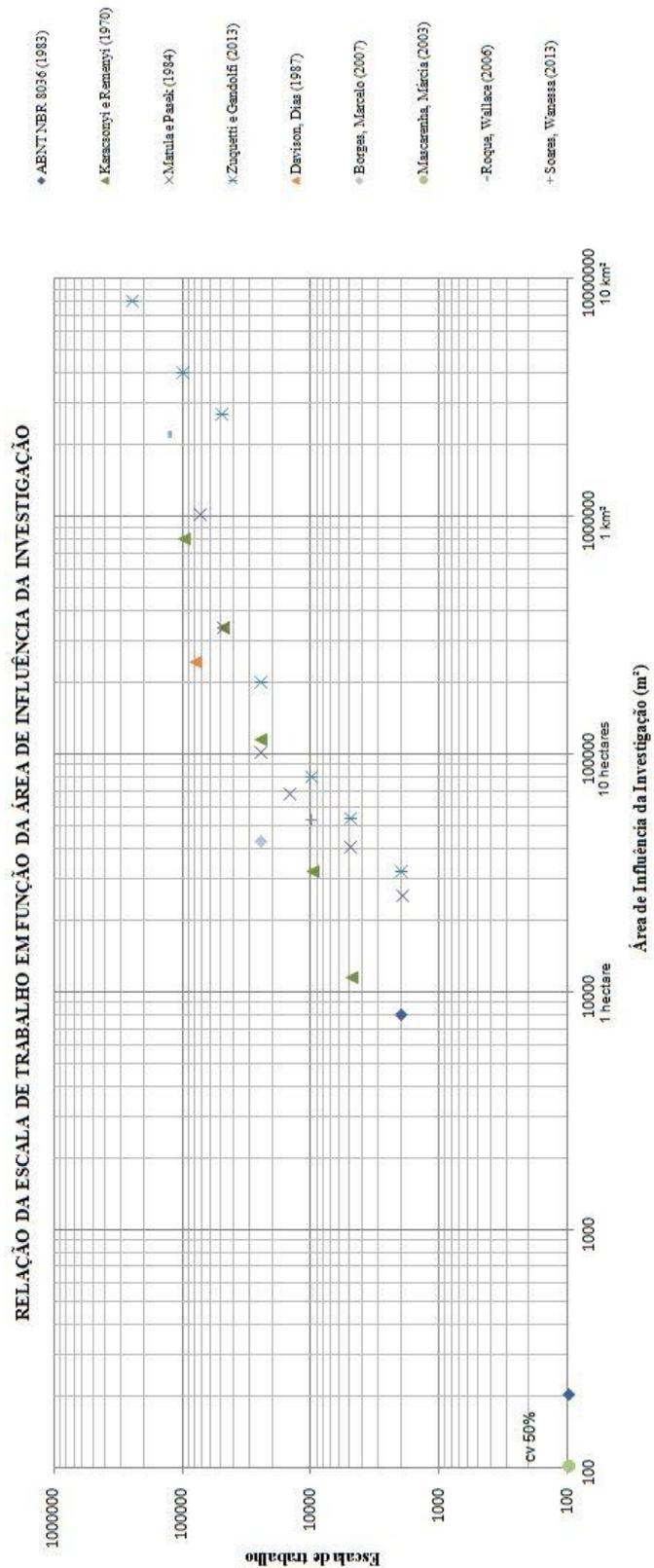


Figura 35 - Gráfico de tendência crescente na escala bi logarítmica da relação da escala de trabalho em função da área de influência da investigação (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).

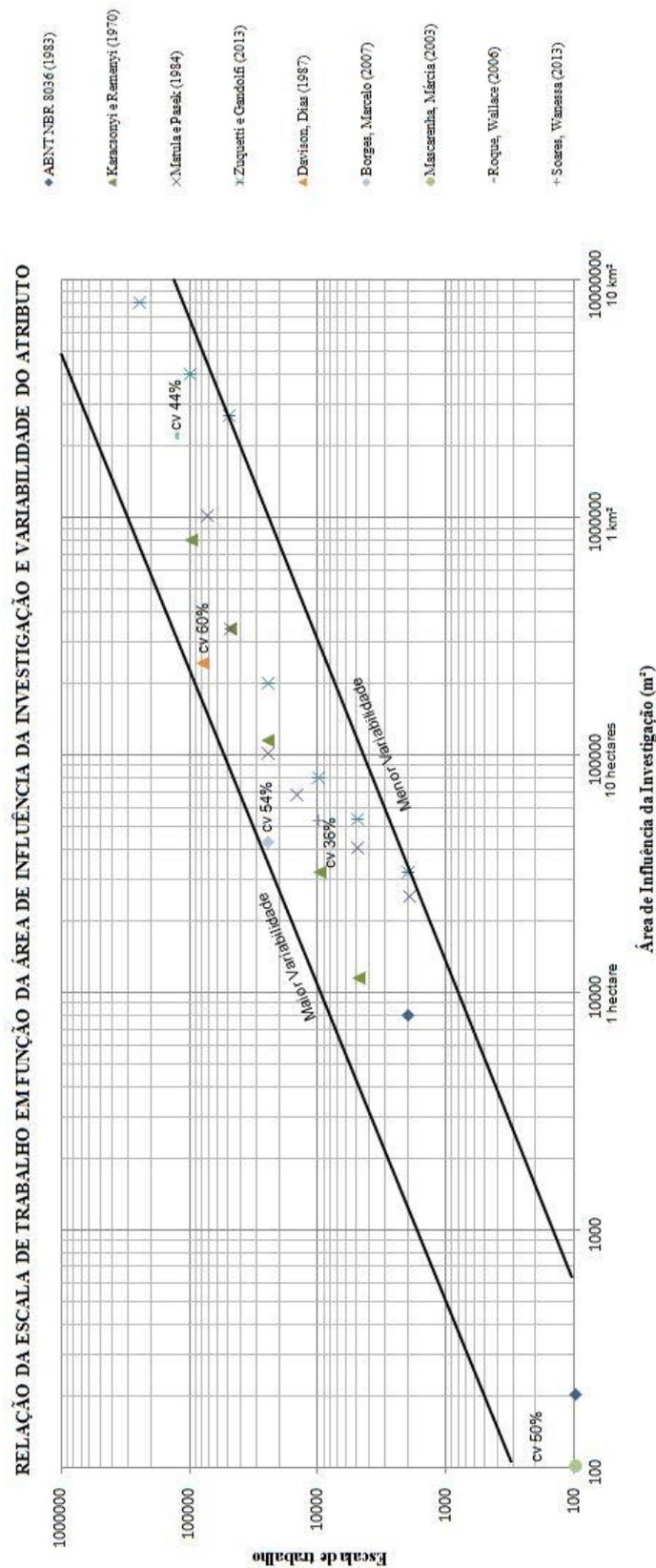


Figura 36 - Gráfico de tendência crescente na escala bi logarítmica da relação da escala de trabalho em função da área de influência da investigação (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).

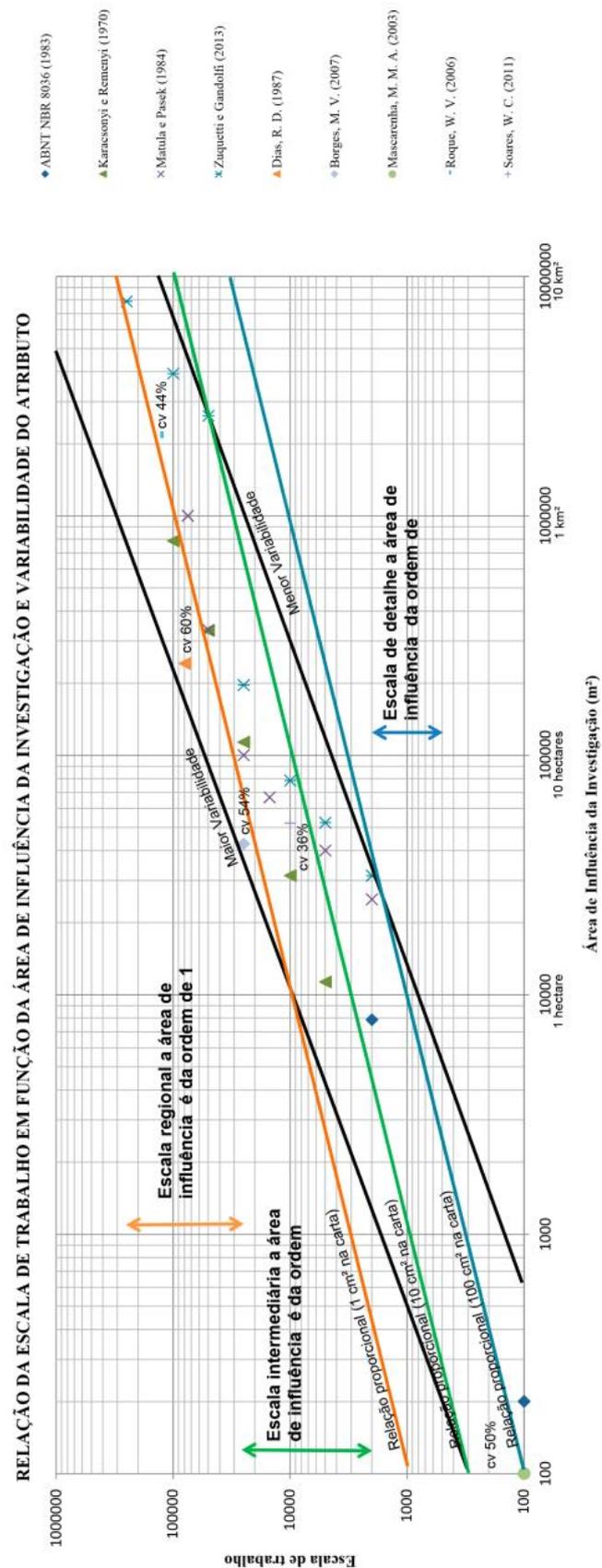


Figura 37 - Relação da escala de trabalho em função da área de influência da investigação e variabilidade do atributo (BORGES, SOUZA e SILVA, 2015).

5.8 AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO E ENSAIOS REALIZADOS NA FASE DE EXPLORAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS

Segundo Yamamoto e Landim (2013), a amostragem sistemática é feita sobre os nós de uma malha regular definida com base em uma origem escolhida aleatoriamente. Teoricamente, a componente aleatória seria dada pela escolha do ponto de origem, mas isso não ocorre na prática, pois a malha regular é definida pelo responsável pela amostragem para otimizar a coleta das unidades dentro da área de estudo.

Uma malha de amostragem sistemática na área de estudo, contendo 104 quadrados, numerados sequencialmente do Norte para Sul de Oeste para Leste, apresentada na Figura 38, foi definida com base na proposta apresentada no subitem 5.7, para uma escala de trabalho de 1:25.000. Dessa forma, cada quadrado possui uma área de 1 km², conforme valor obtido na Figura 37.

As coletas de amostras a trado manual e ensaio de resistência à penetração do cone Panda foram realizados nos locais mais próximos possíveis do centro de cada quadrado, conforme indicado por círculos vermelhos na Figura 38. Os retângulos localizados externamente ao perímetro urbano, correspondem ao bairro Cidade do Povo. Os ensaios de penetração do cone Panda foram realizados até uma profundidade de 4 metros, conforme apresentado na Figura 39 (a).

A cada metro foram retiradas amostras deformadas, com trado manual de 10 cm de diâmetro, conforme apresentado na Figura 39 (b), as medidas iniciais e finais, em centímetros, foram anotadas, com isso foi possível estimar o volume de solo escavado a cada metro, conforme apresentado na Figura 39 (c). A profundidade do nível d'água freático, quando existente, foi anotada.

A umidade natural das amostras foi preservada através da armazenagem com película plástica de PVC de uma porção de solo (um copo cheio do trado) retirado nas profundidades: 0,5m, 1,5m, 2,5m e 3,5m, conforme apresentado na Figura 39 (d).

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificadas com data da coleta, número do furo de sondagem e profundidade, conforme apresentado na Figura 39 (e), e transportadas para o laboratório de Materiais de Construção e de Solos da Universidade Federal do Acre – UFAC, onde foram pesadas e posteriormente secadas ao ar livre.

Na fase de exploração, realizada na área de estudo, foram realizados um total de 3.552 ensaios (campo e laboratório), conforme apresentado na Tabela 6.

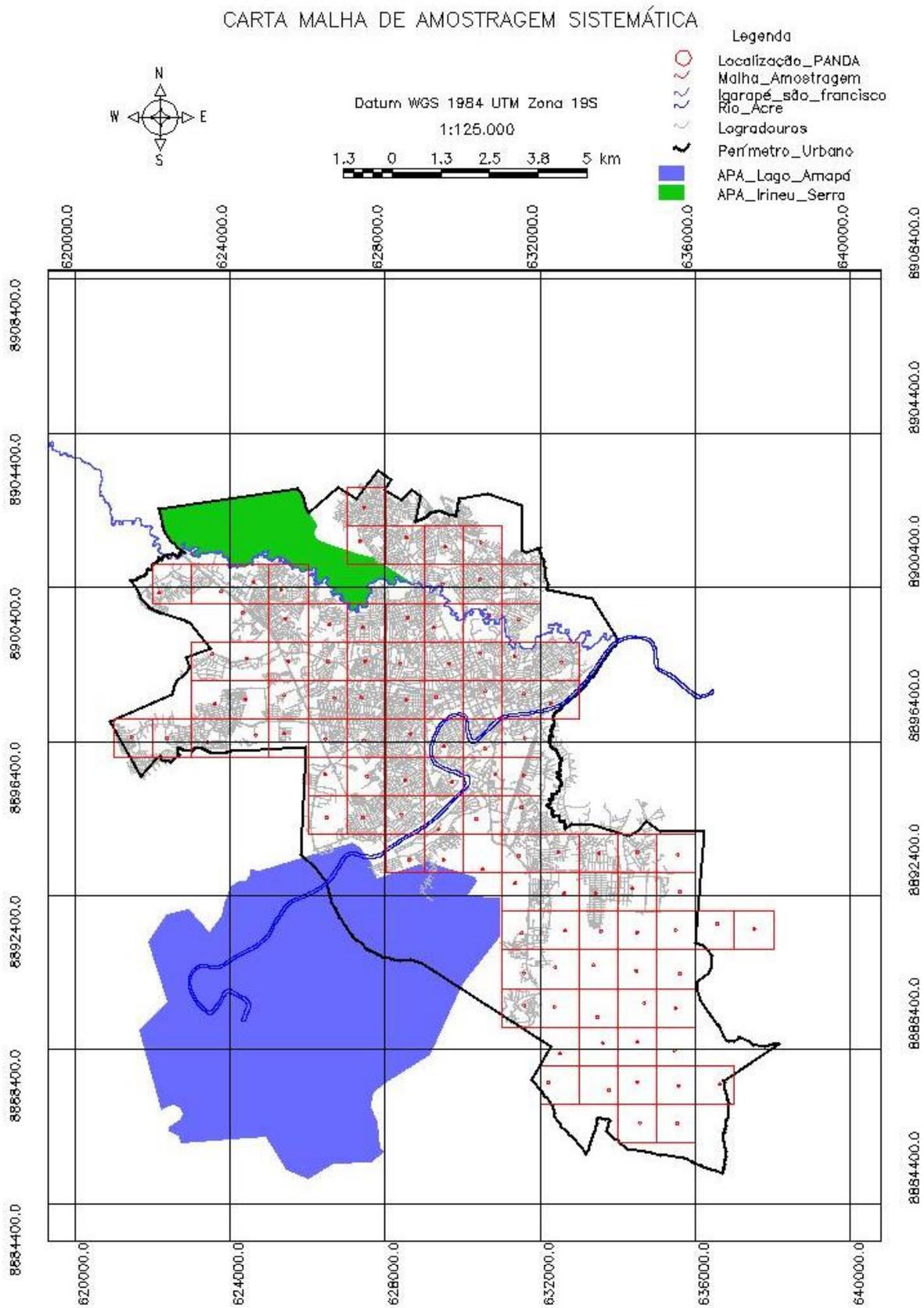


Figura 38 - Carta malha de amostragem sistemática da área de estudo na escala de trabalho 1:25.000

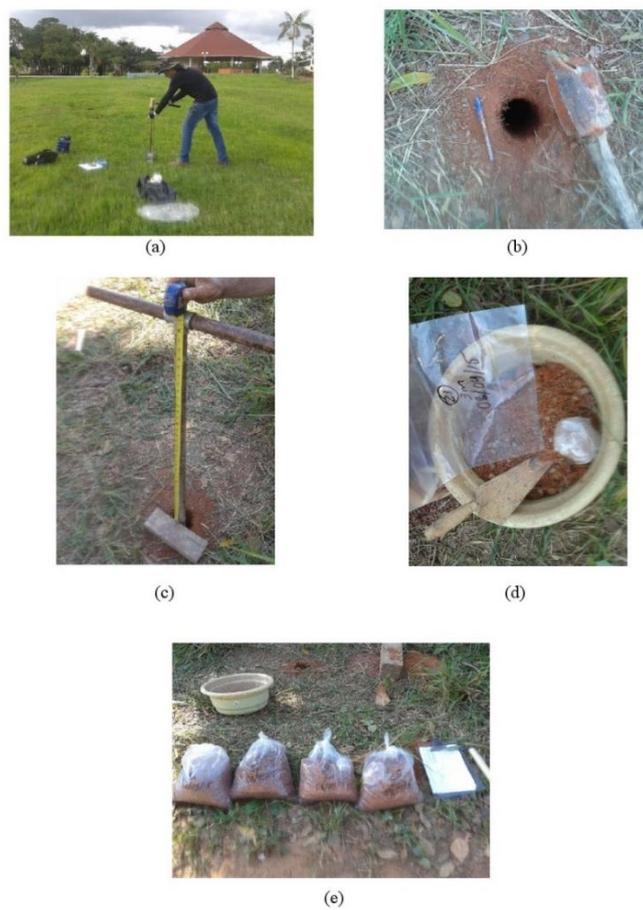


Figura 39 – Ensaio de campo, (a) Ensaio de penetração do cone Panda, realizado até 4 metros de profundidade, (b) Furo a trado manual com 10 centímetros de diâmetro até 4 metros de profundidade, (c) Medida inicial com trado seco e medida final com trado cheio, para estimativa de volume escavado a cada metro perfurado, (d) Armazenagem com filme plástico PVC de solo com umidade natural preservada, nas profundidades 0,5m, 1,5m, 2,5m e 3,5m de cada furo, (e) Armazenagem e identificação (número do furo, profundidade e data da amostragem) das 4 amostras por furo, respectivamente 1m, 2m, 3m e 4m.

Tabela 6 - Ensaio realizados na fase de exploração na área de estudo

Tipo de ensaio e atributo geotécnico	Quantidade de ensaios
Ensaio de resistência a penetração do cone panda Qd	104
Determinação da profundidade do nível d'água (furos até 4m)	104
Determinação do peso específico natural, sondagem a trado	416
Determinação da fração granular (predregulho e areia), ensaio de peneiramento	416
Determinação da fração finos (silte e argila), ensaio de sedimentação	416
Determinação da umidade natural	416
Determinação da umidade higroscópica	416
Determinação da massa específica real dos grãos	416
Determinação do limite de liquidez	416
Determinação do limite de plasticidade	416
Determinação dos minerais por difração de raios X	16
Total de ensaios	3552

5.9 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

O objetivo desta etapa de caracterização foi identificar a composição mineralógica dos solos, de modo a reconhecer os minerais presentes. A Figura 40 apresenta a localização dos pontos de sondagem a trado (furo), de onde foram retiradas as amostras para difração de raios X. No total foram realizados 16 ensaios de caracterização mineralógica, nas seguintes amostras: Furo nº 05, amostras nas profundidades 1, 2, 3 e 4 metros; Furo nº 32, amostras nas profundidades 1, 2, 3 e 4 metros; Furo nº 36, amostras nas profundidades 1, 2, 3 e 4 metros; Furo nº 62, amostras nas profundidades 1, 2, 3 e 4 metros. As amostras foram submetidas a uma análise qualitativa em laboratório, feita por difração de raios X, método do pó, em amostra total, na fração argila, fração argila tratada com etilenoglicol, fração argila tratada com glicerol, e fração argila aquecida. Estas análises foram realizadas no laboratório de difração de raios X da Universidade de Brasília - UnB, e os resultados são apresentados nos difratogramas na Figura 187 à Figura 202, no anexo. Há de se destacar que em todas as amostras a presença do argilomineral montmorillonita, cuja característica de sua estrutura, permite a separação de suas lâminas pela água adsorvida e a grande capacidade de troca catiônica, sendo referidas como argilas de rede expandida, facilmente expandidas quando colocadas na água. As amostras foram analisadas na fração argila, aquecida e glicolada (com etilenoglicol e glicerol), para obtenção de uma melhor resposta na identificação dos argilominerais. Observa-se que além da presença do quartzo, caulinita, e muscovita (mica) como minerais predominantes, há grande dispersão de montmorillonita e rectorita, com ocorrência em todos os furos de sondagem, conforme apresentado na Tabela 7.

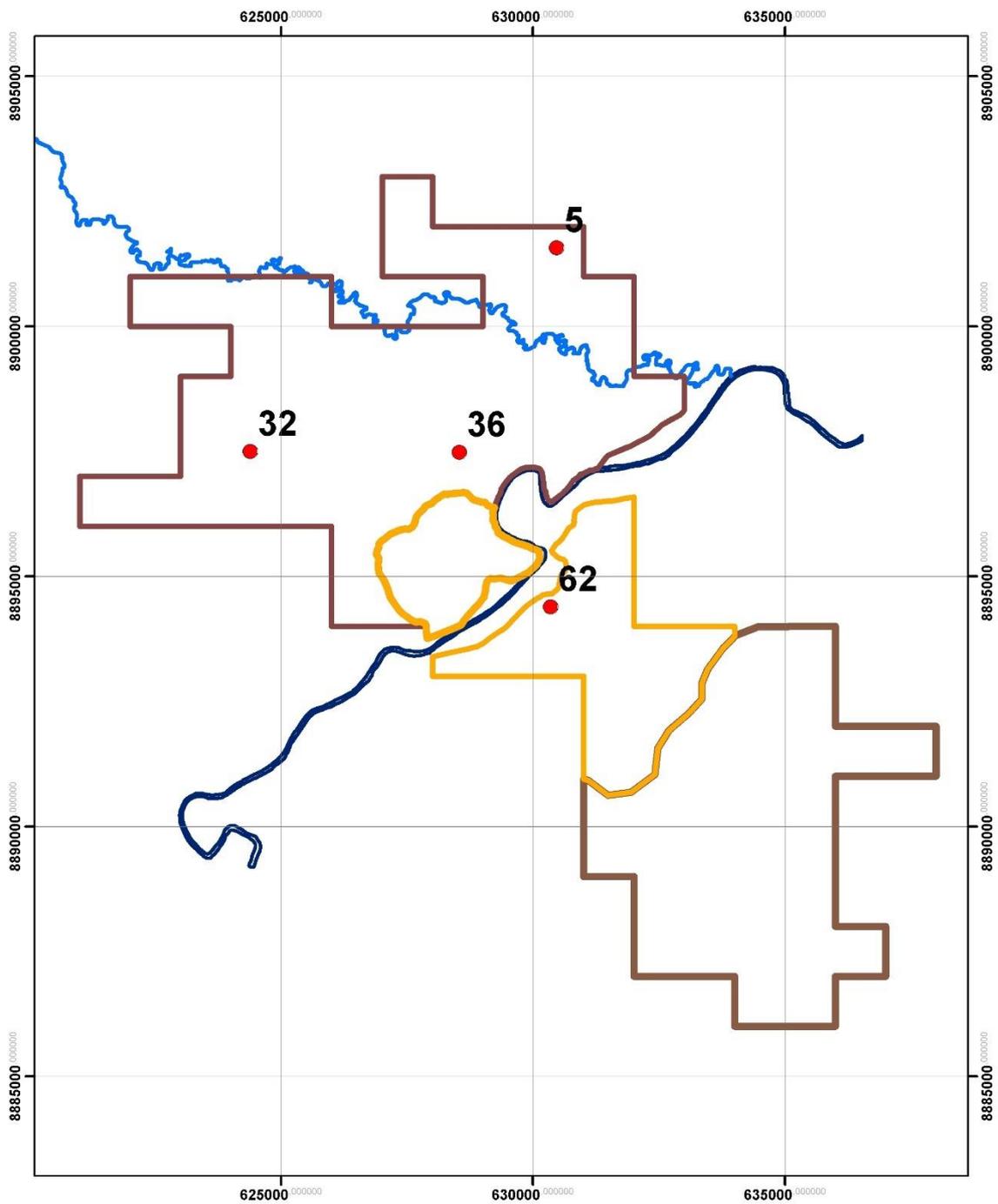
Tabela 7 – Minerais presentes nas amostras de solo, analisadas por difração de raios X.

Amostra	Quartzo	Caolinita	Hematita	Rutilio	Anatásio	Montmorillonita	Rectorita	Muscovita (mica)
Furo 5 - 1m	X	X		X	X	X	X	X
Furo 5 - 2m	X	X		X	X	X	X	X
Furo 5 - 3m	X	X	X	X	X	X	X	X
Furo 5 - 4m	X	X	X	X	X	X		X
Furo 32 - 1m	X	X	X	X	X	X		X
Furo 32 - 2m	X	X	X	X		X		X
Furo 32 - 3m	X	X	X	X	X	X	X	X
Furo 32 - 4m	X	X	X	X	X	X		X
Furo 36 - 1m	X	X	X	X	X			X
Furo 36 - 2m	X	X	X	X	X		X	X
Furo 36 - 3m	X	X	X	X	X	X	X	X
Furo 36 - 4m	X	X	X	X	X	X	X	X
Furo 62 - 1m	X	X		X	X	X		X
Furo 62 - 2m	X	X		X	X	X		X
Furo 62 - 3m	X	X		X	X	X		X
Furo 62 - 4m	X	X	X	X	X	X		X

De acordo com Klein e Hurlbut (2011), o quartzo é o principal representante da classe dos tectossilicatos, e devido seu arranjo compacto, possui alta resistência ao intemperismo, sendo por isso, o mineral mais abundante nos solos e nas frações areia e silte, embora, também apareça frequentemente na fração argila. A caulinita é um dos argilominerais frequentemente encontrado em solos tropicais e subtropicais e normalmente considerado estável dos

filossilicatos, originando-se a partir de minerais primários, como os feldspatos e micas, ou de secundários, por meio da degradação de argilas 2:1, sendo sua ocorrência bastante expressiva na fração argila de solos tropicais, como os latossolos. É a principal representante do grupo das argilas 1:1, cuja estrutura se constitui de um empilhamento de uma folha tetraédrica de silício e oxigênios e uma octaédrica de alumínio e hidroxilas. Estas folhas são unidas por pontes de H ou ligações O-OH, fazendo com que a estrutura se torne rígida e não expansível, acarretando características físicas favoráveis ao solo, como a agregação, a drenagem e a aeração. Segundo Resende et al. (2011), em solos altamente intemperizados de regiões tropicais e subtropicais, notadamente a hematita (cores vermelhas) são os óxidos de ferro dominantes e relacionados com a evolução desses solos. Segundo Teixeira (2013), o Anatásio e o rutilio são óxidos de titânio muito resistentes ao intemperismo e, assim como os outros óxidos de titânio, aparecem em pequenas quantidades nos solos, e podem ser úteis na identificação e classificação de solos e de seus materiais de origem. Segundo Klein e Hurlbut (2011), a montmorilonita, uma das representantes das esmectitas, argilomineral expansivo. É um filossilicato do tipo 2:1, muito comum nos solos, apresentando elevada importância em regiões temperadas, sendo comumente encontrada em locais de climas quentes. Apresenta um empilhamento desordenado com moléculas de água na região entre camadas.

As esmectitas pertencem aos argilominerais expansivos, segundo Resende et al. (2011), a origem das esmectitas nos solos é bastante variável: alteração de micas, decomposição de rochas em estágio pouco acentuado de intemperismo, deposições de sedimentos ricos em bases, além de aporte suficiente em Si^{4+} e Al^{3+} para formação de sua estrutura (meio básico), restrições de drenagem que impediram ou retardariam a saída de bases ou sílica do sistema. Em resumo, para haver formação de esmectita é preciso que haja disponibilidade de sílica e bases (Ca e Mg) em solução. Segundo Klein e Hurlbut (2011) o argilomineral rectorita é um interstratificado expansivo formado pelo empilhamento de folhas de diferentes filossilicatos, e têm minerais que representam o empilhamento regular de um número idêntico de folhas por mica (ou illita)-esmectita. A estrutura das micas é semelhante as das esmectitas que, comparativamente, no entanto, apresentam menor quantidade de cátions de compensação e maior quantidade de água entre as lamelas, o que resulta na propriedade de expansão, característica dessas argilas. A mais importante das micas, a moscovita, é um filossilicato de alumínio e potássio, que cristaliza no sistema monoclinico e caracteriza-se pela clivagem basal perfeita e hábito laminar. As lâminas são flexíveis e elásticas com brilho vítreo, variando de incolor a verde pálido.

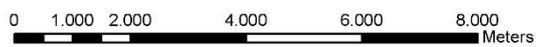


Carta de localização das amostras para ensaio de difração de raios X

Legenda

- Furo
- Unidade Formação Solimões
- Unidade Terraço Fluvial
- Rio Acre
- Igarapé São Francisco

Escala.: 1: 100.000



Datum: WGS 1984 UTM Zona 19S

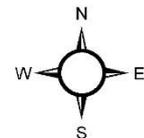


Figura 40 - Carta de localização das amostras para ensaio de difração de raios X

5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS ATRIBUTOS GEOTÉCNICOS, OBTIDOS NA ÁREA DE ESTUDO.

As matrizes de atributos geotécnicos da área de estudo, no anexo, são apresentadas na Tabela 77, Tabela 78, Tabela 79, Tabela 80, Tabela 81, foram separadas por regiões. Cada região corresponde a uma unidade geológica diferente: unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito industrial (área 1), unidade geológica Formação Solimões 2º no distrito industrial (área 2) e unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito industrial (área 3).

As matrizes de atributos geotécnicos foram apresentadas na Tabela 77, Tabela 78 e Tabela 79, com identificação do número do furo e coordenadas geográficas, compostas por 17 diferentes atributos (colunas). As linhas são a quantidade de amostras, sendo que 48 amostras para área 1, 32 amostras para a área 2, e 20 amostras para a área 3, da qual cada amostra, ou célula, é o resultado da média aritmética dos valores de 4 amostras obtidas num mesmo furo de sondagem, nas profundidade 1m, 2m, 3m e 4m.

As matrizes do atributo número de golpes Nspt, apresentada na Tabela 80, Tabela 81 e Tabela 82, com identificação do número do furo, código de identificação das sondagens, possuem 1148 linhas para a área 1, 28 linhas para a área 2, e 129 linhas para a área 3, da qual cada linha ou célula das matrizes, é o resultado da média aritmética dos valores Nspt obtidos no mesmo furo de sondagem nas profundidade 1m, 2m, 3m e 4m.

A análise estatística descritiva dos atributos permitiu uma melhor compreensão do conjunto de atributos, descrevendo a variabilidade e comportamento em torno da média, o que possibilita interpretações e detecções de possíveis erros, seguindo as orientações de Andriotti (2013). Portanto, os atributos foram analisados através da estatística descritiva das medidas de posição (média e mediana), dispersão em torno da média (desvio padrão e coeficiente de variação), distribuição de frequência e histogramas. Tendo sido analisados, separadamente, os seguintes atributos: Resistência a penetração do cone panda Qd (MPa); Número de golpes Nspt (golpes); Peso específico seco (kgf/m³); Profundidade do nível d'água (m); Fração areia fina (%); Fração silte (%); Fração argila (%); Umidade natural (%); Índice de consistência (%); Peso específico real dos grãos (gf/cm³); Umidade Higroscópica (%); Limite de liquidez (%); Limite de plasticidade (%); Índice de plasticidade (%); Tangente de alfa (adimensional); Tangente de beta (adimensional); Índice de atividade (adimensional); Índice de liquidez (adimensional).

5.5.1 Estatística descritiva do atributo resistência a penetração do cone panda Qd

A Tabela 8 e Figura 41, apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo resistência à penetração do cone Panda Qd (MPa), obtidos na área 1, área 2 e área 3, respectivamente. Os valores da média da resistência à penetração do cone Panda Qd (MPa) obtidos na área 1 são ligeiramente superiores aos obtidos nas áreas 2 e 3, o que evidencia uma maior resistência mecânica dos solos encontrados na área 1, em comparação às áreas 2 e 3. Os coeficientes de variação maiores na área 1 e área 2 sugerem uma maior variabilidade da resistência mecânica dos solos expressada pelo atributo resistência do cone Panda Qd na unidade geológica Formação Solimões.

A Tabela 9 e Figura 42 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa), obtidos na área 1, área 2 e área 3, respectivamente. As tabelas de distribuição de frequências e os histogramas foram montados todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

De acordo com Diemer (2014) valores de Qd inferiores a 3MPa podem ser classificados como solos com consistência mole a média, enquanto solos com Qd superiores a 3MPa são classificados como solos de consistência rija a dura.

As distribuições de frequências, apresentadas na Tabela 9, e histogramas da resistência do cone Panda Qd (MPa), apresentado na Figura 42, referentes a área 1 e área 2, apresentam cerca de 70% das amostras estão dentro da classe de 3 a 5 MPa, e podem ser classificados como solos de consistência rija a dura. Enquanto, a resistência a penetração do cone Panda Qd (MPa) obtidos na área 3 apresentam cerca de 60% das amostras estão dentro da classe de 2 a 4 MPa, e podem ser classificados como solos de consistência mole a média.

Os histogramas são simétricos ou em forma de sino, segundo Kume (1997), nestes casos o valor médio está no meio da amplitude dos dados, com decrescimento gradual para os extremos e com forma tendendo a serem simétricas.

Tabela 8 - Resumo das medidas estatísticas do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa),
 (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3

Medidas estatísticas	Qd cone Panda (MPa)
Mínimo	1,70
Média	4,27
Mediana	3,81
Máximo	9,92
Desvio Padrão	1,74
Coefficiente de Variação	0,41
Tamanho da Amostra	48,00

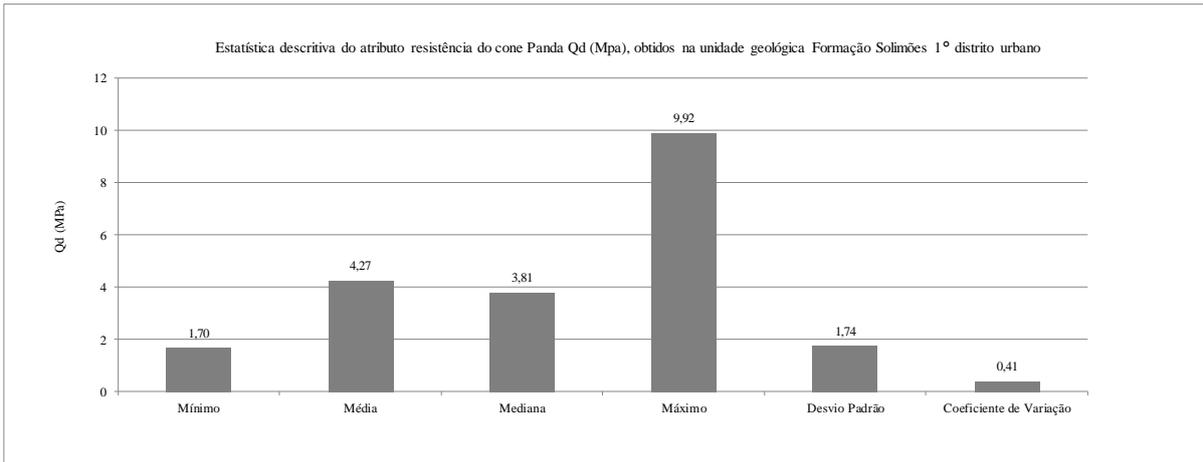
(a)

Medidas estatísticas	Qd cone Panda (MPa)
Mínimo	1,47
Média	3,69
Mediana	3,63
Máximo	5,33
Desvio Padrão	0,89
Coefficiente de Variação	0,24
Tamanho da Amostra	32

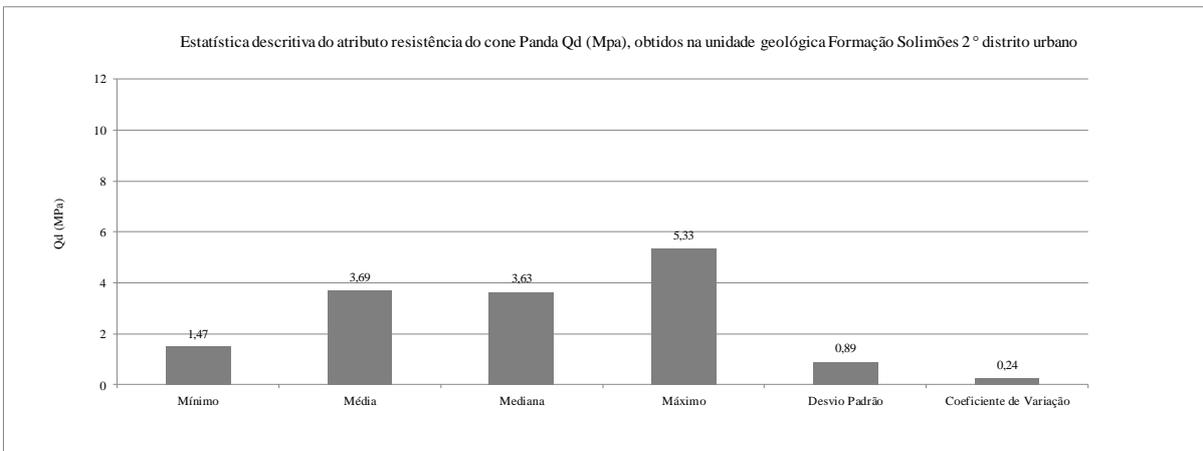
(b)

Medidas estatísticas	Qd cone Panda (MPa)
Mínimo	1,29
Média	3,96
Mediana	3,50
Máximo	6,67
Desvio Padrão	1,50
Coefficiente de Variação	0,38
Tamanho da Amostra	20

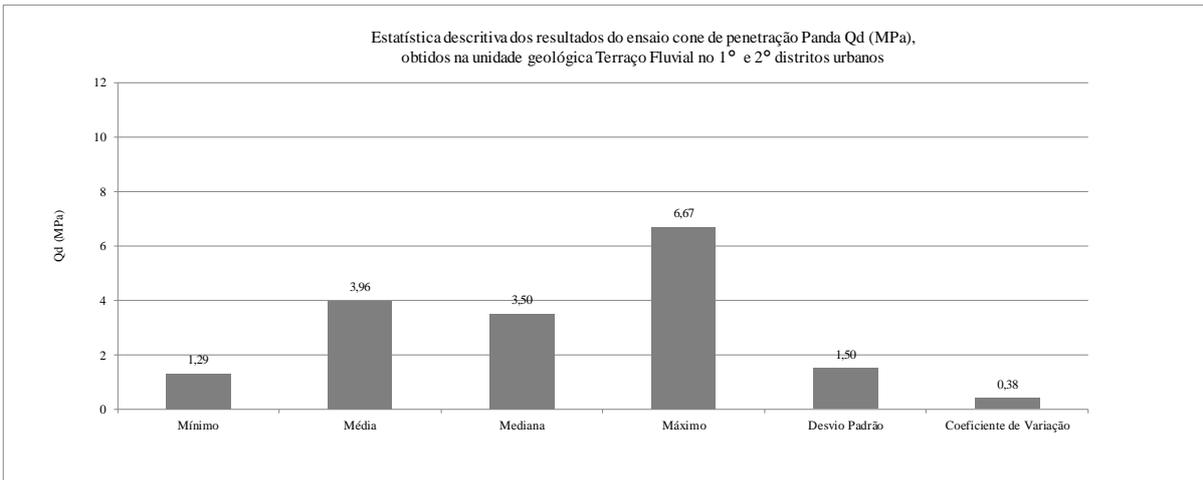
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 41 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo resistência a penetração do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 9 - Distribuição de frequência do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo resistência do cone Panda Qd (Mpa), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	+	1,00	0,50	0	0,0%	0	0%
1,00	+	2,00	1,50	1	2,1%	1	2%
2,00	+	3,00	2,50	5	10,4%	6	13%
3,00	+	4,00	3,50	21	43,8%	27	56%
4,00	+	5,00	4,50	12	25,0%	39	81%
5,00	+	6,00	5,50	4	8,3%	43	90%
6,00	+	7,00	6,50	0	0,0%	43	90%
7,00	+	8,00	7,50	2	4,2%	45	94%
8,00	+	9,00	8,50	1	2,1%	46	96%
9,00	+	10,00	9,50	2	4,2%	48	100%

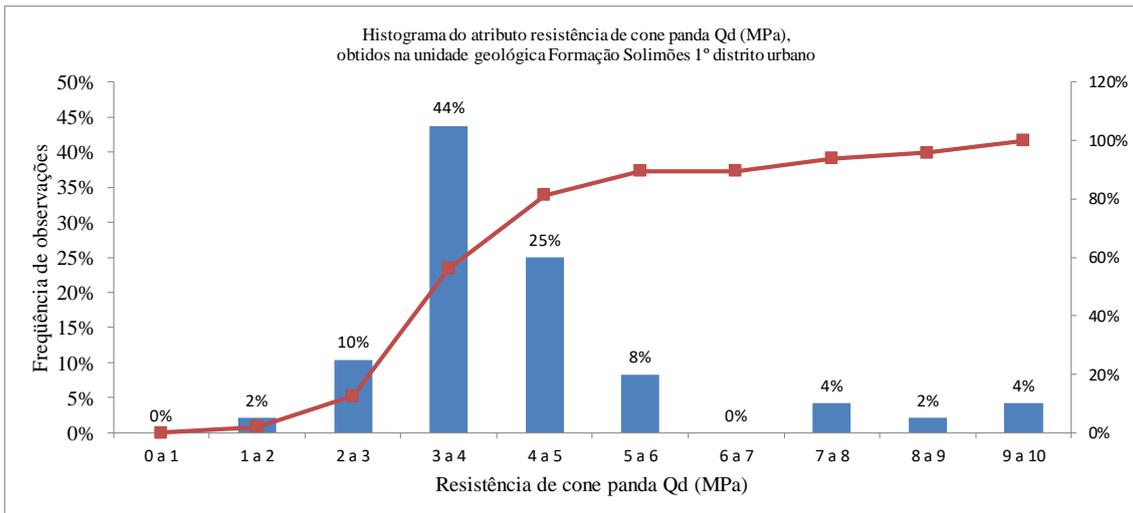
(a)

Distribuição de frequência do atributo resistência do cone Panda Qd (Mpa), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	+	1,00	0,50	0	0,0%	0	0%
1,00	+	2,00	1,50	1	3,1%	1	3%
2,00	+	3,00	2,50	5	15,6%	6	19%
3,00	+	4,00	3,50	12	37,5%	18	56%
4,00	+	5,00	4,50	12	37,5%	30	94%
5,00	+	6,00	5,50	2	6,3%	32	100%
6,00	+	7,00	6,50	0	0,0%	32	100%
7,00	+	8,00	7,50	0	0,0%	32	100%
8,00	+	9,00	8,50	0	0,0%	32	100%
9,00	+	10,00	9,50	0	0,0%	32	100%

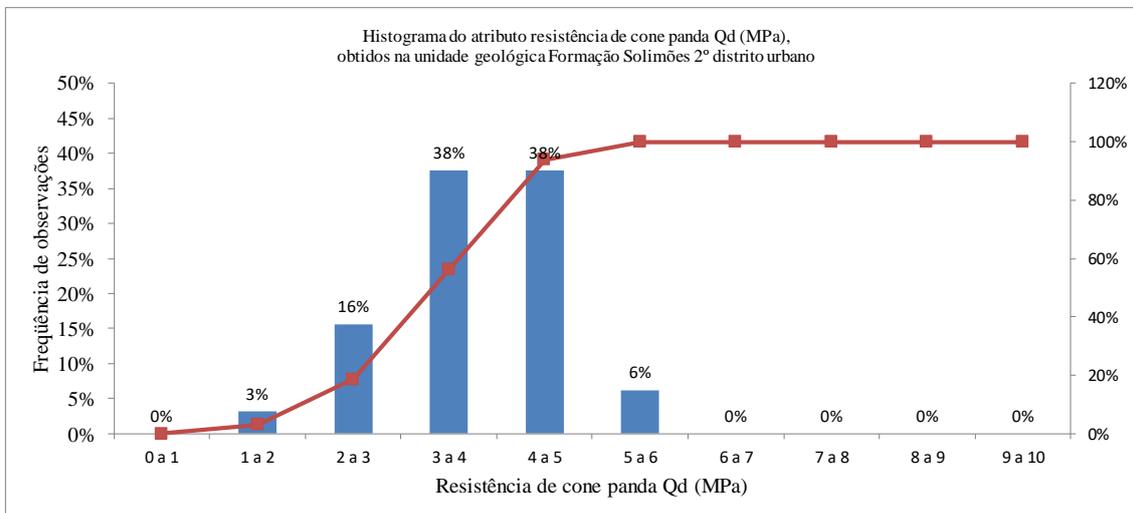
(b)

Distribuição de frequência do atributo resistência do cone Panda Qd (Mpa), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	+	1,00	0,50	0	0,0%	0	0%
1,00	+	2,00	1,50	1	5,0%	1	5%
2,00	+	3,00	2,50	4	20,0%	5	25%
3,00	+	4,00	3,50	8	40,0%	13	65%
4,00	+	5,00	4,50	2	10,0%	15	75%
5,00	+	6,00	5,50	2	10,0%	17	85%
6,00	+	7,00	6,50	3	15,0%	20	100%
7,00	+	8,00	7,50	0	0,0%	20	100%
8,00	+	9,00	8,50	0	0,0%	20	100%
9,00	+	10,00	9,50	0	0,0%	20	100%

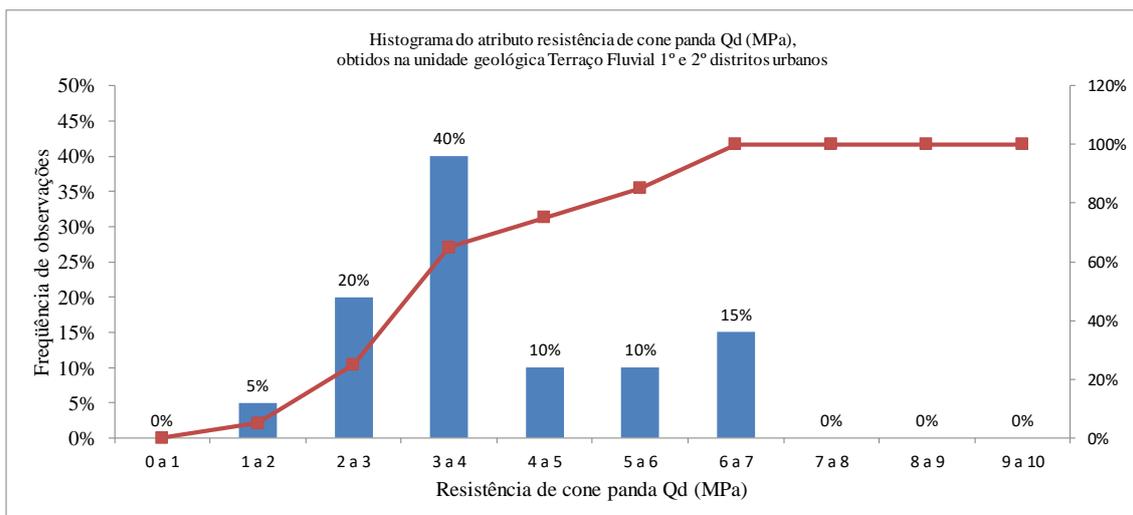
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 42 - Histograma do atributo resistência do cone Panda Qd (MPa), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.2 Estatística descritiva do atributo resistência a penetração N_{spt}

A Tabela 10 e Figura 43 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo resistência à penetração, N_{spt} (golpes), obtidos na área 1, área 2 e área 3, respectivamente. Os valores da média do atributo resistência à penetração, N_{spt} (golpes), obtidos nas áreas 1, 2 e 3, podem ser classificados, de acordo com Velloso e Lopes (2011), como solos com consistência média, seguindo o critério de classificação da ABNT NBR 6484/2001. O coeficiente de variação maior na área 1 sugere uma maior variabilidade da resistência mecânica dos solos expressada pelo atributo resistência à penetração N_{spt} na unidade geológica Formação Solimões. Deve-se ainda levar em consideração a maior amostragem nessa área, ao todo 1148 furos de sondagens SPT.

A Tabela 11 e Figura 44 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo resistência à penetração N_{spt}, obtidos na área 1, área 2 e área 3, respectivamente. As tabelas de distribuição de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa. De acordo com Velloso e Lopes (2011), valores de N_{spt} inferiores a 6 golpes são classificados como solos com consistência muito mole a mole, suscetíveis a deformações excessivas quando submetidos a variação da tensão efetiva, portanto, esses solos não são recomendados para assentamento das fundações superficiais. Os solos com N_{spt} superiores a 11 golpes, são classificados como solos de consistência rija a dura, e apresentam melhor comportamento mecânico para assentamento das fundações superficiais. Os valores de N_{spt} entre 6 golpes a 10 golpes, podem ser classificados como uma situação intermediária, necessitando de um maior cuidado, quando o solo for utilizado para assentamento das fundações superficiais. Além da resistência mecânica dos solos, também devem ser levadas em consideração no uso de fundações superficiais a deformabilidade e a expansividade dos solos, que ocorrem devido a maior plasticidade dos solos e a presença de argilominerais expansivos.

As distribuições de frequências e histogramas da resistência a penetração N_{spt} obtidos nas áreas 1, 2 e 3, apresentam cerca de 25% a 35% de amostras dentro da classe inferiores a 6 golpes, que podem ser classificados como solos de consistência muito mole a mole, não recomendados para assentamento das fundações superficiais.

Os histogramas são em forma de sino, nestes casos o valor médio está no meio da amplitude dos dados, com decréscimo gradual para os extremos e com forma tendendo a serem simétricos.

Tabela 10 - Resumo das medidas estatísticas do atributo resistência a penetração N_{spt} (golpes), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Número de golpes N _{spt} (golpes)
Mínimo	2
Média	10
Mediana	9
Máximo	40
Desvio Padrão	6
Coefficiente de Variação	0,54
Tamanho da Amostra	1148

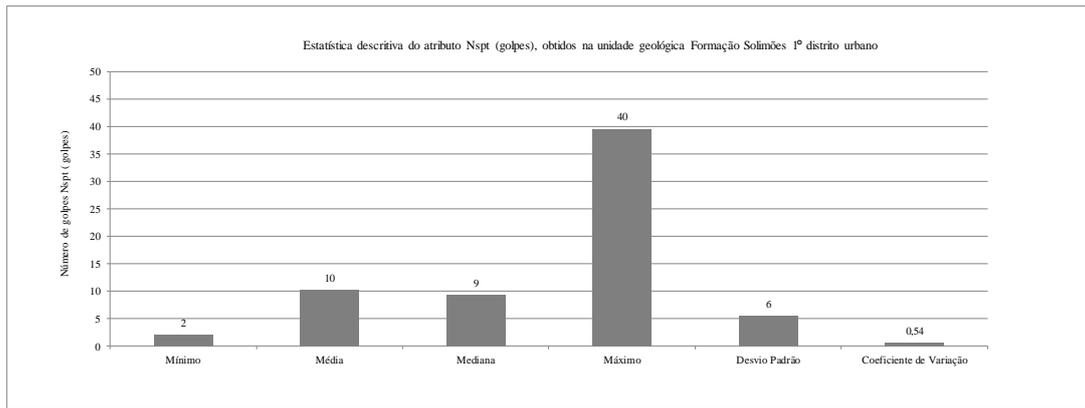
(a)

Medidas estatísticas	Número de golpes N _{spt} (golpes)
Mínimo	3
Média	8
Mediana	7
Máximo	15
Desvio Padrão	4
Coefficiente de Variação	0,47
Tamanho da Amostra	28

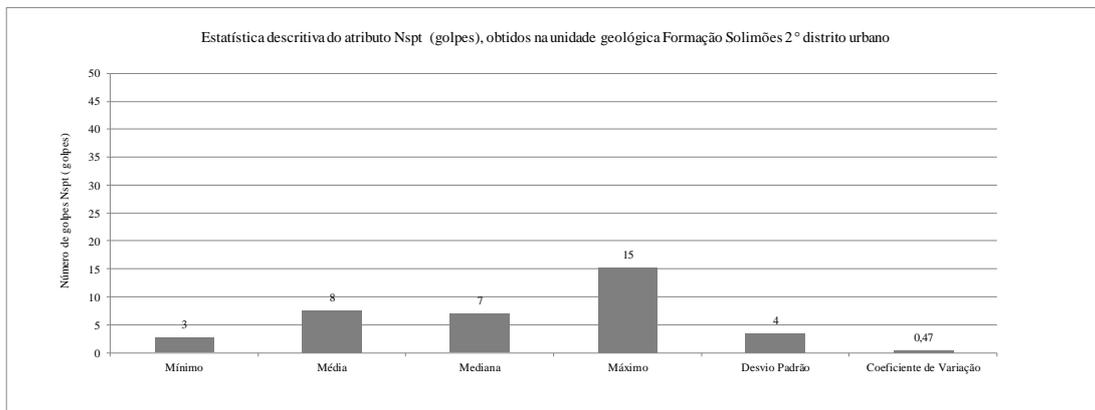
(b)

Medidas estatísticas	Número de golpes N _{spt} (golpes)
Mínimo	2
Média	9
Mediana	8
Máximo	22
Desvio Padrão	5
Coefficiente de Variação	0,51
Tamanho da Amostra	129

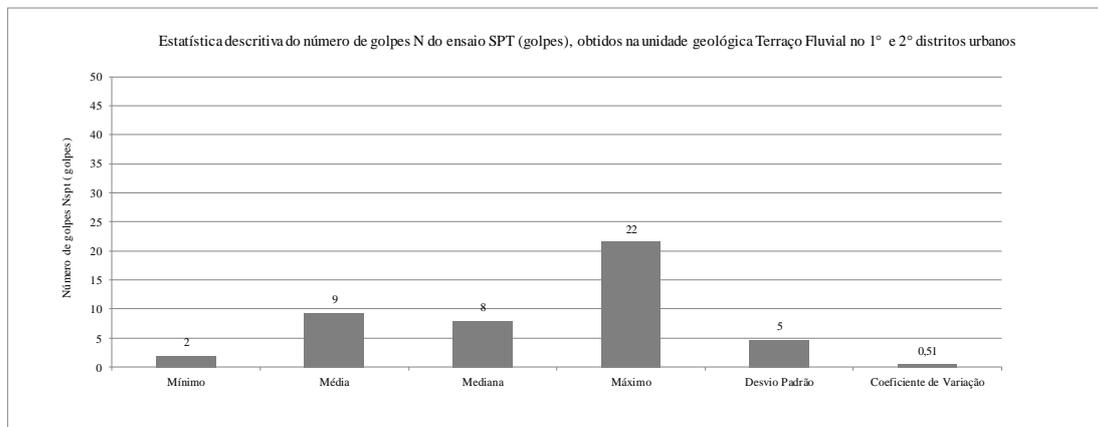
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 43 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo resistência a penetração N_{spt} (golpes), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 11 - Distribuição de frequência do atributo resistência a penetração N_{spt} (golpes), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo N _{spt} (golpes), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	6,00	3,00	264	23,0%	264	23%
6,00	┆	12,00	9,00	522	45,5%	786	68%
12,00	┆	18,00	15,00	254	22,1%	1040	91%
18,00	┆	24,00	21,00	84	7,3%	1124	98%
24,00	┆	30,00	27,00	15	1,3%	1139	99%
30,00	┆	36,00	33,00	8	0,7%	1147	100%
36,00	┆	42,00	39,00	1	0,1%	1148	100%
42,00	┆	48,00	45,00	0	0,0%	1148	100%
48,00	┆	54,00	51,00	0	0,0%	1148	100%
54,00	┆	60,00	57,00	0	0,0%	1148	100%

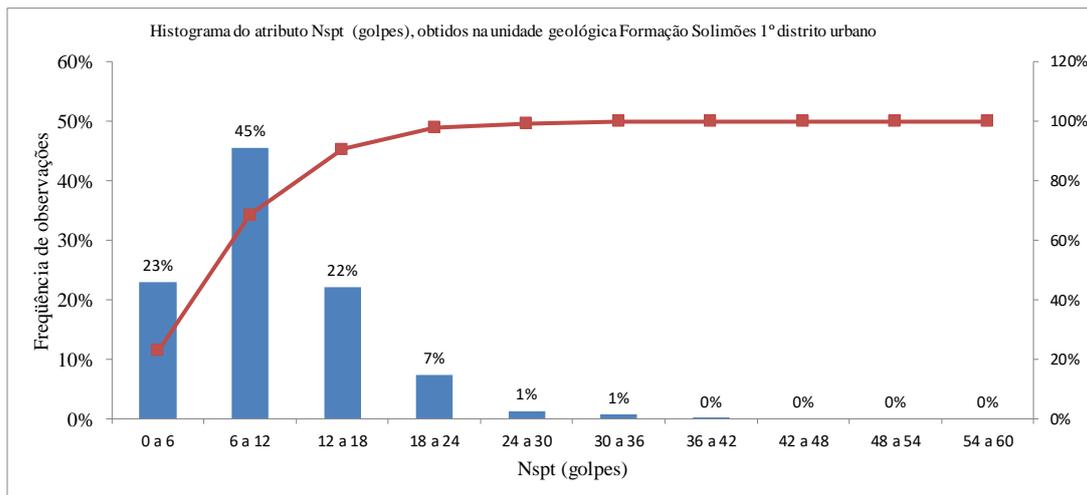
(a)

Distribuição de frequência do atributo N _{spt} (golpes), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	6,00	3,00	10	35,7%	10	36%
6,00	┆	12,00	9,00	14	50,0%	24	86%
12,00	┆	18,00	15,00	4	14,3%	28	100%
18,00	┆	24,00	21,00	0	0,0%	28	100%
24,00	┆	30,00	27,00	0	0,0%	28	100%
30,00	┆	36,00	33,00	0	0,0%	28	100%
36,00	┆	42,00	39,00	0	0,0%	28	100%
42,00	┆	48,00	45,00	0	0,0%	28	100%
48,00	┆	54,00	51,00	0	0,0%	28	100%
54,00	┆	60,00	57,00	0	0,0%	28	100%

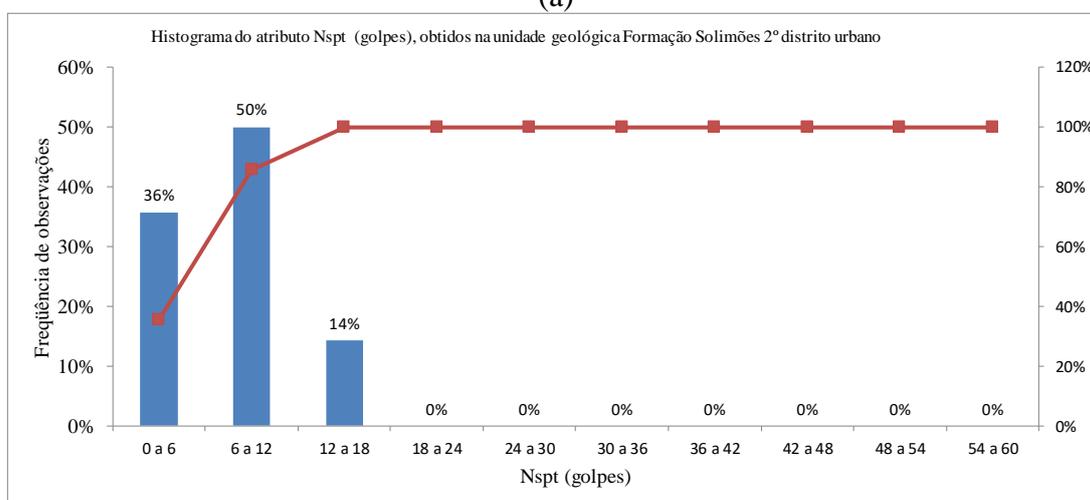
(b)

Distribuição de frequência do atributo N _{spt} (golpes), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	6,00	3,00	34	26,4%	34	26%
6,00	┆	12,00	9,00	58	45,0%	92	71%
12,00	┆	18,00	15,00	30	23,3%	122	95%
18,00	┆	24,00	21,00	7	5,4%	129	100%
24,00	┆	30,00	27,00	0	0,0%	129	100%
30,00	┆	36,00	33,00	0	0,0%	129	100%
36,00	┆	42,00	39,00	0	0,0%	129	100%
42,00	┆	48,00	45,00	0	0,0%	129	100%
48,00	┆	54,00	51,00	0	0,0%	129	100%
54,00	┆	60,00	57,00	0	0,0%	129	100%

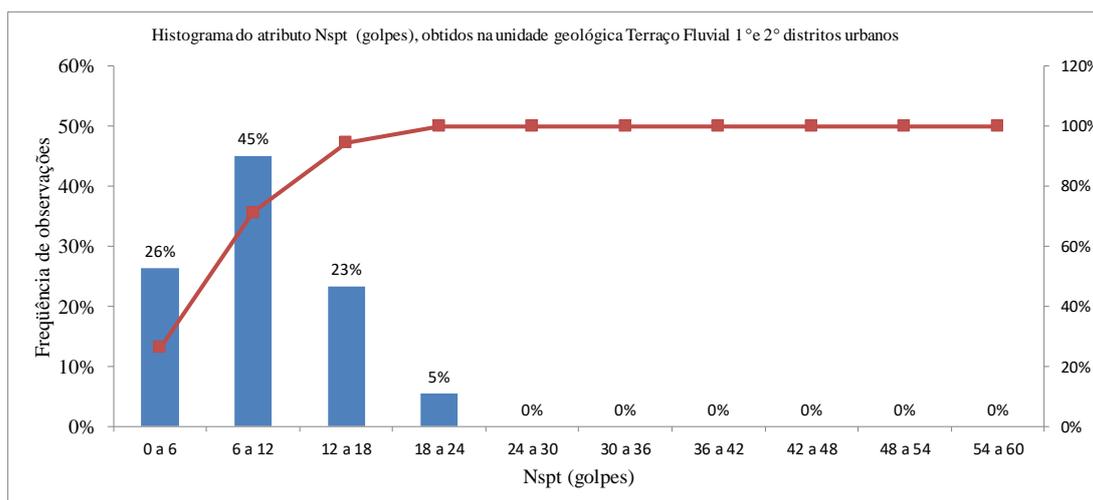
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 44 - Histograma do atributo resistência a penetração Nspt, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.3 Estatística descritiva do atributo peso específico seco (kgf/m^3)

A Tabela 12 e Figura 45 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo peso específico seco do solo (kgf/m^3), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do peso específico seco do solo nas áreas 1 e 2 são superiores aos obtidos na área 3. Os coeficientes de variação do atributo peso específico seco do solo, em todas as unidades geológicas são inferiores a 15%, o que representa uma variabilidade baixa desse atributo nas áreas de estudo.

A Tabela 13 e Figura 45 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo peso específico seco do solo (kgf/m^3), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

De acordo com Cintra et al. (2011a) e Cintra et al. (2011b), solos com peso específico inferiores a $1600 \text{ (kgf/m}^3\text{)}$ são relacionados a solos com baixa resistência mecânica e, portanto, podem apresentar maiores deformações quando submetidos as variações de tensões efetivas, por exemplo na situação de carregamento por fundações superficiais.

A distribuição de frequência Tabela 13 (c), e histograma Figura 46 (c) do atributo peso específico seco do solo obtido na área 3, apresentam cerca de 40 % de amostras dentro da classe inferiores a $1600 \text{ (kgf/m}^3\text{)}$, que podem ser classificados como solos de maior deformabilidade quando submetidos a carregamentos, por exemplo por fundações superficiais, enquanto que a maior parte das amostras obtidas na Formação Solimões, cerca de 80 a 90% estão dentro das classes superiores a $1600 \text{ (kgf/m}^3\text{)}$, ou seja, a maior parte dos solos, nas áreas 1 e 2, apresentam maior resistência mecânica, menores deformações e maior capacidade de suporte para assentamento das fundações superficiais, considerando o atributo peso específico seco do solo.

Tabela 12 - Resumo das medidas estatísticas do atributo peso específico seco (kgf/m^3), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Peso específico seco (kgf/m^3)
Mínimo	1550
Média	1799
Mediana	1761
Máximo	2345
Desvio Padrão	182
Coeficiente de Variação	0,10
Tamanho da Amostra	48

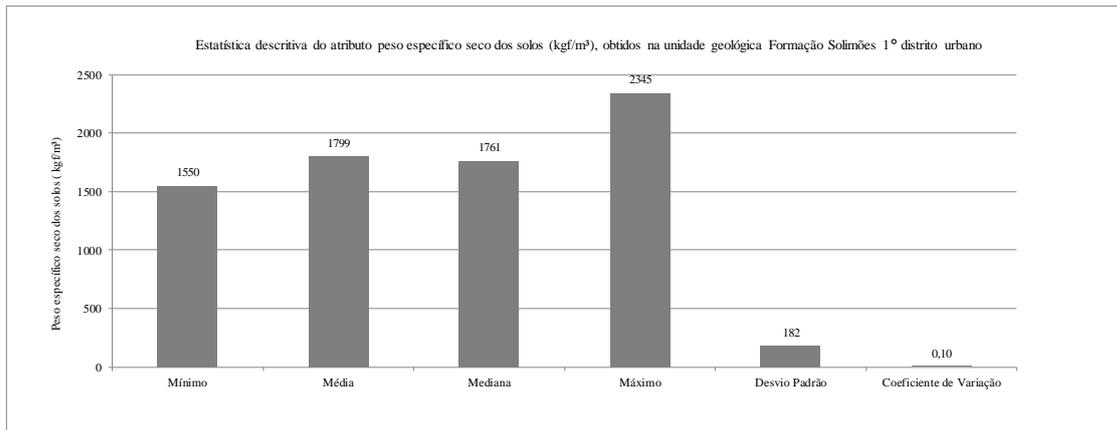
(a)

Medidas estatísticas	Peso específico seco (kgf/m^3)
Mínimo	1393
Média	1745
Mediana	1788
Máximo	1944
Desvio Padrão	150
Coeficiente de Variação	0,09
Tamanho da Amostra	32

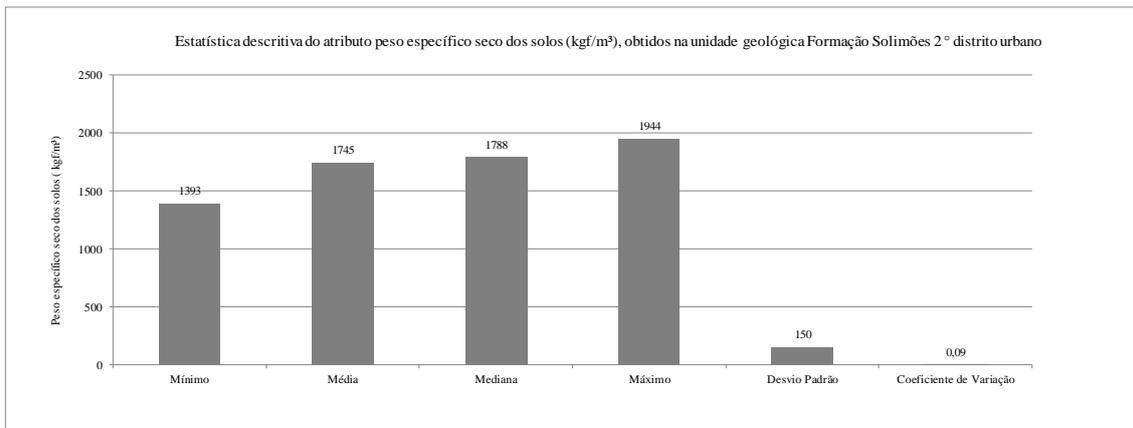
(b)

Medidas estatísticas	Peso específico seco (kgf/m^3)
Mínimo	1155
Média	1661
Mediana	1650
Máximo	1960
Desvio Padrão	229
Coeficiente de Variação	0,14
Tamanho da Amostra	20

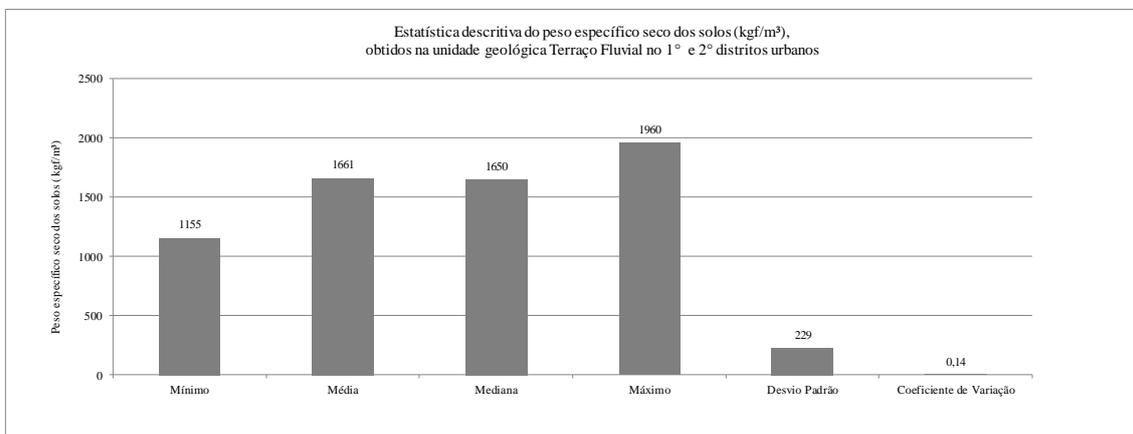
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 45 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo peso específico seco do solo (kgf/m^3), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 13 - Distribuição de frequência do atributo peso específico seco do solo (kgf/m^3), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3

Distribuição de frequência do atributo peso específico seco dos solos (kgf/m^3), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
1100	+	1200	1150	0	0,0%	0	0%
1200	+	1300	1250	0	0,0%	0	0%
1300	+	1400	1350	0	0,0%	0	0%
1400	+	1500	1450	0	0,0%	0	0%
1500	+	1600	1550	5	10,4%	5	10%
1600	+	1700	1650	9	18,8%	14	29%
1700	+	1800	1750	16	33,3%	30	63%
1800	+	1900	1850	7	14,6%	37	77%
1900	+	2000	1950	6	12,5%	43	90%
2000	+	2100	2050	0	0,0%	43	90%
2100	+	2200	2150	3	6,3%	46	96%
2200	+	2300	2250	1	2,1%	47	98%
2300	+	2400	2350	1	2,1%	48	100%

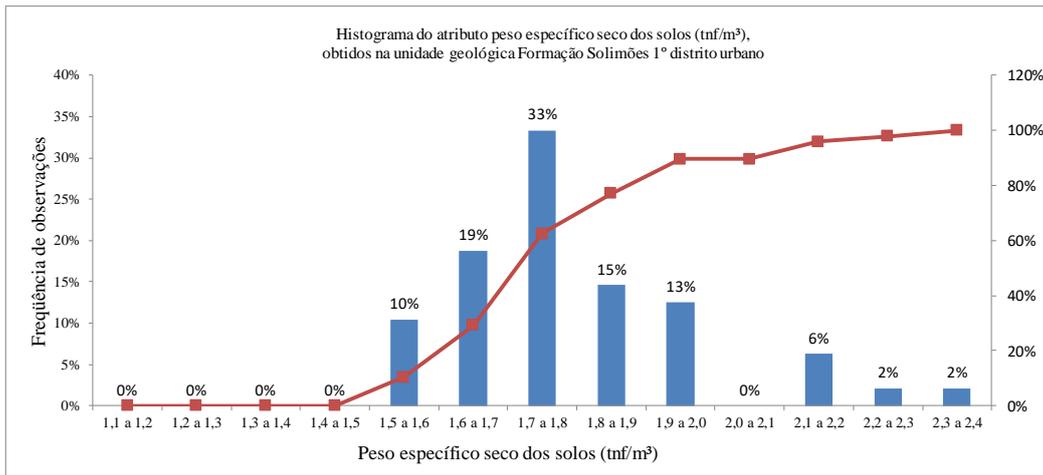
(a)

Distribuição de frequência do atributo peso específico seco dos solos (kgf/m^3), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
1100	+	1200	1150	0	0,0%	0	0%
1200	+	1300	1250	0	0,0%	0	0%
1300	+	1400	1350	1	3,1%	1	3%
1400	+	1500	1450	1	3,1%	2	6%
1500	+	1600	1550	4	12,5%	6	19%
1600	+	1700	1650	5	15,6%	11	34%
1700	+	1800	1750	6	18,8%	17	53%
1800	+	1900	1850	12	37,5%	29	91%
1900	+	2000	1950	3	9,4%	32	100%
2000	+	2100	2050	0	0,0%	32	100%
2100	+	2200	2150	0	0,0%	32	100%
2200	+	2300	2250	0	0,0%	32	100%
2300	+	2400	2350	0	0,0%	32	100%

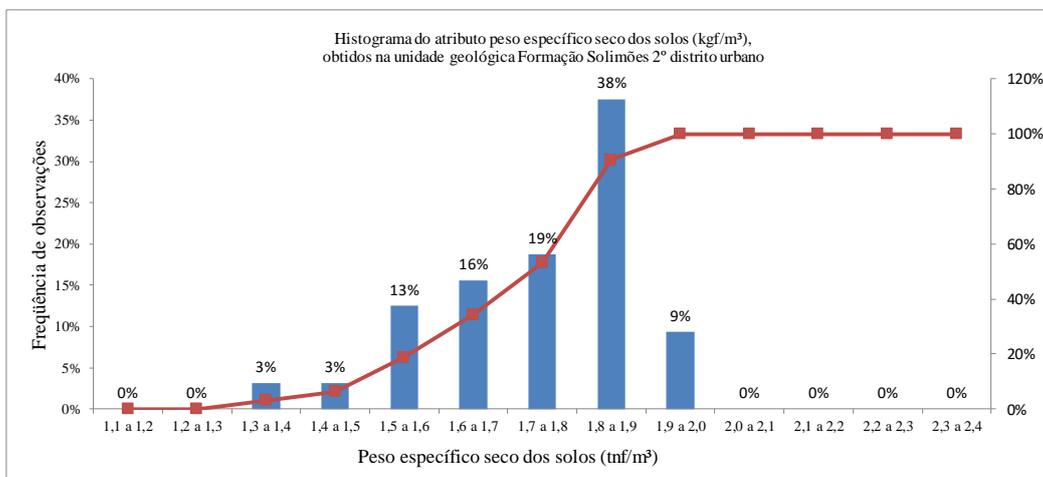
(b)

Distribuição de frequência do atributo peso específico seco dos solos (kgf/m^3), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
1100	+	1200	1150	1	5,0%	1	5%
1200	+	1300	1250	1	5,0%	2	10%
1300	+	1400	1350	1	5,0%	3	15%
1400	+	1500	1450	0	0,0%	3	15%
1500	+	1600	1550	5	25,0%	8	40%
1600	+	1700	1650	4	20,0%	12	60%
1700	+	1800	1750	0	0,0%	12	60%
1800	+	1900	1850	4	20,0%	16	80%
1900	+	2000	1950	4	20,0%	20	100%
2000	+	2100	2050	0	0,0%	20	100%
2100	+	2200	2150	0	0,0%	20	100%
2200	+	2300	2250	0	0,0%	20	100%
2300	+	2400	2350	0	0,0%	20	100%

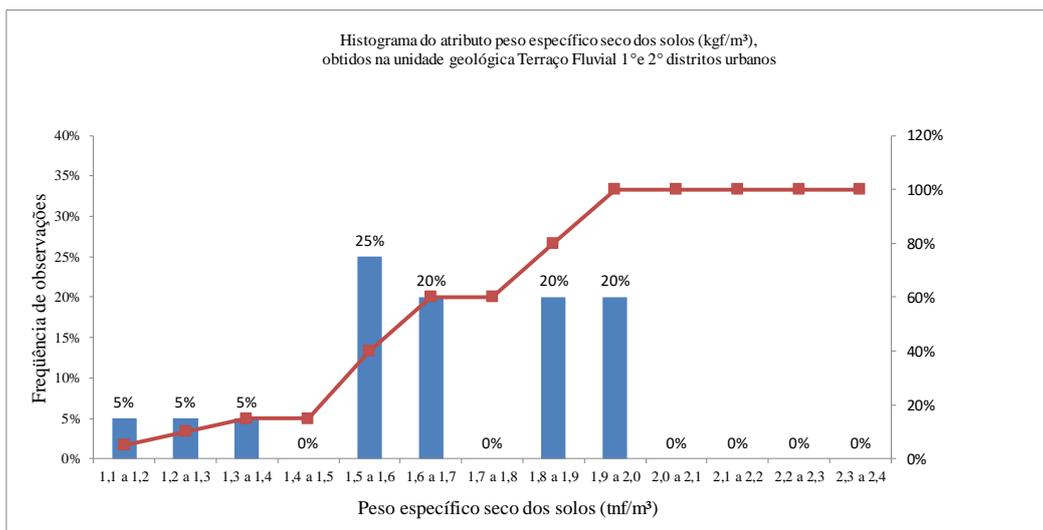
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 46 - Histograma do atributo peso específico seco do solo (kgf/m³), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.4 Estatística descritiva da profundidade do nível d'água.

Na fase exploratória, realização dos furos de escavação para retirada de amostras deformadas, entre os meses de junho de 2015 a março de 2016, foram anotados a profundidade do nível d'água, a partir da cota da boca do furo. Todos os furos foram perfurados até a profundidade de 4 metros, com trado manual.

A Tabela 14 e Figura 47 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas da profundidade do nível d'água (m), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média em todas as unidades geológicas (Formação Solimões e Terraço Fluvial) são em torno de 2,5 m, sem levar em conta no cálculo a medida nos furos secos, o que evidencia que o nível d'água, pelo menos em uma parte considerável das unidades geológicas amostradas, está bem próximo da superfície. Os coeficientes de variação da profundidade do nível d'água, em todas as unidades geológicas são da ordem de 30%, sem levar em consideração os furos secos, o que representa uma maior variabilidade desse atributo, nas áreas 1, 2 e 3.

A Tabela 15 e Figura 48 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas de profundidade do nível d'água (m), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa. Os autores Tschebotatloff (1978), Massad (2003), Joppert (2007), Hachich (2008), Marchetti (2008a), Marchetti (2008b), Velloso e Lopes (2011), Cintra et al. (2011a), Cintra et al. (2011b), Costa (2012), Gerscovich (2013), Alonso (2013), Milititsky et al. (2013), Silveira (2013), Budhu (2013), afirmam que a influência do nível d'água ao submergir o solo, afeta o valor do peso específico do solo, e como o peso específico do solo submerso é da ordem da metade do seu valor quando acima do nível d'água, a submersão do solo de fundação reduz apreciavelmente a sua capacidade de carga. Assim, segundo esses autores, o cálculo da capacidade de carga deve ser feito para a posição mais elevada do nível d'água.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 15, e histogramas apresentados na Figura 48 do atributo profundidade do nível d'água obtidos nas áreas 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões), e área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) apresentam cerca de 40 % e 60%, respectivamente, de furos com profundidade do nível d'água inferiores a 4 metros, esses com influência significativa no bulbo de tensões de cargas de fundações superficiais, segundo Das e Sobhan (2014), a profundidade de influência do bulbo de tensões é cerca de duas vezes a dimensão da fundação superficial, ou seja, dependendo das cargas, pode ultrapassar 4 metros de profundidade.

Os valores de nível d'água superiores a 4 metros (profundidade máxima das escavações), que estão apresentados na Tabela 15 e Figura 48, são valores que representam qualitativamente que o nível d'água, nesses locais, estão mais profundos e pouca influência têm na capacidade de carga das fundações superficiais.

Tabela 14 - Resumo das medidas estatísticas do atributo profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Profundidade do nível d'água (m), obtidos em 19 furos, num total de 48 furos escavados até 4 metros
Mínimo	1,50
Média	2,38
Mediana	2,50
Máximo	4,00
Desvio Padrão	0,77
Coefficiente de Variação	0,32
Tamanho da Amostra	19

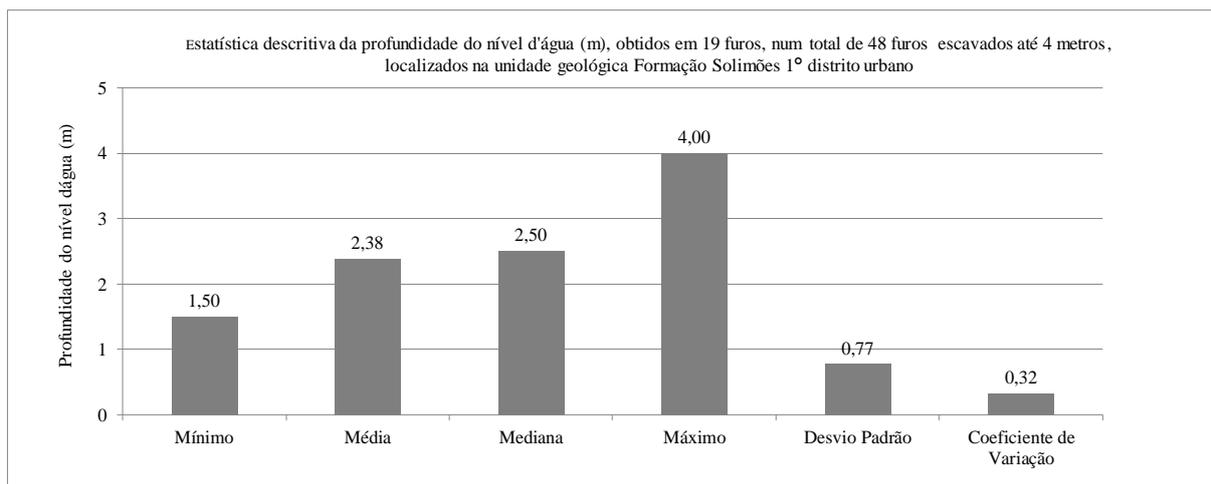
(a)

Medidas estatísticas	Profundidade do nível d'água (m), obtidos em 13 furos, num total de 32 furos escavados até 4 metros
Mínimo	0,50
Média	2,52
Mediana	2,50
Máximo	4,00
Desvio Padrão	0,96
Coefficiente de Variação	0,38
Tamanho da Amostra	13,00

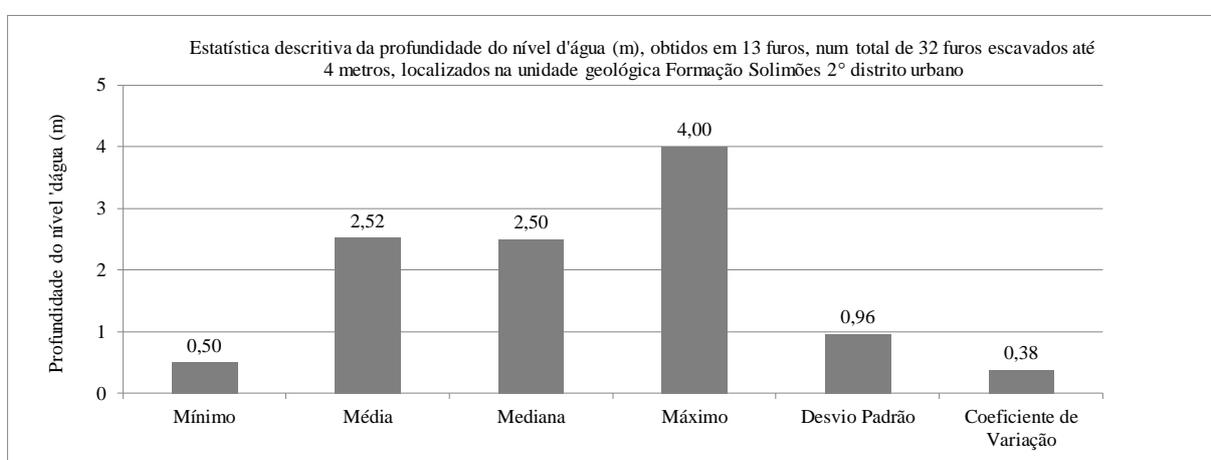
(b)

Medidas estatísticas	Profundidade do nível d'água (m), obtidos em 12 furos, num total de 20 furos escavados até 4 metros.
Mínimo	0,5
Média	2,5
Mediana	3,0
Máximo	3,8
Desvio Padrão	1,1
Coefficiente de Variação	0,4
Tamanho da Amostra	12

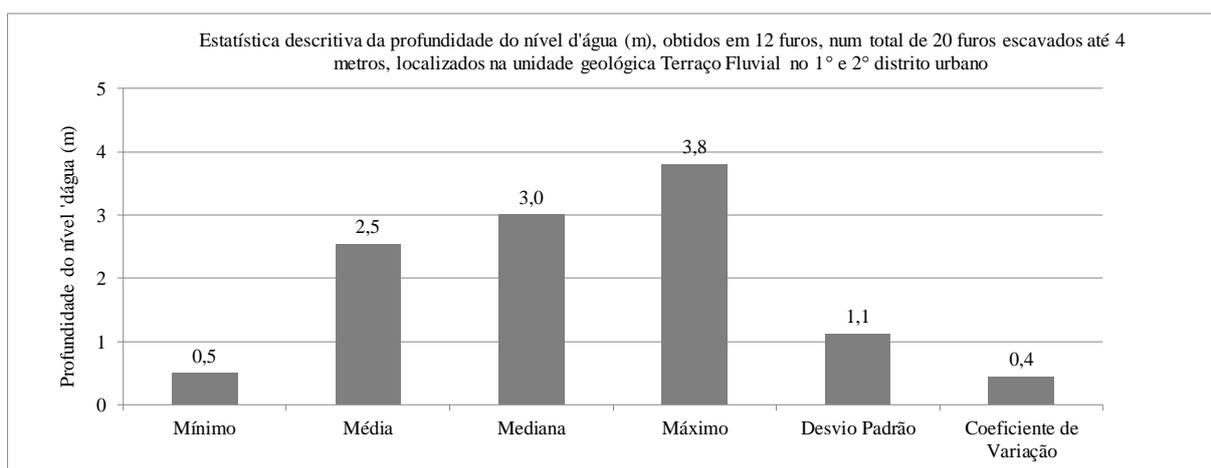
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 47 - Resumo gráfico das medidas estatísticas da profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 15 - Distribuição de frequência da profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência da profundidade do nível d'água (m), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	F	1,00	0,50	0	0,0%	0	0%
1,00	F	2,00	1,50	6	12,5%	6	13%
2,00	F	3,00	2,50	8	16,7%	14	29%
3,00	F	4,00	3,50	3	6,3%	17	35%
4,00	F	5,00	4,50	2	4,2%	19	40%
5,00	F	6,00	5,50	0	0,0%	19	40%
6,00	F	7,00	6,50	0	0,0%	19	40%
7,00	F	8,00	7,50	0	0,0%	19	40%
8,00	F	9,00	8,50	29	60,4%	48	100%
9,00	F	10,00	9,50	0	0,0%	48	100%

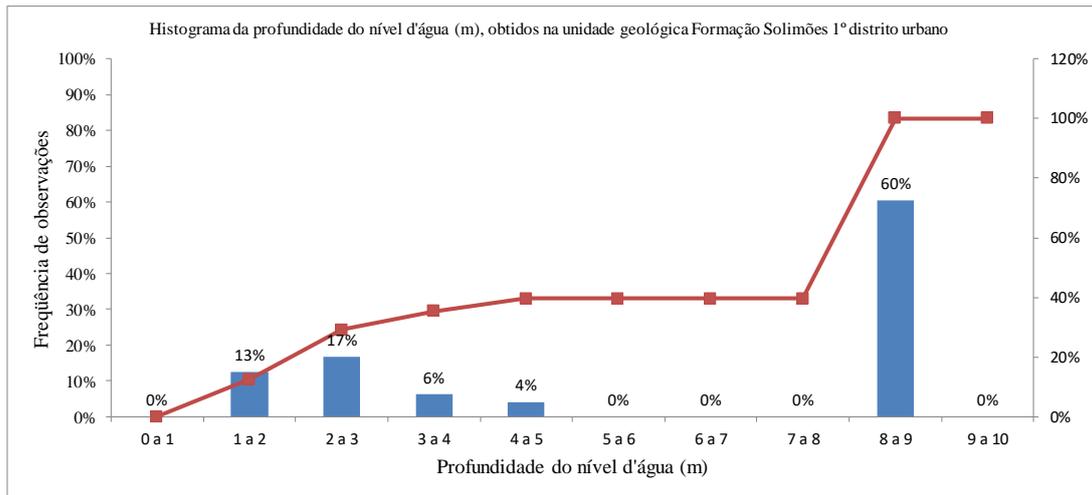
(a)

Distribuição de frequência da profundidade do nível d'água (m), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	F	1,00	0,50	1	3,1%	1	3%
1,00	F	2,00	1,50	2	6,3%	3	9%
2,00	F	3,00	2,50	5	15,6%	8	25%
3,00	F	4,00	3,50	4	12,5%	12	38%
4,00	F	5,00	4,50	1	3,1%	13	41%
5,00	F	6,00	5,50	0	0,0%	13	41%
6,00	F	7,00	6,50	0	0,0%	13	41%
7,00	F	8,00	7,50	0	0,0%	13	41%
8,00	F	9,00	8,50	19	59,4%	32	100%
9,00	F	10,00	9,50	0	0,0%	32	100%

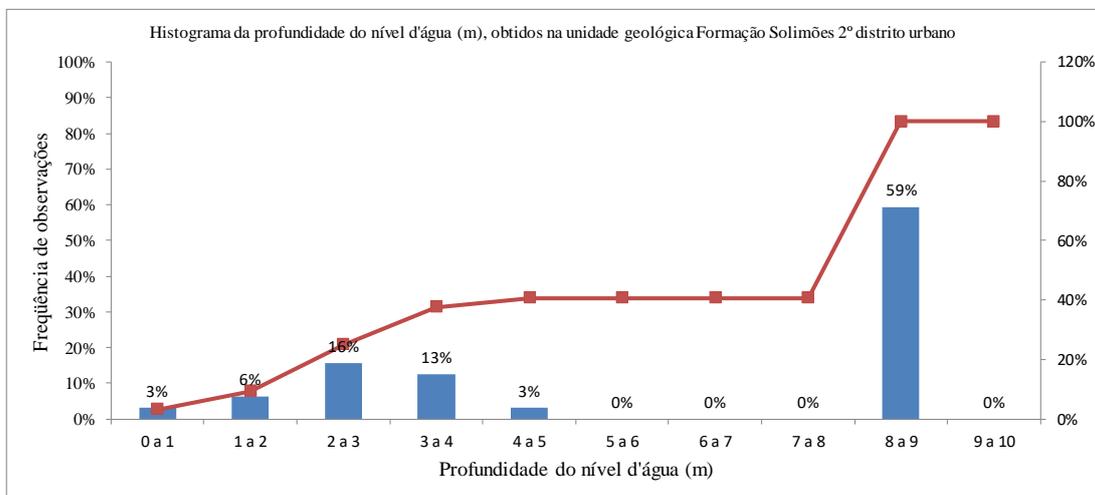
(b)

Distribuição de frequência da profundidade do nível d'água (m), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	F	1,00	0,50	1	5,0%	1	5%
1,00	F	2,00	1,50	2	10,0%	3	15%
2,00	F	3,00	2,50	1	5,0%	4	20%
3,00	F	4,00	3,50	8	40,0%	12	60%
4,00	F	5,00	4,50	0	0,0%	12	60%
5,00	F	6,00	5,50	0	0,0%	12	60%
6,00	F	7,00	6,50	0	0,0%	12	60%
7,00	F	8,00	7,50	0	0,0%	12	60%
8,00	F	9,00	8,50	8	40,0%	20	100%
9,00	F	10,00	9,50	0	0,0%	20	100%

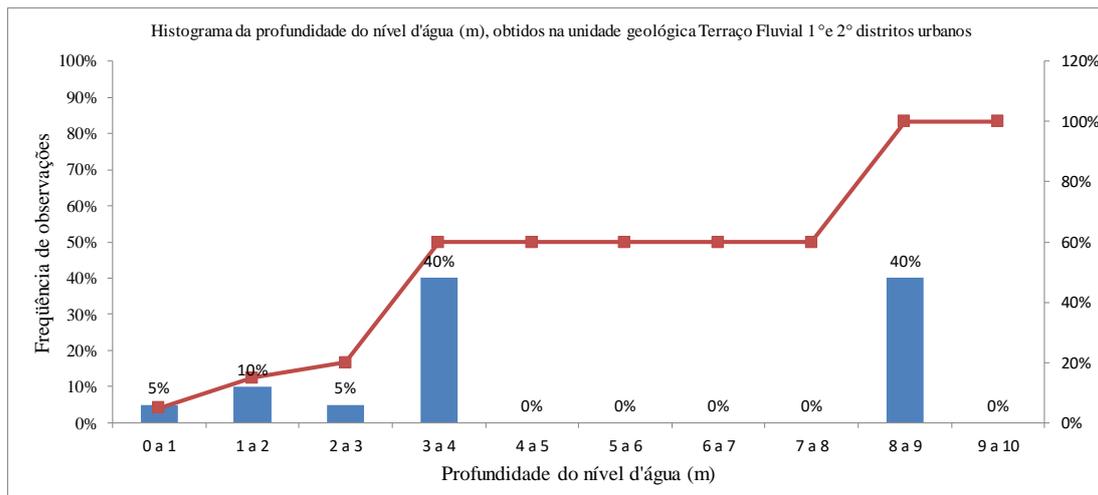
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 48 - Histograma da profundidade do nível d'água (m), (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.5 Estatística descritiva dos atributos fração areia fina, silte e argila

O resumo das medidas estatísticas das frações constituintes dos solos de toda a área de estudo, são apresentados na Figura 49, observa-se que as frações areia fina, silte e argila, são predominantes nas amostras coletadas na área de estudo.

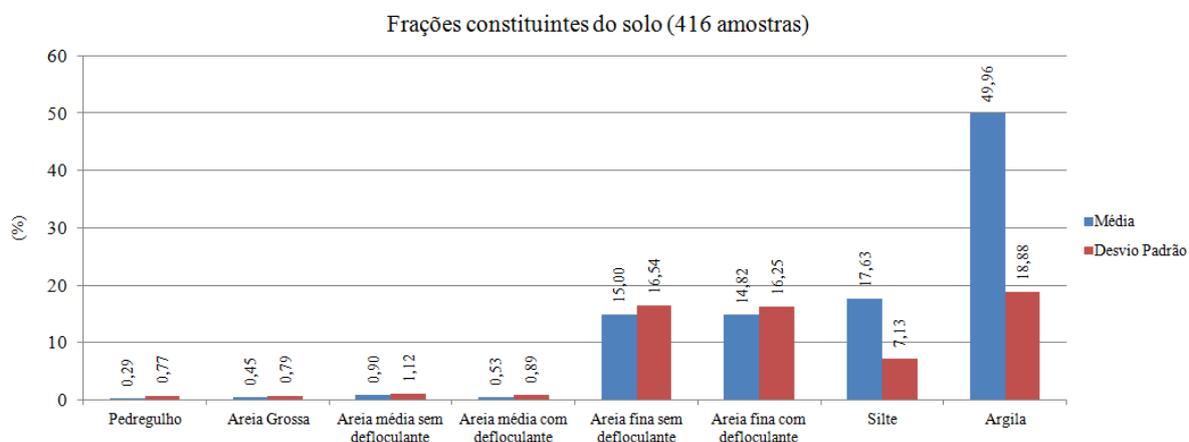


Figura 49 - Resumo gráfico das medidas estatísticas dos atributos frações constituintes dos solos para as 416 amostras, coletadas em toda a área de estudo.

A Tabela 16 e Figura 50 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas dos atributos fração areia fina, silte e argila, obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média em torno de 20% da fração areia fina, nas áreas 2 e 3, são maiores que a média de 9% da fração areia fina das amostras coletadas na área 1, ou seja, os solos da área de estudo predominantemente são de composição granulométrica argila siltosa com pouca areia fina.

Os coeficientes de variação apresentados na Tabela 16 e Figura 50 do atributo fração areia fina são elevados, maiores que 65%, o que representa uma maior variabilidade desse atributo, nas áreas 1, 2 e 3.

Os autores Velloso e Lopes (2011), Cintra et al. (2011a) apresentaram a estimativa do módulo de deformabilidade dos solos em função da granulometria dos solos, correlação originalmente desenvolvida para solos arenosos e apresentados por Schmertmann (1970). Segundo último autor, quanto maior o tamanho do grão predominante na composição granulométrica dos solos, menores serão as deformações, quando submetidos a carregamentos. Os solos com fração areia fina apresentam menores deformações, quando comparados com solos de fração silte e argilas, para uma mesma tensão de carregamento.

A Tabela 17 e Figura 51 apresentam as distribuições de frequências e histogramas dos atributos fração areia fina (a), silte (b) e argila (c) obtidos na área 1. A fração areia fina representa cerca de 10% da composição granulométrica, a fração silte representa cerca de 10%

a 30% da composição granulométrica, e a fração argila representa cerca de 40% a 80% da composição granulométrica dos solos obtidos na área 1.

A Tabela 18 e Figura 52, apresentam as distribuições de frequências e histogramas dos atributos fração areia fina (a), silte (b) e argila (c) obtidos na área 2. A fração areia fina representa cerca de 40% da composição granulométrica, a fração silte representa cerca de 10% a 30% da composição granulométrica, e a fração argila representa cerca de 30% a 50% da composição granulométrica dos solos obtidos na área 2.

A Tabela 19 e Figura 53, apresentam as distribuições de frequências e histogramas dos atributos fração areia fina (a), silte (b) e argila (c) obtidos na área 3. A fração areia fina representa cerca de 20% da composição granulométrica, a fração silte representa cerca de 10% a 30% da composição granulométrica, e a fração argila representa cerca de 30% a 40% da composição granulométrica dos solos obtidos na área 3.

Os solos amostrados na área 1, levando em consideração somente a fração granulométrica e o tamanho dos grãos, apresentam maiores deformações submetidos aos mesmos carregamentos verticais, quando comparados aos solos das áreas 2 e 3.

Tabela 16 - Resumo das medidas estatísticas dos atributos fração areia fina, silte e argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3

Medidas estatísticas	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)
Mínimo	0,54	9,99	26,62
Média	8,87	19,17	56,07
Mediana	5,12	18,99	58,37
Máximo	36,35	30,18	81,69
Desvio Padrão	8,76	4,43	13,43
Coefficiente de Variação	0,99	0,23	0,24
Tamanho da Amostra	48	48	48

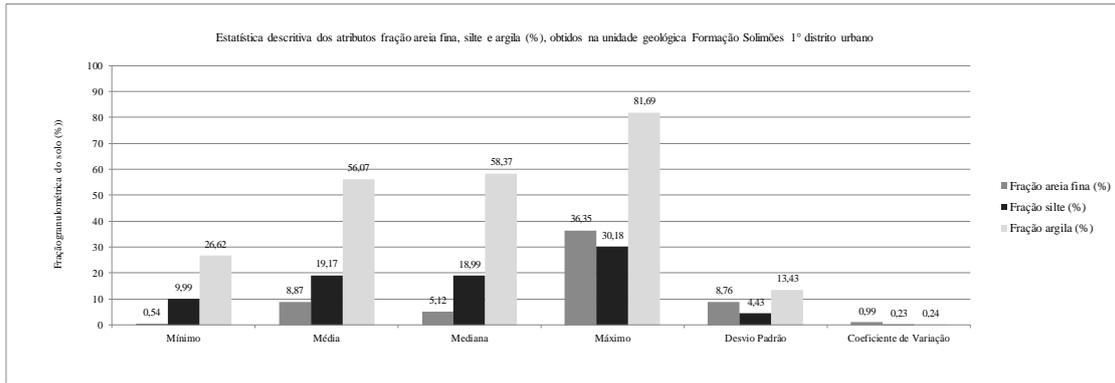
(a)

Medidas estatísticas	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)
Mínimo	2,82	7,38	20,64
Média	22,07	15,05	43,90
Mediana	19,84	14,03	41,23
Máximo	53,33	24,95	75,73
Desvio Padrão	14,32	4,45	14,97
Coefficiente de Variação	0,65	0,30	0,34
Tamanho da Amostra	32	32	32

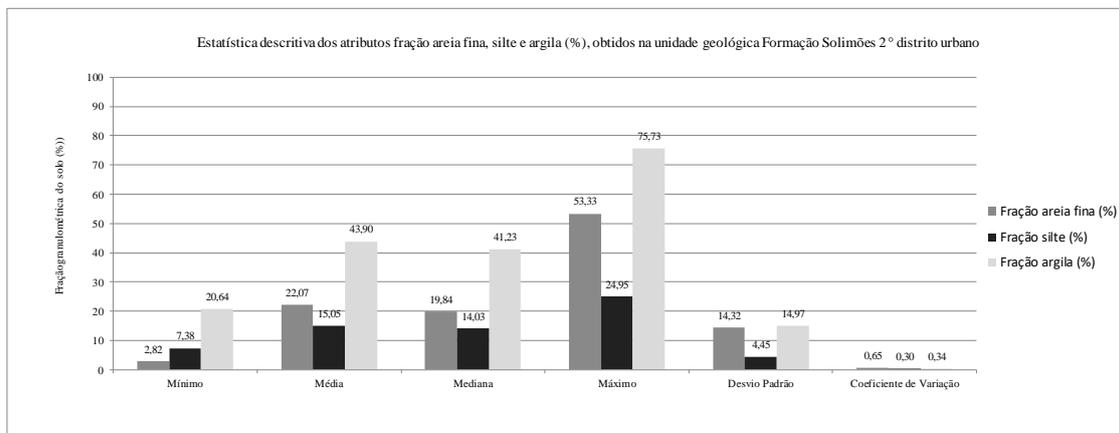
(b)

Medidas estatísticas	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)
Mínimo	0,16	8,56	27,60
Média	18,51	16,77	48,22
Mediana	16,23	16,79	43,12
Máximo	44,98	25,48	82,83
Desvio Padrão	13,87	5,97	16,54
Coefficiente de Variação	0,75	0,36	0,34
Tamanho da Amostra	20	20	20

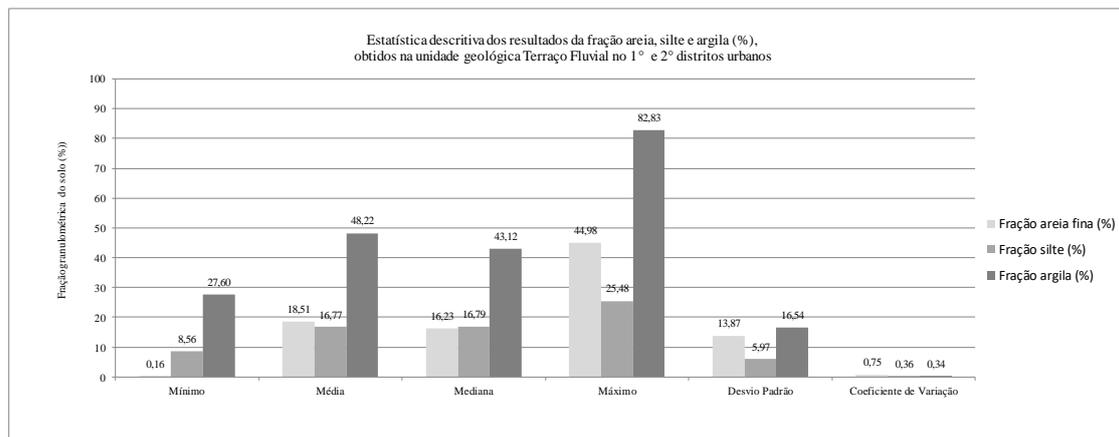
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 50 - Resumo gráfico das medidas estatísticas dos atributos fração areia fina, silte e argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 17- Distribuição de frequência dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 1.

Distribuição de frequência do atributo fração areia fina (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	32	66,7%	32	67%
10,00	┆	20,00	15,00	11	22,9%	43	90%
20,00	┆	30,00	25,00	2	4,2%	45	94%
30,00	┆	40,00	35,00	3	6,3%	48	100%
40,00	┆	50,00	45,00	0	0,0%	48	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	48	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	48	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	48	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	48	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	48	100%

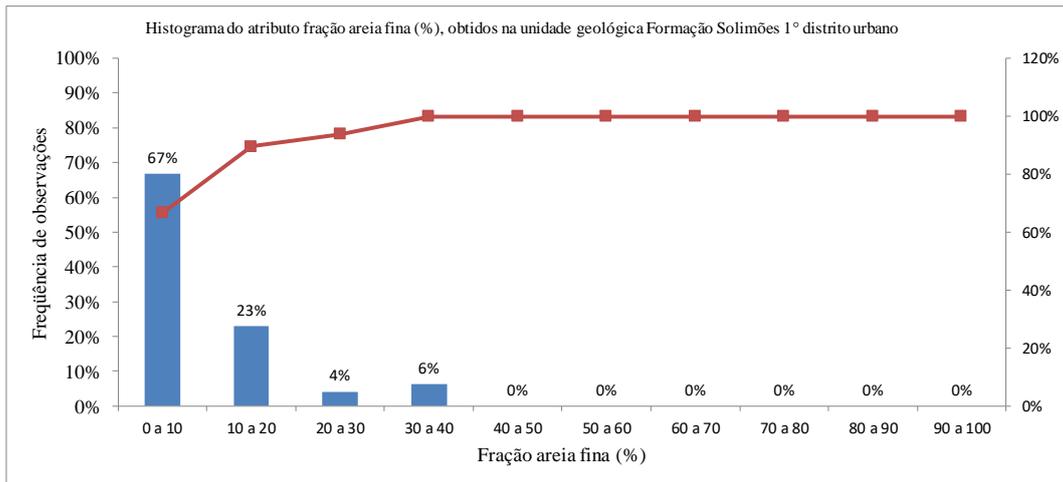
(a)

Distribuição de frequência do atributo fração silte (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	1	2,1%	1	2%
10,00	┆	20,00	15,00	29	60,4%	30	63%
20,00	┆	30,00	25,00	17	35,4%	47	98%
30,00	┆	40,00	35,00	1	2,1%	48	100%
40,00	┆	50,00	45,00	0	0,0%	48	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	48	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	48	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	48	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	48	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	48	100%

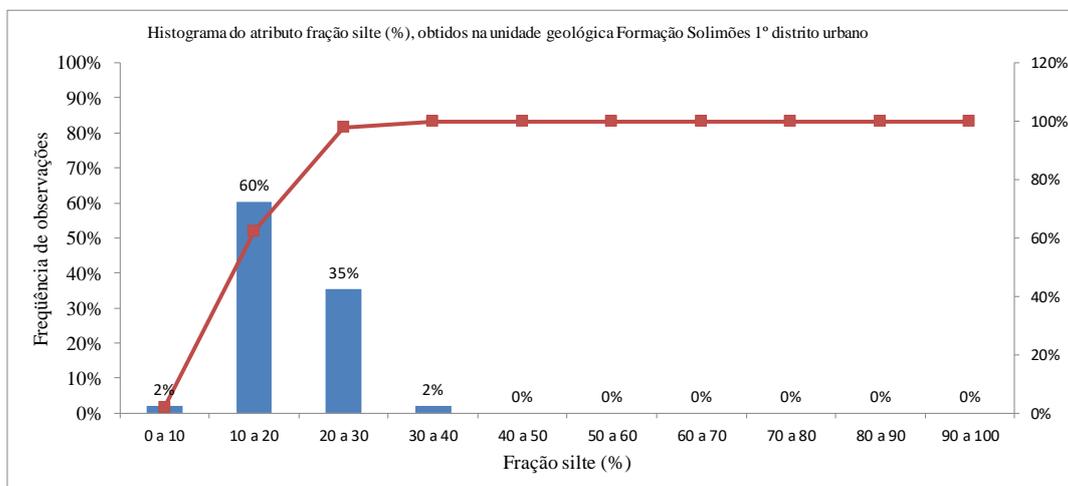
(b)

Distribuição de frequência do atributo fração argila (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	┆	20,00	15,00	0	0,0%	0	0%
20,00	┆	30,00	25,00	3	6,3%	3	6%
30,00	┆	40,00	35,00	4	8,3%	7	15%
40,00	┆	50,00	45,00	7	14,6%	14	29%
50,00	┆	60,00	55,00	13	27,1%	27	56%
60,00	┆	70,00	65,00	14	29,2%	41	85%
70,00	┆	80,00	75,00	6	12,5%	47	98%
80,00	┆	90,00	85,00	1	2,1%	48	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	48	100%

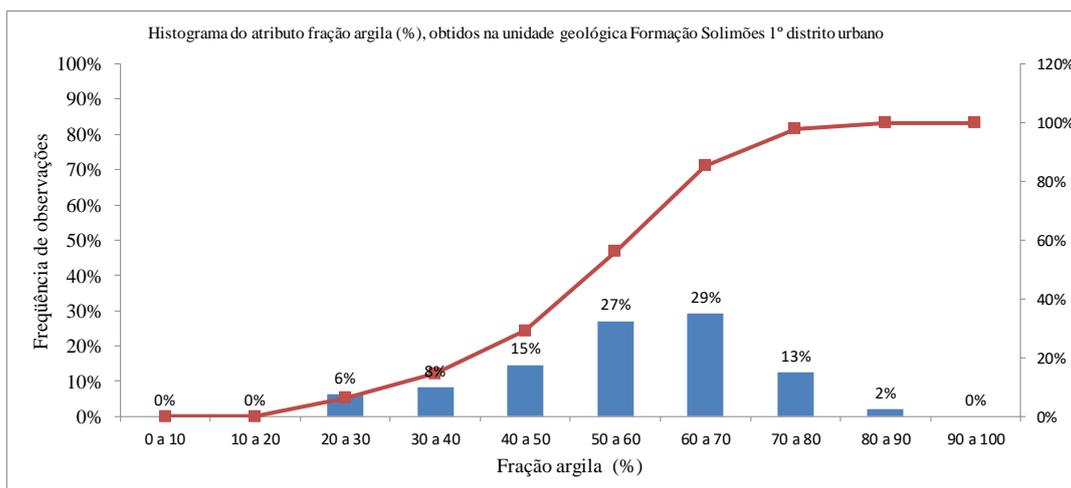
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 51 – Histogramas dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 1.

Tabela 18 - Distribuição de frequência dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 2.

Distribuição de frequência do atributo fração areia fina (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	8	25,0%	8	25%
10,00	┆	20,00	15,00	9	28,1%	17	53%
20,00	┆	30,00	25,00	4	12,5%	21	66%
30,00	┆	40,00	35,00	7	21,9%	28	88%
40,00	┆	50,00	45,00	3	9,4%	31	97%
50,00	┆	60,00	55,00	1	3,1%	32	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	32	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	32	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	32	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	32	100%

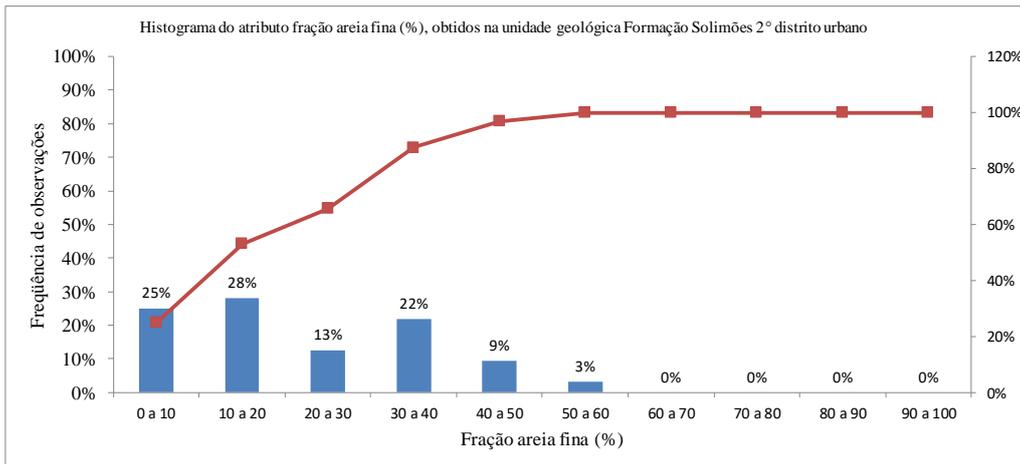
(a)

Distribuição de frequência do atributo fração silte (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	3	9,4%	3	9%
10,00	┆	20,00	15,00	23	71,9%	26	81%
20,00	┆	30,00	25,00	6	18,8%	32	100%
30,00	┆	40,00	35,00	0	0,0%	32	100%
40,00	┆	50,00	45,00	0	0,0%	32	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	32	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	32	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	32	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	32	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	32	100%

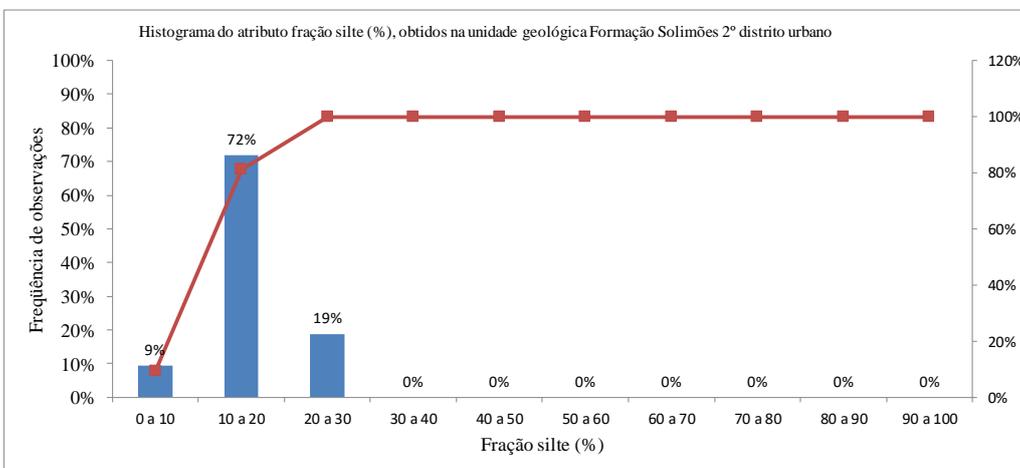
(b)

Distribuição de frequência do atributo fração argila (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	┆	20,00	15,00	0	0,0%	0	0%
20,00	┆	30,00	25,00	4	12,5%	4	13%
30,00	┆	40,00	35,00	11	34,4%	15	47%
40,00	┆	50,00	45,00	8	25,0%	23	72%
50,00	┆	60,00	55,00	3	9,4%	26	81%
60,00	┆	70,00	65,00	3	9,4%	29	91%
70,00	┆	80,00	75,00	3	9,4%	32	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	32	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	32	100%

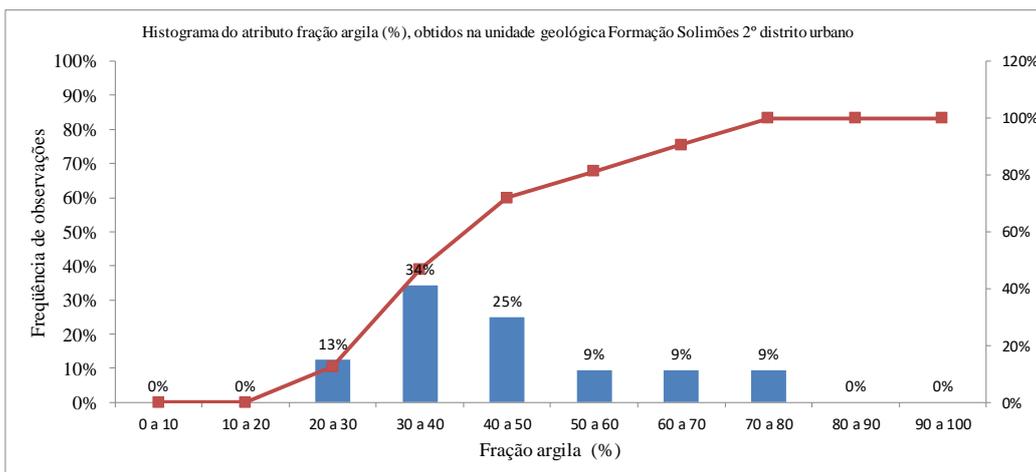
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 52 - Histogramas dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 2.

Tabela 19 - Distribuição de frequência dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo fração areia fina (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1º e 2º distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	5	25,0%	5	25%
10,00	┆	20,00	15,00	8	40,0%	13	65%
20,00	┆	30,00	25,00	3	15,0%	16	80%
30,00	┆	40,00	35,00	2	10,0%	18	90%
40,00	┆	50,00	45,00	2	10,0%	20	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	20	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	20	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	20	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	20	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	20	100%

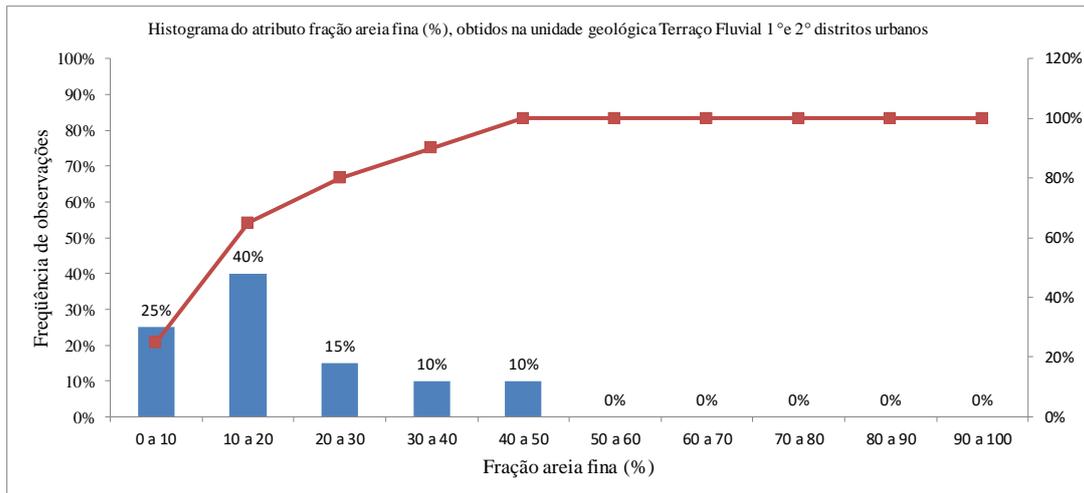
(a)

Distribuição de frequência do atributo fração silte (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1º e 2º distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	5	25,0%	5	25%
10,00	┆	20,00	15,00	9	45,0%	14	70%
20,00	┆	30,00	25,00	6	30,0%	20	100%
30,00	┆	40,00	35,00	0	0,0%	20	100%
40,00	┆	50,00	45,00	0	0,0%	20	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	20	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	20	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	20	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	20	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	20	100%

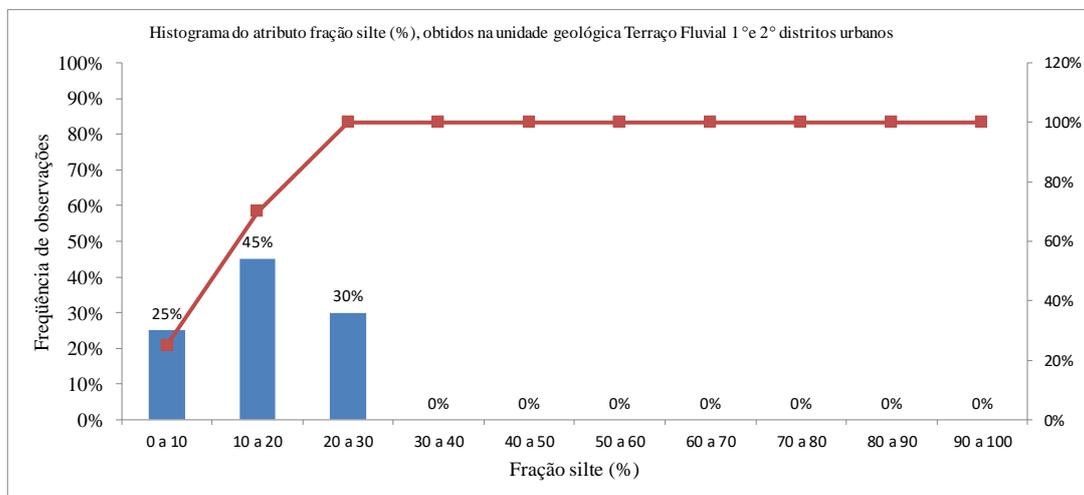
(b)

Distribuição de frequência do atributo fração argila (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1º e 2º distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	┆	20,00	15,00	0	0,0%	0	0%
20,00	┆	30,00	25,00	1	5,0%	1	5%
30,00	┆	40,00	35,00	9	45,0%	10	50%
40,00	┆	50,00	45,00	2	10,0%	12	60%
50,00	┆	60,00	55,00	2	10,0%	14	70%
60,00	┆	70,00	65,00	3	15,0%	17	85%
70,00	┆	80,00	75,00	2	10,0%	19	95%
80,00	┆	90,00	85,00	1	5,0%	20	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	20	100%

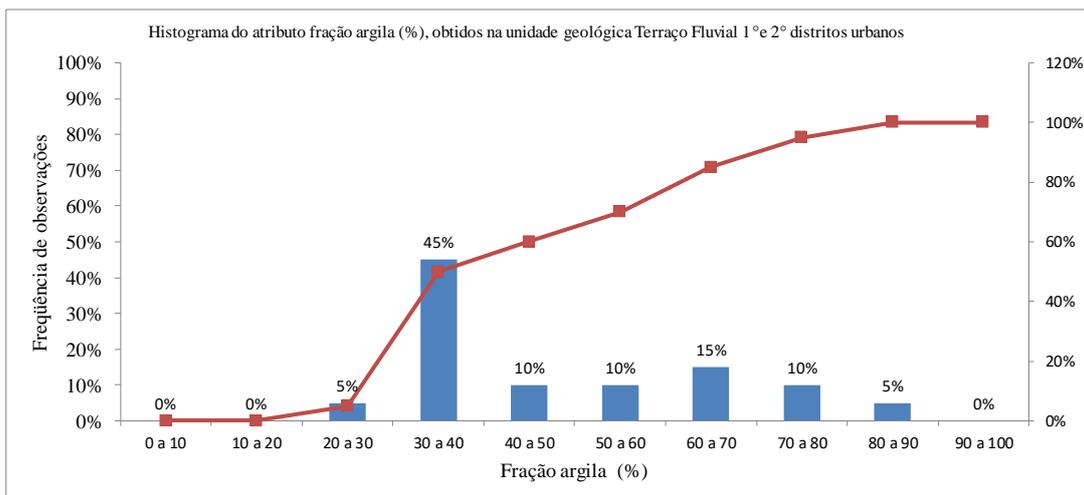
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 53 - Histogramas dos atributos (a) fração areia fina, (b) silte e (c) argila, obtidos na área 3.

5.5.6 Estatística descritiva do atributo umidade natural dos solos.

Na fase exploração os furos de sondagem a trado com coleta das amostras, a umidade natural foi preservada através da armazenagem com película plástica de PVC de uma porção de solo, logo após a retirada da amostra do furo (um trado tipo concha de 10cm de diâmetro por 20cm de comprimento) retirado nas profundidades 1m, 2m, 3m e 4m.

A Tabela 20 e Figura 53 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas da atributo umidade natural dos solos (%), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média em todas as unidades geológicas (Formação Solimões e Terraço Fluvial) são em torno de 25% com desvio padrão da ordem de 5 a 10%. O coeficiente de variação do atributo umidade natural dos solos, obtidos na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) é da ordem de 35%, o que representa uma maior variabilidade desse atributo, se comparados aos valores do coeficiente de variação da ordem de 20%, obtidos nas áreas 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões).

A Tabela 21 e Figura 55 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo umidade natural dos solos (%), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

Solos que se encontram acima do nível d'água, não saturados, e situados sob as bases de fundações superficiais, se inundados por chuvas intensas, pelo vazamento de tubulações enterradas, etc., podem exibir um recalque significativo segundo Velloso e Lopes (2011) e Cintra et al. (2011a). De acordo com esses autores, em solos situados abaixo do nível d'água, solos saturados, principalmente em solos finos, os parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito interno) são dependentes das condições de carregamento, variando do não-drenado (rápido) ao drenado (lento). Ainda segundo esses autores, em termos de capacidade de carga, geralmente predomina como crítica a condição não-drenada, pois a capacidade de carga tem a tendência de aumentar com a dissipação das poro-pressões.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 21, e histogramas apresentados na Figura 55 do atributo umidade natural dos solos, obtidos nas áreas 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões), apresentam picos nas classes 20 a 30%, valores de amplitude inferiores aos encontrados na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) que apresentam picos na nas classes 10 a 40%, ou seja com uma amplitude maior de umidade natural dos solos.

Tabela 20 - Resumo das medidas estatísticas do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Umidade natural dos solos (%)
Mínimo	12,15
Média	25,31
Mediana	24,78
Máximo	41,01
Desvio Padrão	5,00
Coefficiente de Variação	0,20
Tamanho da Amostra	48

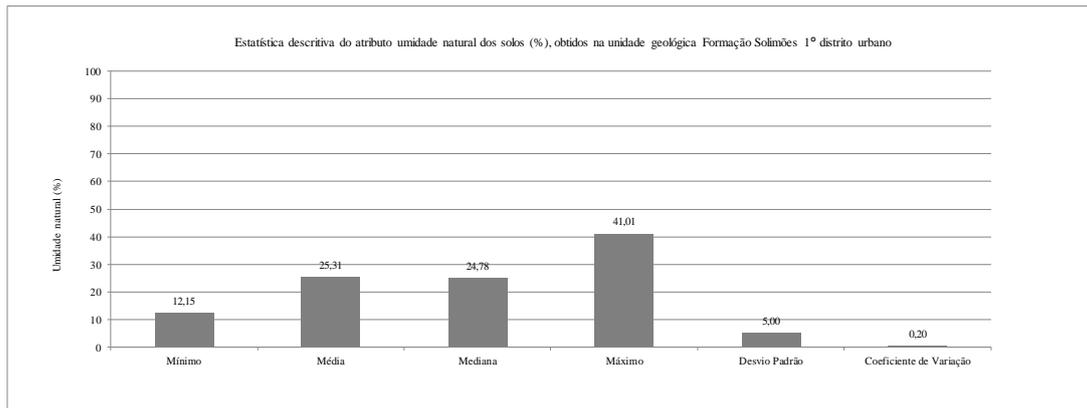
(a)

Medidas estatísticas	Umidade natural dos solos (%)
Mínimo	17,73
Média	22,76
Mediana	21,10
Máximo	35,44
Desvio Padrão	4,34
Coefficiente de Variação	0,19
Tamanho da Amostra	32

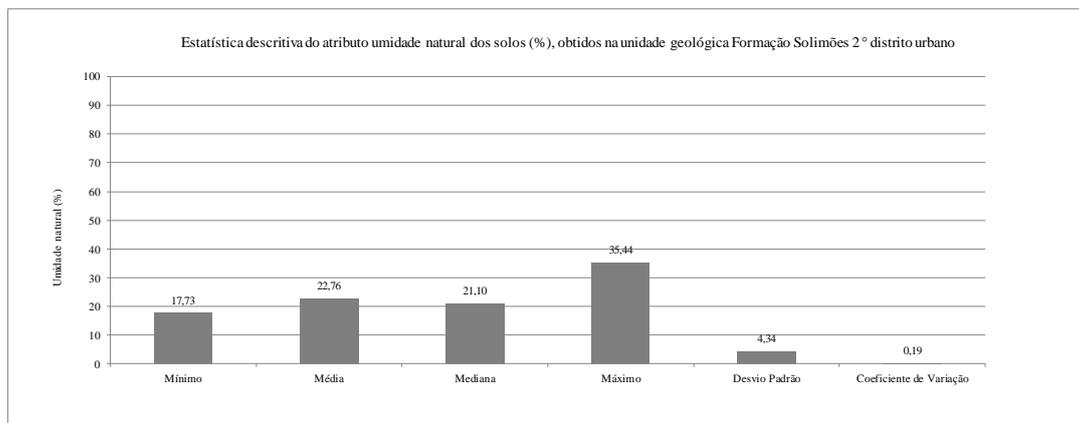
(b)

Medidas estatísticas	Umidade natural dos solos (%)
Mínimo	15,95
Média	28,54
Mediana	26,35
Máximo	57,39
Desvio Padrão	10,02
Coefficiente de Variação	0,35
Tamanho da Amostra	20

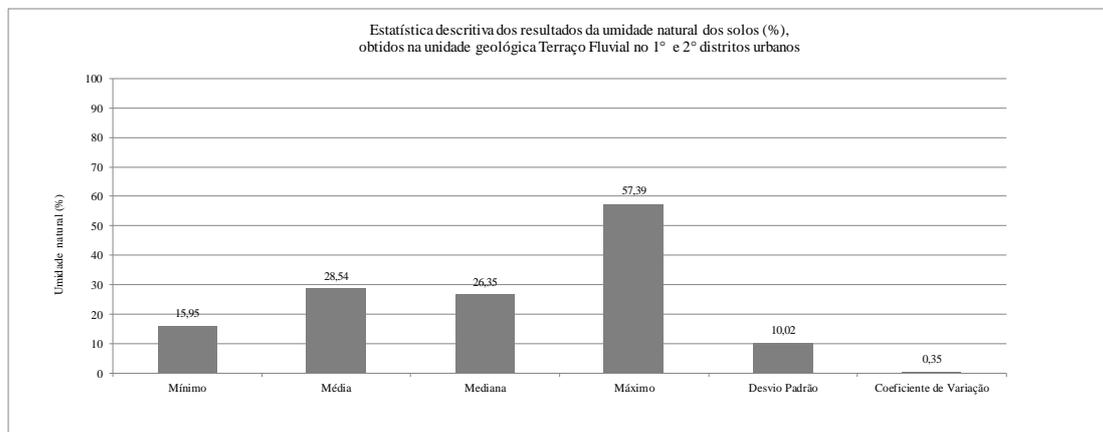
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 54 – Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 21 – Distribuição de frequência do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo umidade natural dos solos (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	┆	20,00	15,00	6	12,5%	6	13%
20,00	┆	30,00	25,00	36	75,0%	42	88%
30,00	┆	40,00	35,00	5	10,4%	47	98%
40,00	┆	50,00	45,00	1	2,1%	48	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	48	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	48	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	48	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	48	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	48	100%

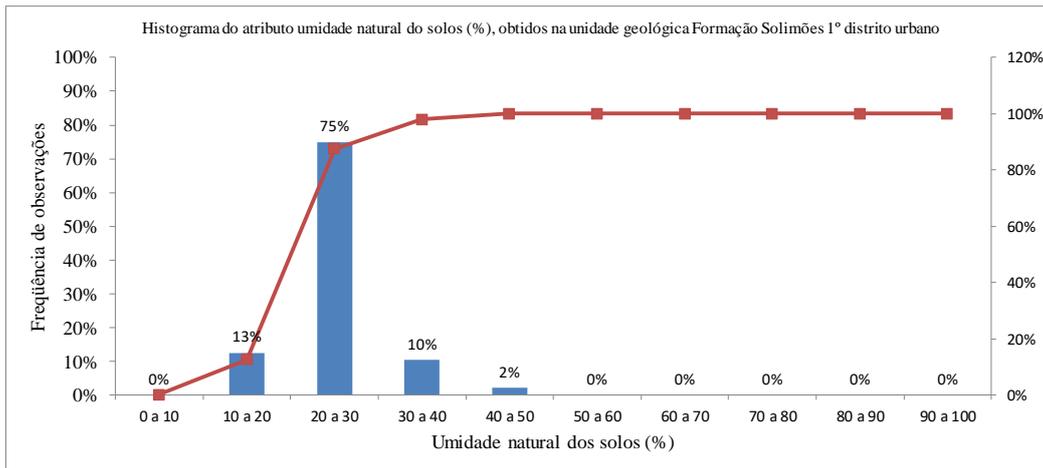
(a)

Distribuição de frequência do atributo umidade natural dos solos (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	┆	20,00	15,00	8	25,0%	8	25%
20,00	┆	30,00	25,00	22	68,8%	30	94%
30,00	┆	40,00	35,00	2	6,3%	32	100%
40,00	┆	50,00	45,00	0	0,0%	32	100%
50,00	┆	60,00	55,00	0	0,0%	32	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	32	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	32	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	32	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	32	100%

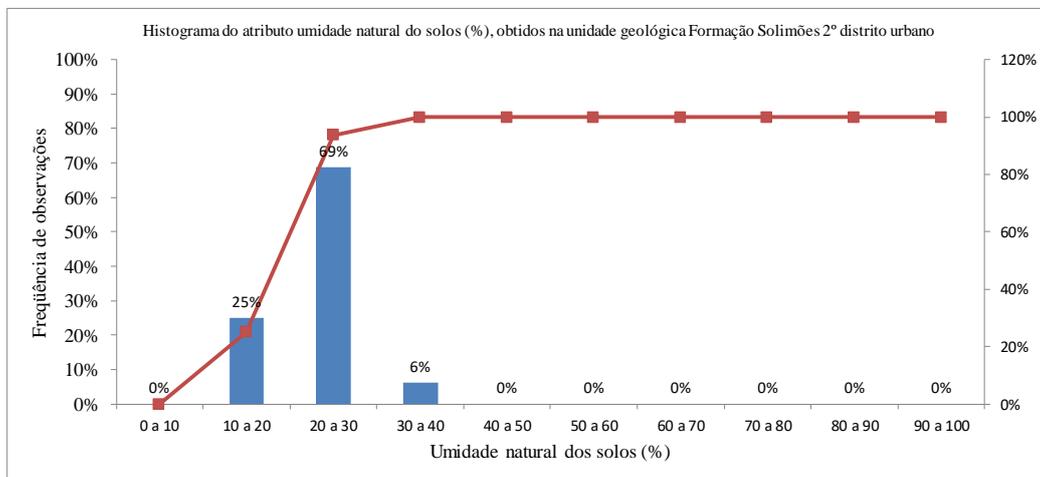
(b)

Distribuição de frequência do atributo umidade natural dos solos (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	┆	20,00	15,00	4	20,0%	4	20%
20,00	┆	30,00	25,00	8	40,0%	12	60%
30,00	┆	40,00	35,00	6	30,0%	18	90%
40,00	┆	50,00	45,00	1	5,0%	19	95%
50,00	┆	60,00	55,00	1	5,0%	20	100%
60,00	┆	70,00	65,00	0	0,0%	20	100%
70,00	┆	80,00	75,00	0	0,0%	20	100%
80,00	┆	90,00	85,00	0	0,0%	20	100%
90,00	┆	100,00	95,00	0	0,0%	20	100%

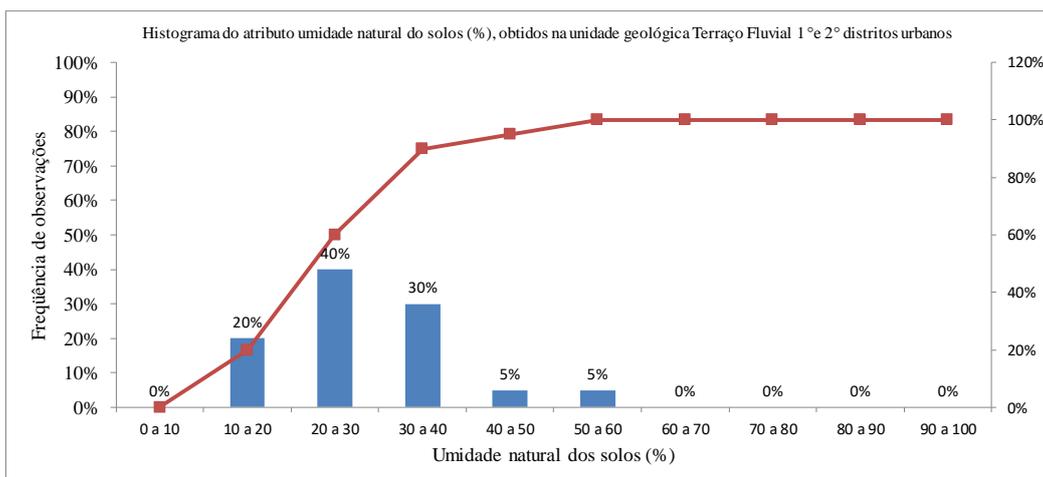
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 55 - Histograma do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.7 Estatística descritiva do atributo peso específico real dos grãos

A Tabela 22 e Figura 56 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo peso específico real dos grãos (gf/cm^3), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do peso específico real dos grãos nas áreas 1, 2 e 3 são da ordem de $2,70 \text{ gf/cm}^3$. O desvio padrão é da ordem de $0,02 \text{ g/cm}^3$. O coeficiente de variação, de 1%, indica que há baixa variabilidade do atributo peso específico real dos grãos.

A Tabela 23 e Figura 57 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo peso específico real dos grãos (g/cm^3), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

Segundo Das e Sobhan (2014) o peso específico real dos grãos de solos granulares, do tipo areia fina, é composto principalmente por quartzo, que pode ser estimado em $2,65 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, já para solos finos, argilas e siltes, esse valor pode variar de $2,6$ a $2,9 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, valores esses que estão diretamente correlacionados com os argilominerais presentes nas composições das frações finas dos solos.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 23, e histogramas apresentados na Figura 57 do peso específico real dos grãos, obtidos nas área 1 (unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano) apresenta maior ocorrência nas classes $2,70$ a $2,74 \text{ g/cm}^3$, esses valores são próximos do argilomineral montmorilonita, que é abundante na região. O peso específico real dos grãos, obtidos na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial), apresenta maior ocorrência nas classes $2,66$ e $2,68 \text{ g/cm}^3$, esses valores são próximos do mineral quartzo, abundante no terraço fluvial e aluvião. O peso específico real dos grãos, obtidos na área 2 (unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano), apresenta maior ocorrência na classe $2,66$ e $2,72 \text{ g/cm}^3$, abrangendo os valores obtidos nas áreas 1 e 3.

Tabela 22 - Resumo das medidas estatísticas do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Peso específico real dos grãos (g/cm ³)
Mínimo	2,60
Média	2,71
Mediana	2,71
Máximo	2,76
Desvio Padrão	0,03
Coefficiente de Variação	0,01
Tamanho da Amostra	48

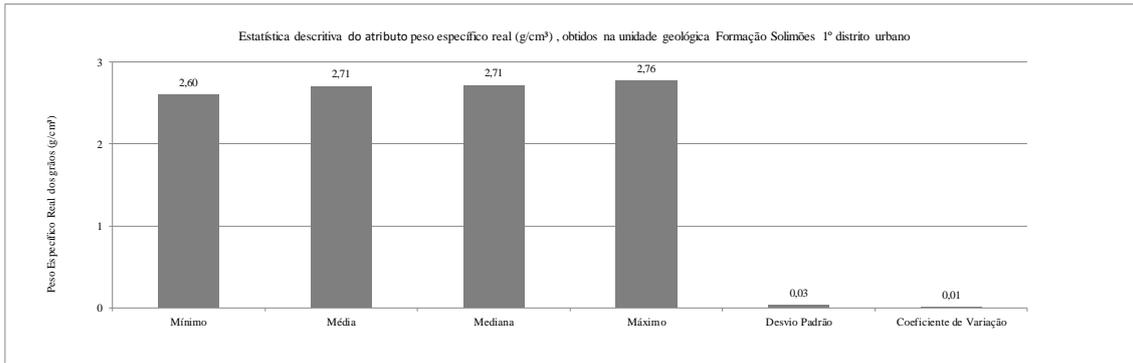
(a)

Medidas estatísticas	Peso específico real dos grãos (g/cm ³)
Mínimo	2,66
Média	2,70
Mediana	2,70
Máximo	2,75
Desvio Padrão	0,02
Coefficiente de Variação	0,01
Tamanho da Amostra	32

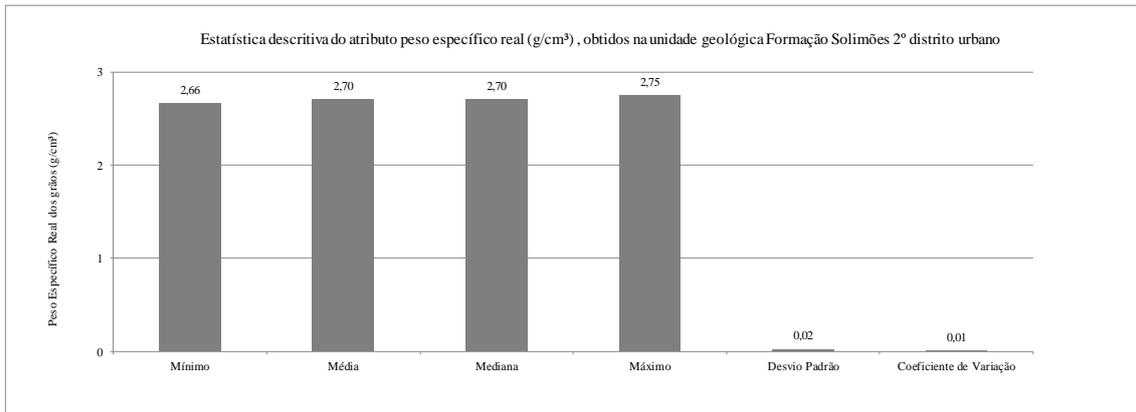
(b)

Medidas estatísticas	Peso específico real dos grãos (g/cm ³)
Mínimo	2,66
Média	2,69
Mediana	2,69
Máximo	2,75
Desvio Padrão	0,02
Coefficiente de Variação	0,01
Tamanho da Amostra	20

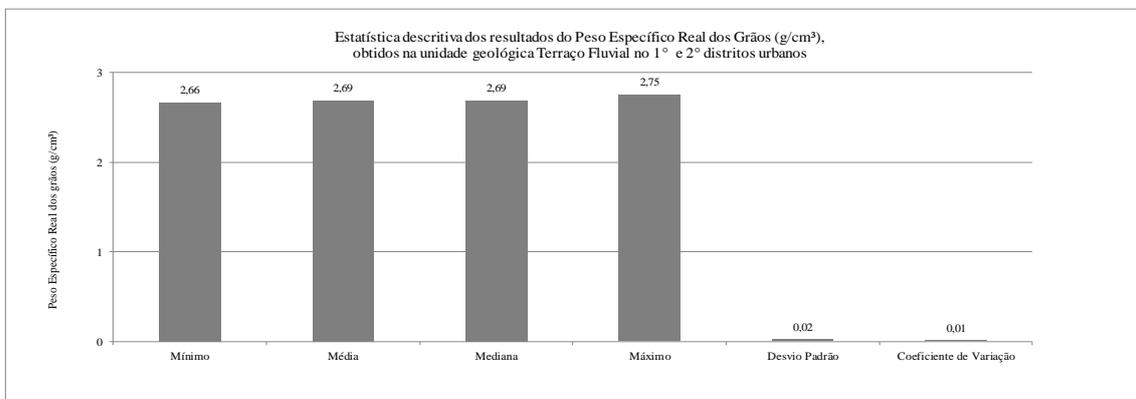
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 56 - Resumo gráfico das medidas estatísticas atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 23 - Distribuição de frequência do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo peso específico real (g/cm^3), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
2,58	┆	2,60	2,59	1	2,1%	1	2%
2,60	┆	2,62	2,61	0	0,0%	1	2%
2,62	┆	2,64	2,63	1	2,1%	2	4%
2,64	┆	2,66	2,65	0	0,0%	2	4%
2,66	┆	2,68	2,67	6	12,5%	8	17%
2,68	┆	2,70	2,69	9	18,8%	17	35%
2,70	┆	2,72	2,71	13	27,1%	30	63%
2,72	┆	2,74	2,73	13	27,1%	43	90%
2,74	┆	2,76	2,75	1	2,1%	44	92%
2,76	┆	2,78	2,77	4	8,3%	48	100%

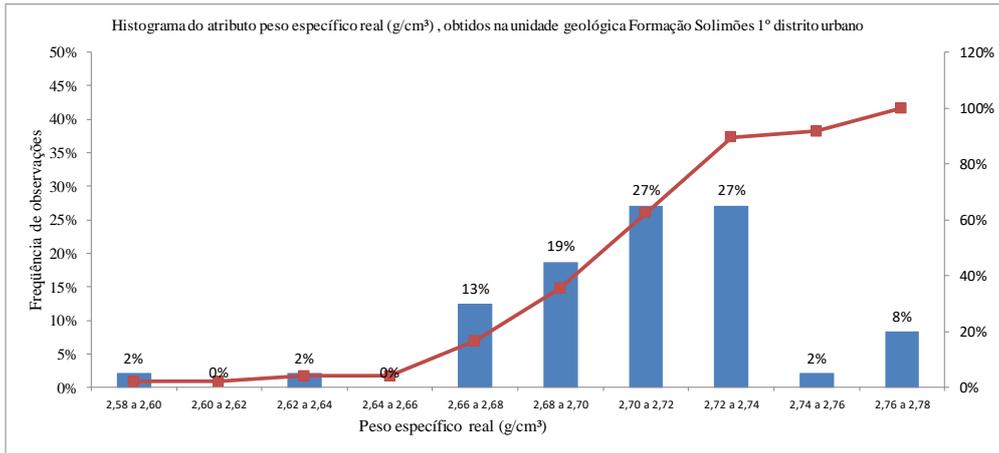
(a)

Distribuição de frequência do atributo peso específico real (g/cm^3), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
2,58	┆	2,60	2,59	0	0,0%	0	0%
2,60	┆	2,62	2,61	0	0,0%	0	0%
2,62	┆	2,64	2,63	0	0,0%	0	0%
2,64	┆	2,66	2,65	1	3,1%	1	3%
2,66	┆	2,68	2,67	7	21,9%	8	25%
2,68	┆	2,70	2,69	8	25,0%	16	50%
2,70	┆	2,72	2,71	10	31,3%	26	81%
2,72	┆	2,74	2,73	4	12,5%	30	94%
2,74	┆	2,76	2,75	2	6,3%	32	100%
2,76	┆	2,78	2,77	0	0,0%	32	100%

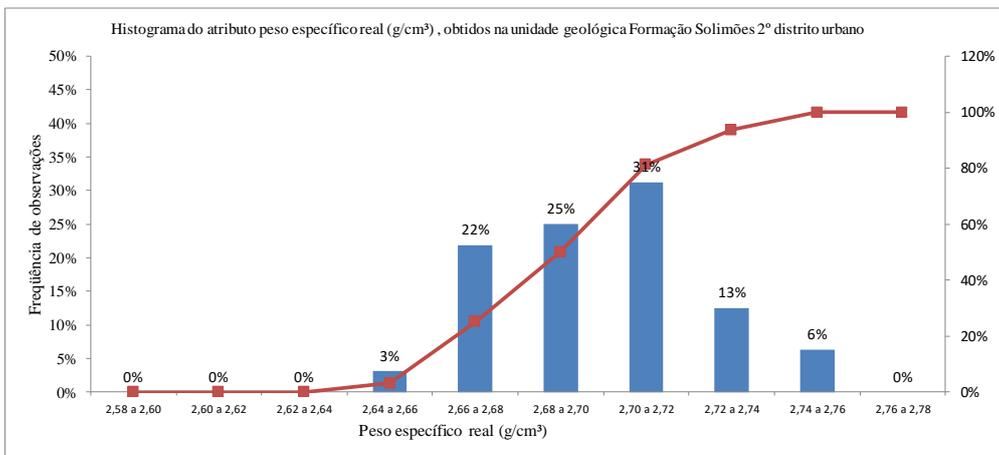
(b)

Distribuição de frequência do atributo peso específico real (g/cm^3), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1º e 2º distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
2,58	┆	2,60	2,59	0	0,0%	0	0%
2,60	┆	2,62	2,61	0	0,0%	0	0%
2,62	┆	2,64	2,63	0	0,0%	0	0%
2,64	┆	2,66	2,65	0	0,0%	0	0%
2,66	┆	2,68	2,67	9	45,0%	9	45%
2,68	┆	2,70	2,69	5	25,0%	14	70%
2,70	┆	2,72	2,71	5	25,0%	19	95%
2,72	┆	2,74	2,73	0	0,0%	19	95%
2,74	┆	2,76	2,75	1	5,0%	20	100%
2,76	┆	2,78	2,77	0	0,0%	20	100%

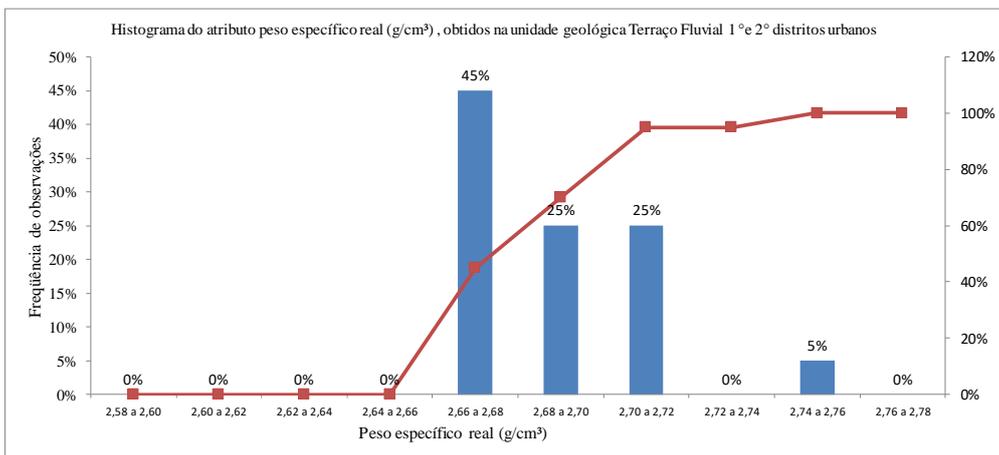
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 57 - Histograma do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.8 Estatística descritiva do atributo umidade higroscópica dos solos.

O termo higroscopia é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água. Para determinação da umidade higroscópica, a ABNT NBR 6457 (1986) prescreve que a amostra deve ser seca ao ar, até se conseguir desmanchar os torrões, sem forçar exageradamente, de forma a evitar a quebra dos grãos.

A saturação capilar é definida como a capacidade máxima de conter água através da adsorção em condições de pressão normais, sem a influência de pressões exteriores (SUZUKI, 2013).

A Tabela 24 e Figura 58 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo umidade higroscópica dos solos (%), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média da umidade higroscópica dos solos, obtidos na área 1 são da ordem de 4,4%, superiores às médias encontrada nas áreas 2 e 3, de 2,74 (%) e 3,83 (%), respectivamente. Os coeficientes de variação para todas as áreas, são da ordem de 37% a 48%, o que indica uma maior variabilidade do atributo umidade higroscópica dos solos, para toda a área de estudo.

Segundo Das e Sobhan (2014) o argilomineral montmorilonita tem uma estrutura com uma lâmina de gibsita entre duas lâminas de sílica, e uma grande quantidade de água é atraída para os espaços entre as camadas. Devido essa propriedade da montmorilonita atrair água para sua estrutura, se pode admitir que as amostras que apresentam umidade higroscópica elevada têm presença significativa desse argilomineral presente na composição das suas frações granulométricas.

A Tabela 25 e Figura 59 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo umidade higroscópica dos solos, obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 25, e histogramas apresentados na Figura 59 do atributo umidade higroscópica dos solos, obtidos nas área 1 (unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano) apresenta maior ocorrência nas classes 4 a 7 (%), na área 2, a maior ocorrência está nas classes de 1 a 3 (%), e na área 3 de 2 a 5 (%).

Tabela 24 - Resumo das medidas estatísticas do atributo do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Umidade higroscópica dos solos (%)
Mínimo	1,46
Média	4,41
Mediana	4,58
Máximo	8,15
Desvio Padrão	1,64
Coefficiente de Variação	0,37
Tamanho da Amostra	48

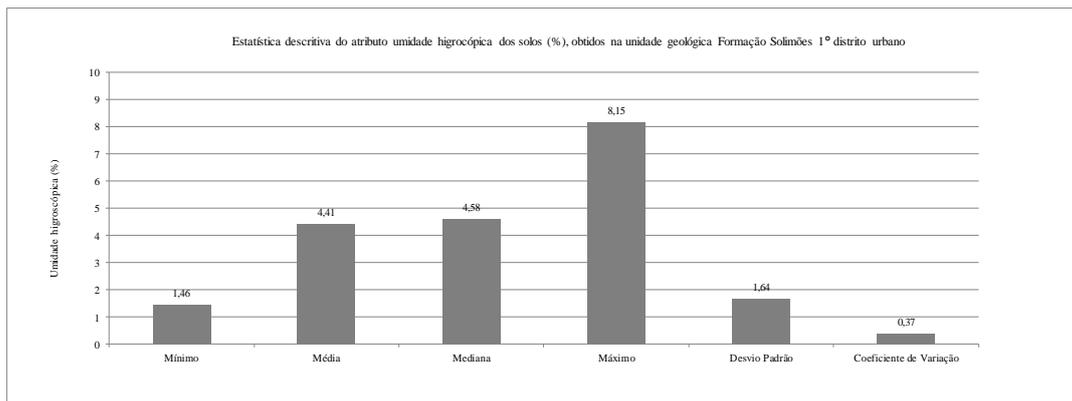
(a)

Medidas estatísticas	Umidade higroscópica dos solos (%)
Mínimo	0,92
Média	2,74
Mediana	2,38
Máximo	6,36
Desvio Padrão	1,30
Coefficiente de Variação	0,48
Tamanho da Amostra	32

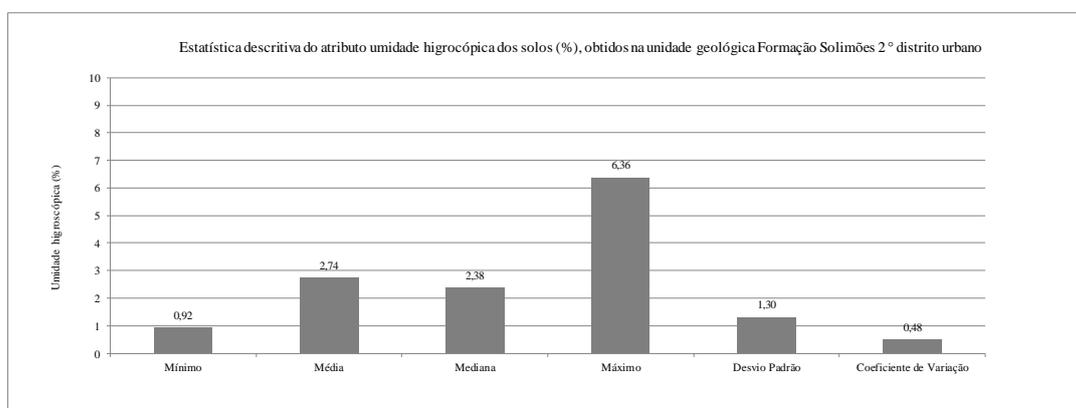
(b)

Medidas estatísticas	Umidade higroscópica dos solos (%)
Mínimo	1,18
Média	3,83
Mediana	3,55
Máximo	7,07
Desvio Padrão	1,43
Coefficiente de Variação	0,37
Tamanho da Amostra	20

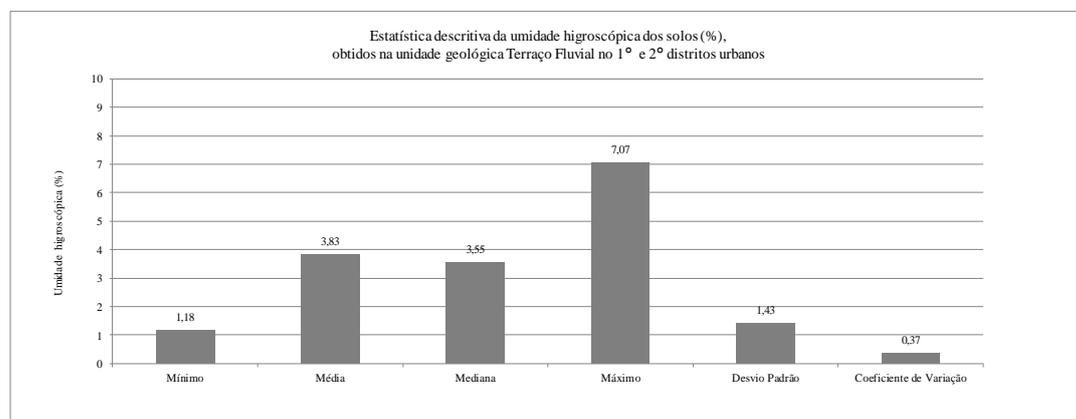
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 58 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 25 - Distribuição de frequência do atributo do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo umidade higroscópica dos solos (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	1,00	0,50	0	0,0%	0	0%
1,00	┆	2,00	1,50	4	8,3%	4	8%
2,00	┆	3,00	2,50	7	14,6%	11	23%
3,00	┆	4,00	3,50	6	12,5%	17	35%
4,00	┆	5,00	4,50	12	25,0%	29	60%
5,00	┆	6,00	5,50	12	25,0%	41	85%
6,00	┆	7,00	6,50	6	12,5%	47	98%
7,00	┆	8,00	7,50	0	0,0%	47	98%
8,00	┆	9,00	8,50	1	2,1%	48	100%
9,00	┆	10,00	9,50	0	0,0%	48	100%

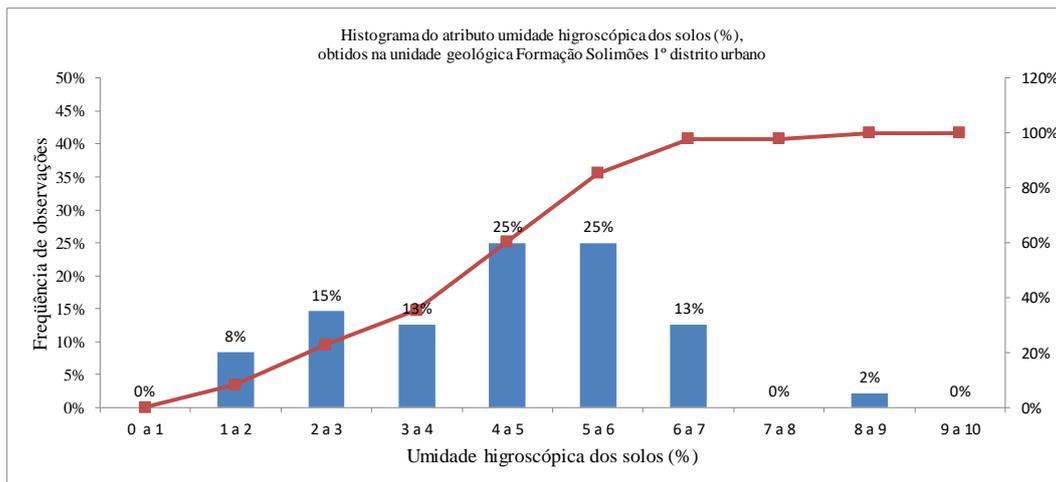
(a)

Distribuição de frequência do atributo umidade higroscópica dos solos (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	1,00	0,50	1	3,1%	1	3%
1,00	┆	2,00	1,50	10	31,3%	11	34%
2,00	┆	3,00	2,50	13	40,6%	24	75%
3,00	┆	4,00	3,50	3	9,4%	27	84%
4,00	┆	5,00	4,50	2	6,3%	29	91%
5,00	┆	6,00	5,50	2	6,3%	31	97%
6,00	┆	7,00	6,50	1	3,1%	32	100%
7,00	┆	8,00	7,50	0	0,0%	32	100%
8,00	┆	9,00	8,50	0	0,0%	32	100%
9,00	┆	10,00	9,50	0	0,0%	32	100%

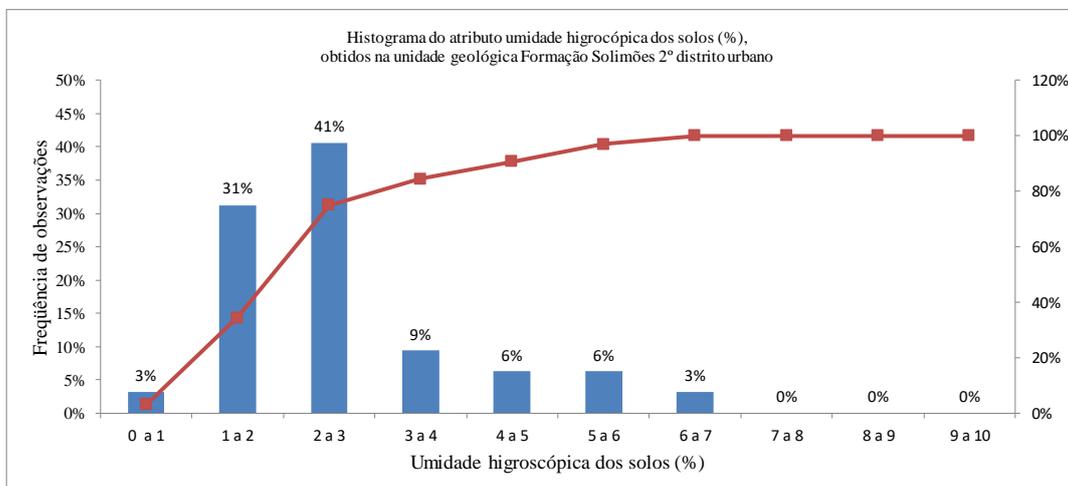
(b)

Distribuição de frequência do atributo umidade higroscópica dos solos (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	┆	1,00	0,50	0	0,0%	0	0%
1,00	┆	2,00	1,50	1	5,0%	1	5%
2,00	┆	3,00	2,50	6	30,0%	7	35%
3,00	┆	4,00	3,50	5	25,0%	12	60%
4,00	┆	5,00	4,50	4	20,0%	16	80%
5,00	┆	6,00	5,50	3	15,0%	19	95%
6,00	┆	7,00	6,50	0	0,0%	19	95%
7,00	┆	8,00	7,50	1	5,0%	20	100%
8,00	┆	9,00	8,50	0	0,0%	20	100%
9,00	┆	10,00	9,50	0	0,0%	20	100%

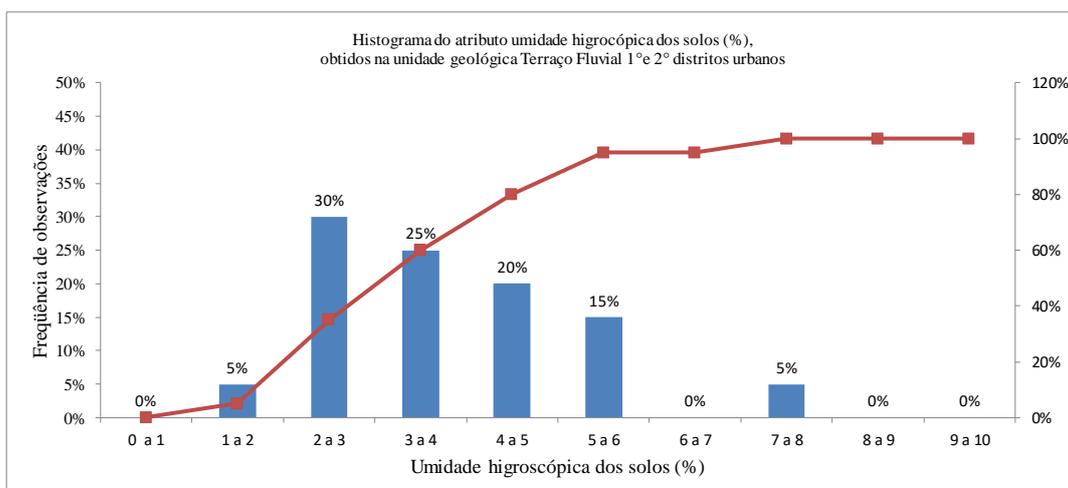
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 59 - Histograma do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.9 Estatística descritiva dos atributos limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade

A Tabela 26 e Figura 60 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas dos atributos limite de liquidez, limite de plasticidade, e índice de plasticidade dos solos (%), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do limite de plasticidade são da ordem de 22 % para as áreas 1, 2, e 3, com coeficiente de variação entre 12 a 18%, indicando uma baixa variabilidade. Os valores das médias do limite de liquidez variam entre 47% a 58%, com coeficiente de variação da ordem de 20 a 30 % indicando uma variabilidade relativamente alta do atributo limite de liquidez em todas as áreas de estudo. Os valores das médias do índice de plasticidade variam entre 25 a 35 %, valores influenciados pela variabilidade do atributo limite de liquidez dos solos, já que o limite de plasticidade apresenta baixa variabilidade, sendo que o coeficiente de variação do atributo índice de plasticidade são da ordem de 30 a 40%, indicando uma variabilidade alta desse atributo nas áreas de estudo.

O comportamento dos solos de granulação fina varia enormemente em função do teor de umidade, podendo passar de um estado quase líquido, a exemplo de lama, até um estado sólido, como por exemplo, as cerâmicas. Segundo Fiori e Carmignami (2013) embora fundamentadas em extensas investigações experimentais, as definições de limite de liquidez e limite de plasticidade são convencionais. Ainda assim, permitem uma ideia bastante clara do tipo de solo e de suas propriedades físicas.

A Tabela 27, Figura 61, Figura 62, Figura 63 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas dos atributos limite de liquidez, limite de plasticidade, e índice de plasticidade dos solos (%), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências do atributo limite de liquidez apresentadas na Tabela 27, (b), (c) e (h) e histogramas apresentados na Figura 61, obtidos nas área 1 (unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano) apresentam maior ocorrência nas classes 50 a 70 %, na área 1, destacadamente superior aos valores de maiores ocorrência nas classes 30 a 50 %, obtidos nas áreas 2 e 3.

As distribuições de frequências do atributo limite de plasticidade apresentadas na Tabela 27, (a), (d) e (g) e histogramas apresentados na Figura 62, obtidos nas área 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões) apresentam maiores ocorrências nas classes 20 a 25 %, enquanto que as maiores ocorrências na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) são nas classes 15 a 20 %, ligeiramente inferior.

As distribuições de frequências do atributo índice de plasticidade apresentadas na Tabela 27, (c), (f) e (i) e histogramas apresentados na Figura 63, obtidos nas áreas 1 (unidade geológica Formação Solimões) apresentam maiores ocorrências nas classes 30 a 50 %, na área 2 e 3 as maiores ocorrências são nas classes 10 a 40 %. A partir da observação das classes e ocorrências, pode-se afirmar que em termos gerais os solos da área 1 possuem uma plasticidade maior, do que comparados aos solos das áreas 2 e 3, isso se deve possivelmente que os solos da área 1 possuem um percentual maior da fração silte e argila, com presença de argilomineral montmorilonita.

Tabela 26 - Resumo das medidas estatísticas dos atributos limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Limite de plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)	Índice de plasticidade (%)
Mínimo	16,74	29,82	12,74
Média	23,22	57,83	34,61
Mediana	23,56	59,15	36,26
Máximo	29,36	82,51	54,58
Desvio Padrão	2,90	12,38	9,91
Coefficiente de Variação	0,12	0,21	0,29
Tamanho da Amostra	48	48	48

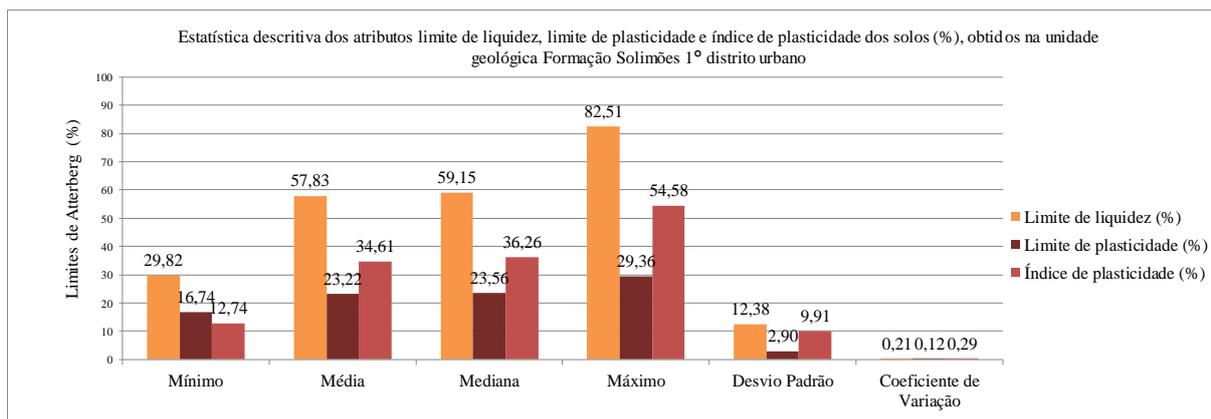
(a)

Medidas estatísticas	Limite de plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)	Índice de plasticidade (%)
Mínimo	17,16	25,85	8,51
Média	21,45	47,33	25,88
Mediana	20,97	44,64	23,37
Máximo	28,05	75,83	47,78
Desvio Padrão	3,11	13,57	10,67
Coefficiente de Variação	0,14	0,29	0,41
Tamanho da Amostra	32	32	32

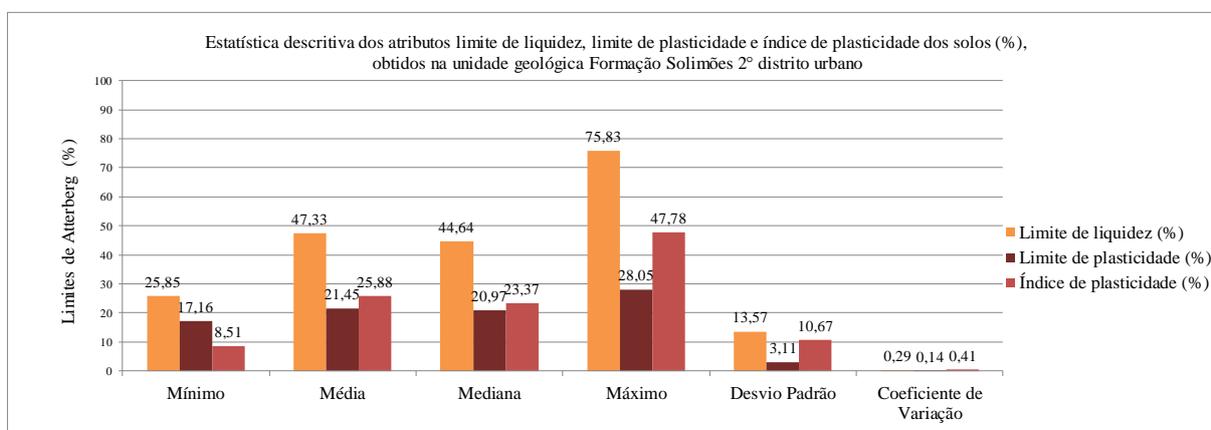
(b)

Medidas estatísticas	Limite de plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)	Índice de plasticidade (%)
Mínimo	17,32	33,08	13,84
Média	22,85	51,54	28,69
Mediana	21,94	48,67	27,09
Máximo	31,69	84,61	52,92
Desvio Padrão	4,20	15,23	11,18
Coefficiente de Variação	0,18	0,30	0,39
Tamanho da Amostra	20	20	20

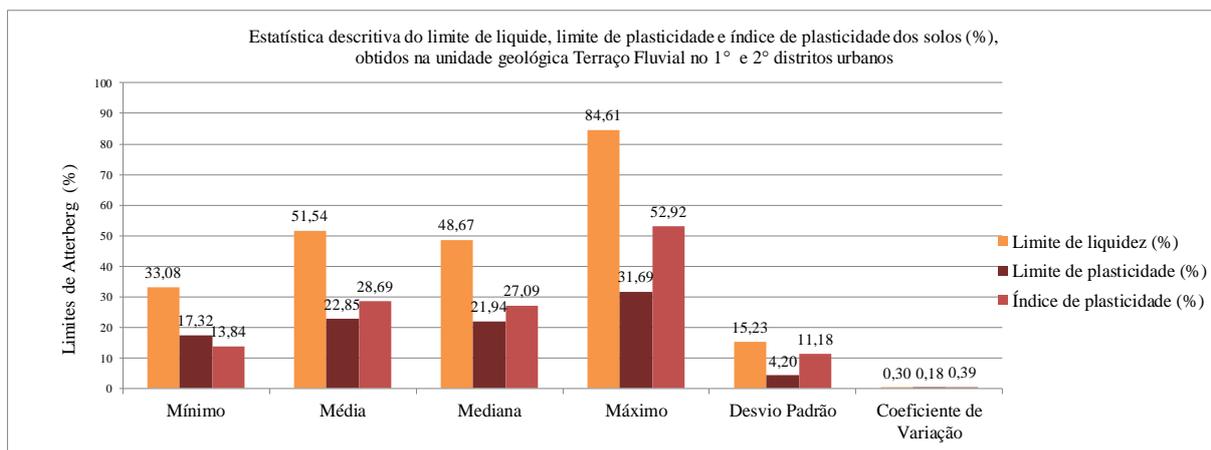
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 60 - Resumo gráfico das medidas estatísticas dos atributos limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 27 - Distribuição de frequência dos atributos limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade (a), (b) e (c) obtidos na área 1, (d), (e) e (f) obtidos na área 2, e (g), (h) e (i) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo limite de liquidez (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0	F	10	5,00	0	0,0%	0	0%
10	F	20	15,00	0	0,0%	0	0%
20	F	30	25,00	1	2,1%	1	2%
30	F	40	35,00	3	6,3%	4	8%
40	F	50	45,00	8	16,7%	12	25%
50	F	60	55,00	13	27,1%	25	52%
60	F	70	65,00	16	33,3%	41	85%
70	F	80	75,00	6	12,5%	47	98%
80	F	90	85,00	1	2,1%	48	100%
90	F	100	95,00	0	0,0%	48	100%

(a)

Distribuição de frequência do atributo limite de plasticidade (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	F	5,00	2,50	0	0,0%	0	0%
5,00	F	10,00	7,50	0	0,0%	0	0%
10,00	F	15,00	12,50	0	0,0%	0	0%
15,00	F	20,00	17,50	7	14,6%	7	15%
20,00	F	25,00	22,50	29	60,4%	36	75%
25,00	F	30,00	27,50	12	25,0%	48	100%
30,00	F	35,00	32,50	0	0,0%	48	100%
35,00	F	40,00	37,50	0	0,0%	48	100%
40,00	F	45,00	42,50	0	0,0%	48	100%
45,00	F	50,00	47,50	0	0,0%	48	100%

(b)

Distribuição de frequência do atributo índice de plasticidade (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,00	F	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%
10,00	F	20,00	15,00	5	10,4%	5	10%
20,00	F	30,00	25,00	9	18,8%	14	29%
30,00	F	40,00	35,00	19	39,6%	33	69%
40,00	F	50,00	45,00	14	29,2%	47	98%
50,00	F	60,00	55,00	1	2,1%	48	100%
60,00	F	70,00	65,00	0	0,0%	48	100%
70,00	F	80,00	75,00	0	0,0%	48	100%
80,00	F	90,00	85,00	0	0,0%	48	100%
90,00	F	100,00	95,00	0	0,0%	48	100%

(c)

Distribuição de frequência do atributo limite de plasticidade (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano								
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i	
0,00	+	5,00	2,50	0	0,0%	0	0%	
5,00	+	10,00	7,50	0	0,0%	0	0%	
10,00	+	15,00	12,50	0	0,0%	0	0%	
15,00	+	20,00	17,50	11	34,4%	11	34%	
20,00	+	25,00	22,50	16	50,0%	27	84%	
25,00	+	30,00	27,50	5	15,6%	32	100%	
30,00	+	35,00	32,50	0	0,0%	32	100%	
35,00	+	40,00	37,50	0	0,0%	32	100%	
40,00	+	45,00	42,50	0	0,0%	32	100%	
45,00	+	50,00	47,50	0	0,0%	32	100%	

(d)

Distribuição de frequência do atributo limite de liquidez (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano								
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i	
0,00	+	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%	
10,00	+	20,00	15,00	0	0,0%	0	0%	
20,00	+	30,00	25,00	2	6,3%	2	6%	
30,00	+	40,00	35,00	8	25,0%	10	31%	
40,00	+	50,00	45,00	11	34,4%	21	66%	
50,00	+	60,00	55,00	4	12,5%	25	78%	
60,00	+	70,00	65,00	4	12,5%	29	91%	
70,00	+	80,00	75,00	3	9,4%	32	100%	
80,00	+	90,00	85,00	0	0,0%	32	100%	
90,00	+	100,00	95,00	0	0,0%	32	100%	

(e)

Distribuição de frequência do atributo índice de plasticidade (%), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano								
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i	
0,00	+	10,00	5,00	2	6,3%	2	6%	
10,00	+	20,00	15,00	8	25,0%	10	31%	
20,00	+	30,00	25,00	11	34,4%	21	66%	
30,00	+	40,00	35,00	8	25,0%	29	91%	
40,00	+	50,00	45,00	3	9,4%	32	100%	
50,00	+	60,00	55,00	0	0,0%	32	100%	
60,00	+	70,00	65,00	0	0,0%	32	100%	
70,00	+	80,00	75,00	0	0,0%	32	100%	
80,00	+	90,00	85,00	0	0,0%	32	100%	
90,00	+	100,00	95,00	0	0,0%	32	100%	

(f)

Distribuição de frequência do atributo limite de liquidez (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos								
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i	
0,00	+	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%	
10,00	+	20,00	15,00	0	0,0%	0	0%	
20,00	+	30,00	25,00	0	0,0%	0	0%	
30,00	+	40,00	35,00	6	30,0%	6	30%	
40,00	+	50,00	45,00	5	25,0%	11	55%	
50,00	+	60,00	55,00	3	15,0%	14	70%	
60,00	+	70,00	65,00	4	20,0%	18	90%	
70,00	+	80,00	75,00	1	5,0%	19	95%	
80,00	+	90,00	85,00	1	5,0%	20	100%	
90,00	+	100,00	95,00	0	0,0%	20	100%	

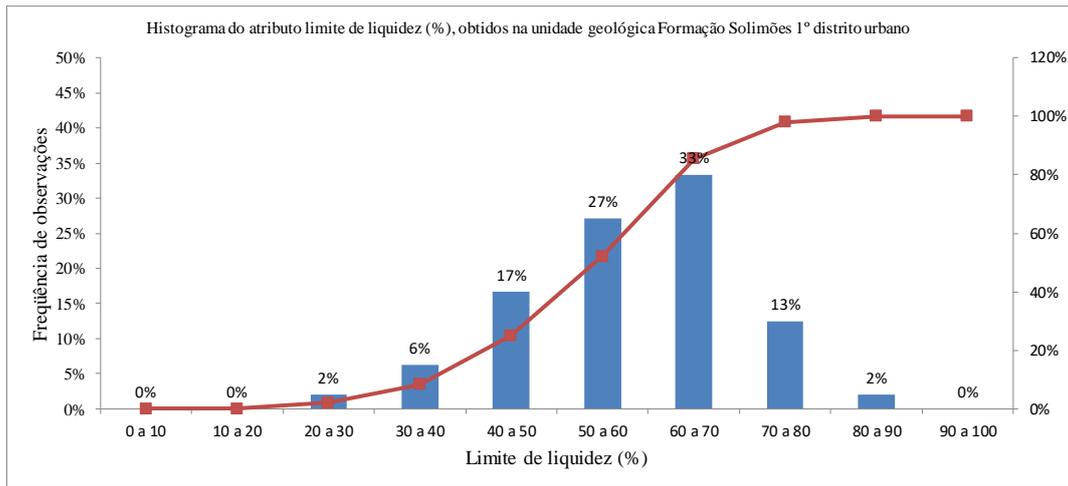
(g)

Distribuição de frequência do atributo limite de plasticidade (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos								
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i	
0,00	+	5,00	2,50	0	0,0%	0	0%	
5,00	+	10,00	7,50	6	30,0%	6	30%	
10,00	+	15,00	12,50	13	65,0%	19	95%	
15,00	+	20,00	17,50	1	5,0%	20	100%	
20,00	+	25,00	22,50	0	0,0%	20	100%	
25,00	+	30,00	27,50	0	0,0%	20	100%	
30,00	+	35,00	32,50	0	0,0%	20	100%	
35,00	+	40,00	37,50	0	0,0%	20	100%	
40,00	+	45,00	42,50	0	0,0%	20	100%	
45,00	+	50,00	47,50	0	0,0%	20	100%	

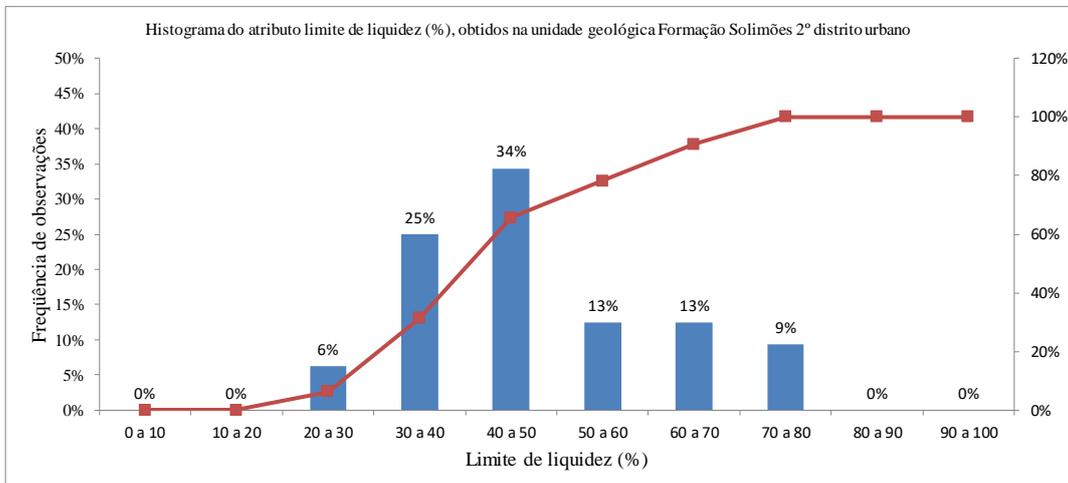
(h)

Distribuição de frequência do atributo índice de plasticidade (%), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos								
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i	
0,00	+	10,00	5,00	0	0,0%	0	0%	
10,00	+	20,00	15,00	6	30,0%	6	30%	
20,00	+	30,00	25,00	6	30,0%	12	60%	
30,00	+	40,00	35,00	5	25,0%	17	85%	
40,00	+	50,00	45,00	2	10,0%	19	95%	
50,00	+	60,00	55,00	1	5,0%	20	100%	
60,00	+	70,00	65,00	0	0,0%	20	100%	
70,00	+	80,00	75,00	0	0,0%	20	100%	
80,00	+	90,00	85,00	0	0,0%	20	100%	
90,00	+	100,00	95,00	0	0,0%	20	100%	

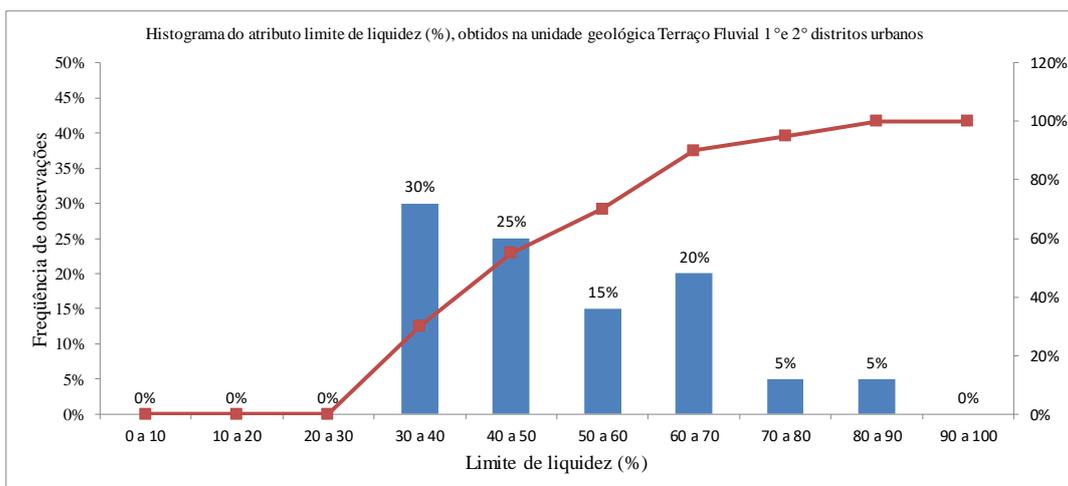
(i)



(a)

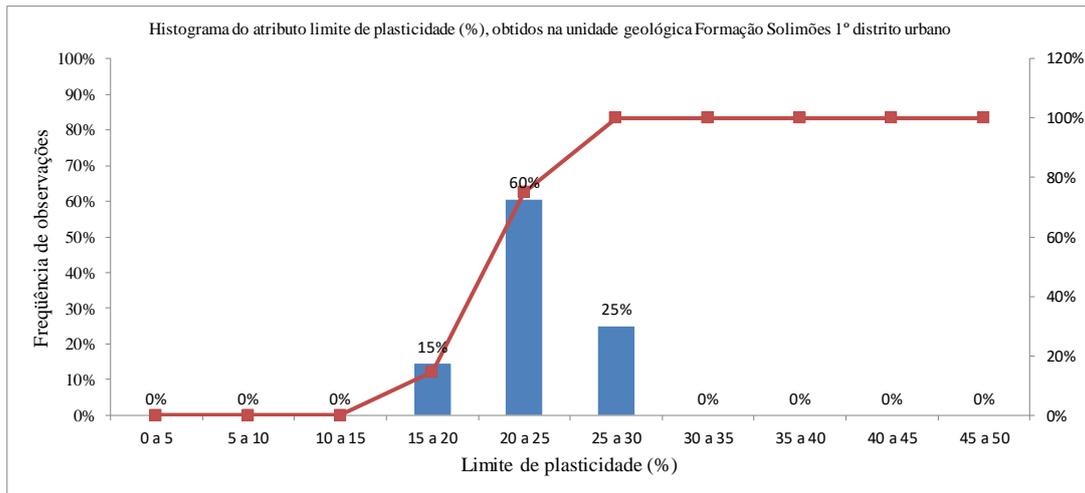


(b)

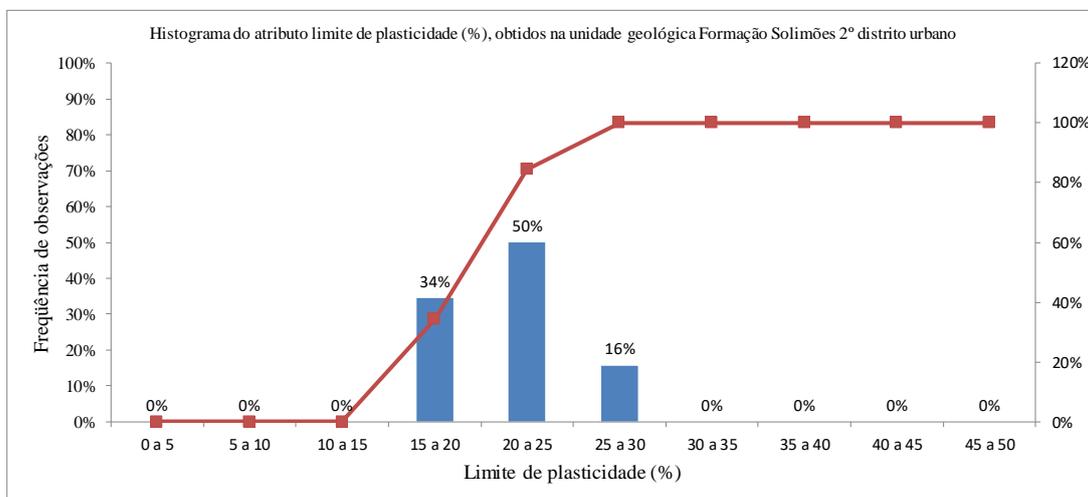


(c)

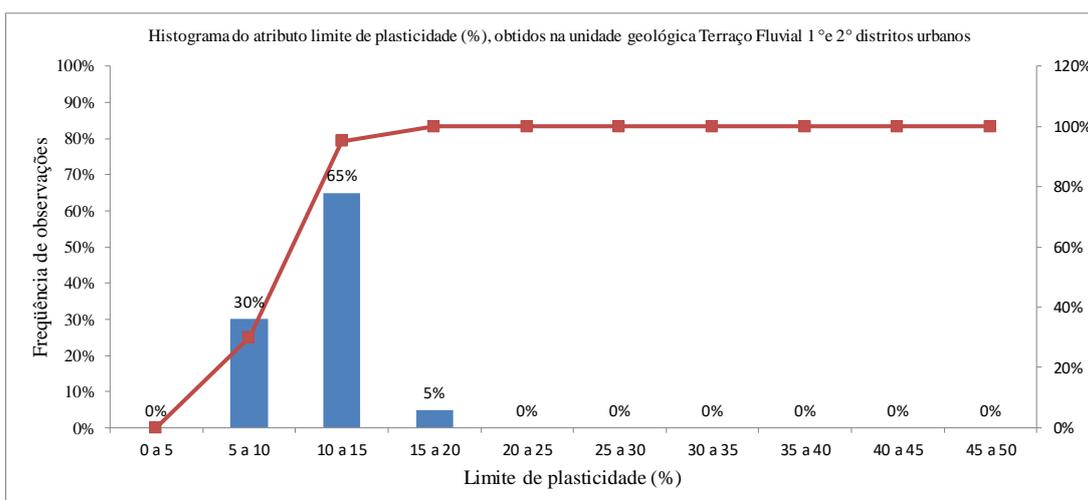
Figura 61 - Histograma do atributo limite de liquidez, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

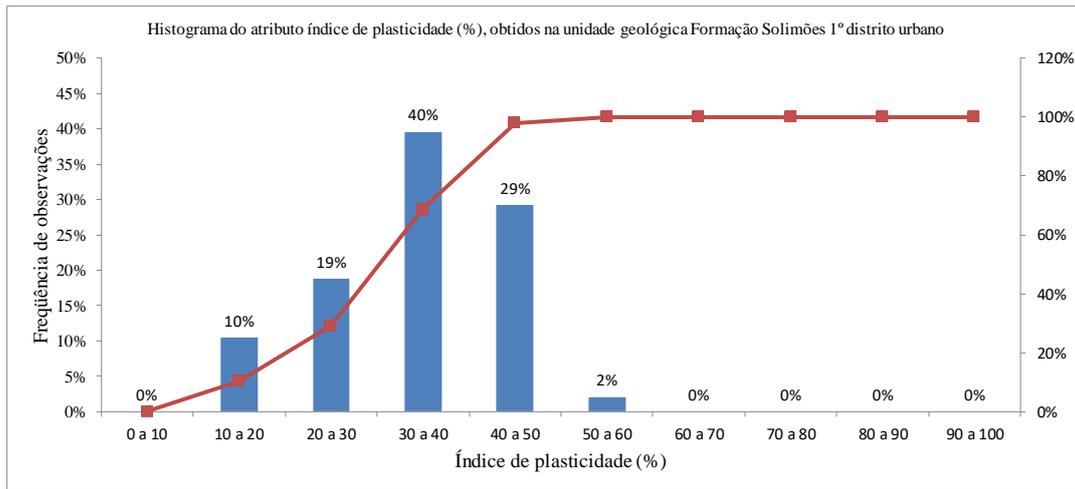


(b)

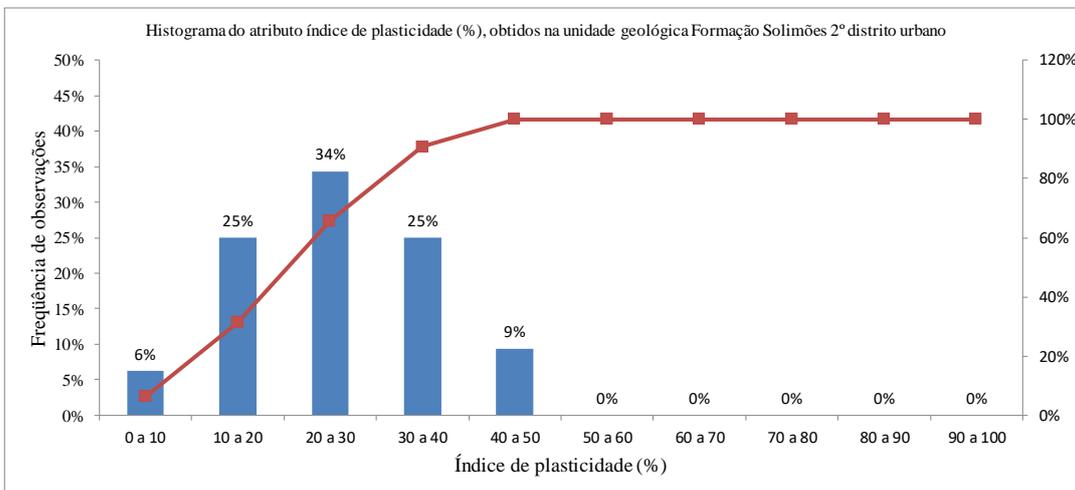


(c)

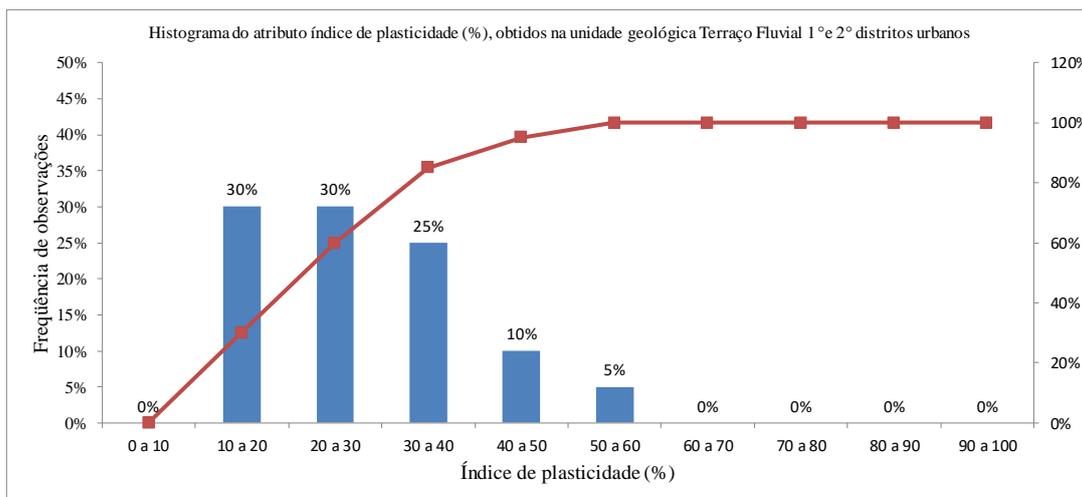
Figura 62 - Histograma do atributo limite de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 63 - Histograma do atributo índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.10 Estatística descritiva do atributo tangente de alfa

A Tabela 28 e Figura 64 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo tangente de alfa (adimensional), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do atributo tangente de alfa, obtidos nas áreas 2 e 3 são da ordem de 18, e ligeiramente inferiores a média obtida na área 1, da ordem de 19,6. O coeficiente de variação de 15% do atributo tangente de alfa, representa baixa variabilidade desse atributo, comparando com o coeficiente de variação das áreas 2 e 3, da ordem de 23%, ou seja existe uma maior variabilidade na fluidez do solo, representada pelo atributo tangente de alfa, nas áreas 2 e 3.

A Tabela 29 e Figura 65 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo tangente de alfa, obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 29, e histogramas apresentados na Figura 65 do atributo tangente de alfa, obtidos nas área 1 (unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano) apresenta maiores ocorrências nas classes 18 a 24 (adimensional), na área 2, as maiores ocorrências estão nas classes de 16 a 20 (adimensional), e na área 3 de 14 a 22 (adimensional). Os solos da área 1 apresentam valores de tangente de alfa maiores, provavelmente, devido aos solos serem predominantemente argilosos.

Tabela 28 - Resumo das medidas estatísticas do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Tangente de alfa (adimensional)
Mínimo	11,14
Média	19,59
Mediana	19,32
Máximo	28,09
Desvio Padrão	3,02
Coefficiente de Variação	0,15
Tamanho da Amostra	48

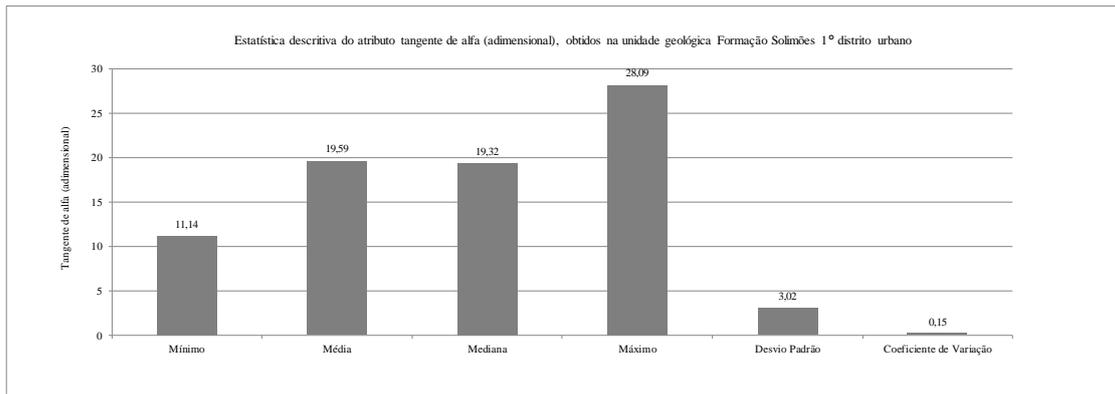
(a)

Medidas estatísticas	Tangente de alfa (adimensional)
Mínimo	9,95
Média	18,04
Mediana	17,59
Máximo	27,40
Desvio Padrão	4,22
Coefficiente de Variação	0,23
Tamanho da Amostra	32

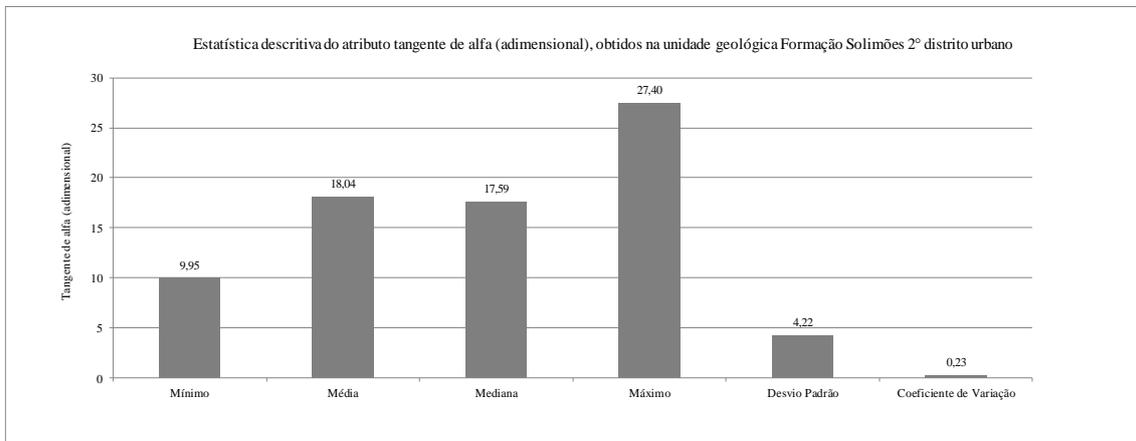
(b)

Medidas estatísticas	Tangente de alfa (adimensional)
Mínimo	11,51
Média	18,13
Mediana	17,49
Máximo	27,19
Desvio Padrão	4,12
Coefficiente de Variação	0,23
Tamanho da Amostra	20

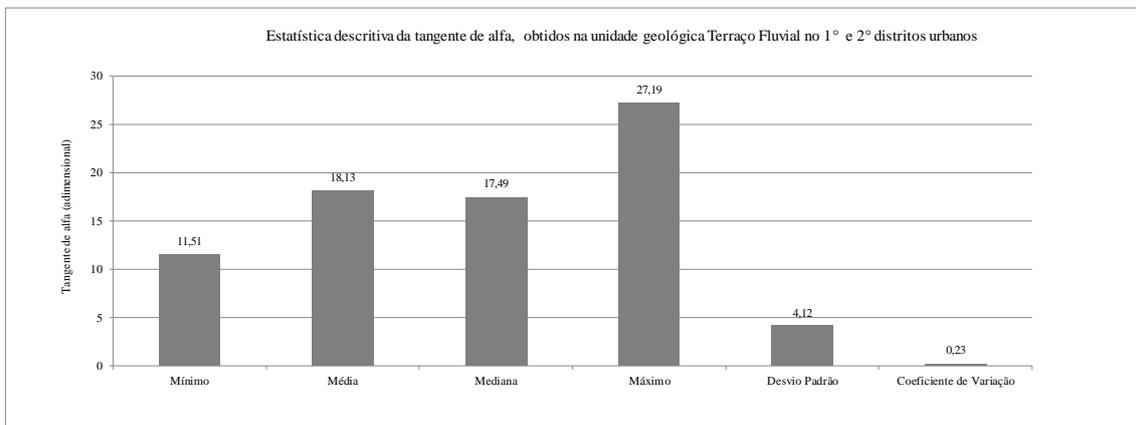
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 64 - Histograma das medidas estatísticas do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 29 - Distribuição de frequência do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo tangente de alfa (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
10,00	F	12,00	11,00	1	2,1%	1	2%
12,00	F	14,00	13,00	2	4,2%	3	6%
14,00	F	16,00	15,00	1	2,1%	4	8%
16,00	F	18,00	17,00	6	12,5%	10	21%
18,00	F	20,00	19,00	19	39,6%	29	60%
20,00	F	22,00	21,00	10	20,8%	39	81%
22,00	F	24,00	23,00	7	14,6%	46	96%
24,00	F	26,00	25,00	1	2,1%	47	98%
26,00	F	28,00	27,00	0	0,0%	47	98%
28,00	F	30,00	29,00	1	2,1%	48	100%

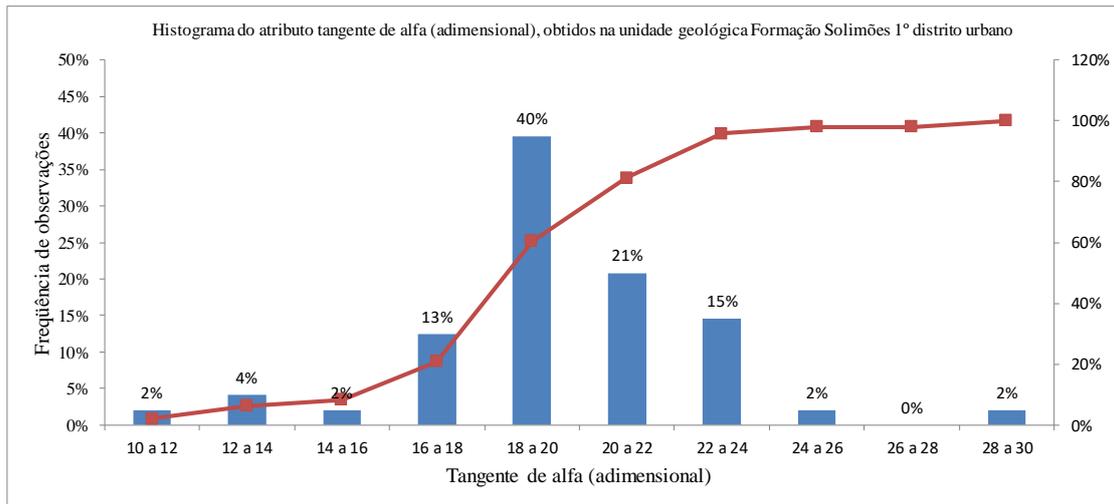
(a)

Distribuição de frequência do atributo tangente de alfa (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
10,00	F	12,00	11,00	2	6,3%	2	6%
12,00	F	14,00	13,00	4	12,5%	6	19%
14,00	F	16,00	15,00	4	12,5%	10	31%
16,00	F	18,00	17,00	7	21,9%	17	53%
18,00	F	20,00	19,00	6	18,8%	23	72%
20,00	F	22,00	21,00	3	9,4%	26	81%
22,00	F	24,00	23,00	2	6,3%	28	88%
24,00	F	26,00	25,00	3	9,4%	31	97%
26,00	F	28,00	27,00	1	3,1%	32	100%
28,00	F	30,00	29,00	0	0,0%	32	100%

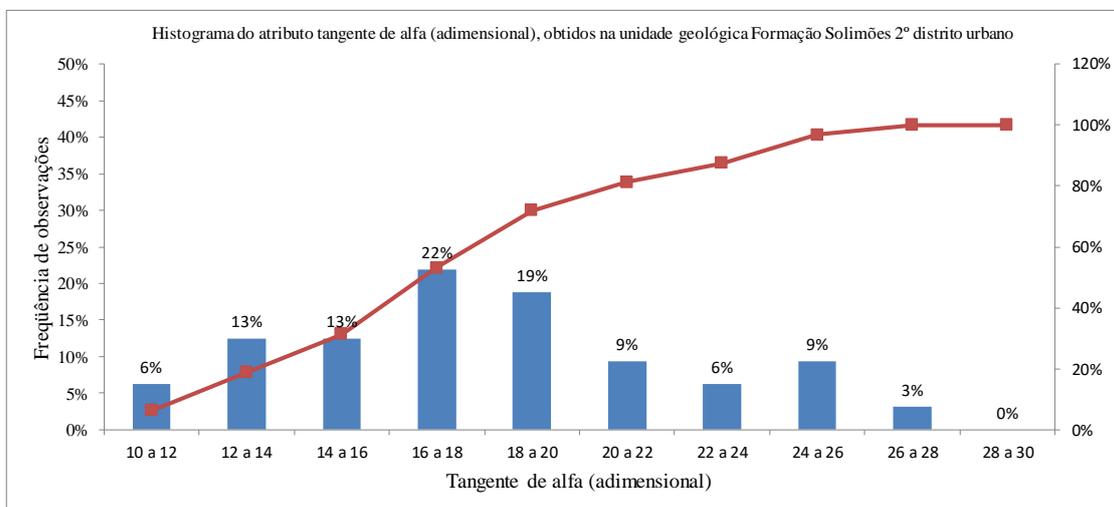
(b)

Distribuição de frequência do atributo tangente de alfa (adimensional), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1°e 2° distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
10,00	F	12,00	11,00	1	5,0%	1	5%
12,00	F	14,00	13,00	2	10,0%	3	15%
14,00	F	16,00	15,00	4	20,0%	7	35%
16,00	F	18,00	17,00	4	20,0%	11	55%
18,00	F	20,00	19,00	2	10,0%	13	65%
20,00	F	22,00	21,00	4	20,0%	17	85%
22,00	F	24,00	23,00	1	5,0%	18	90%
24,00	F	26,00	25,00	1	5,0%	19	95%
26,00	F	28,00	27,00	1	5,0%	20	100%
28,00	F	30,00	29,00	0	0,0%	20	100%

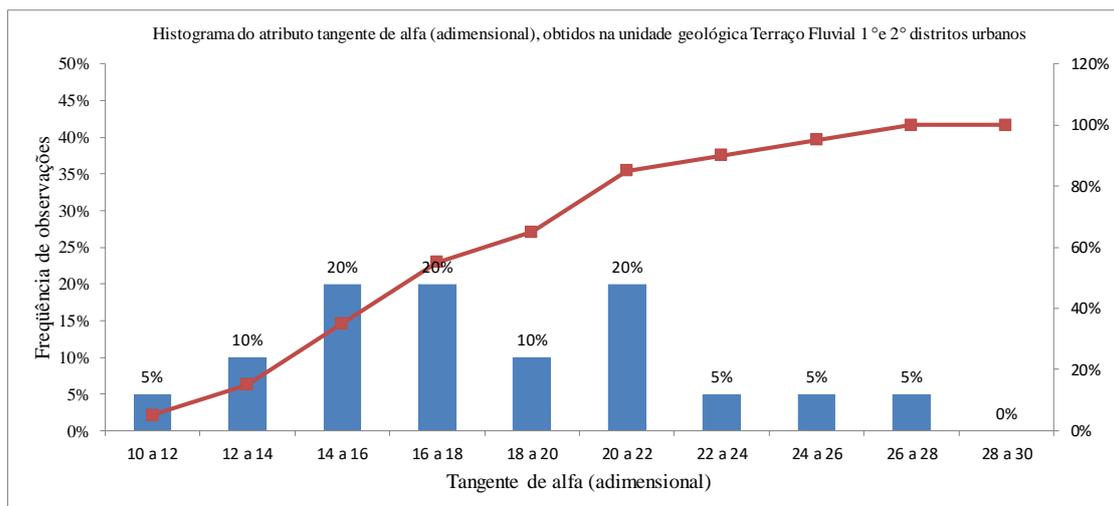
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 65 - Histograma do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.11 Estatística descritiva do atributo tangente de beta.

A Tabela 30 e Figura 65 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo tangente de beta (adimensional), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do atributo tangente de beta, obtidos na área 1 são da ordem de 0,149, inferior a média obtida na área 2 de 0,167, a média obtida na área 3 de 0,155 é intermediária. Os coeficientes de variação para o atributo tangente de beta, para todas as áreas estudadas, são da ordem de 8 a 13%, ou seja, para esse atributo a variabilidade da fluidez dos solos de todas às áreas estudadas são baixas.

A Tabela 31 e Figura 67 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo tangente de beta, obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 31, e histogramas apresentados na Figura 67 do atributo umidade higroscópica dos solos, obtidos nas área 1 (unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano) apresentam maiores ocorrências nas classes 0,12 a 0,15 (adimensional), na área 2, as maiores ocorrências estão nas classes 0,15 a 0,19 (adimensional), e na área 3 de 0,13 a 0,17 (adimensional).

Tabela 30 - Resumo das medidas estatísticas do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Tangente de beta (adimensional)
Mínimo	0,122
Média	0,149
Mediana	0,144
Máximo	0,209
Desvio Padrão	0,020
Coefficiente de Variação	0,13
Tamanho da Amostra	48

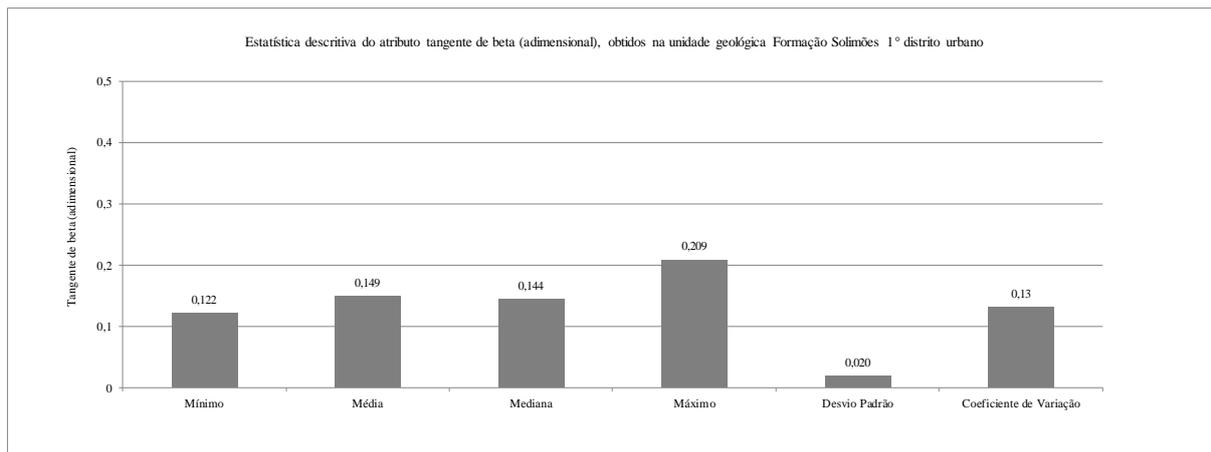
(a)

Medidas estatísticas	Tangente de beta (adimensional)
Mínimo	0,143
Média	0,167
Mediana	0,165
Máximo	0,189
Desvio Padrão	0,013
Coefficiente de Variação	0,08
Tamanho da Amostra	32

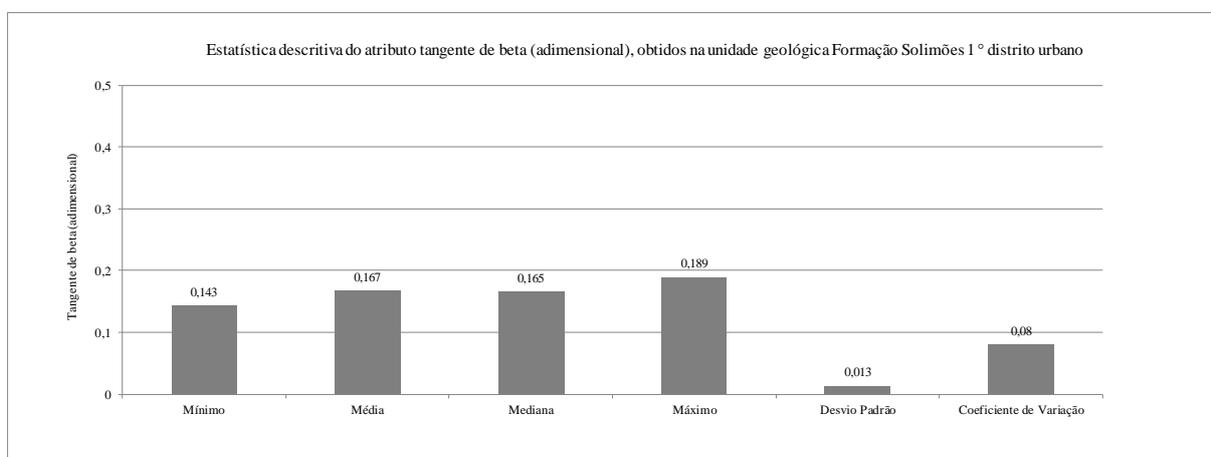
(b)

Medidas estatísticas	Tangente de beta (adimensional)
Mínimo	0,133
Média	0,155
Mediana	0,153
Máximo	0,185
Desvio Padrão	0,016
Coefficiente de Variação	0,10
Tamanho da Amostra	20

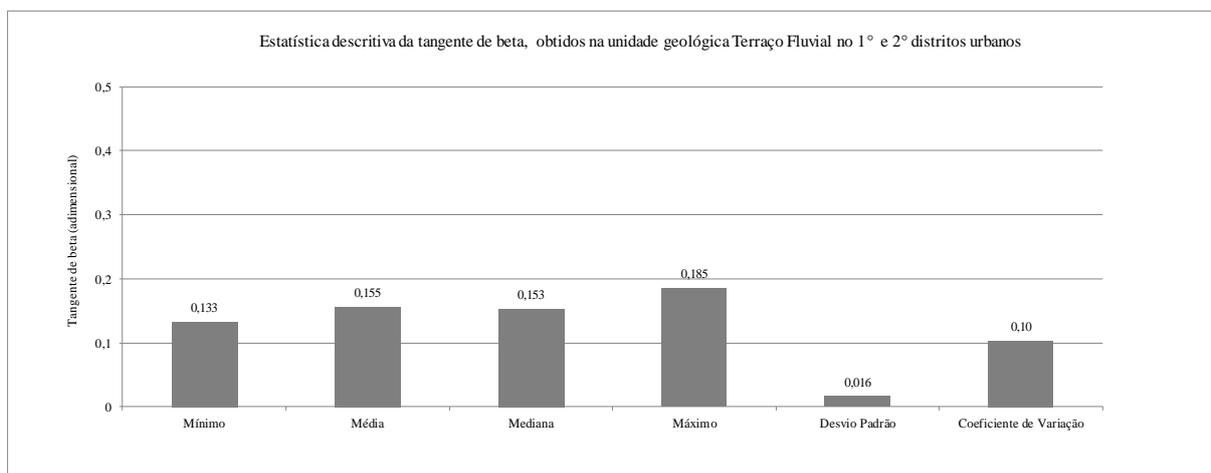
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 66 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 31 - Histograma do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo tangente de beta (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,110	┆	0,120	0,12	0	0,0%	0	0%
0,120	┆	0,130	0,13	7	14,6%	7	15%
0,130	┆	0,140	0,14	11	22,9%	18	38%
0,140	┆	0,150	0,15	13	27,1%	31	65%
0,150	┆	0,160	0,16	5	10,4%	36	75%
0,160	┆	0,170	0,17	2	4,2%	38	79%
0,170	┆	0,180	0,18	7	14,6%	45	94%
0,180	┆	0,190	0,19	1	2,1%	46	96%
0,190	┆	0,200	0,20	1	2,1%	47	98%
0,2000	┆	0,2100	0,21	1	2,1%	48	100%

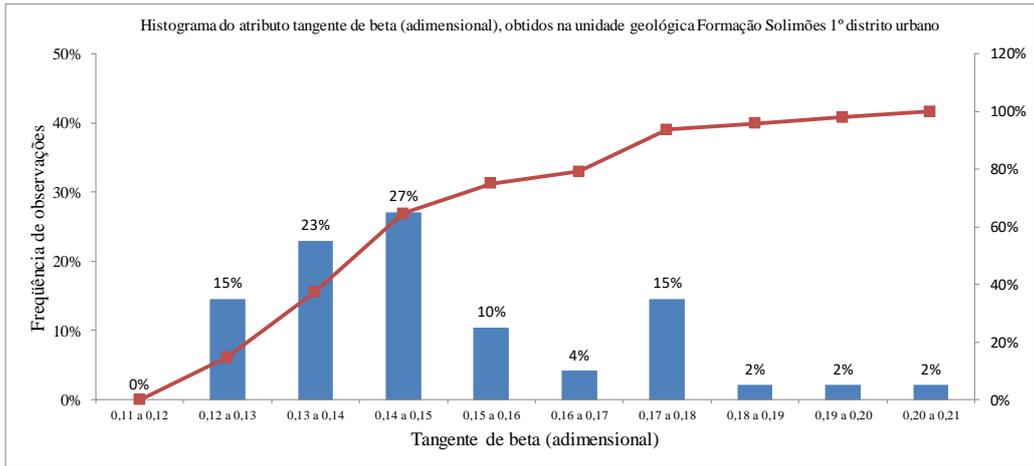
(a)

Distribuição de frequência do atributo tangente de beta (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,110	┆	0,120	0,12	0	0,0%	0	0%
0,120	┆	0,130	0,13	0	0,0%	0	0%
0,130	┆	0,140	0,14	0	0,0%	0	0%
0,140	┆	0,150	0,15	4	12,5%	4	13%
0,150	┆	0,160	0,16	9	28,1%	13	41%
0,160	┆	0,170	0,17	5	15,6%	18	56%
0,170	┆	0,180	0,18	7	21,9%	25	78%
0,180	┆	0,190	0,19	7	21,9%	32	100%
0,190	┆	0,200	0,20	0	0,0%	32	100%
0,2000	┆	0,2100	0,21	0	0,0%	32	100%

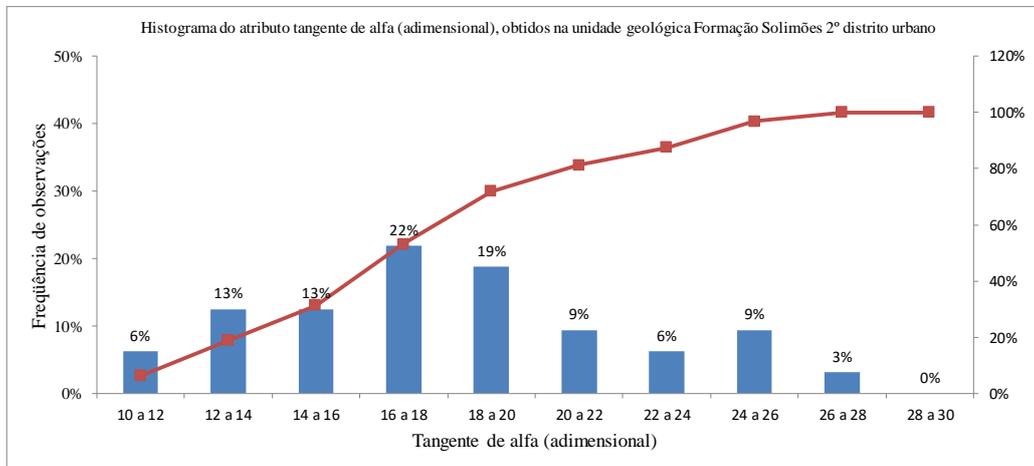
(b)

Distribuição de frequência do atributo tangente de beta (adimensional), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1º e 2º distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,110	┆	0,120	0,12	0	0,0%	0	0%
0,120	┆	0,130	0,13	0	0,0%	0	0%
0,130	┆	0,140	0,14	4	20,0%	4	20%
0,140	┆	0,150	0,15	4	20,0%	8	40%
0,150	┆	0,160	0,16	4	20,0%	12	60%
0,160	┆	0,170	0,17	4	20,0%	16	80%
0,170	┆	0,180	0,18	2	10,0%	18	90%
0,180	┆	0,190	0,19	2	10,0%	20	100%
0,190	┆	0,200	0,20	0	0,0%	20	100%
0,2000	┆	0,2100	0,21	0	0,0%	20	100%

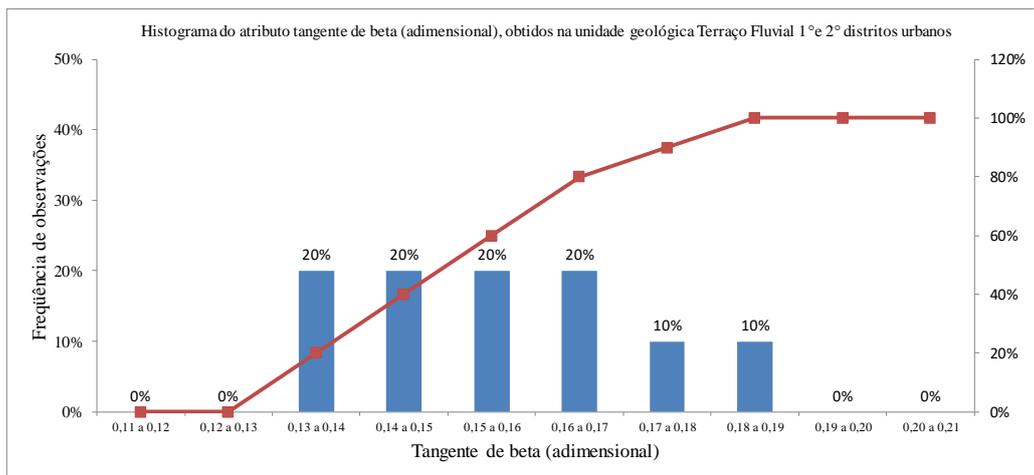
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 67 - Histograma do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.12 Estatística descritiva do atributo índice de atividade dos solos.

A Tabela 32 e Figura 68 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo índice de atividade (adimensional), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do atributo índice de atividade, obtidos na área 1 são da ordem de 0,60, superior a média obtida na área 2 e 3 de 0,56 e 0,57, respectivamente. Os coeficientes de variação para o atributo índice de atividade da ordem de 10 a 16%, ou seja, para esse atributo a variabilidade da atividade dos solos, para toda às áreas estudadas, é baixa.

A Tabela 33 e Figura 69 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo tangente de beta, obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 33, e histogramas apresentados na Figura 69 do atributo índice de atividade dos solos, obtidos nas área 1 (unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano) apresenta maiores ocorrências nas classes 0,55 a 0,70 (adimensional), na área 2, as maiores ocorrências estão nas classes 0,50 a 0,65 (adimensional), e na área 3 de 0,50 a 0,60 (adimensional).

Tabela 32 - Resumo das medidas estatísticas do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Índice de atividade (adimensional)
Mínimo	0,45
Média	0,60
Mediana	0,61
Máximo	0,72
Desvio Padrão	0,06
Coefficiente de Variação	0,10
Tamanho da Amostra	48

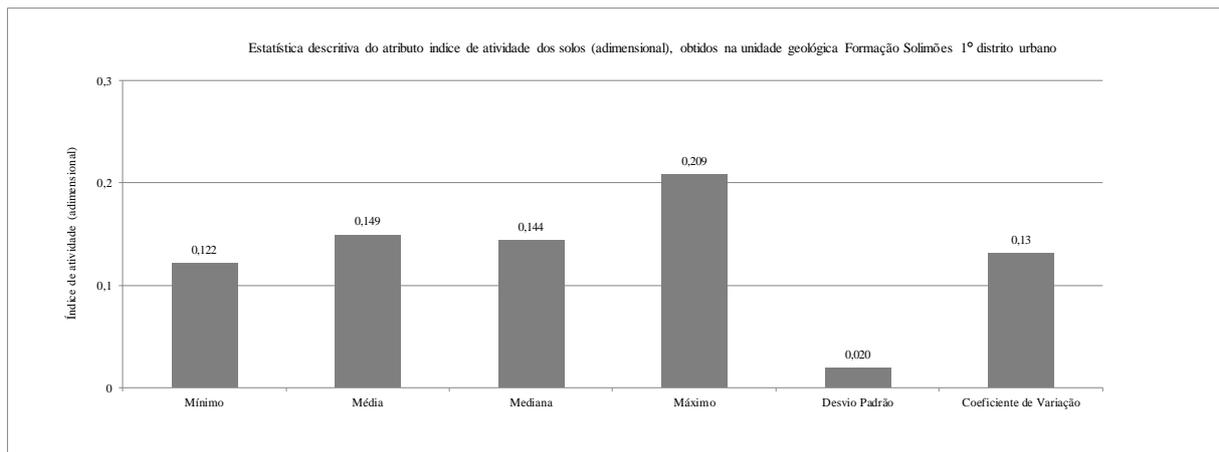
(a)

Medidas estatísticas	Índice de atividade (adimensional)
Mínimo	0,37
Média	0,56
Mediana	0,57
Máximo	0,86
Desvio Padrão	0,09
Coefficiente de Variação	0,16
Tamanho da Amostra	32

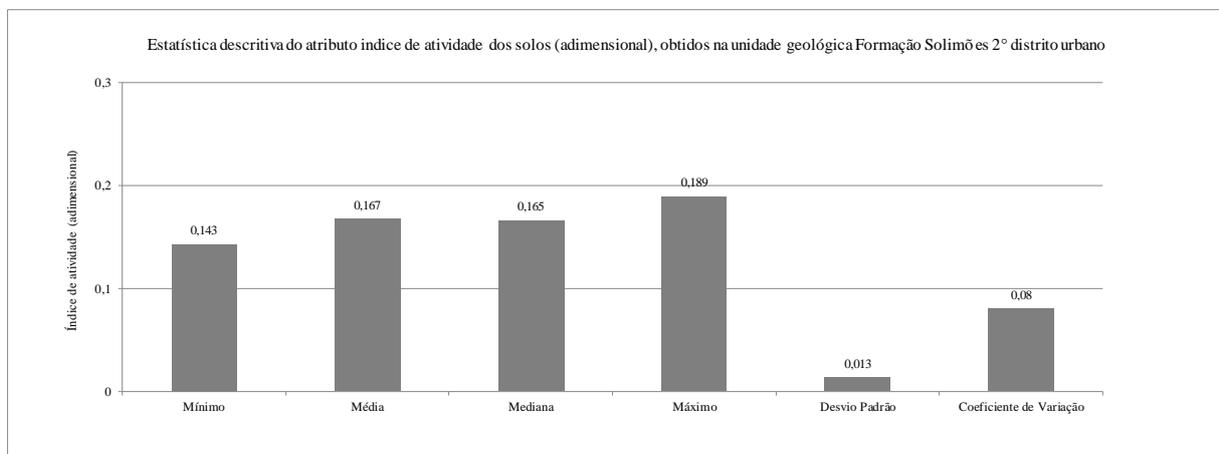
(b)

Medidas estatísticas	Índice de atividade (adimensional)
Mínimo	0,44
Média	0,57
Mediana	0,57
Máximo	0,65
Desvio Padrão	0,06
Coefficiente de Variação	0,10
Tamanho da Amostra	20

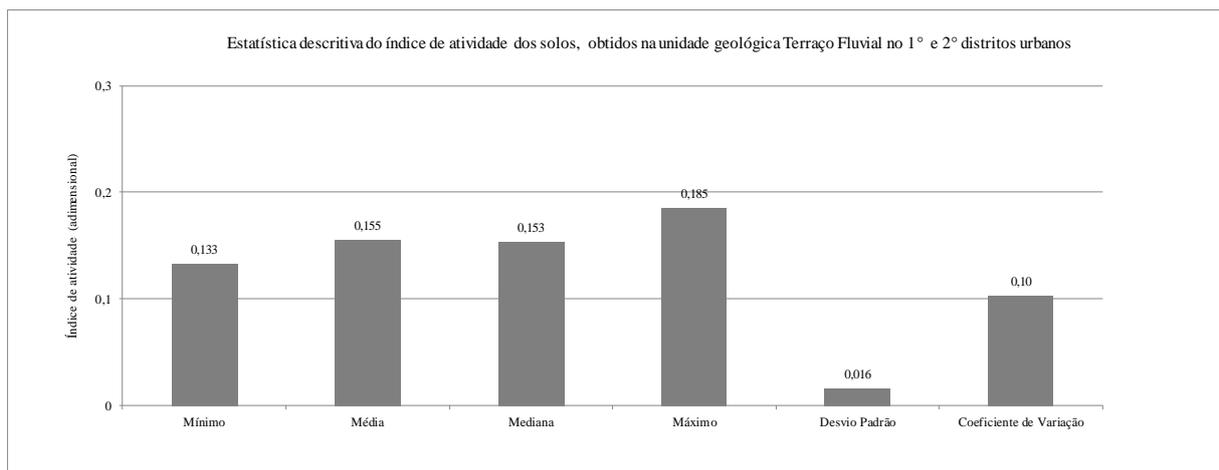
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 68 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 33 - Distribuição de frequência do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,40	┆	0,45	0,43	0	0,0%	0	0%
0,45	┆	0,50	0,48	3	6,3%	3	6%
0,50	┆	0,55	0,53	7	14,6%	10	21%
0,55	┆	0,60	0,58	10	20,8%	20	42%
0,60	┆	0,65	0,63	17	35,4%	37	77%
0,65	┆	0,70	0,68	9	18,8%	46	96%
0,70	┆	0,75	0,73	2	4,2%	48	100%
0,75	┆	0,80	0,78	0	0,0%	48	100%
0,80	┆	0,85	0,83	0	0,0%	48	100%
0,85	┆	0,90	0,88	0	0,0%	48	100%

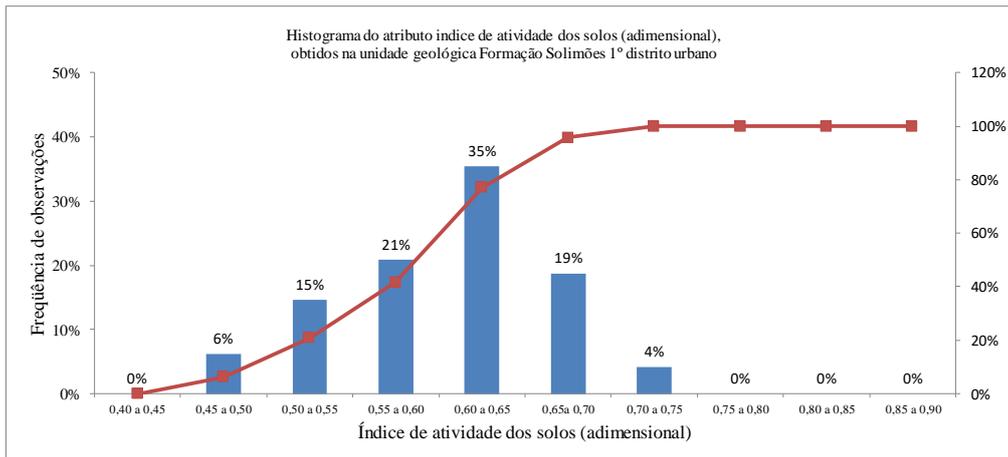
(a)

Distribuição de frequência do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,40	┆	0,45	0,43	1	3,3%	1	3%
0,45	┆	0,50	0,48	3	10,0%	4	13%
0,50	┆	0,55	0,53	6	20,0%	10	33%
0,55	┆	0,60	0,58	10	33,3%	20	67%
0,60	┆	0,65	0,63	8	26,7%	28	93%
0,65	┆	0,70	0,68	1	3,3%	29	97%
0,70	┆	0,75	0,73	0	0,0%	29	97%
0,75	┆	0,80	0,78	0	0,0%	29	97%
0,80	┆	0,85	0,83	0	0,0%	29	97%
0,85	┆	0,90	0,88	1	3,3%	30	100%

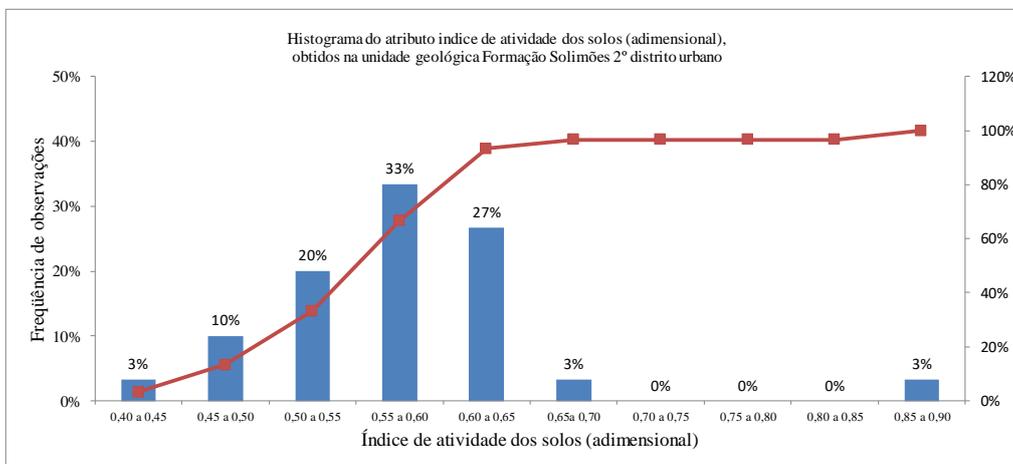
(b)

Distribuição de frequência do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial 1º e 2º distritos urbanos							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,40	┆	0,45	0,43	1	5,0%	1	5%
0,45	┆	0,50	0,48	1	5,0%	2	10%
0,50	┆	0,55	0,53	6	30,0%	8	40%
0,55	┆	0,60	0,58	6	30,0%	14	70%
0,60	┆	0,65	0,63	4	20,0%	18	90%
0,65	┆	0,70	0,68	2	10,0%	20	100%
0,70	┆	0,75	0,73	0	0,0%	20	100%
0,75	┆	0,80	0,78	0	0,0%	20	100%
0,80	┆	0,85	0,83	0	0,0%	20	100%
0,85	┆	0,90	0,88	0	0,0%	20	100%

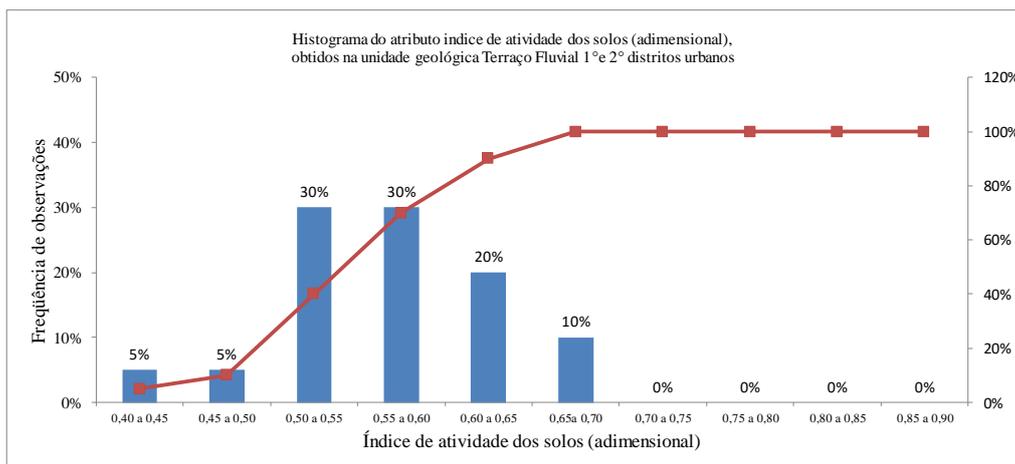
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 69 - Histograma do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.13 Estatística descritiva do atributo índice de consistência dos solos

A Tabela 32 e Figura 70 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), obtidos nas áreas 1, 2 e 3. Os valores da média do atributo índice de consistência, obtidos nas áreas 1, 2 e 3, são da ordem de 0,94, classificados como solos de consistência rija, segundo Fiori e Carmignami (2013). Os coeficientes de variação para o atributo índice de consistência, da ordem de 16 a 18% indicam baixa variabilidade desse atributo nas áreas 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões), enquanto na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) o coeficiente de variação de 39% indica alta variabilidade do atributo índice de consistência dos solos.

A Tabela 35 e Figura 71 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo índice de consistência, obtidos nas áreas 1, 2 e 3. As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 33, e os histogramas apresentados na Figura 71 do atributo índice de consistência dos solos, obtidos nas área 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões) apresenta maiores ocorrências nas classes 0,90 a 1,05(adimensional) classificados como consistência rija segundo Fiori e Carmignami (2013). Na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) as maiores ocorrências, do atributo índice de consistência estão nas classes 0,60 a 0,90 e 1,20 a 1,50, indicando que os solos apresentam consistência rija a dura, com separação dos picos no histograma na Figura 71 (c).

Tabela 34 - Resumo das medidas estatísticas do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Índice de consistência (adimensional)
Mínimo	0,32
Média	0,93
Mediana	0,95
Máximo	1,48
Desvio Padrão	0,17
Coefficiente de Variação	0,18
Tamanho da Amostra	48

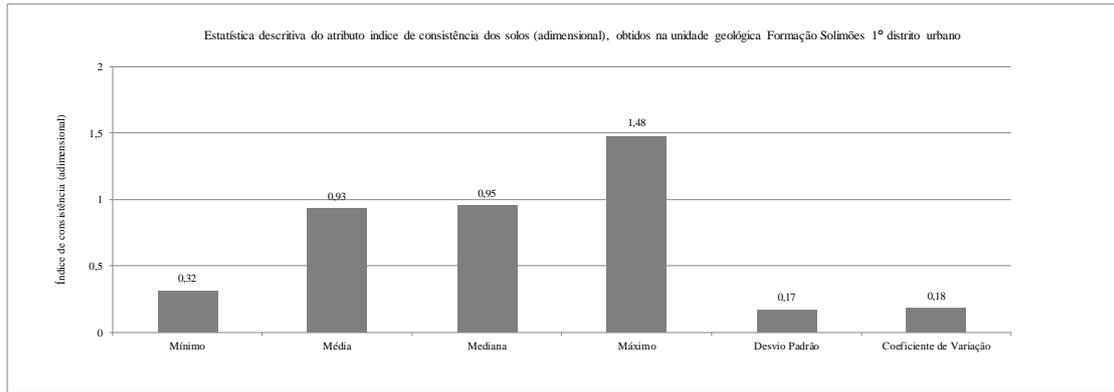
(a)

Medidas estatísticas	Índice de consistência (adimensional)
Mínimo	0,57
Média	0,92
Mediana	0,95
Máximo	1,21
Desvio Padrão	0,15
Coefficiente de Variação	0,16
Tamanho da Amostra	32

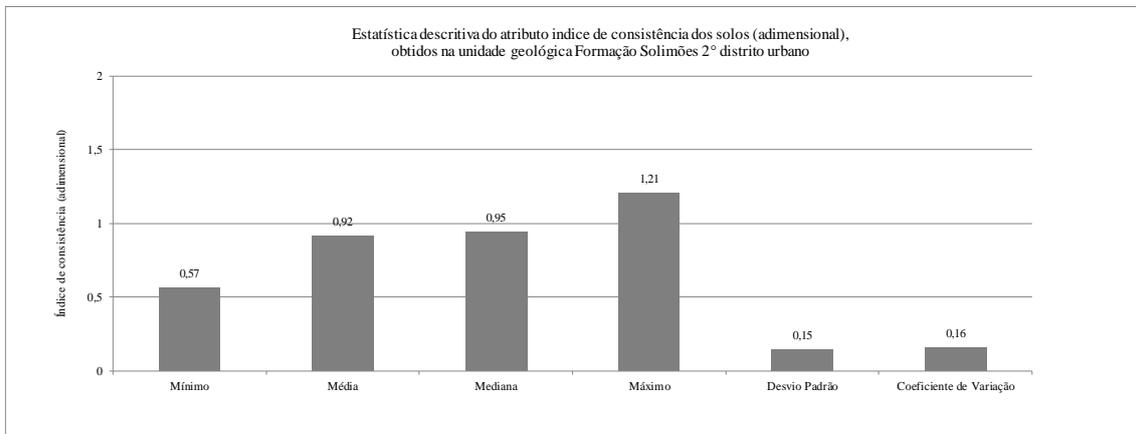
(b)

Medidas estatísticas	Índice de consistência (adimensional)
Mínimo	0,31
Média	0,94
Mediana	0,89
Máximo	1,46
Desvio Padrão	0,37
Coefficiente de Variação	0,39
Tamanho da Amostra	20

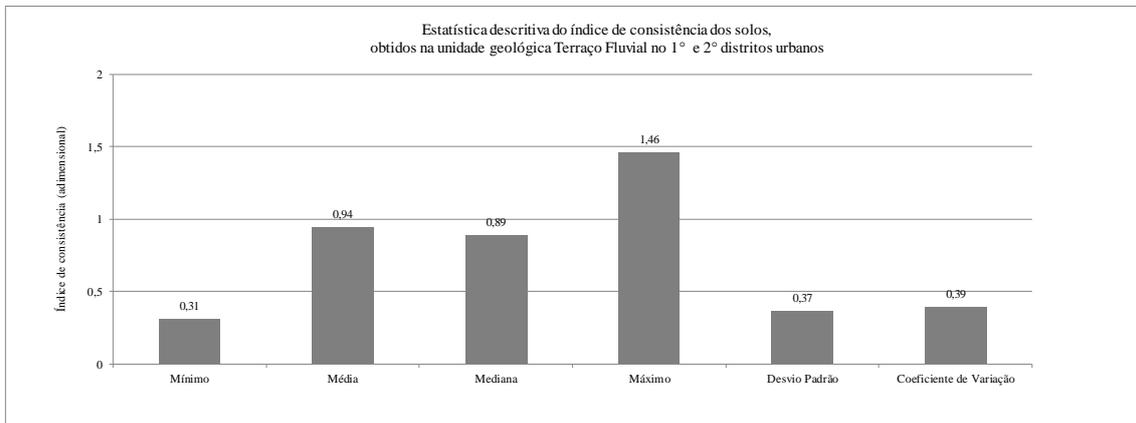
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 70 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 35 - Distribuição de frequência do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,15	+	0,30	0,23	0	0,0%	0	0%
0,30	+	0,45	0,38	1	2,1%	1	2%
0,45	+	0,60	0,53	1	2,1%	2	4%
0,60	+	0,75	0,68	4	8,3%	6	13%
0,75	+	0,90	0,83	9	18,8%	15	31%
0,90	+	1,05	0,98	27	56,3%	42	88%
1,05	+	1,20	1,13	4	8,3%	46	96%
1,20	+	1,35	1,28	1	2,1%	47	98%
1,35	+	1,50	1,43	1	2,1%	48	100%
1,50	+	1,65	1,58	0	0,0%	48	100%

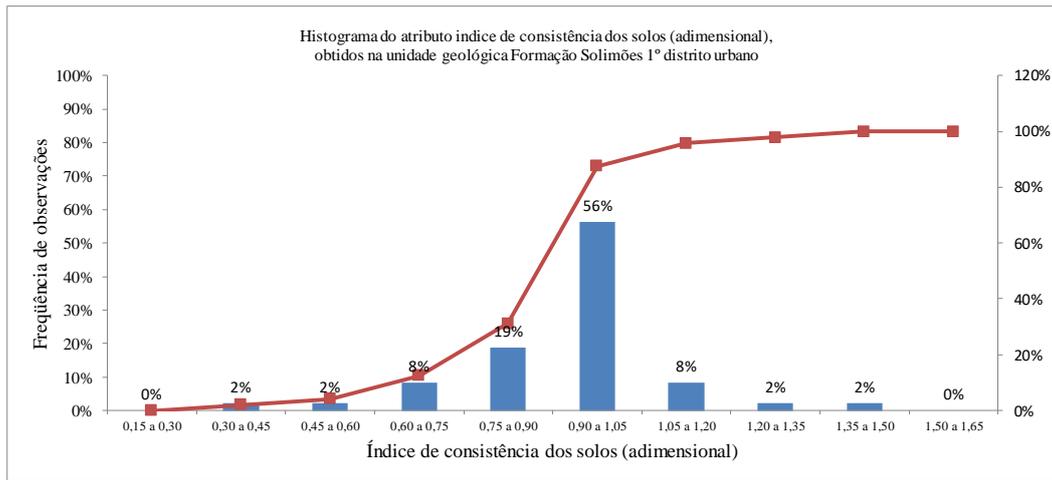
(a)

Distribuição de frequência do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,15	+	0,30	0,23	0	0,0%	0	0%
0,30	+	0,45	0,38	0	0,0%	0	0%
0,45	+	0,60	0,53	2	6,3%	2	6%
0,60	+	0,75	0,68	3	9,4%	5	16%
0,75	+	0,90	0,83	5	15,6%	10	31%
0,90	+	1,05	0,98	18	56,3%	28	88%
1,05	+	1,20	1,13	3	9,4%	31	97%
1,20	+	1,35	1,28	1	3,1%	32	100%
1,35	+	1,50	1,43	0	0,0%	32	100%
1,50	+	1,65	1,58	0	0,0%	32	100%

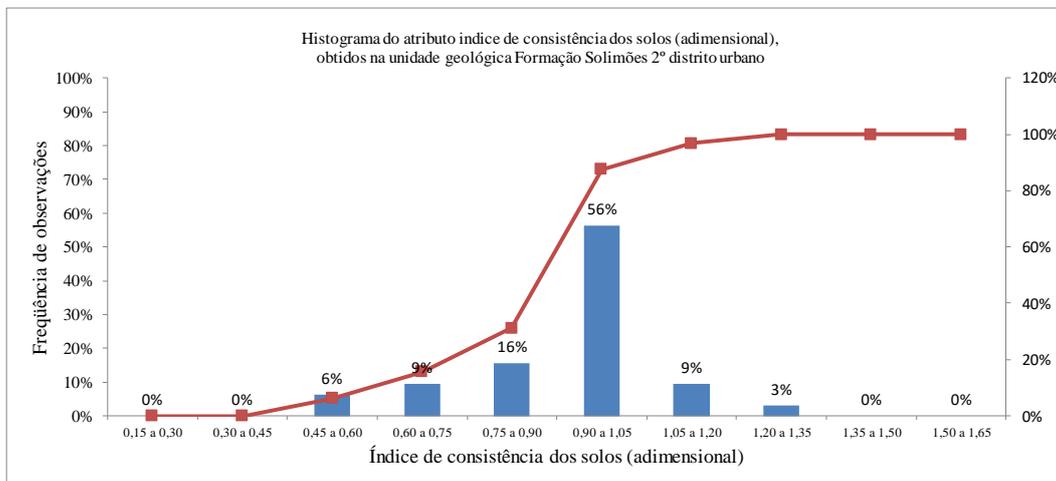
(b)

Distribuição de frequência do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1° distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
0,15	+	0,30	0,23	0	0,0%	0	0%
0,30	+	0,45	0,38	2	10,0%	2	10%
0,45	+	0,60	0,53	1	5,0%	3	15%
0,60	+	0,75	0,68	5	25,0%	8	40%
0,75	+	0,90	0,83	3	15,0%	11	55%
0,90	+	1,05	0,98	1	5,0%	12	60%
1,05	+	1,20	1,13	1	5,0%	13	65%
1,20	+	1,35	1,28	4	20,0%	17	85%
1,35	+	1,50	1,43	3	15,0%	20	100%
1,50	+	1,65	1,58	0	0,0%	20	100%

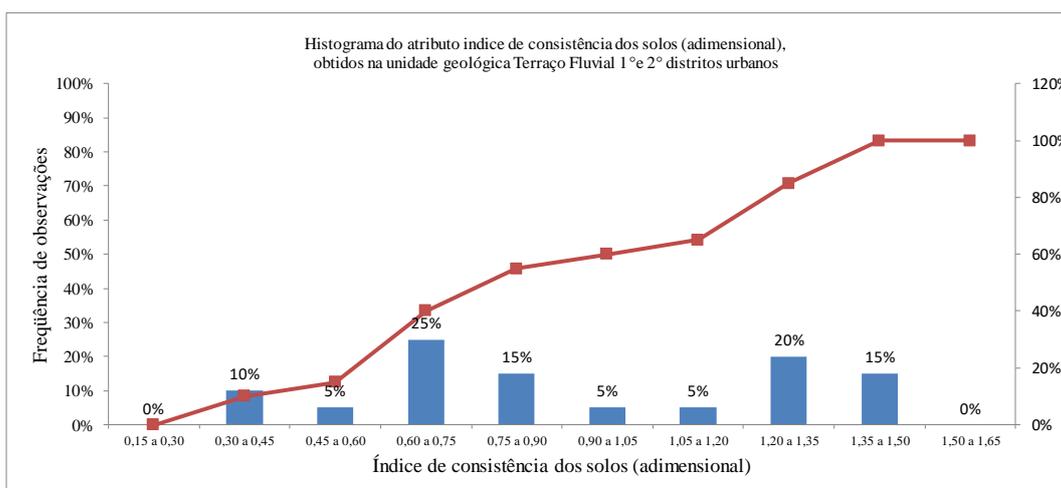
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 71 - Histograma do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.14 Estatística descritiva do atributo índice de liquidez dos solos

A Tabela 36 e Figura 72 apresentam um resumo descritivo das medidas estatísticas do atributo índice de liquidez dos solos (adimensional), obtidos nas áreas 1, 2 e 3.

Os valores da média do atributo índice de liquidez, obtidos nas áreas 1, 2 e 3, são da ordem de 0,07, a 0,23, indicando que a umidade natural dos solos, na ocasião da coleta das amostras estavam próximas ao limite de plasticidade dos solos.

Os coeficientes de variação do variam entre 131% a 253%, indicando que existe alta variabilidade do índice de liquidez em todas as áreas de estudo.

A Tabela 37 e Figura 73 apresentam as distribuições de frequência e os histogramas do atributo índice de liquidez, obtidos nas áreas 1, 2 e 3.

As tabelas de distribuições de frequências e os histogramas foram montadas todos em mesma escala nos eixos x e y, além da mesma quantidade de colunas e com mesmo tamanho, para se fazer uma análise comparativa.

As distribuições de frequências apresentadas na Tabela 37, e os histogramas apresentados na Figura 73 do atributo índice de liquidez dos solos, obtidos nas área 1 e 2 (unidade geológica Formação Solimões) apresentam maiores ocorrências nas classes -0,05 a 0,25 (adimensional) indicando que os solos, na ocasião das coletas das amostras, estavam com umidade natural próxima ao limite de plasticidade.

Na área 3 (unidade geológica Terraço Fluvial) as maiores ocorrências, do atributo índice de liquidez estão nas classes -0,05 a 0,25 e 0,40 a 0,55, indicando que uma parte dos solos, na ocasião das coletas das amostras, estavam com umidade natural próxima ao limite de plasticidade, e outra parte significativa da amostragem com umidade natural tendendo ao limite de liquidez dos solos, segundo a classificação sugerida por Fiori e Carmignami (2013).

Tabela 36 - Resumo das medidas estatísticas do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Medidas estatísticas	Índice de liquidez (adimensional)
Mínimo	-0,48
Média	0,07
Mediana	0,05
Máximo	0,68
Desvio Padrão	0,17
Coefficiente de Variação	2,53
Tamanho da Amostra	48

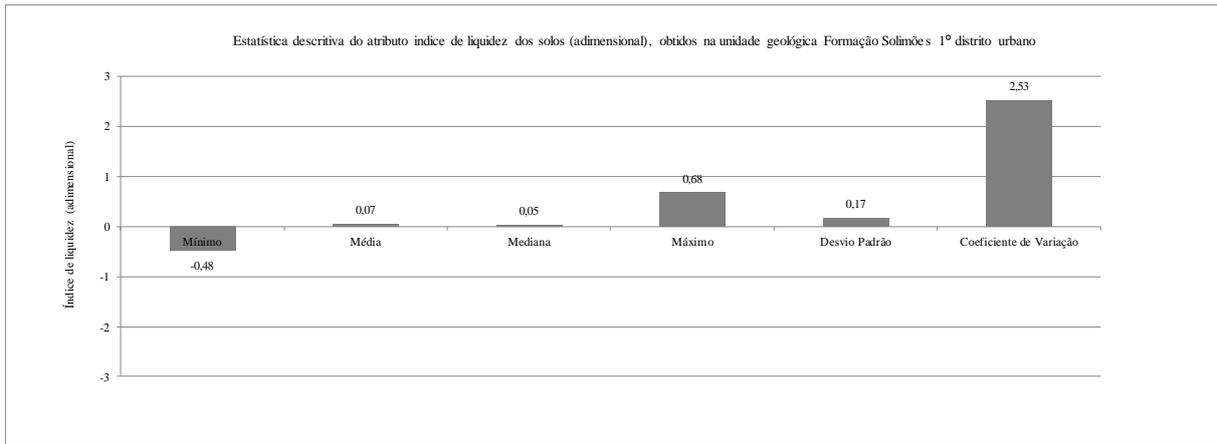
(a)

Medidas estatísticas	Índice de liquidez (adimensional)
Mínimo	-0,21
Média	0,08
Mediana	0,05
Máximo	0,43
Desvio Padrão	0,15
Coefficiente de Variação	1,81
Tamanho da Amostra	32

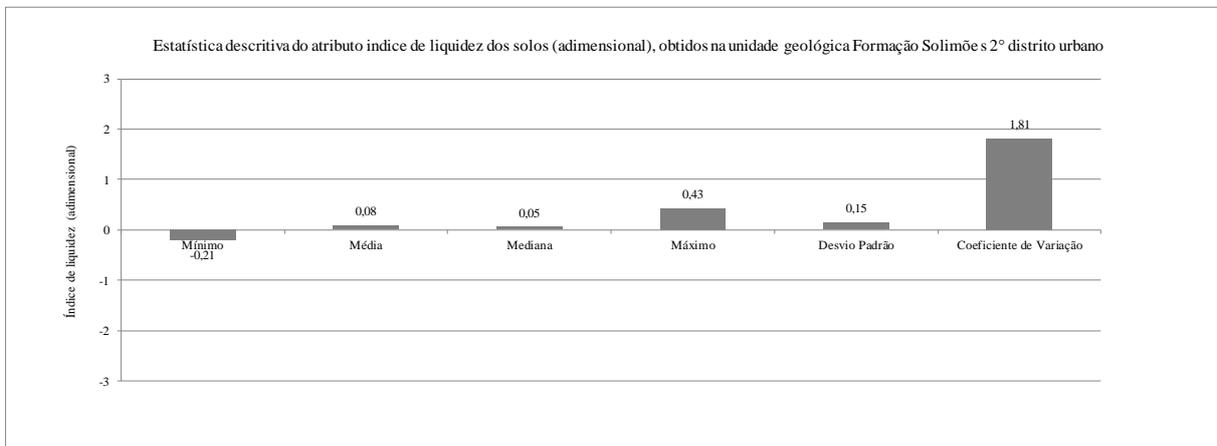
(b)

Medidas estatísticas	Índice de liquidez (adimensional)
Mínimo	-0,30
Média	0,23
Mediana	0,13
Máximo	0,77
Desvio Padrão	0,30
Coefficiente de Variação	1,31
Tamanho da Amostra	20

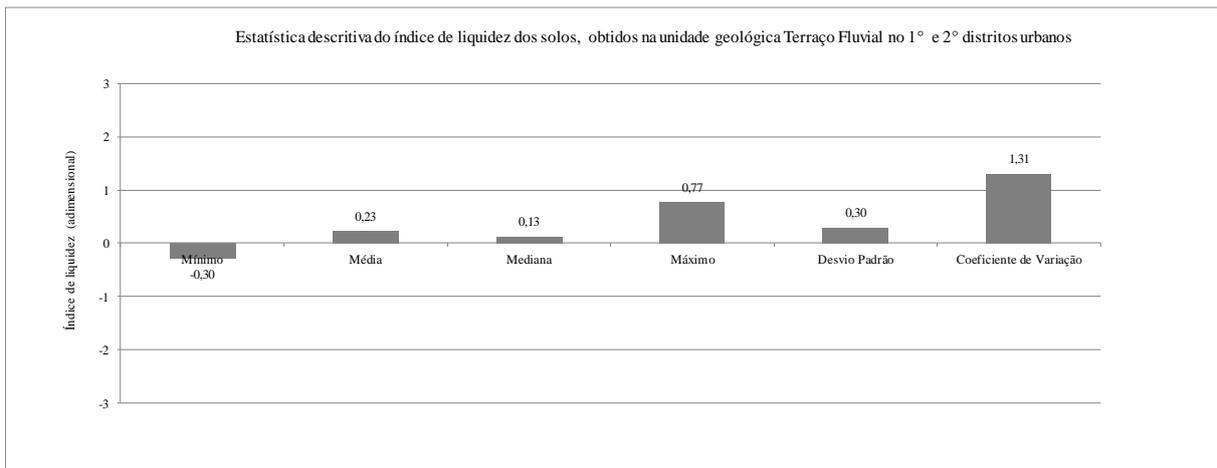
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 72 - Resumo gráfico das medidas estatísticas do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Tabela 37 - Distribuição de frequência do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Distribuição de frequência do atributo índice de liquidez dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 1º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
-0,50	+	-0,35	-0,43	0	0,0%	0	0%
-0,35	+	-0,20	-0,28	0	0,0%	0	0%
-0,20	+	-0,05	-0,13	1	2,1%	1	2%
-0,05	+	0,10	0,03	13	27,1%	14	29%
0,10	+	0,25	0,18	28	58,3%	42	88%
0,25	+	0,40	0,33	5	10,4%	47	98%
0,40	+	0,55	0,48	1	2,1%	48	100%
0,55	+	0,70	0,63	0	0,0%	48	100%
0,70	+	0,85	0,78	0	0,0%	48	100%
0,85	+	1,00	0,93	0	0,0%	48	100%

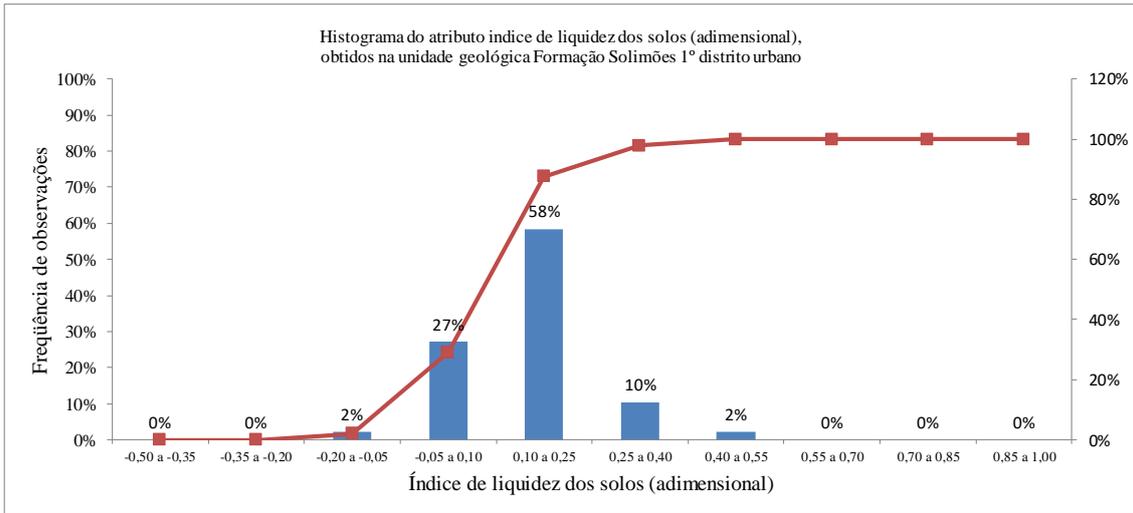
(a)

Distribuição de frequência do atributo índice de liquidez dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Formação Solimões 2º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
-0,50	+	-0,35	-0,43	0	0,0%	0	0%
-0,35	+	-0,20	-0,28	0	0,0%	0	0%
-0,20	+	-0,05	-0,13	0	0,0%	0	0%
-0,05	+	0,10	0,03	7	21,9%	7	22%
0,10	+	0,25	0,18	20	62,5%	27	84%
0,25	+	0,40	0,33	5	15,6%	32	100%
0,40	+	0,55	0,48	0	0,0%	32	100%
0,55	+	0,70	0,63	0	0,0%	32	100%
0,70	+	0,85	0,78	0	0,0%	32	100%
0,85	+	1,00	0,93	0	0,0%	32	100%

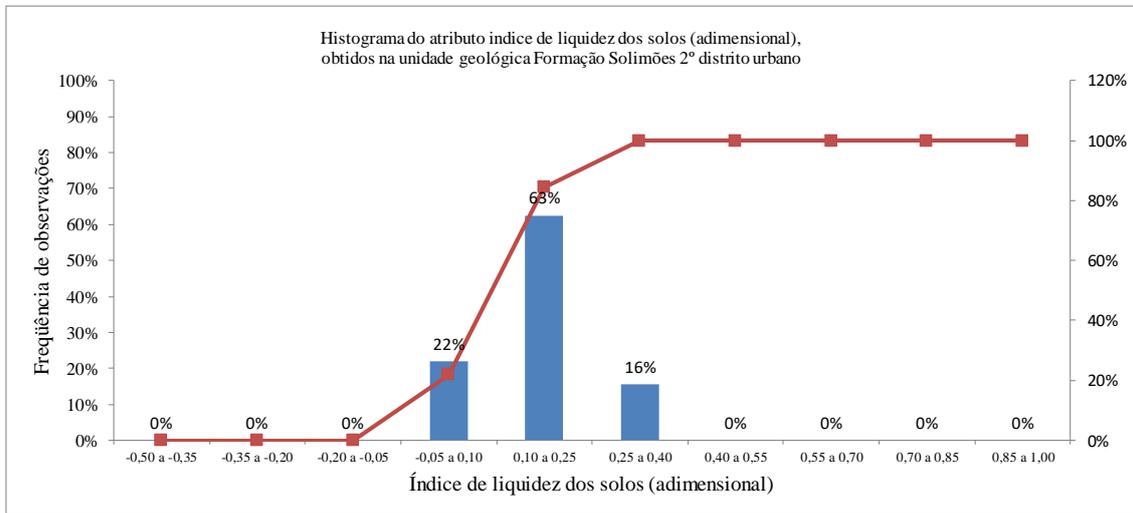
(b)

Distribuição de frequência do atributo índice de liquidez dos solos (adimensional), obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano							
Classe			x_i	n_i	f_i	N_i	F_i
-0,50	+	-0,35	-0,43	0	0,0%	0	0%
-0,35	+	-0,20	-0,28	0	0,0%	0	0%
-0,20	+	-0,05	-0,13	1	5,0%	1	5%
-0,05	+	0,10	0,03	3	15,0%	4	20%
0,10	+	0,25	0,18	9	45,0%	13	65%
0,25	+	0,40	0,33	1	5,0%	14	70%
0,40	+	0,55	0,48	5	25,0%	19	95%
0,55	+	0,70	0,63	1	5,0%	20	100%
0,70	+	0,85	0,78	0	0,0%	20	100%
0,85	+	1,00	0,93	0	0,0%	20	100%

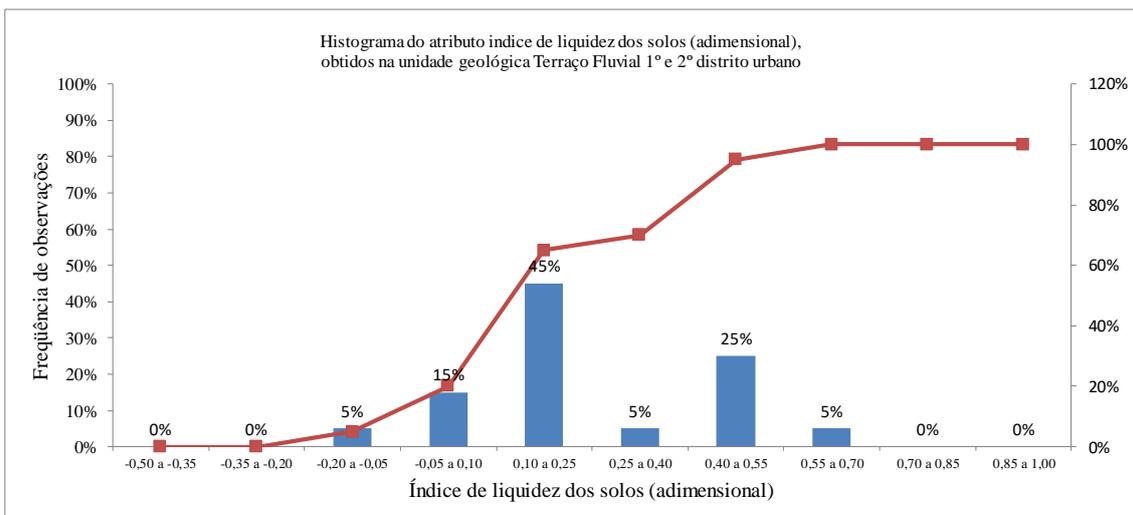
(c)



(a)



(b)



(c)

Figura 73 - Histograma do atributo índice de liquidez dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.5.15 Estatística descritiva do atributo cor do solo

A identificação das cores dos solos foi realizada nas 416 amostras, na condição de umidade natural preservada, na presença de iluminação interna do laboratório de lâmpadas fluorescentes do tipo tubular.

A Figura 74 apresenta as cores predominantes nas amostras, sem levar em conta as proporções de mosqueados. Foram identificados 32 tipos de cores. Sendo que a maioria das amostras são mosqueadas. As 32 cores identificadas nas amostras representam 40% do total de cores existentes na carta Munsell (2013), o que indica uma alta variabilidade de cores do solo na área de estudo.

Na Figura 75 é apresentado o gráfico das principais combinações de cores indentificadas nas amostras mosqueadas. Um total de 87 tipos de combinações de cores diferentes foram identificadas.

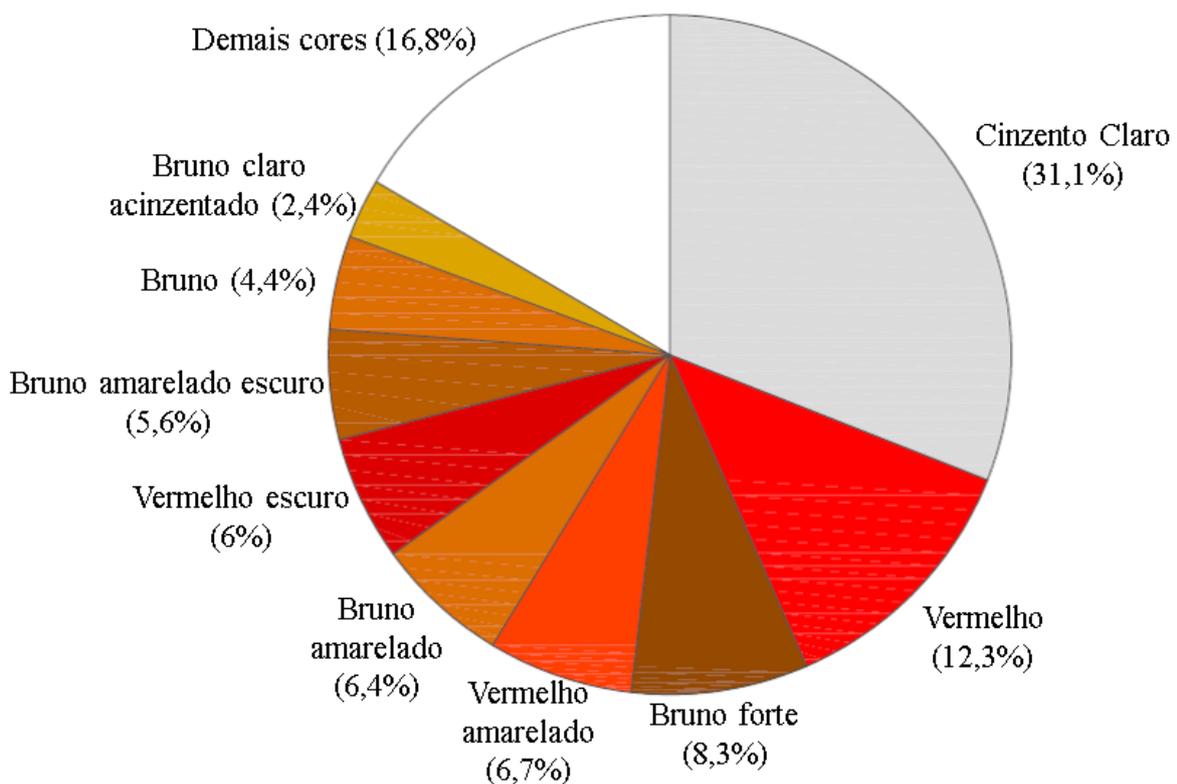


Figura 74 - Gráfico de cores predominantes nas amostras, sem levar em conta as proporções de mosqueados.

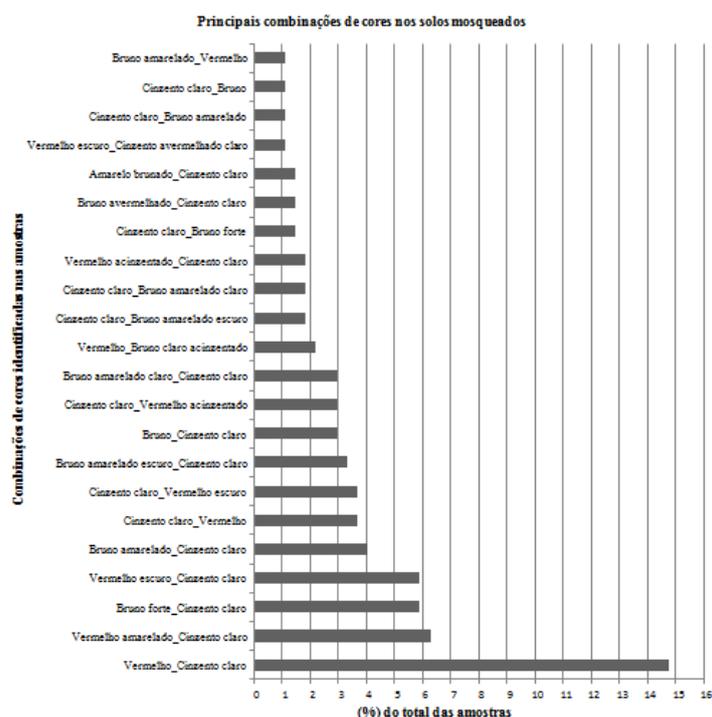


Figura 75 - Gráfico das principais combinações de cores identificadas nas amostras mosqueadas

5.5.16 Gráficos de dispersão dos atributos

As correlações entre os diferentes atributos ligados: a resistência mecânica dos solos representado pelo atributo resistência do cone panda Qd; pelas frações granulométricas constituintes representadas pelos atributos fração areia fina, fração silte e fração argila; o estado de plasticidade dos solos representados pelo índice de plasticidade, limites de liquidez e umidade natural; e pela propriedade mineralógica dos solos representado pelo índice de atividade e umidade higroscópica, foram avaliadas através de gráfico de dispersão apresentado na Figura 76, Figura 77, Figura 78, Figura 79, Figura 80, Figura 81, Figura 82 e Figura 83.

O coeficiente de determinação R^2 , apresentado nas figuras dos gráficos de dispersão mensuram as medidas da proporção da variabilidade de um atributo explicada pela variabilidade de outro atributo.

A correlação da resistência mecânica versus granulometria dos solos são apresentadas na Figura 76 que apresenta a correlação do atributo resistência de cone panda Qd (MPa) com o atributos fração areia fina (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,64, 0,61 e 0,68, respectivamente.

A Figura 77 apresenta a correlação do atributo resistência de cone panda Qd (MPa) com o atributos fração silte (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,65, 0,76 e 0,61, respectivamente.

A Figura 78 apresenta a correlação do atributo resistência de cone panda Qd (MPa) com valores decrescentes do atributo fração argila (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,64, 0,73 e 0,61, respectivamente.

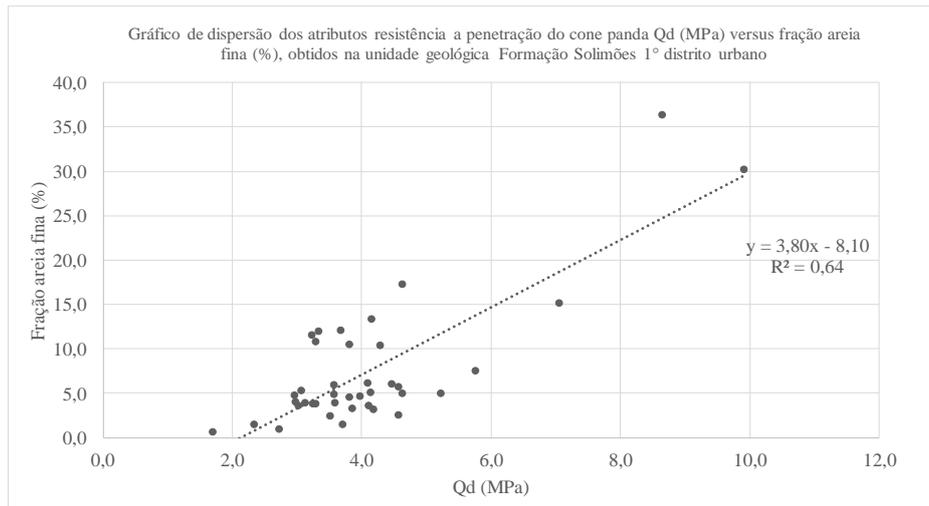
A Figura 78 apresenta a correlação do atributo resistência de cone panda Qd (MPa) com valores decrescentes do atributo umidade natural dos solos (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,69, 0,70 e 0,67, respectivamente.

O estado de plasticidade dos solos versus comportamento mineralógico dos solos são apresentados na Figura 80 que apresenta a correlação do atributo fração argila (%) com o atributo umidade higroscópica dos solos (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,82, 0,86 e 0,86, respectivamente.

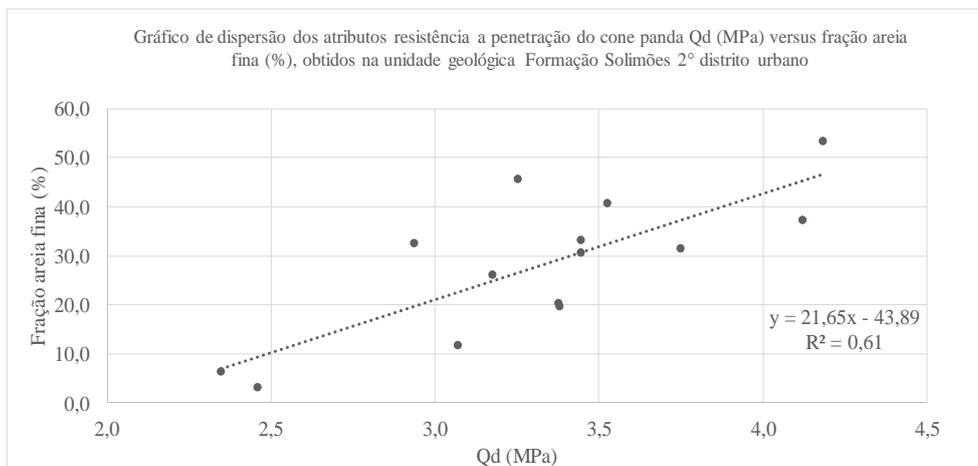
A Figura 81 apresenta a correlação do atributo índice de atividade (adimensional) com o atributo umidade higroscópica dos solos (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,72, 0,60 e 0,66, respectivamente.

A Figura 82 apresenta a correlação do atributo índice de plasticidade (%) com o atributo umidade higroscópica dos solos (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,83, 0,78 e 0,83, respectivamente.

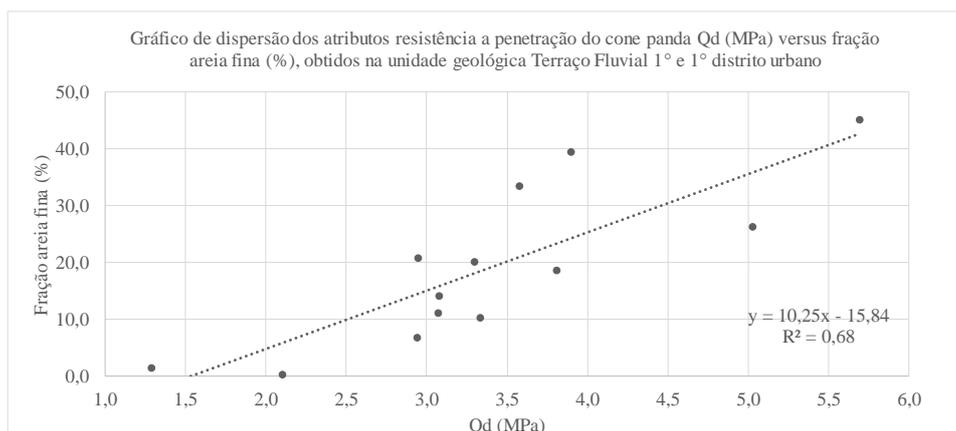
A Figura 82 apresenta a correlação do atributo limite de liquidez (%) com o atributo umidade higroscópica dos solos (%), para as áreas 1, 2 e 3, com coeficientes de determinação 0,77, 0,81 e 0,79, respectivamente.



(a)

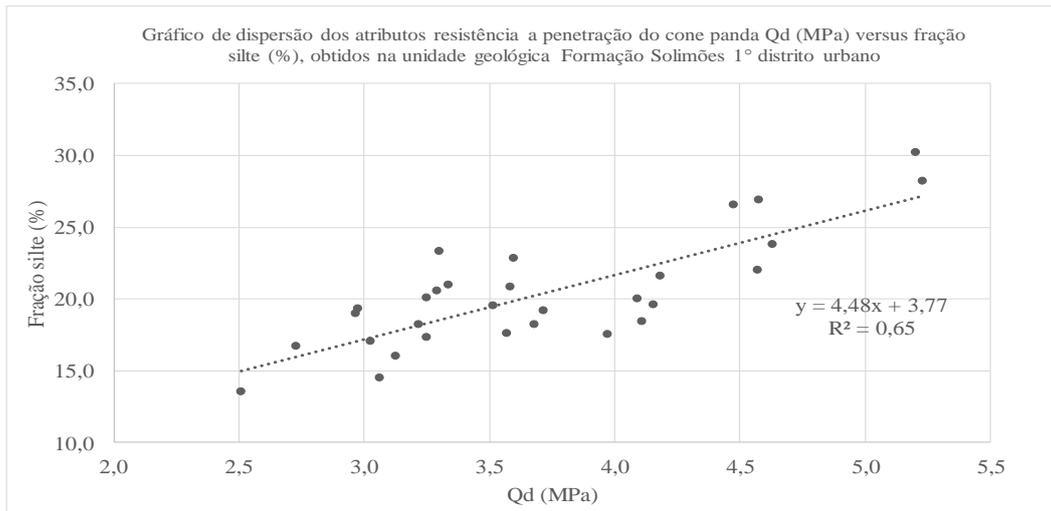


(b)

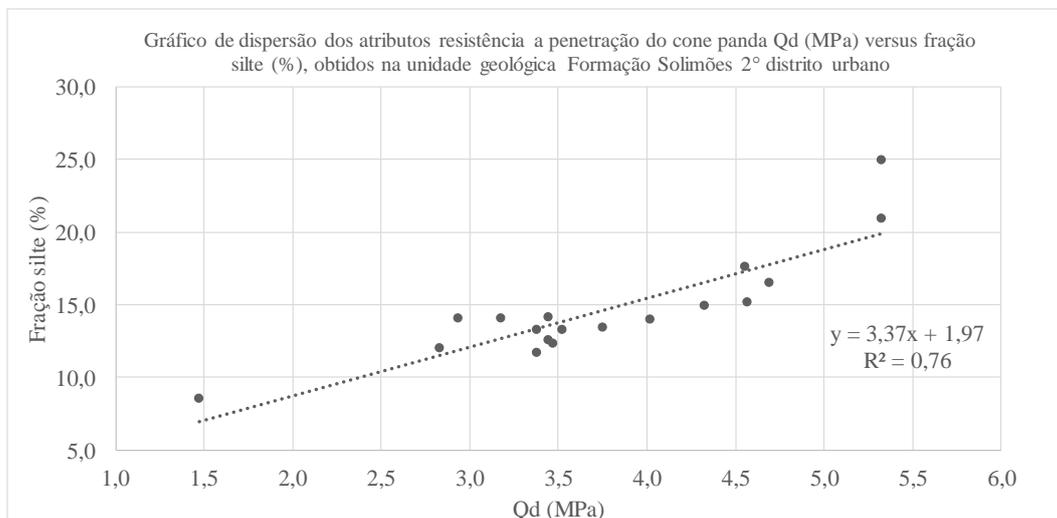


(c)

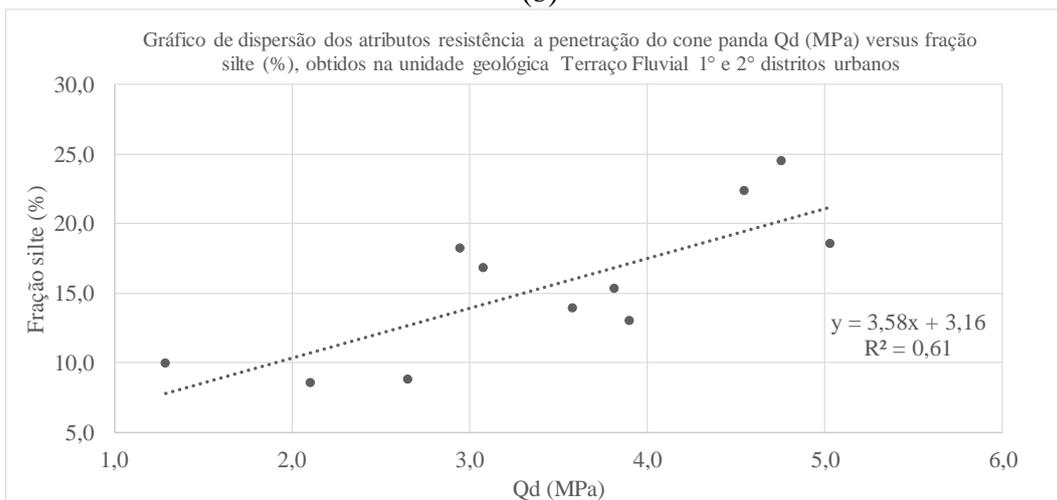
Figura 76 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus fração areia fina, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

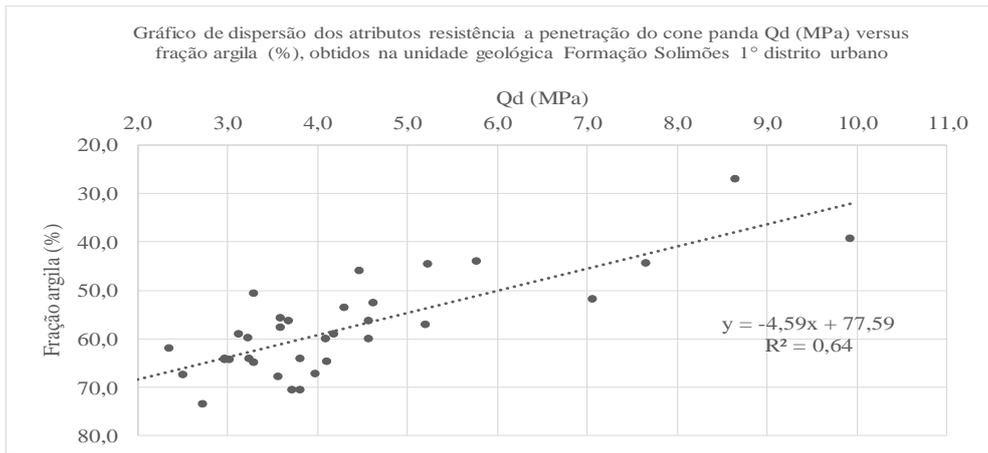


(b)

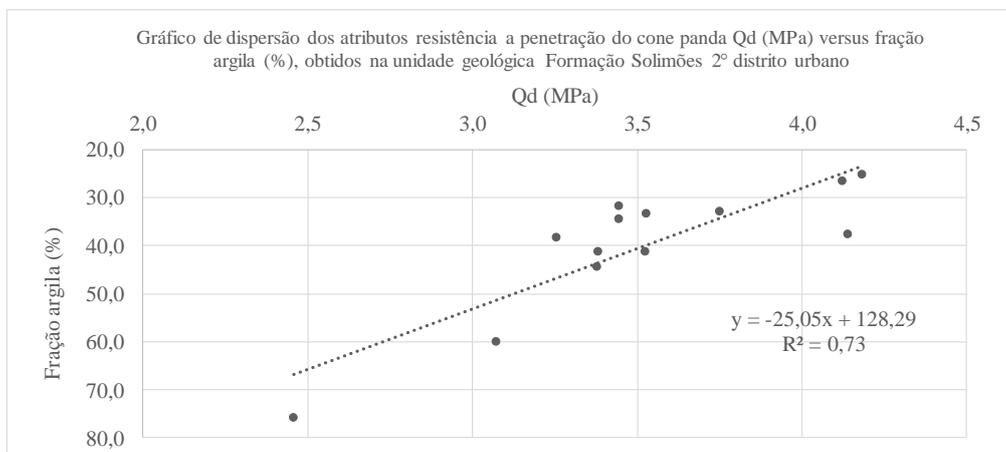


(c)

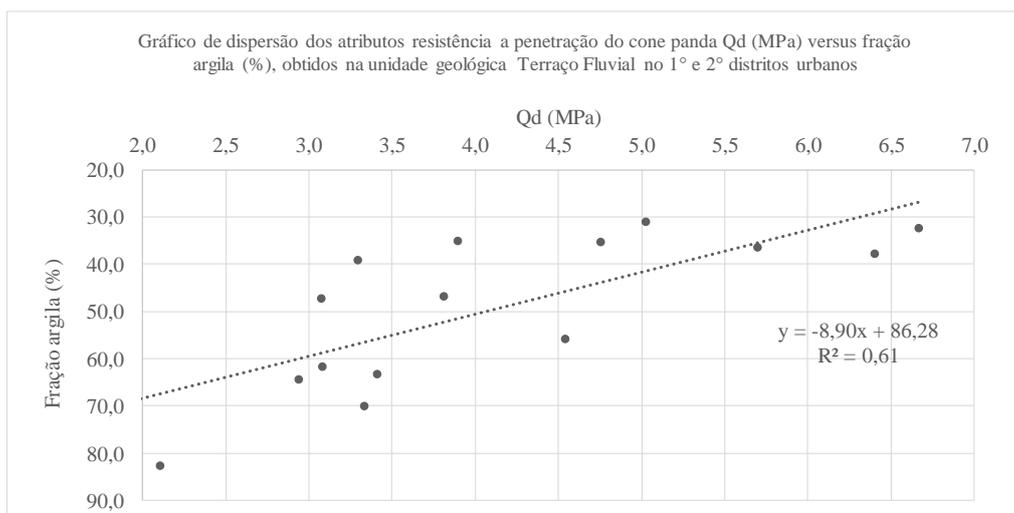
Figura 77 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus fração silte, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

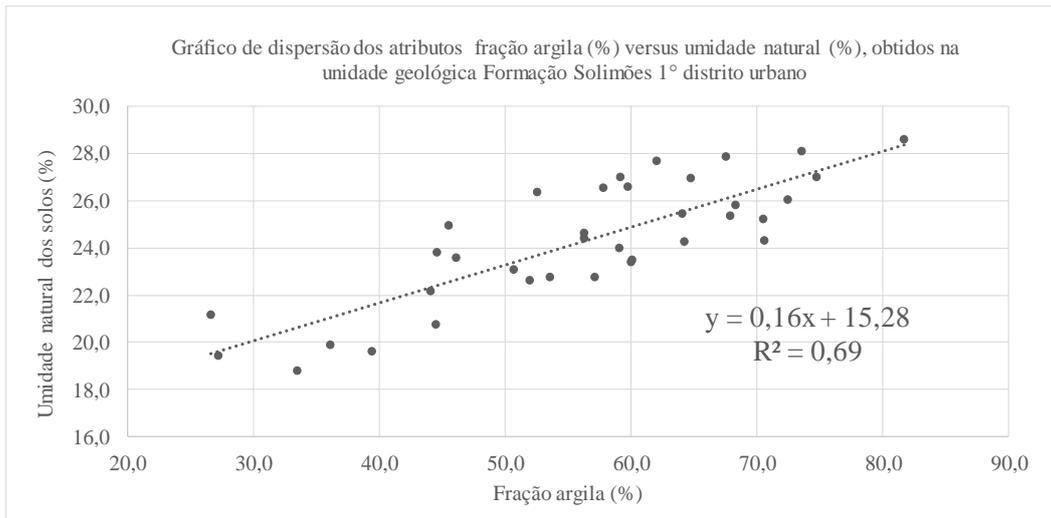


(b)

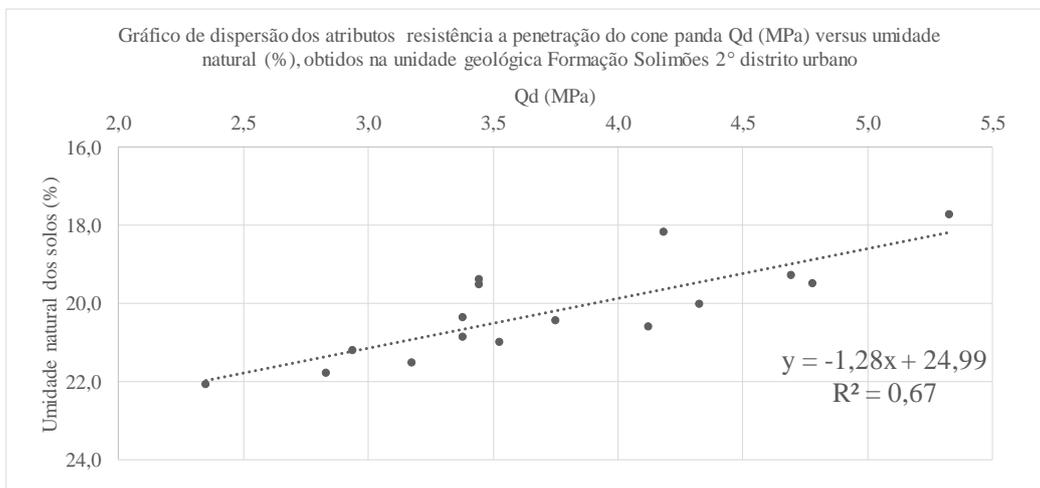


(c)

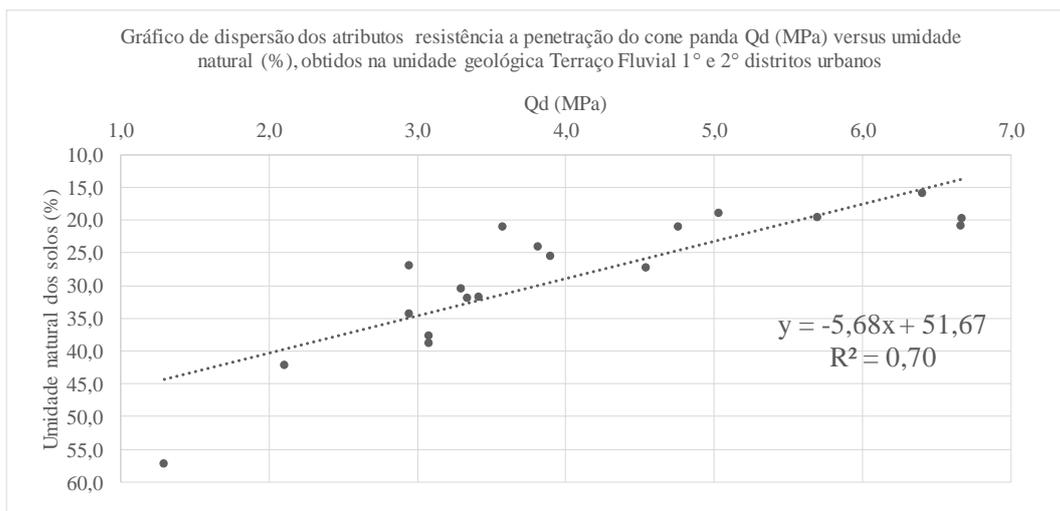
Figura 78 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus fração argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

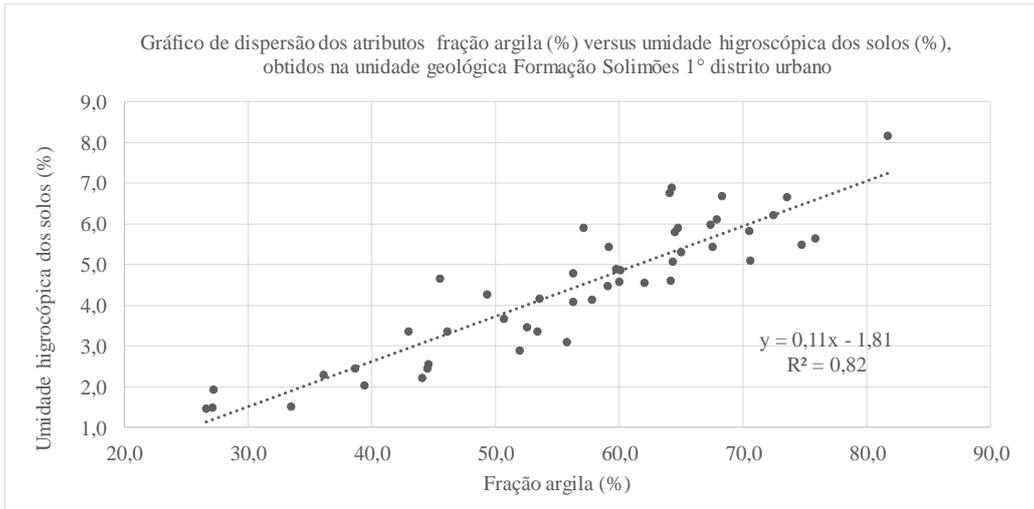


(b)

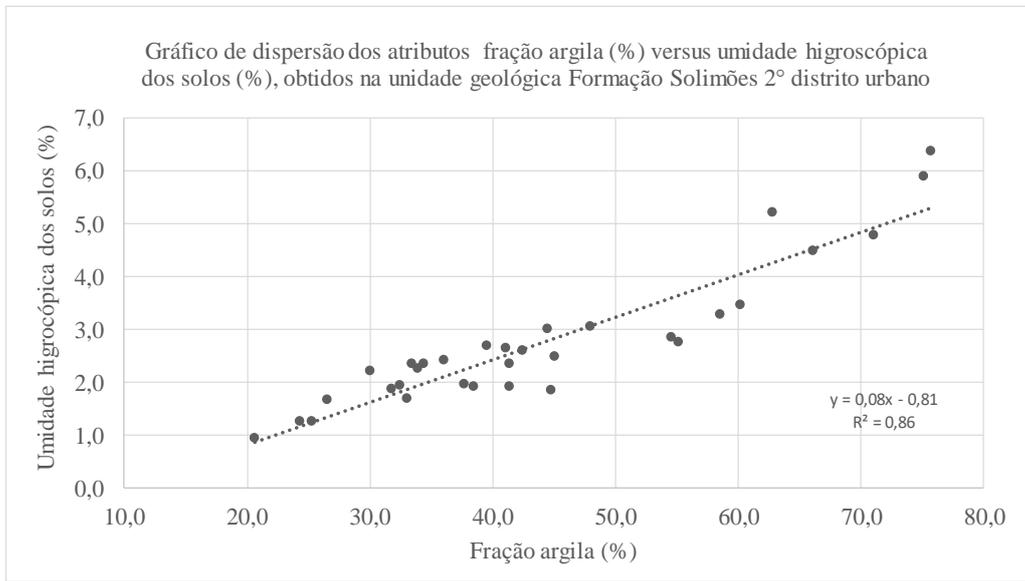


(c)

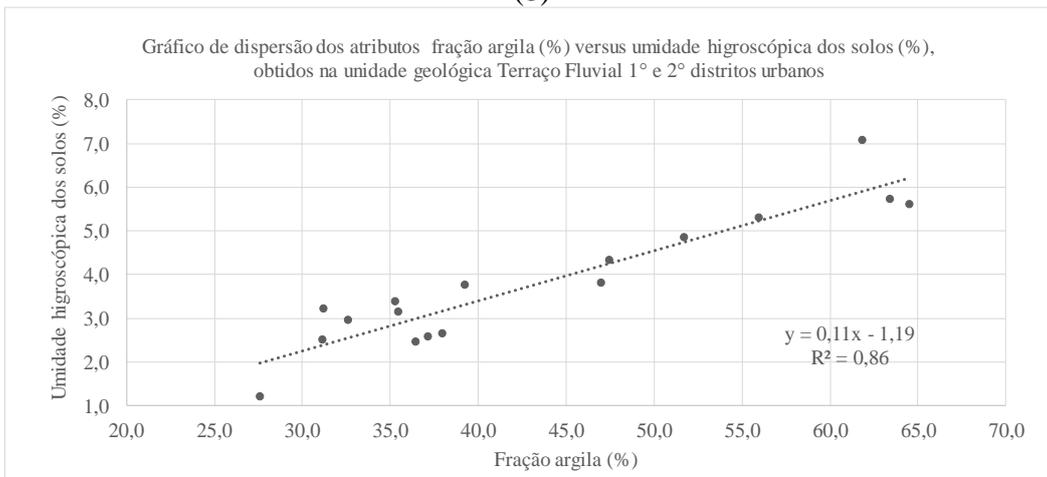
Figura 79 - Gráfico de dispersão do atributo resistência a penetração panda Qd versus umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

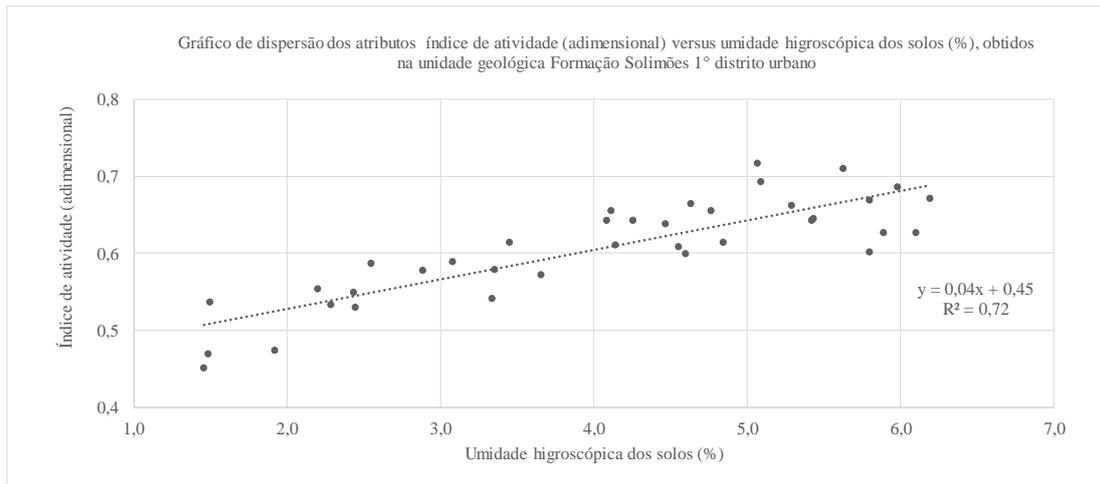


(b)

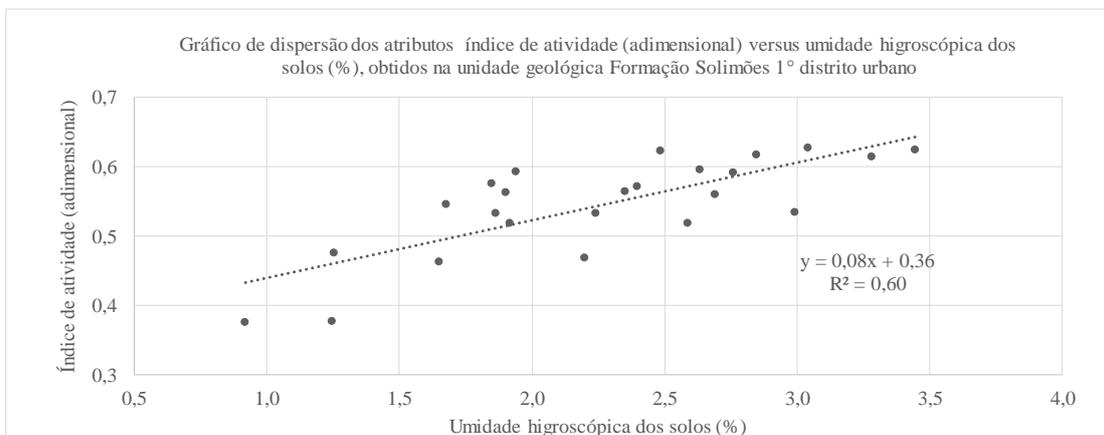


(c)

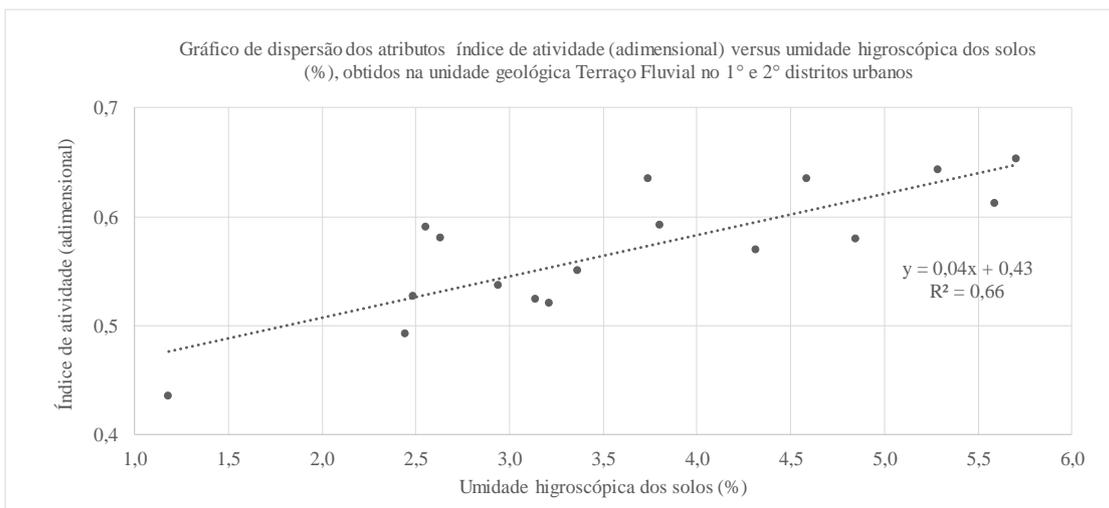
Figura 80 - Gráfico de dispersão do atributo fração argila versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

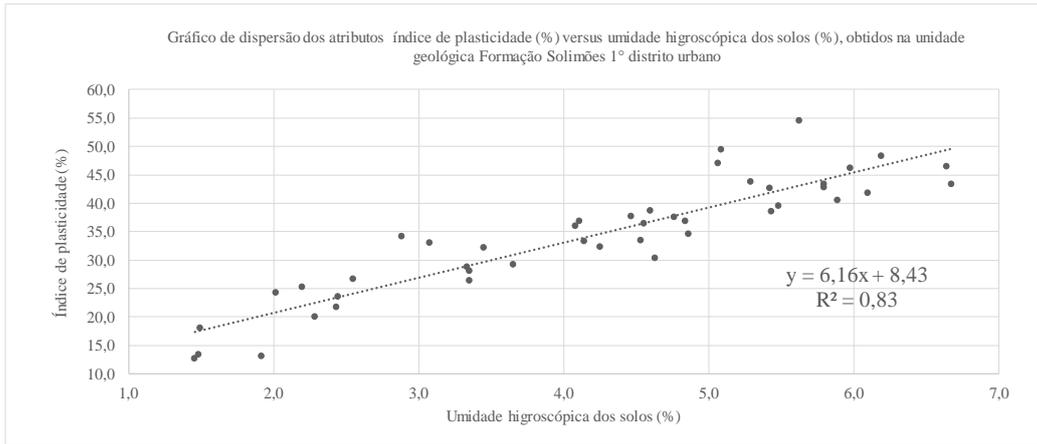


(b)

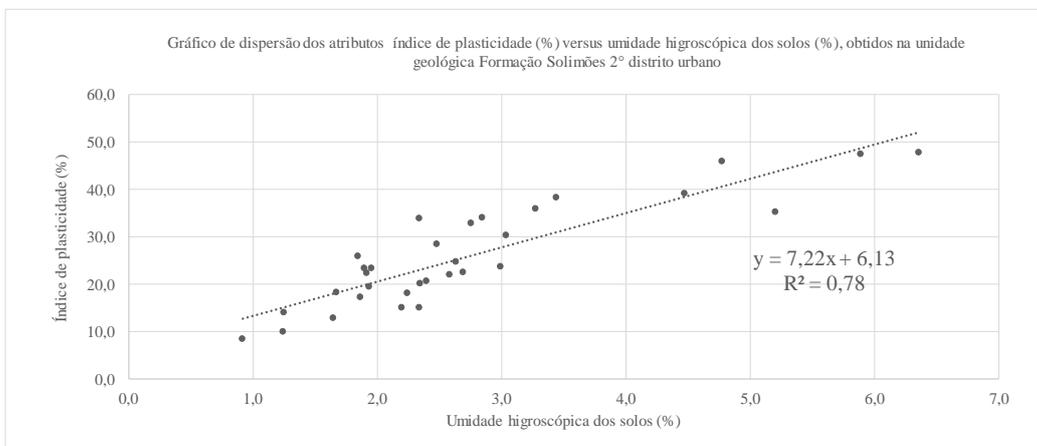


(c)

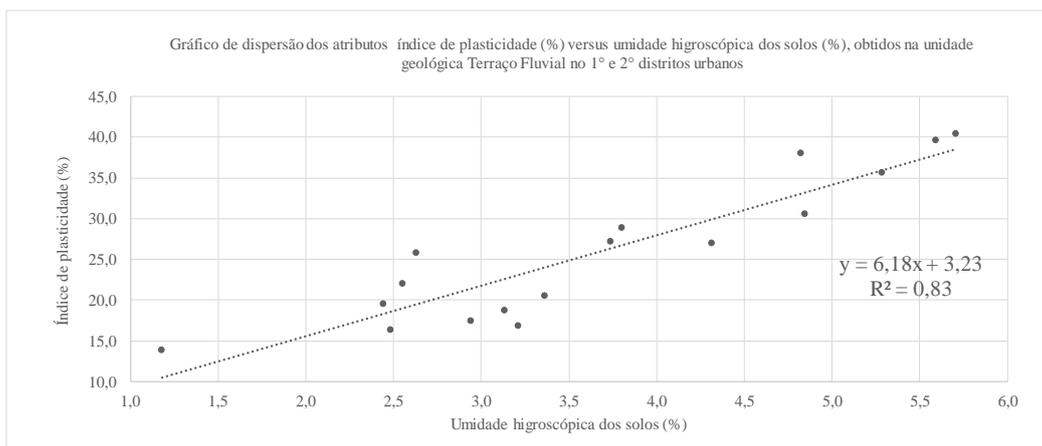
Figura 81 - Gráfico de dispersão do atributo índice de atividade dos solos versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)

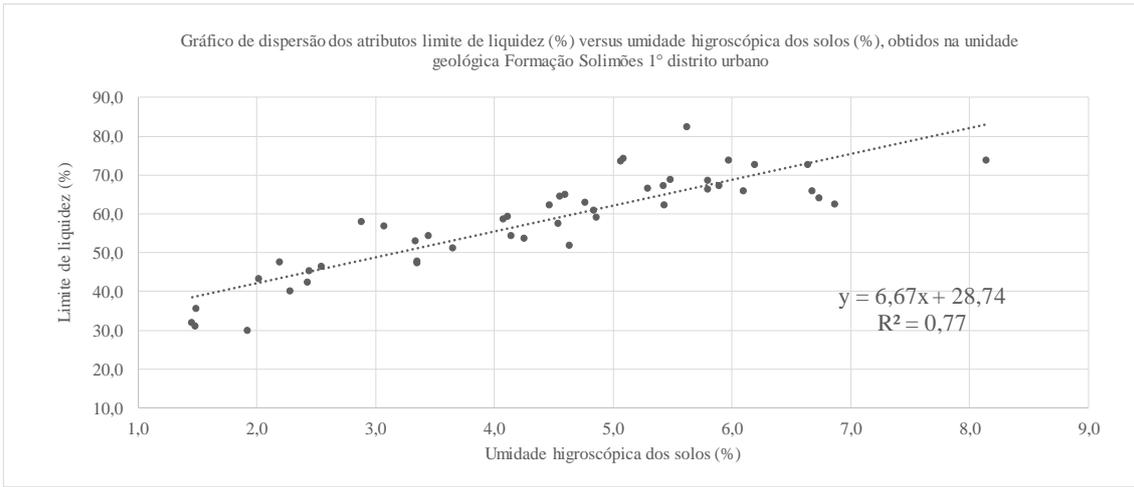


(b)

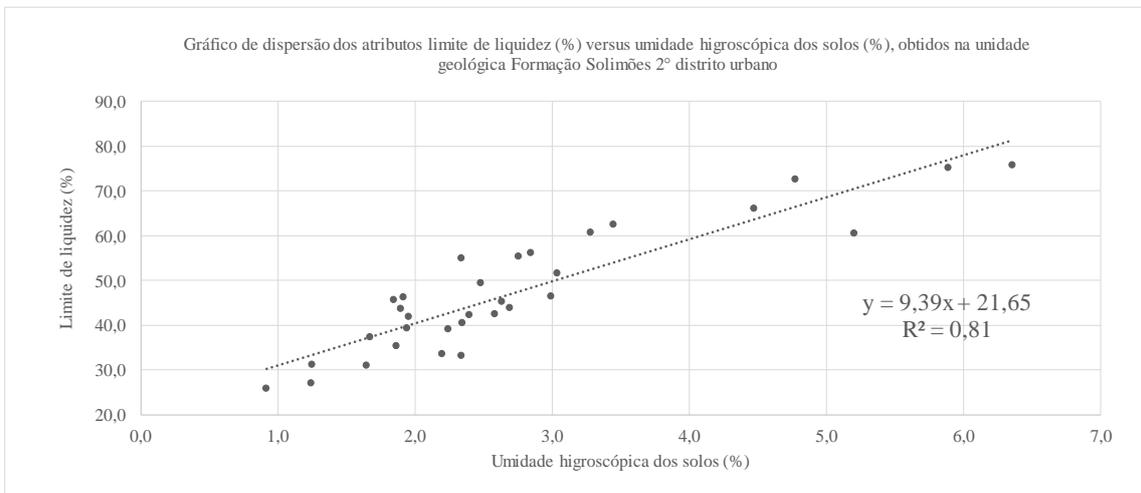


(c)

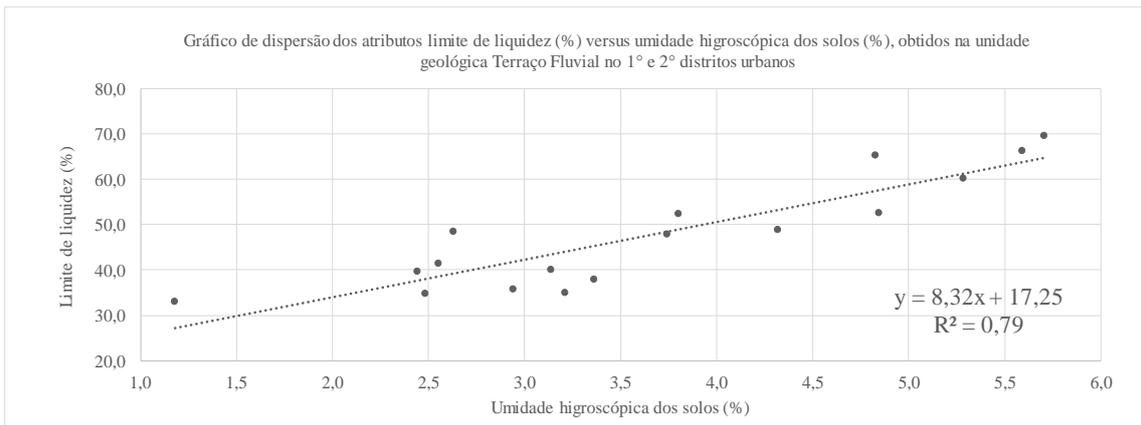
Figura 82 - Gráfico de dispersão do atributo índice de plasticidade versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 83 - Gráfico de dispersão do atributo limite de liquidez versus umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

5.11 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA COM KRIGAGEM ORDINÁRIA NO CASO ANISOTRÓPICO

Uma etapa que precede a técnica de análise geoestatística, é a verificação de normalidade dos dados, pois de acordo com Field (2009) e Yamamoto e Landim (2013), não se pode aplicar um teste paramétrico quando seus dados não são paramétricos (distribuição não normal), isso produz resultados não apropriados, e dessa forma, as conclusões quanto à aplicabilidade dos atributos podem ser imprecisas. O teste de normalidade aplicado nas matrizes de atributos foi o proposto por Shapiro-Wilk (1965), com utilização do programa estatístico Action Stat, aplicativo integrado ao Microsoft Excel.

Os atributos que obtiveram resultados satisfatórios no teste de normalidade proposto por Shapiro-Wilk (1965) foram: resistência a penetração do cone panda (áreas 2 e 3), fração argila (áreas 1 e 2), fração silte (áreas 2 e 3), fração areia (área 3), índice de atividade (áreas 1 e 3), índice de plasticidade (área 3), limite de liquidez (áreas 1, 2 e 3), limite de plasticidade (áreas 1, 2 e 3), profundidade do nível d'água (áreas 1, 2 e 3), tangente de alfa (áreas 1, 2 e 3), umidade higroscópica (áreas 1, 2 e 3), peso específico real dos grãos (área 2).

Quando a normalidade dos dados (atributos) não era satisfatória, segundo o teste de normalidade, a etapa seguinte foi a aplicação da transformação dos dados, conforme recomenda Yamamoto e Landim (2013). Para transformação dos dados foram utilizadas as transformações propostas por Box e Cox (1964) e Yeo e Johnson (2000). A transformação de dados propostas por Box e Cox (1964) foram aplicadas aos atributos: fração areia fina (área 1), fração silte (área 2), fração argila (área 2), peso específico seco do solo (áreas 1 e 3), umidade natural dos solos (área 1), tangente de beta (área 3), índice de consistência (área 3).

A transformação de dados propostas por Yeo e Johnson (2000) foram aplicadas aos atributos: resistência a penetração N_{spt} (área 1, 2 e 3), fração areia fina (áreas 1 e 2), fração argila (área 3), fração silte (área 1), peso específico seco dos solos (área 2), umidade higroscópica dos solos (área 2), peso específico real dos grãos (áreas 1 e 3), umidade natural dos solos (áreas 2 e 3), índice de plasticidade (áreas 1 e 2), índice de consistência (área 1 e 2), índice de liquidez (áreas 1, 2 e 3), índice de atividade (área 2), tangente de beta (área 2). Após as etapas de teste de normalidade e transformação de dados, a variabilidade espacial dos atributos foram exploradas por procedimentos geoestatísticos com uso do *software* SPRING, resumidamente as etapas empregaram técnicas geoestatísticas que incluíram: detecção de anisotropia com semivariograma de superfície, geração dos semivariogramas direcionais, ajuste do semivariogramas direcionais, modelagem da anisotropia, validação cruzada do modelo de ajuste anisotrópico, e interpolação por krigagem ordinária.

5.11.1 Análise geoestatística do atributo resistência a penetração do cone panda Qd.

A Figura 84 apresenta a detecção da anisotropia do atributo resistência a penetração do cone panda Qd, nas áreas 1, 2 e 3. O atributo investigado apresenta continuidade diferenciada, em todas as áreas de estudo, sendo maior numa direção e menor em outra. Na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1) os eixos de anisotropia são para as direções 64° e 154°. Na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2) os eixos de anisotropia são para as direções 0° e 90°. Na unidade geológica Formação Solimões no Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3) os eixos de anisotropia são para as direções 110° e 200°. Os valores dos eixos de anisotropia, se repetiram para todos os outros atributos, com exceção do atributo resistência a penetração Nspt.

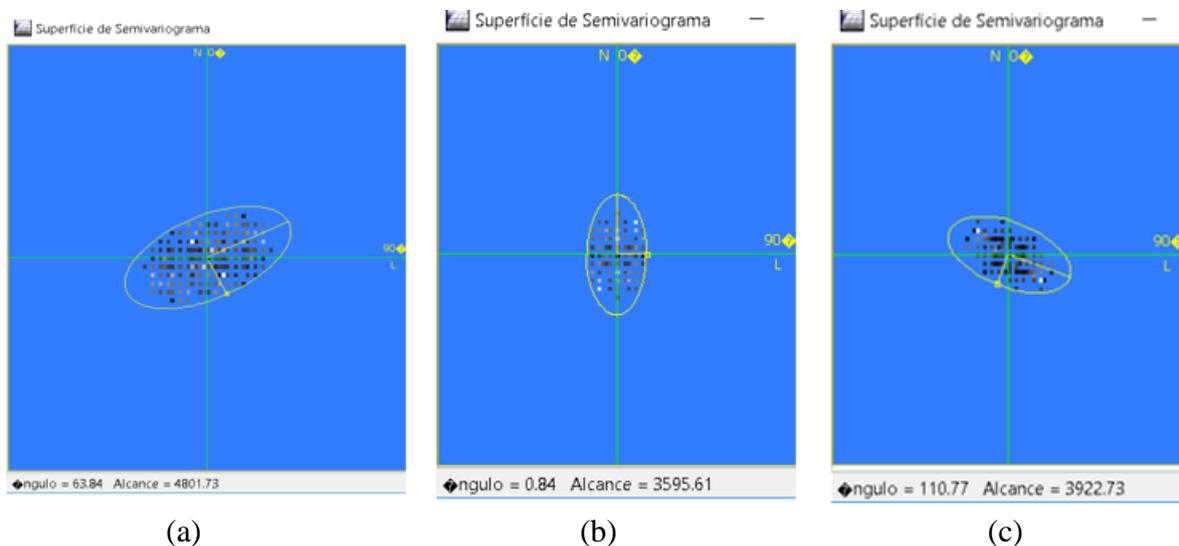


Figura 84 - Detecção de anisotropia pelo semivariograma de superfície do atributo resistência a penetração do cone panda, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Figura 85 apresenta a síntese das modelagens da anisotropia (modelo ajustado), para as áreas 1, 2 e 3, que consistiu em unir os dois modelos de semivariograma para cada direção, de modo a atribuir à estrutura de correlação espacial do atributo resistência a penetração do cone panda, em qualquer direção.

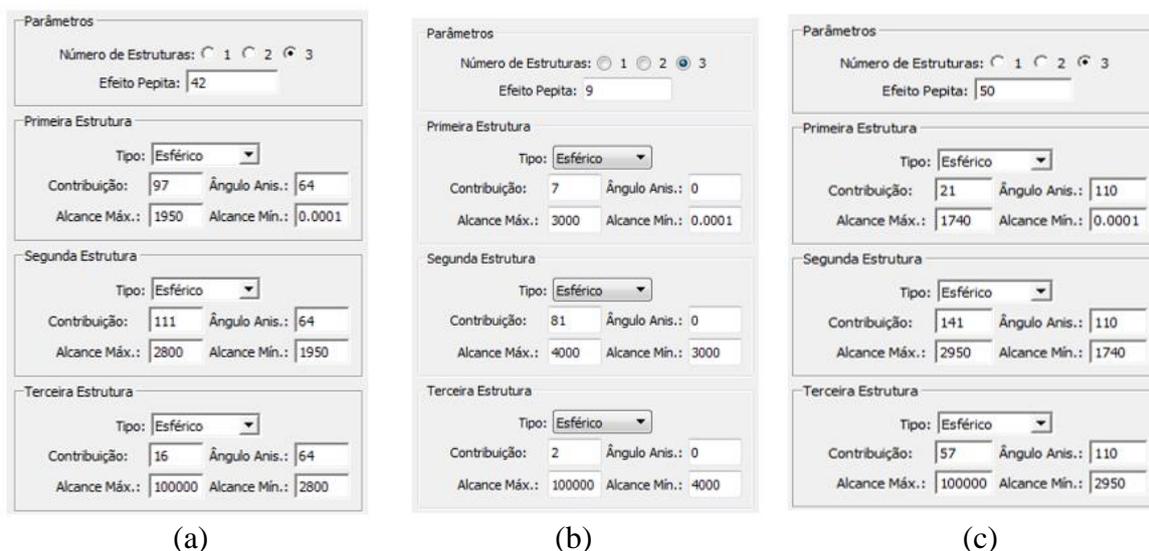


Figura 85 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo resistência a penetração do cone panda, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 38 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo resistência a penetração do cone panda Qd.

Tabela 38 – Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo resistência a penetração do cone panda Qd.

Área	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	37	0,89
2	18	0,66
3	34	0,45

As cartas resultantes das interpolação por krigagem ordinária do atributo resistência à penetração do cone panda Qd, nas áreas 1, 2 e 3, estão apresentadas nas Figura 86, Figura 87 e Figura 88, respectivamente. Os valores de Qd inferiores a 3MPa estão relacionados aos solos com baixa capacidade de suporte para fundações superficiais.

CARTA CLASSES DE RESISTENCIA DE SOLO COM CONE PANDA (Qd)

UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMOES

1 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

Legenda

- 6MPa < Qd < 10MPa
- 3MPa < Qd < 6MPa
- 3MPa < Qd
- Rio_Acre
- Igarape_Sao_Francisco
- Logradouro

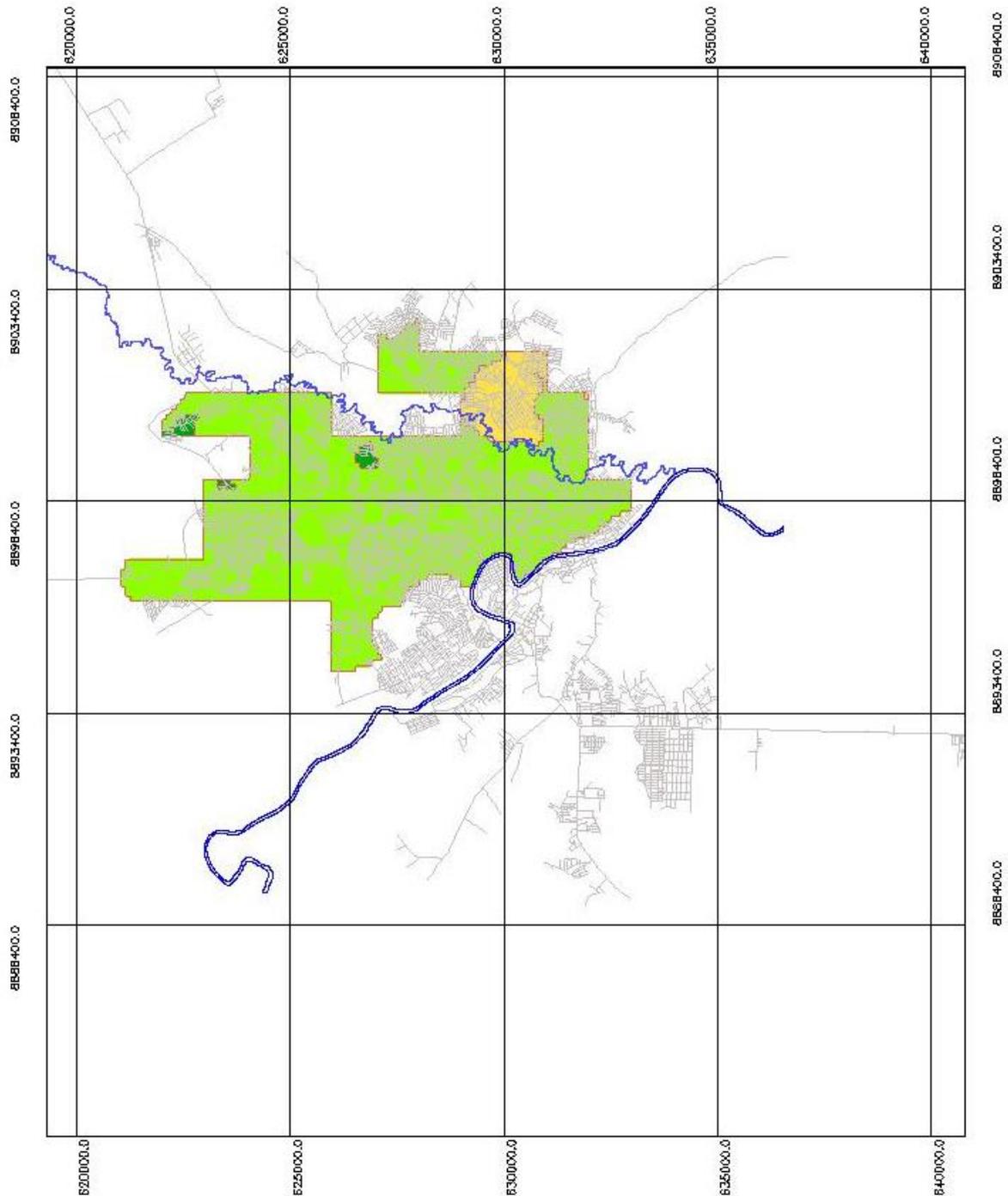


Figura 86 - Carta classes de resistência a penetração do cone panda Qd (MPa), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1)

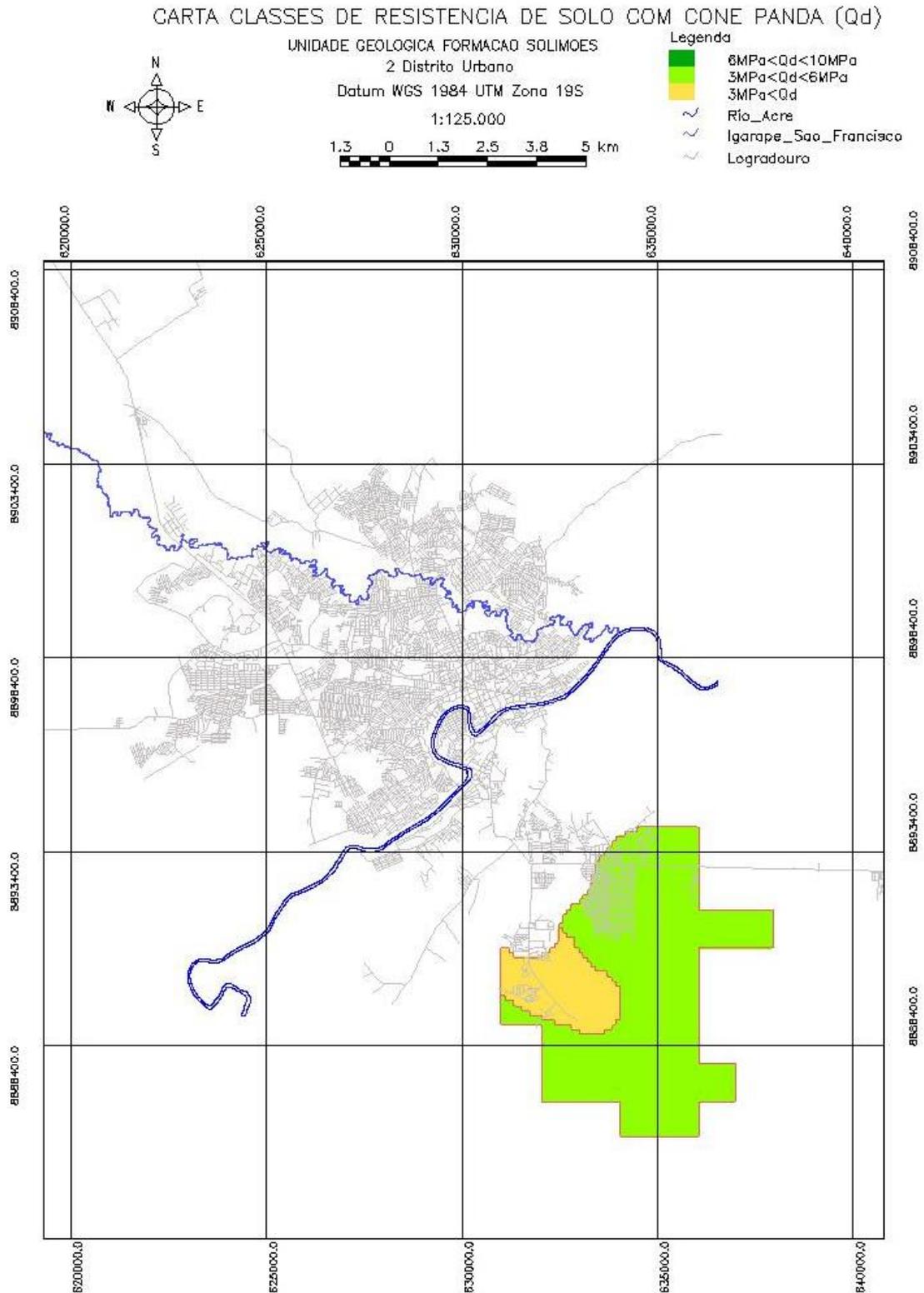


Figura 87 - Carta classes de resistência a penetração do cone panda Qd (MPa), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES DE RESISTENCIA DE SOLO COM CONE PANDA (Qd)

UNIDADE GEOLOGICA TERRACO FLUMIAL

1 e 2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

Legenda

8MPa < Qd < 10MPa

3MPa < Qd < 8MPa

3MPa < Qd

~ Rio_Acre

~ Igarape_Sao_Francisco

~ Logradouro

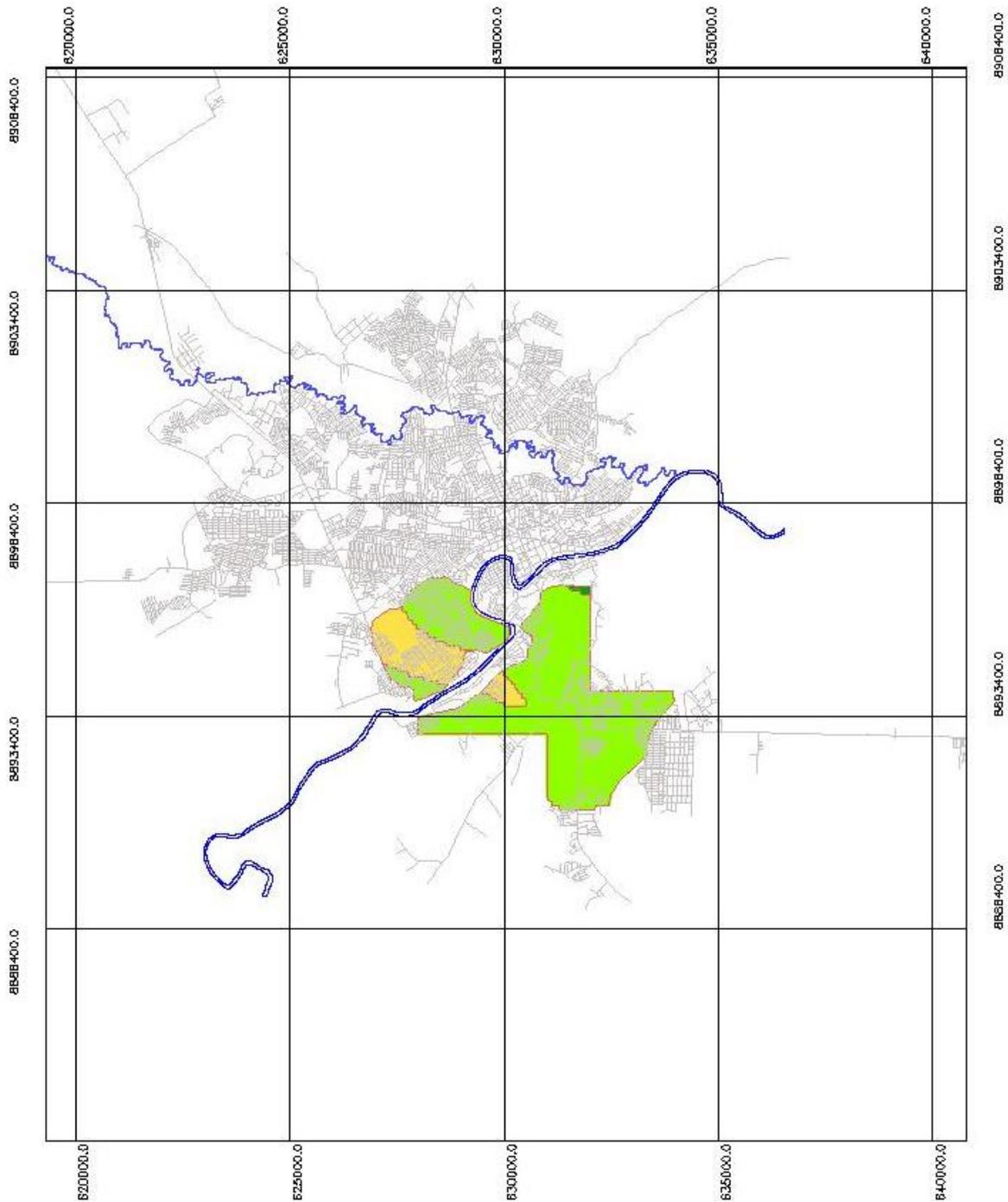


Figura 88 - Carta classes de resistência a penetração do cone panda Qd (MPa), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3)

5.11.2 Análise geoestatística do atributo resistência a penetração do Nspt.

A Figura 89 apresenta a detecção da anisotropia do atributo resistência a penetração Nspt, nas áreas 1, 2 e 3. O atributo investigado apresenta continuidade diferenciada, em todas as áreas de estudo, sendo maior numa direção e menor em outra. Na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1) os eixos de anisotropia são para as direções 64° e 154°. Na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2) os eixos de anisotropia são para as direções 17° e 107°. Na unidade geológica Formação Solimões no Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3) os eixos de anisotropia são para as direções 137° e 227°.

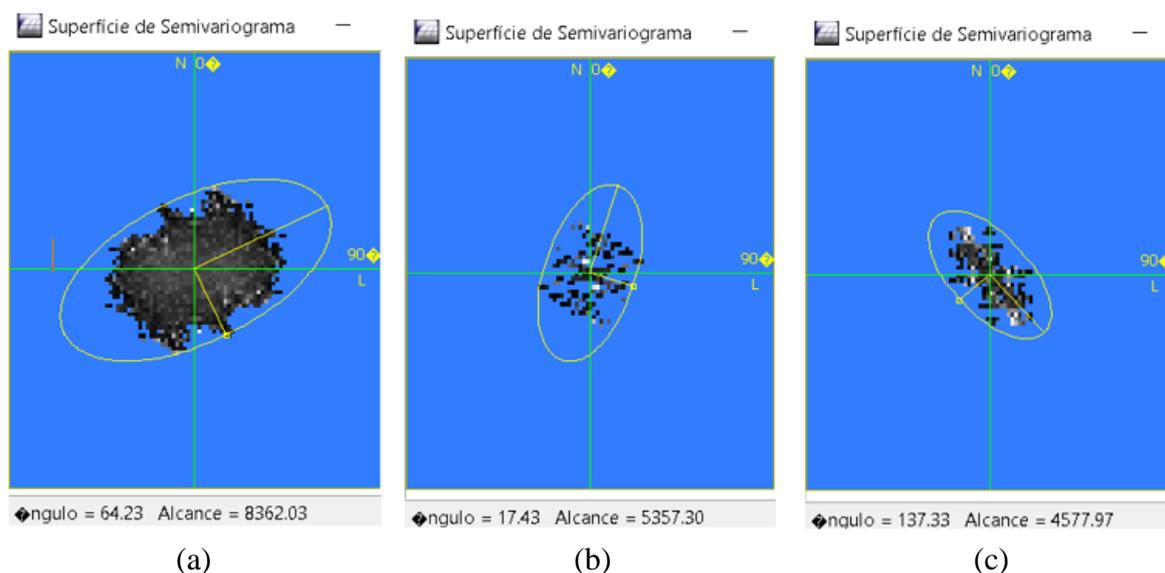


Figura 89 - Detecção de anisotropia pelo semivariograma de superfície do atributo resistência a penetração do Nspt, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Figura 90 apresenta a síntese das modelagens da anisotropia, para as áreas 1, 2 e 3, que consistiu em unir os dois modelos de semivariograma para cada direção, de modo a atribuir a estrutura de correlação espacial do atributo resistência a penetração do cone panda, em qualquer direção. As cartas resultantes da interpolação por krigagem ordinária, do atributo resistência a penetração do Nspt, estão apresentados nas Figura 91, Figura 92 e Figura 93, respectivamente para as áreas 1, 2 e 3.

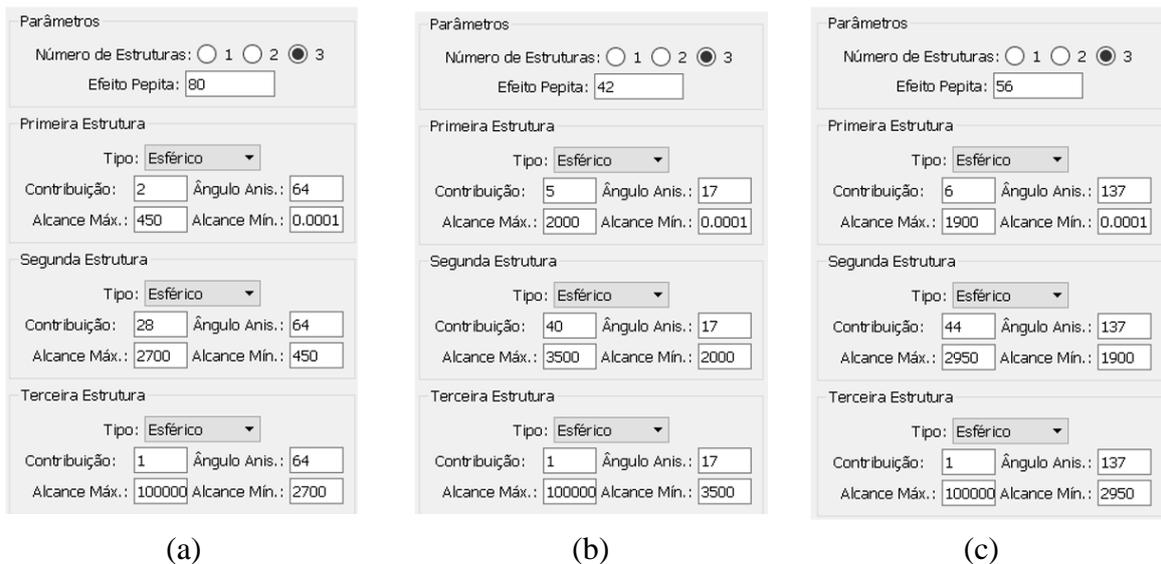


Figura 90 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo resistência a penetração N_{spt} , (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 39 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo resistência a penetração do cone panda Qd.

Tabela 39 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado para o atributo resistência a penetração do N_{spt} .

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	37	0,77
2	14	0,81
3	39	0,73

As cartas resultantes das interpolação por krigagem ordinária do atributo resistência a penetração do cone panda Qd, nas áreas 1, 2 e 3, estão apresentadas nas Figura 91, Figura 92 e Figura 93, respectivamente. Os valores de N_{spt} inferiores a 6 golpes estão relacionados com solos com baixa capacidade de suporte para fundações superficiais.

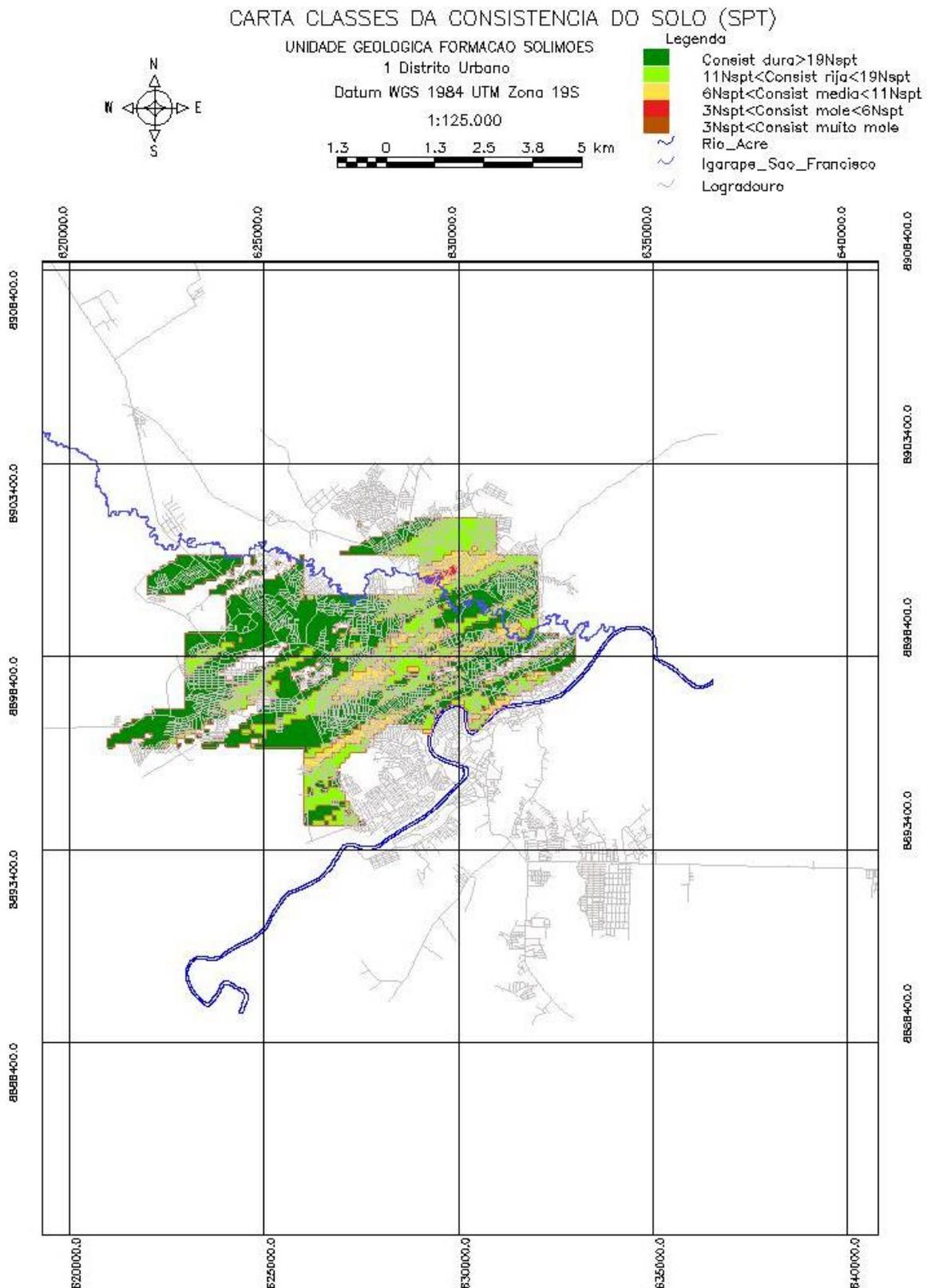


Figura 91 - Carta classes de resistência a penetração Nspt (golpes), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

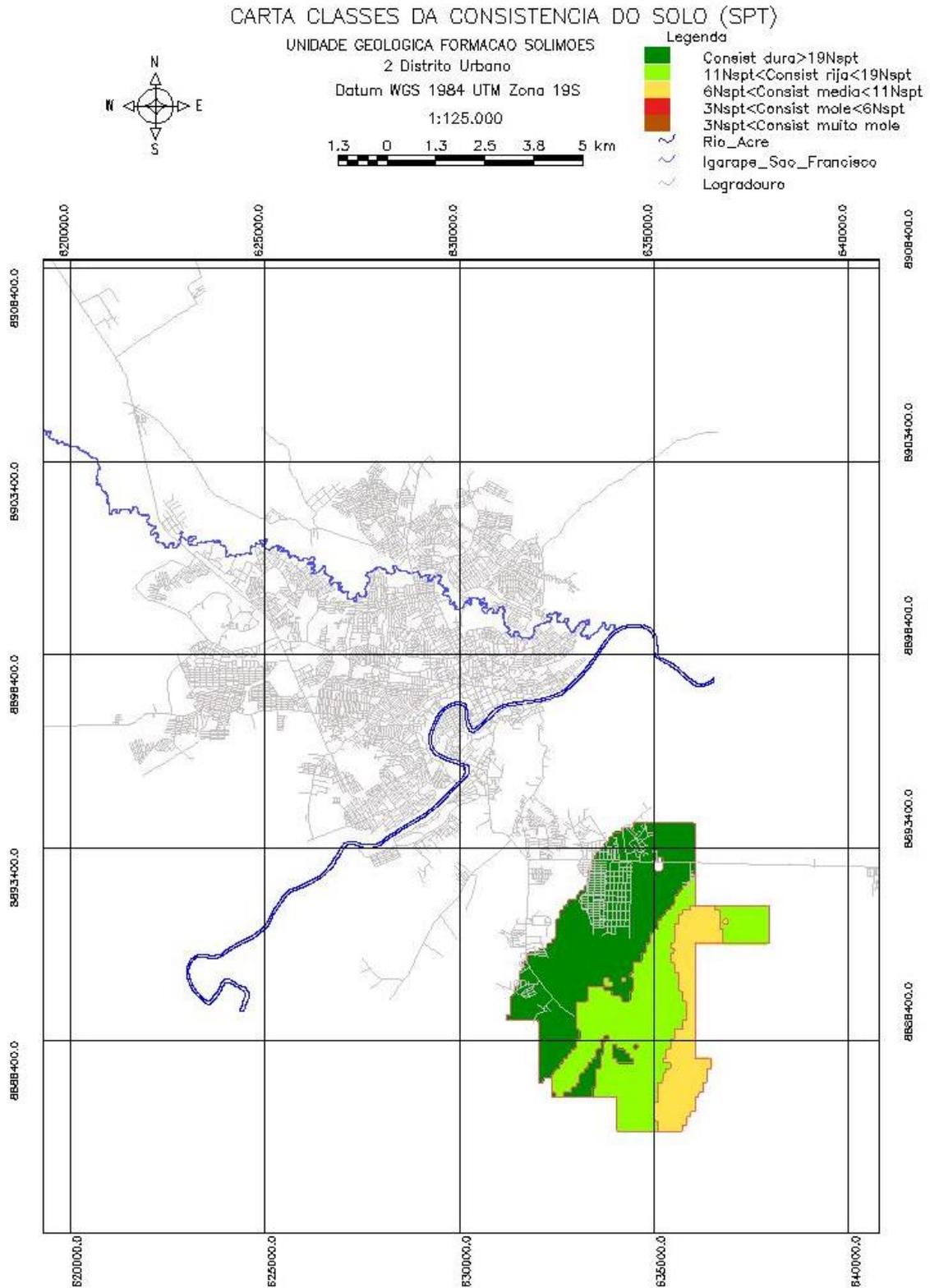


Figura 92 - Carta classes de resistência a penetração Nspt (golpes), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

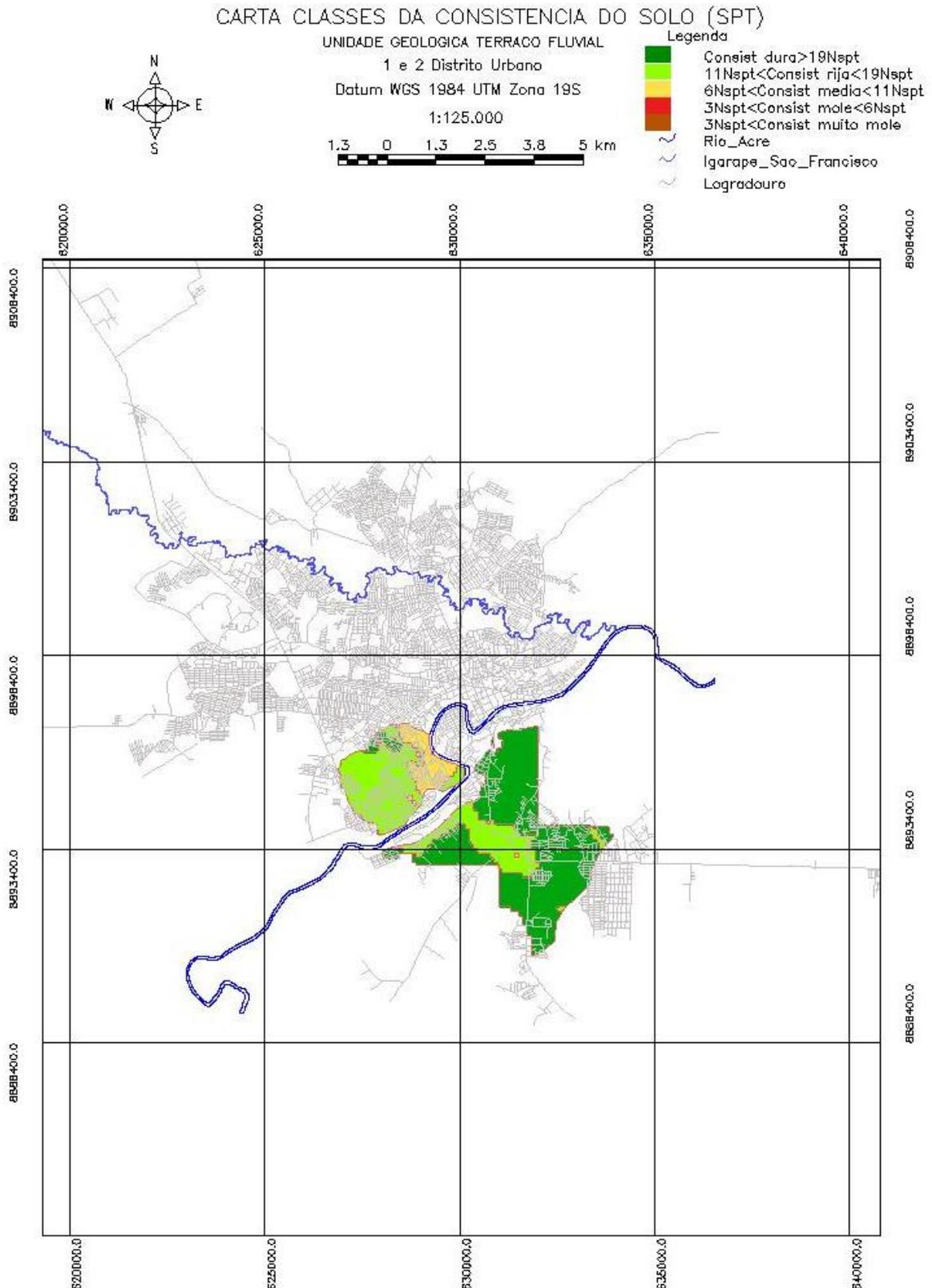


Figura 93 - Carta classes de resistência a penetração Nspt (golpes), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.3 Análise geoestatística dos atributos fração areia fina, silte e argila

A Figura 94, Figura 95 e Figura 96 apresentam as sínteses das modelagens da anisotropia do atributo fração areia fina, atributo fração silte, atributo fração argila, das áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

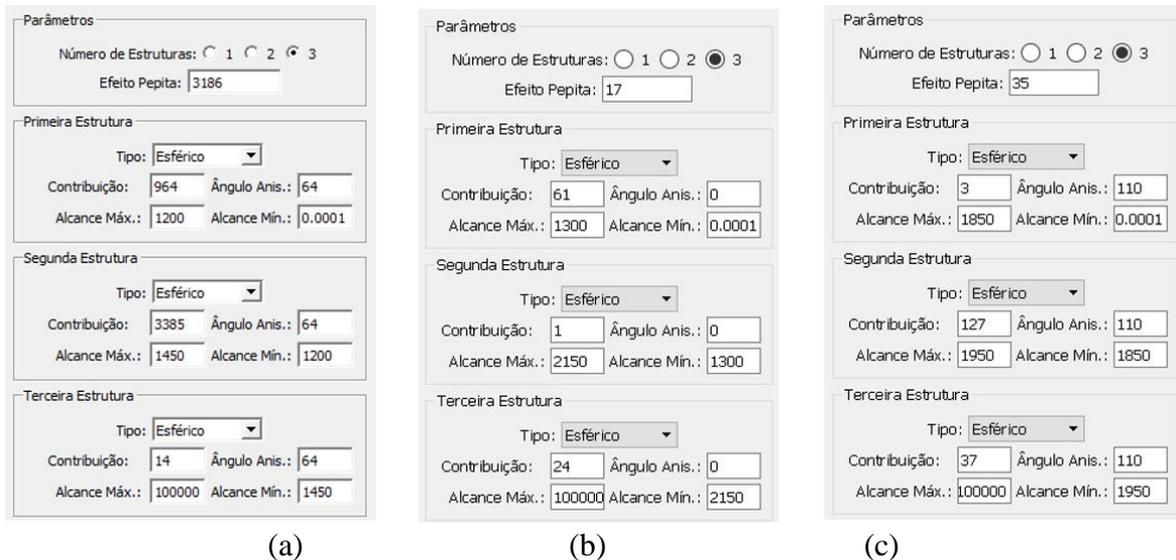


Figura 94 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo fração areia fina, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

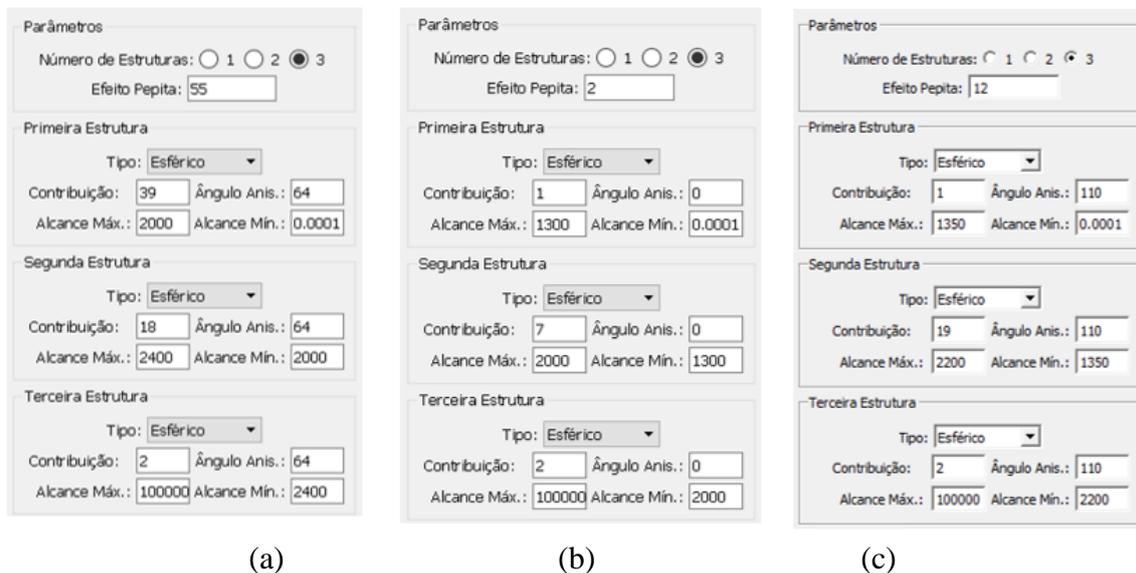


Figura 95 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo fração silte, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

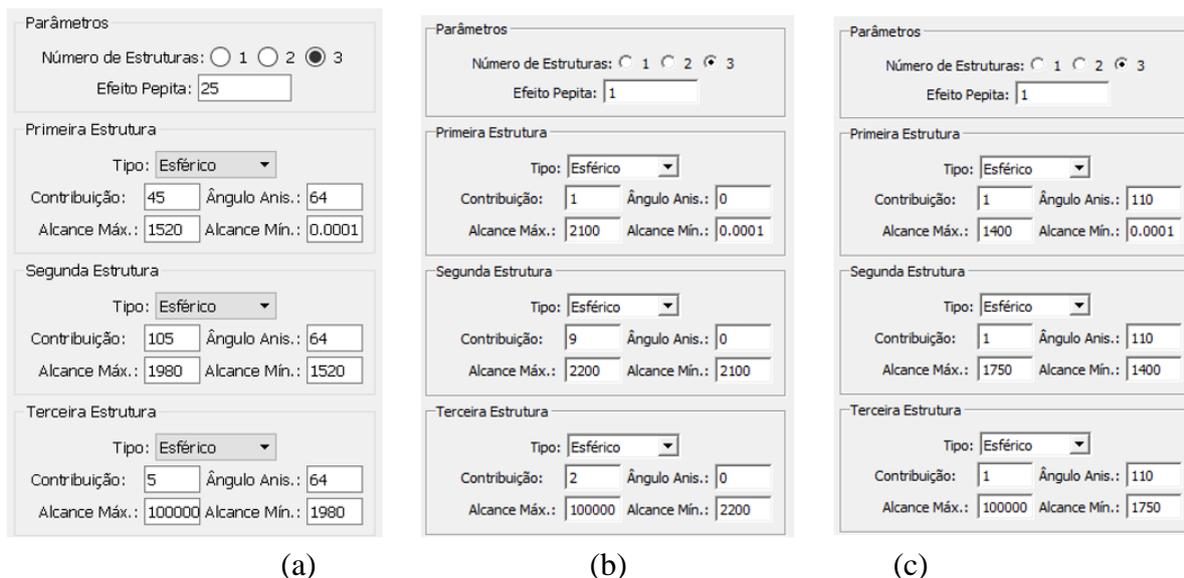


Figura 96 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo fração argila, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 40, Tabela 41 e Tabela 42 apresentam um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para os atributos fração areia fina, fração silte e fração argila.

Tabela 40 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo fração areia fina.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	28	0,40
2	21	0,57
3	32	0,57

Tabela 41 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo fração silte

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	23	0,62
2	11	0,92
3	23	0,88

Tabela 42 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo fração argila.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	34	0,84
2	37	0,92
3	13	0,98

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 97, Figura 98, Figura 99, Figura 100, Figura 101, Figura 102, Figura 103, Figura 104 e Figura 105.

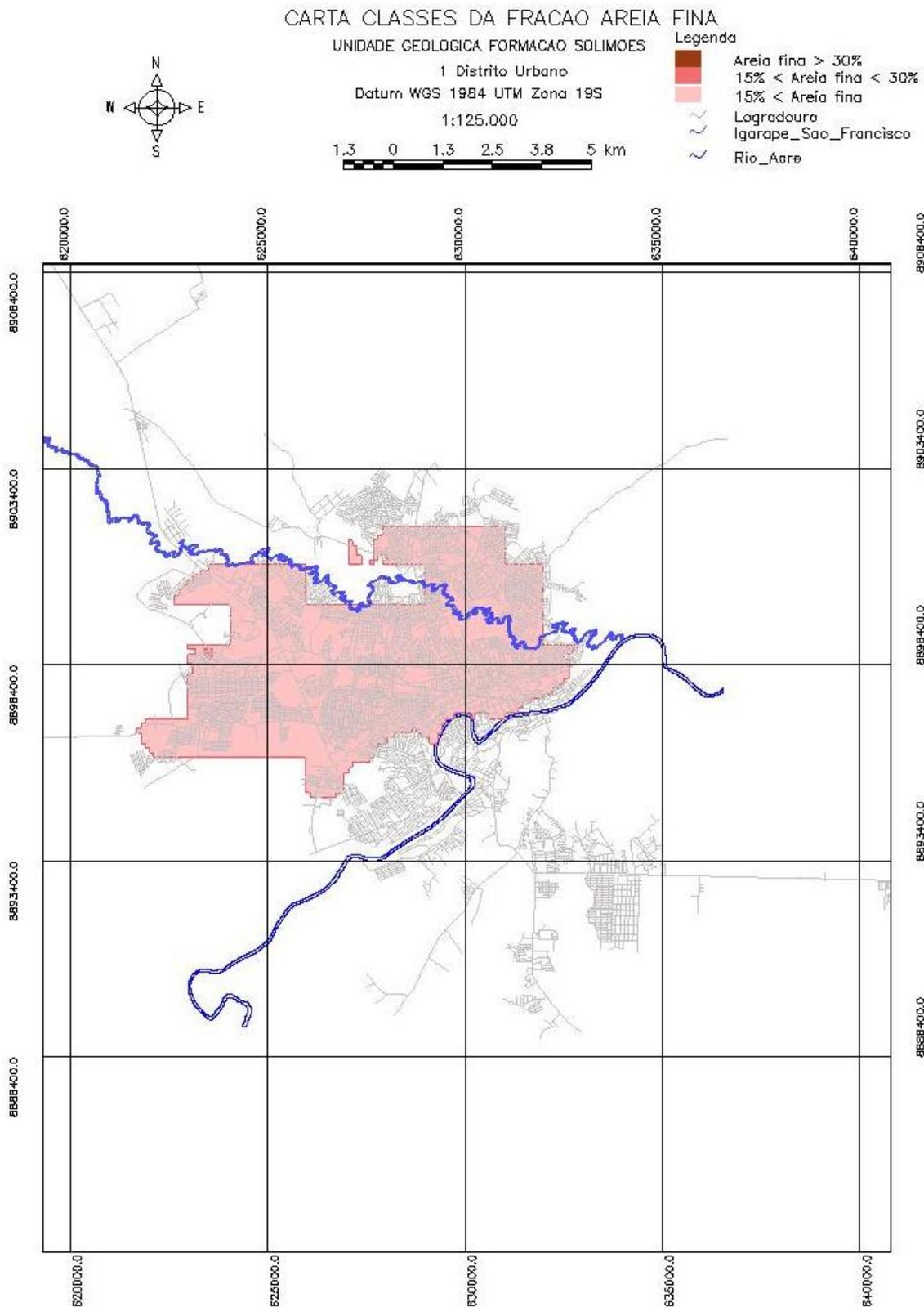


Figura 97 – Carta classes do atributo fração areia fina (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

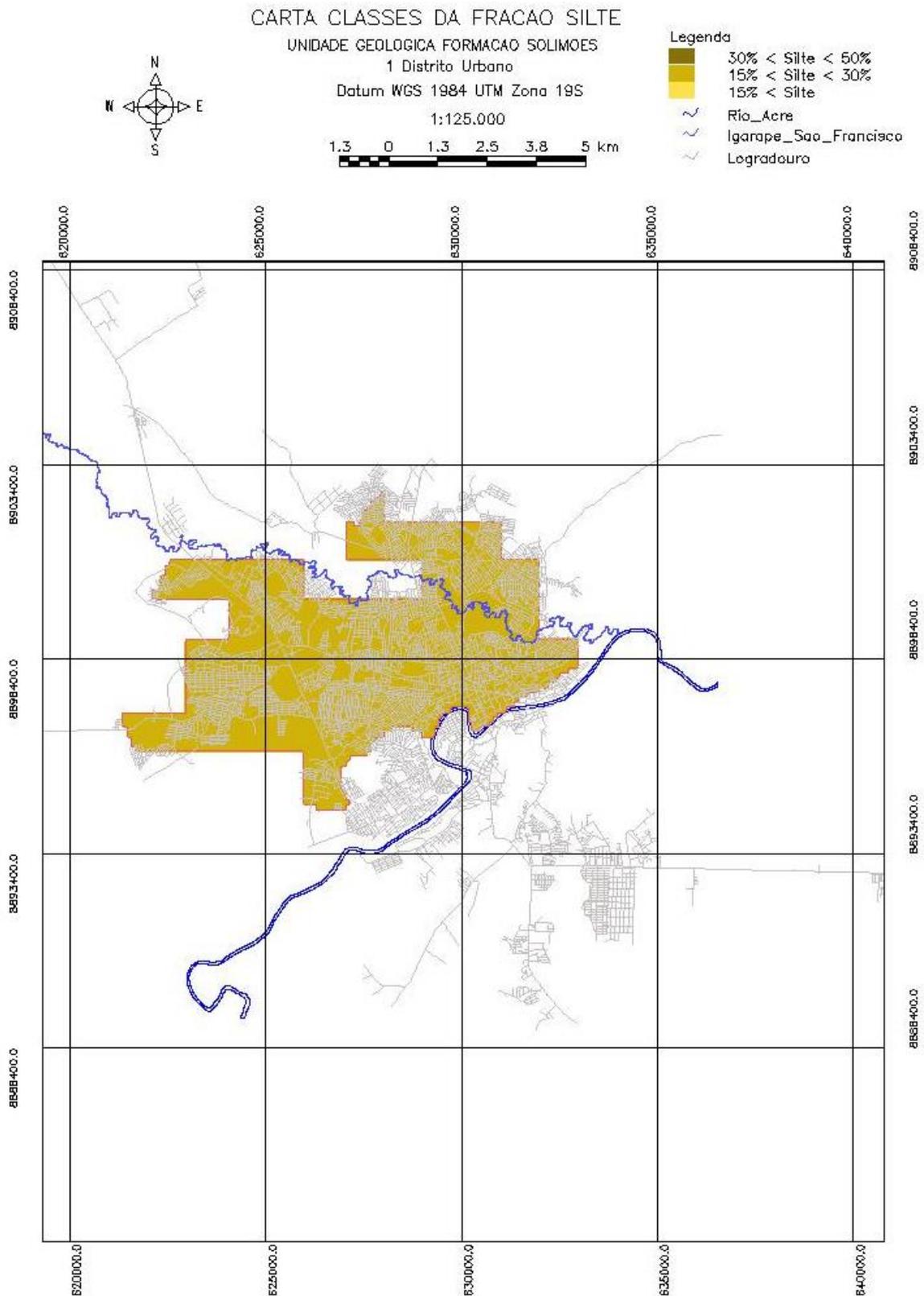


Figura 98 - Carta classes do atributo fração silte (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

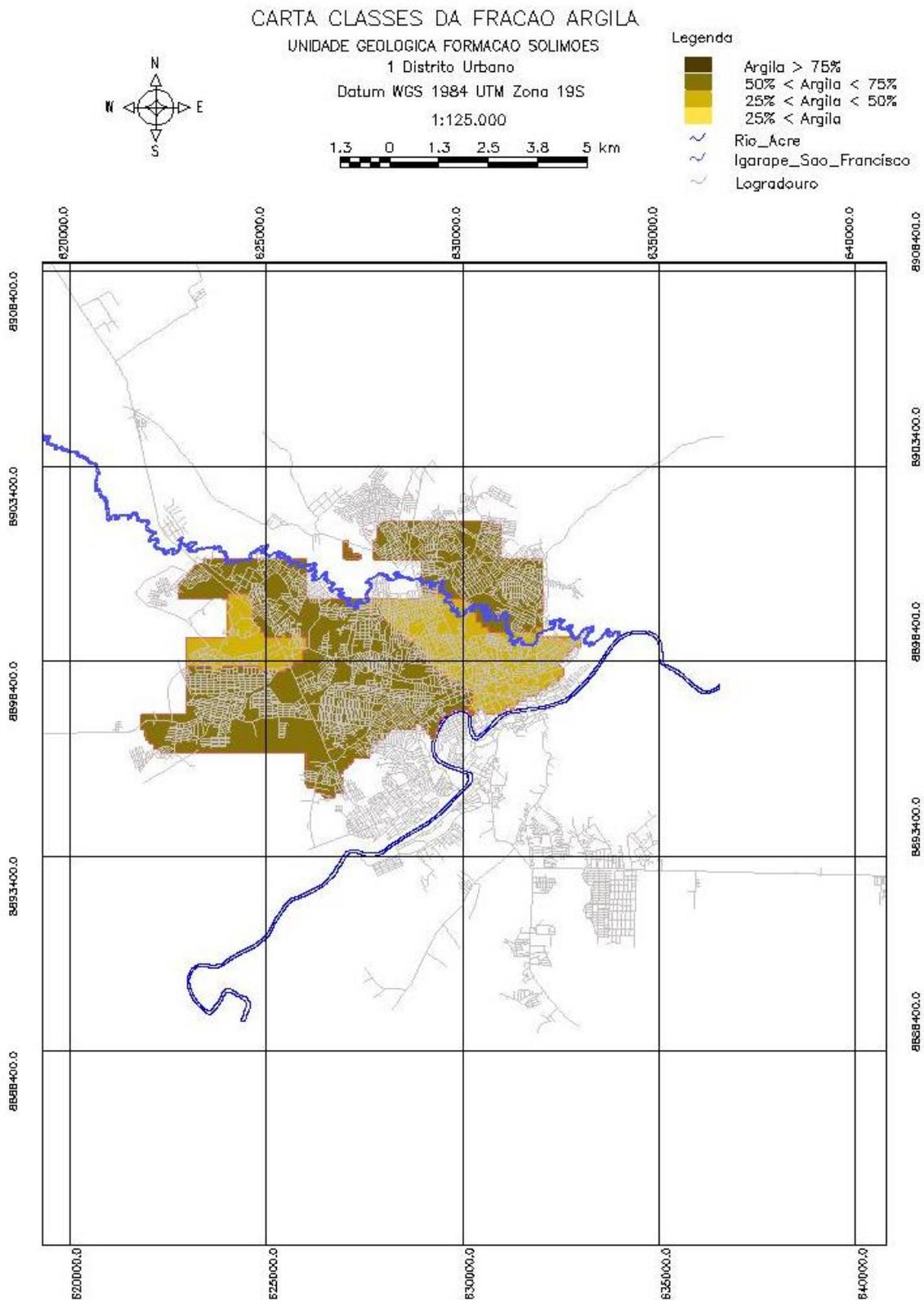


Figura 99 - Carta classes do atributo fração argila (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

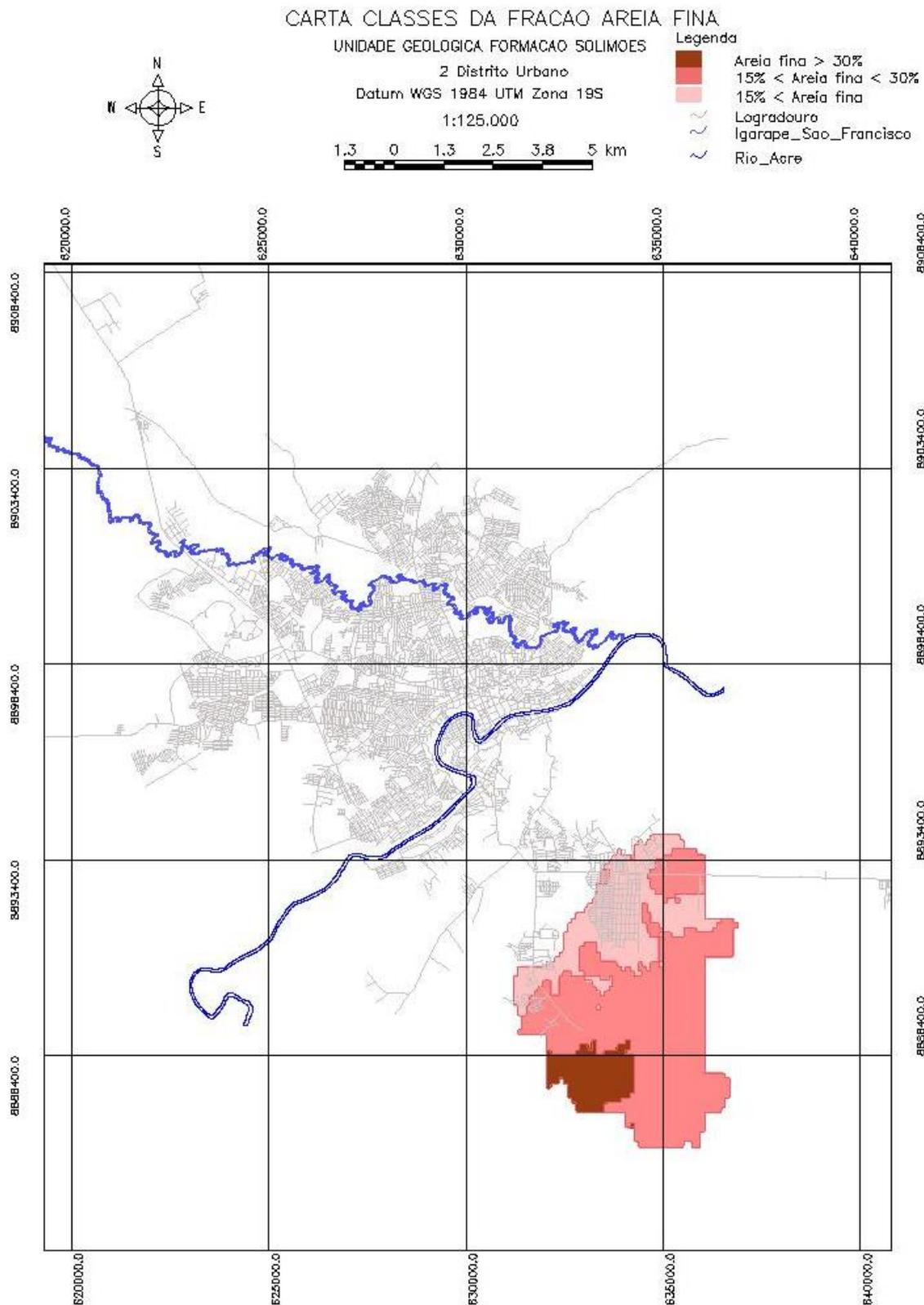


Figura 100 - Carta classes do atributo fração areia fina (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

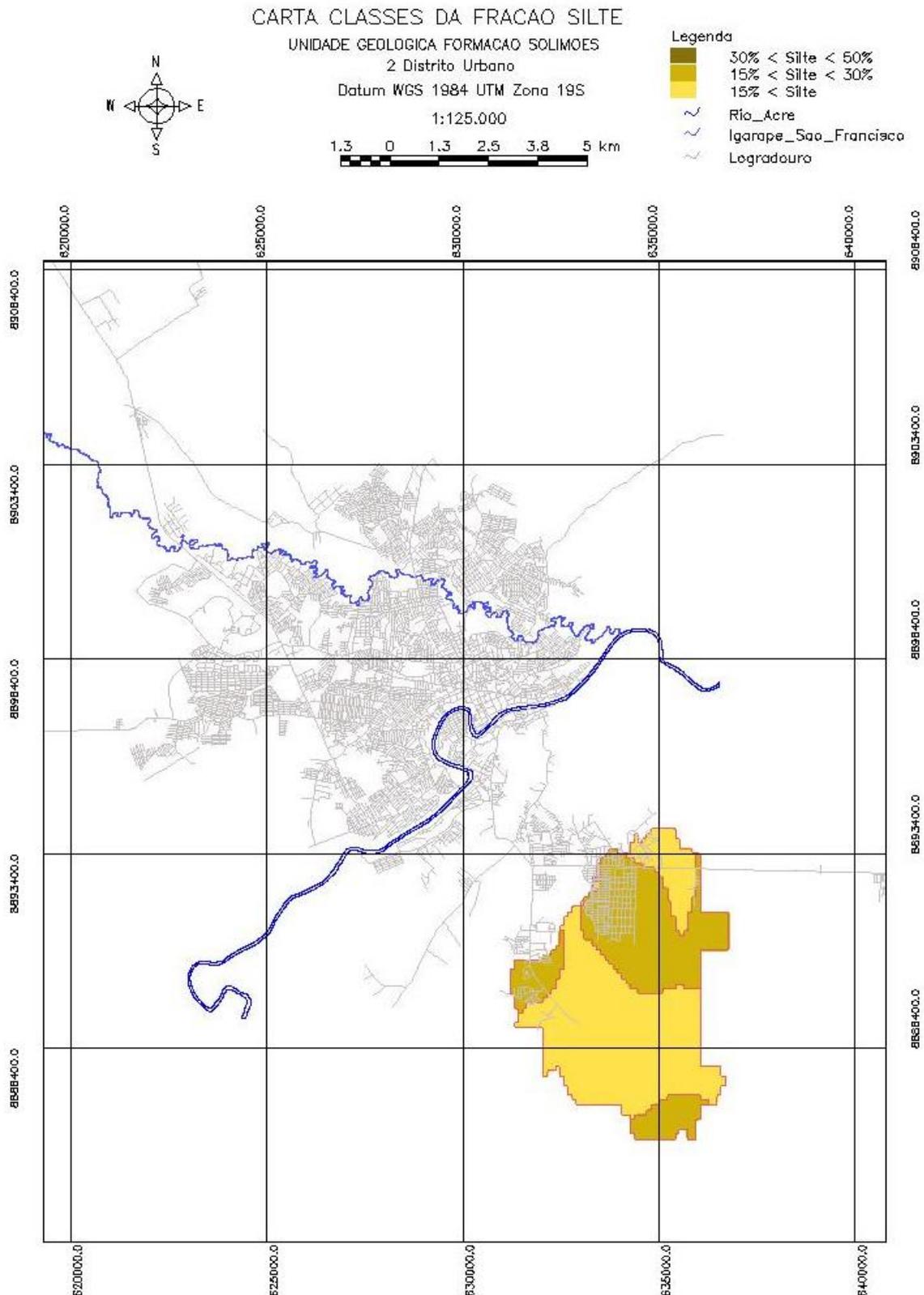


Figura 101 - Carta classes do atributo fração silte (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

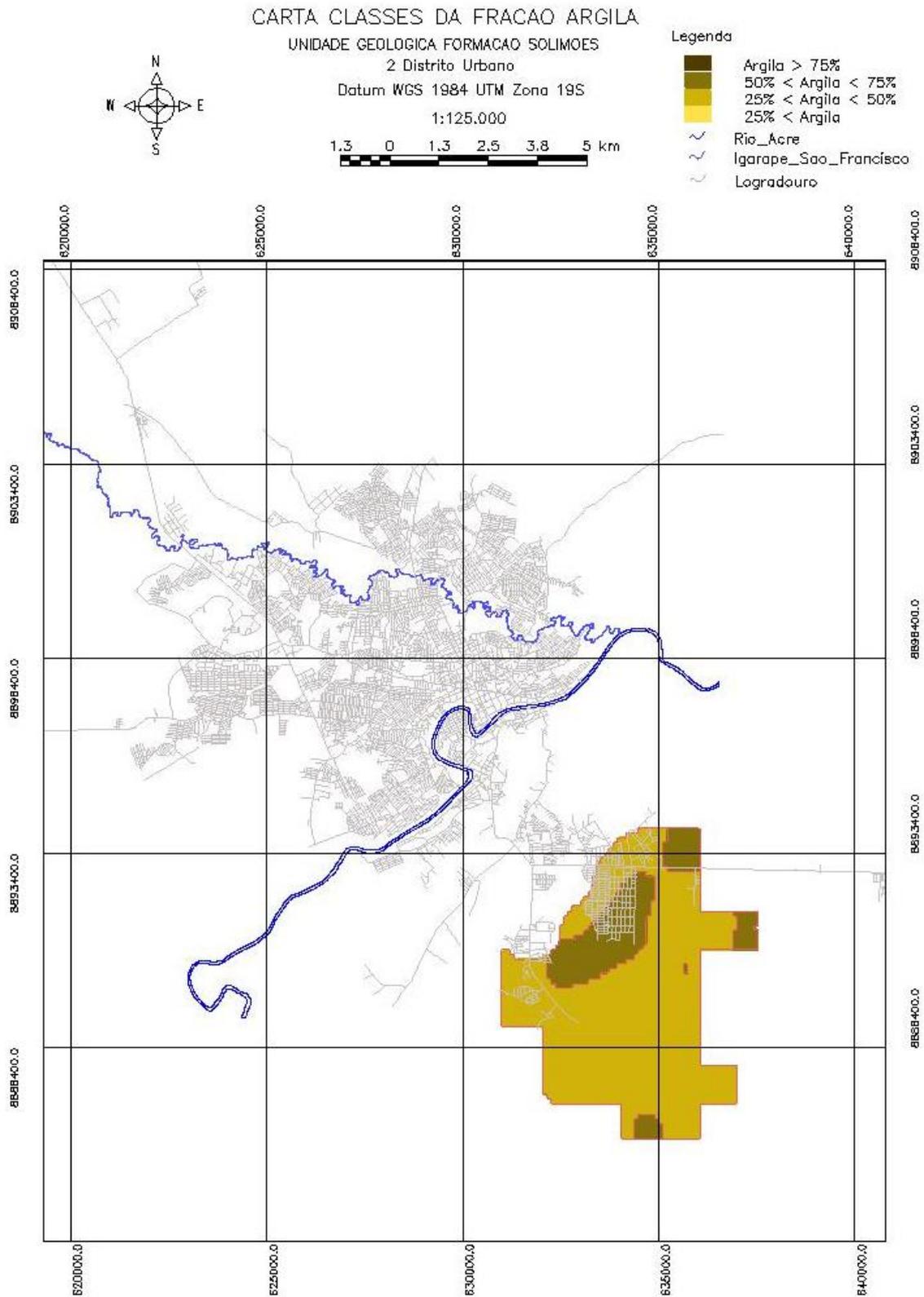


Figura 102 - Carta classes do atributo fração argila (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

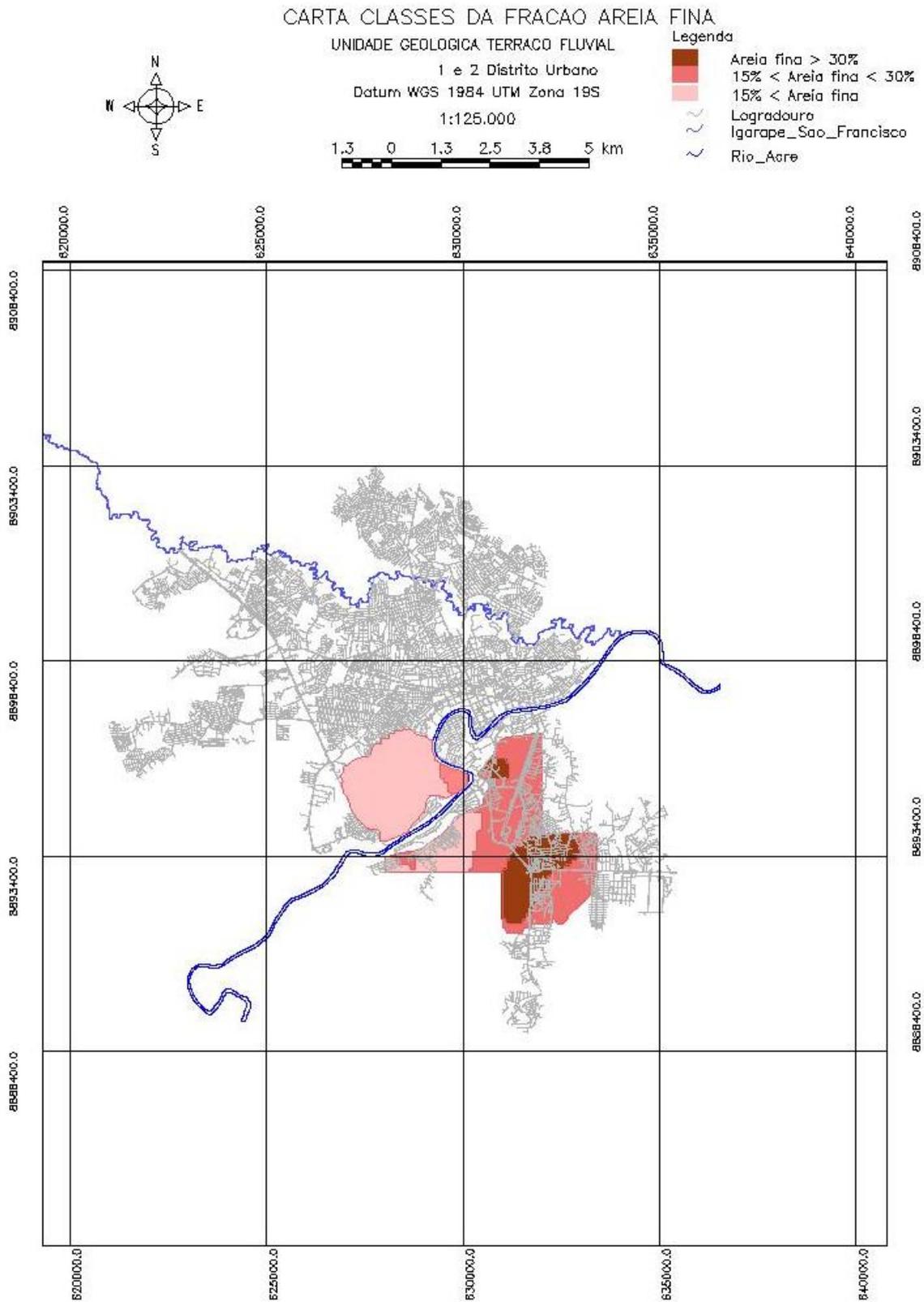


Figura 103 - Carta classes do atributo fração areia fina (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

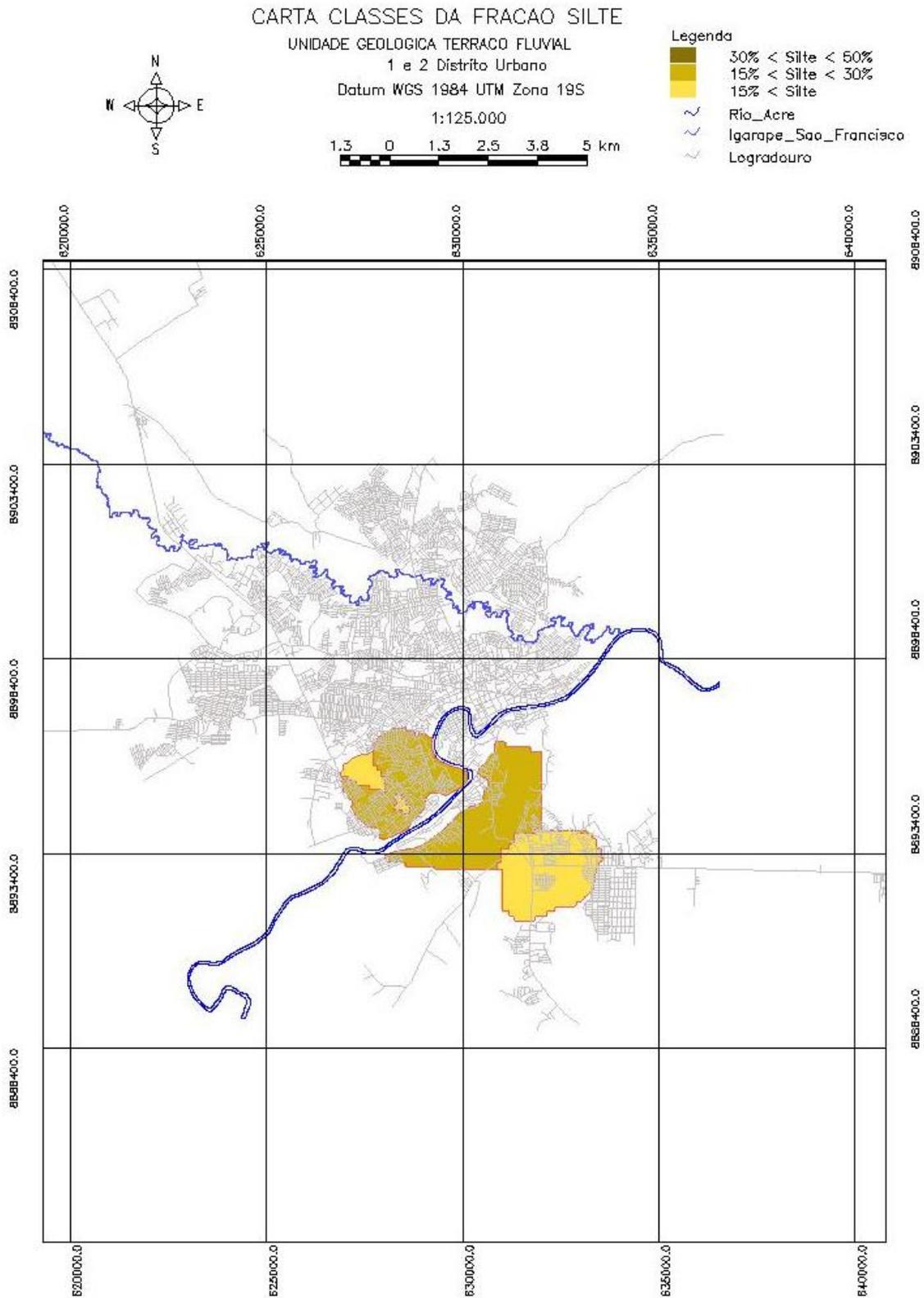


Figura 104 - Carta classes do atributo fração silte (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

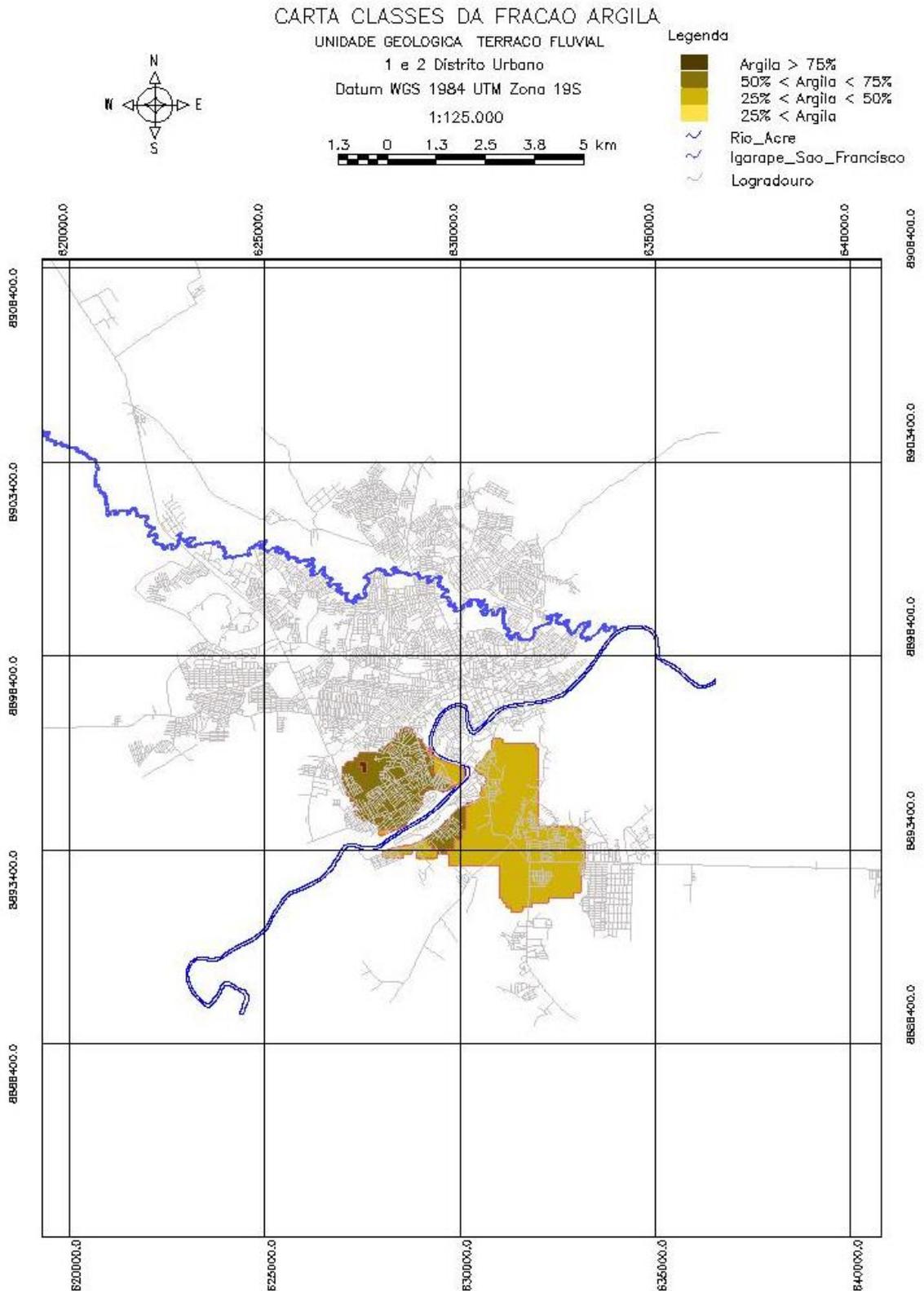


Figura 105 - Carta classes do atributo fração argila (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).

5.11.4 Análise geoestatística do atributo peso específico seco do solo

A Figura 106 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo peso específico seco do solo para as áreas 1, 2 e 3.

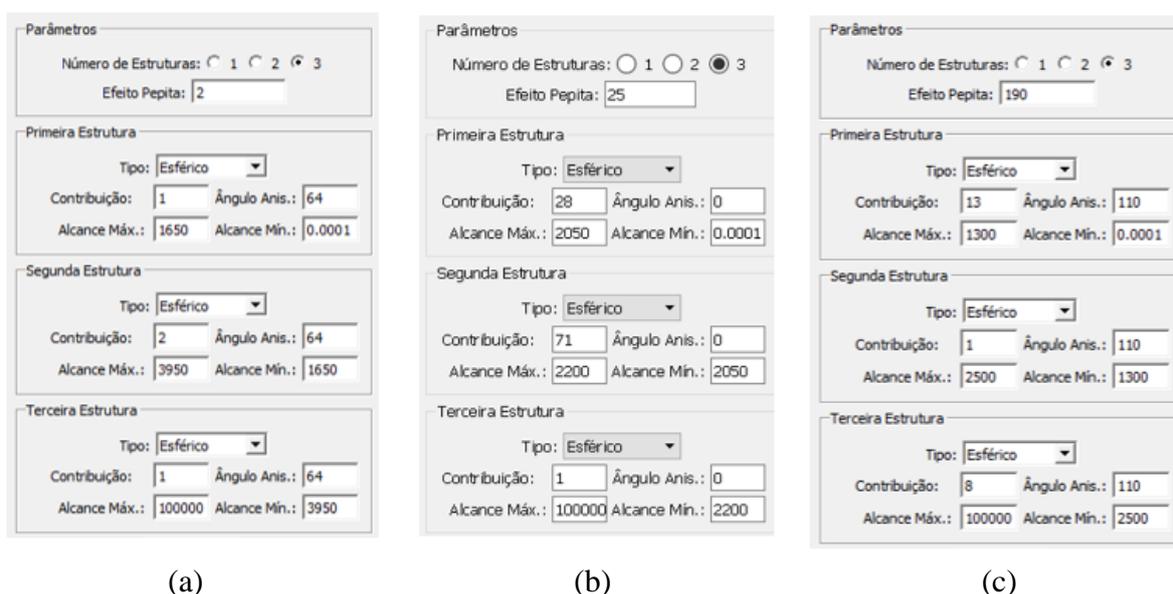


Figura 106 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo peso específico seco do solo, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 43 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo peso específico seco do solo.

Tabela 43 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo peso específico seco do solo.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	39	0,95
2	17	0,51
3	31	0,63

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 107, Figura 108 e Figura 109. O peso específico seco das classes menores que 17 kN/m³ estão relacionados aos solos com baixa capacidade de suporte para fundações superficiais.

CARTA CLASSES DO PESO ESPECIFICO SECO DO SOLO

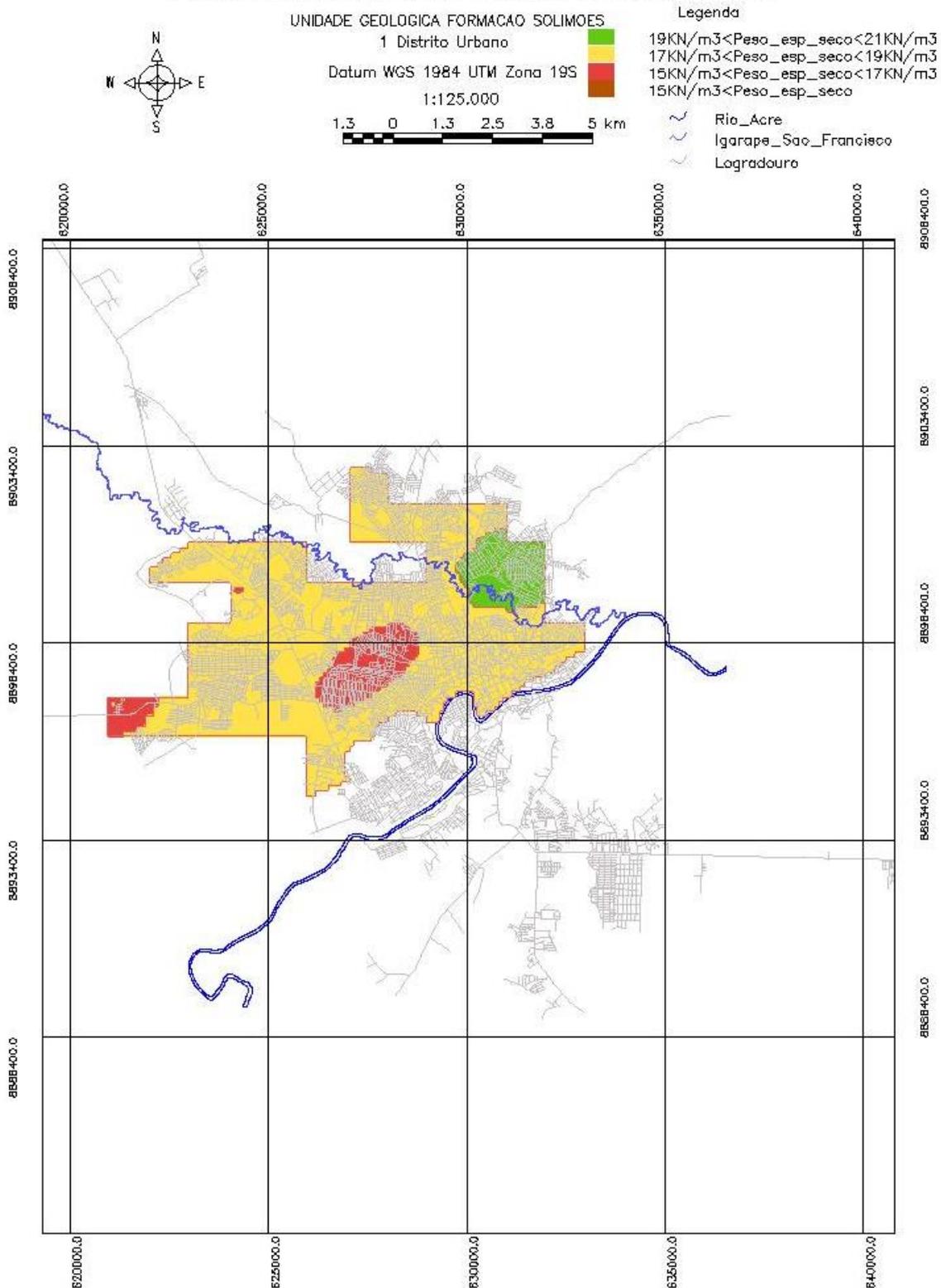


Figura 107 - Carta classes do atributo peso específico seco do solo ((kgf/m³), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

CARTA CLASSES DO PESO ESPECIFICO SECO DO SOLO

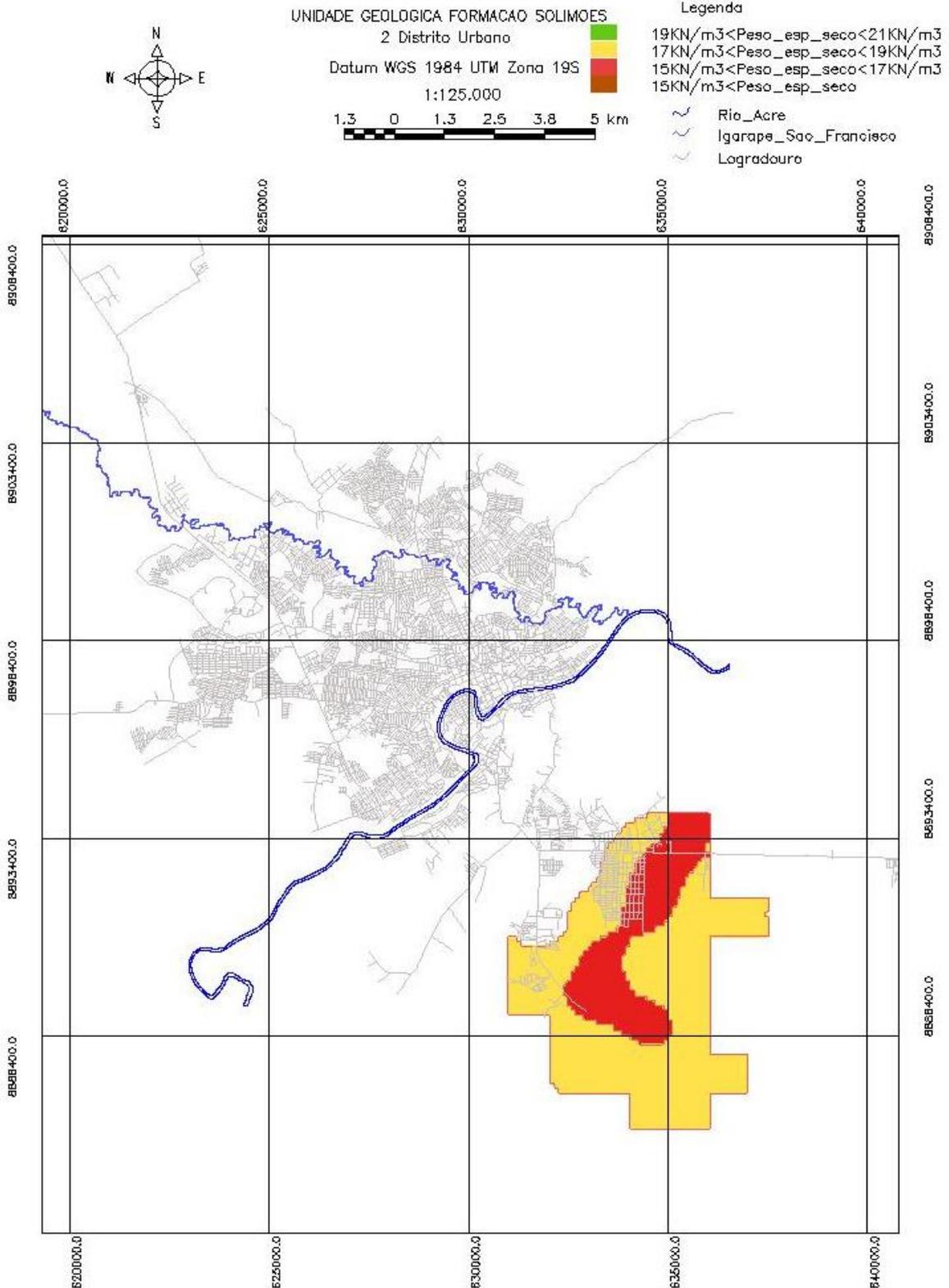


Figura 108 - Carta classes do atributo peso específico seco do solo (kgf/m^3), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

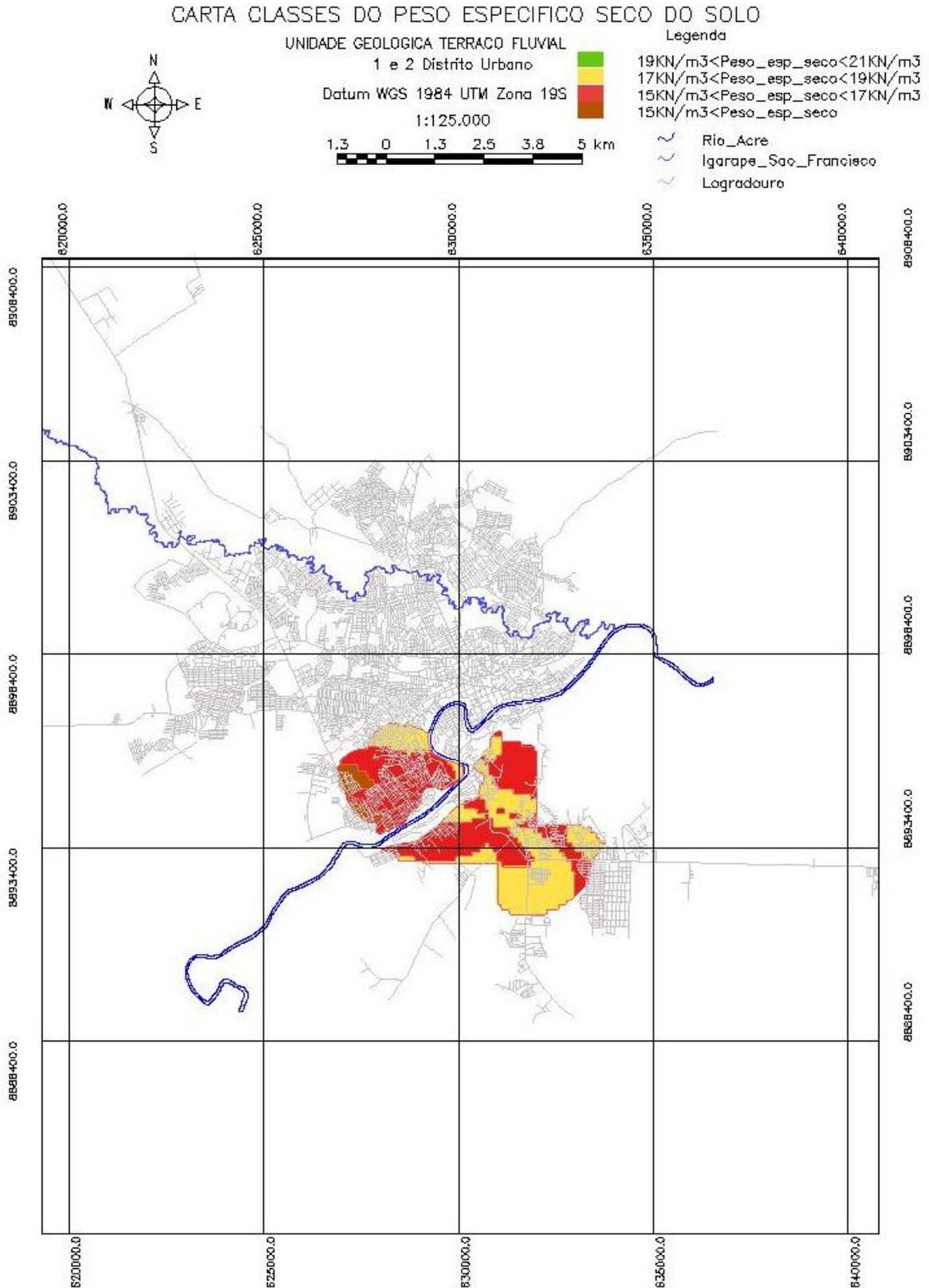


Figura 109 - Carta classes do atributo peso específico seco do solo (kgf/m³), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.5 Análise geoestatística da profundidade do nível d'água

A Figura 110 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia da profundidade do nível d'água, mensurado em poços escavados até 4 metros, para as áreas 1, 2 e 3.

The figure shows three panels of parameter settings for a geostatistical model. Each panel corresponds to a different area (1, 2, and 3). The parameters are as follows:

Área	Número de Estruturas	Efeito Pepita	Primeira Estrutura (Contribuição, Ângulo Anis., Alcance Máx., Alcance Mín.)	Segunda Estrutura (Contribuição, Ângulo Anis., Alcance Máx., Alcance Mín.)	Terceira Estrutura (Contribuição, Ângulo Anis., Alcance Máx., Alcance Mín.)
1	3	2	(1, 64, 1400, 0.0001)	(1, 64, 2800, 1400)	(1, 64, 100000, 2800)
2	3	3	(1, 0, 1450, 0.0001)	(3, 0, 1600, 1450)	(1, 0, 100000, 1600)
3	3	4	(2, 135, 1000, 0.0001)	(2, 135, 2300, 1000)	(1, 135, 100000, 2300)

Figura 110 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção, da profundidade do nível d'água, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 44 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para a profundidade do nível d'água.

Tabela 44 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para a profundidade do nível d'água.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	16	0,61
2	28	0,42
3	27	0,70

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 111, Figura 112 e Figura 113. A profundidade do nível d'água, quando próximo a superfície, em torno de 4 metros de profundidade, tem influência na redução da capacidade de suporte dos solos para fundações superficiais. A poro-pressão aumenta com nível d'água e há redução da tensão efetiva dos solos.

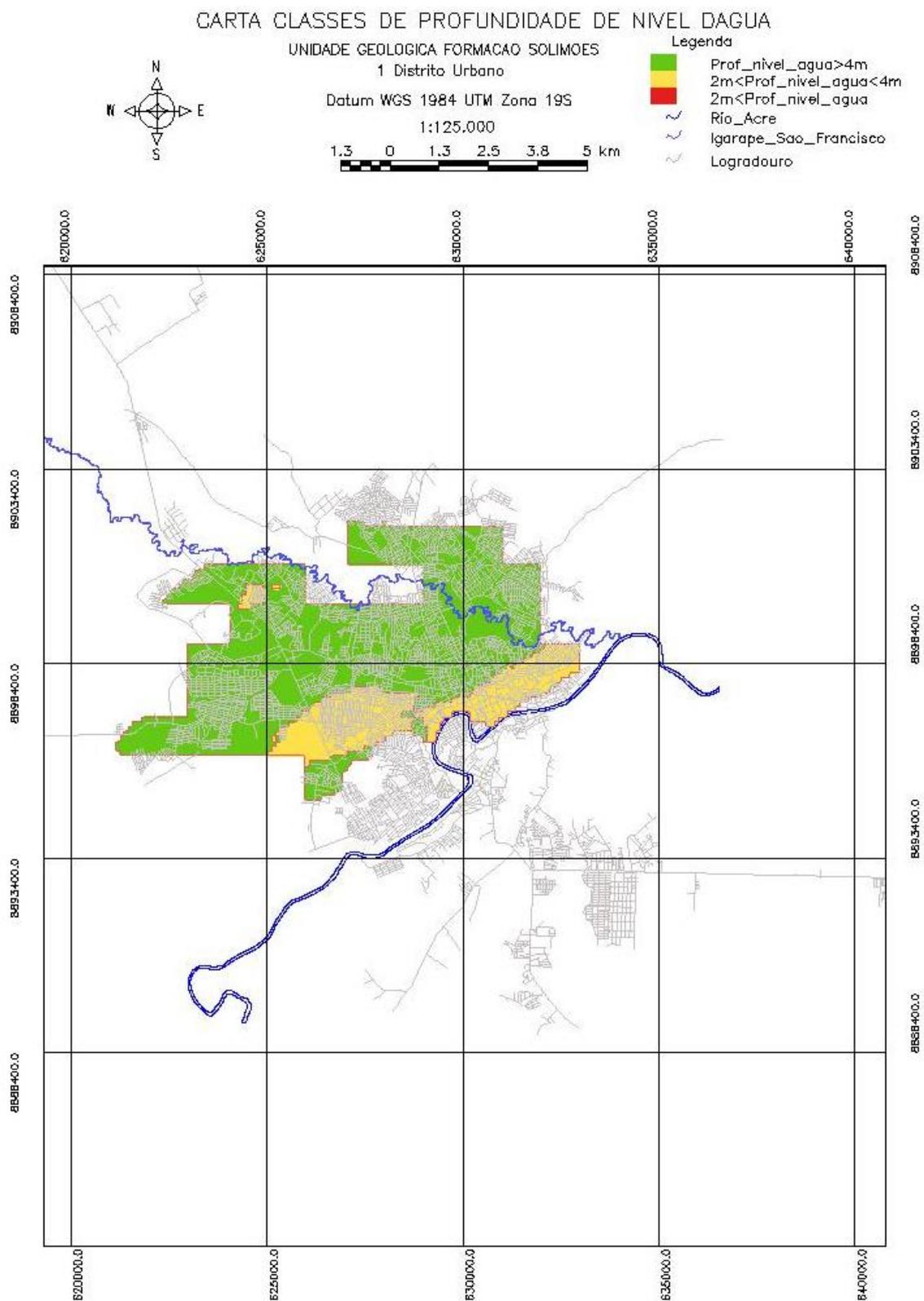


Figura 111 - Carta classes da profundidade do nível d'água (m), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

CARTA CLASSES DE PROFUNDIDADE DE NIVEL DAGUA

UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMOES

2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

Legenda

- Prof_nivel_agua > 4m
- 2m < Prof_nivel_agua < 4m
- 2m < Prof_nivel_agua
- Rio_Acre
- Igarape_Sao_Francisco
- Logradouro

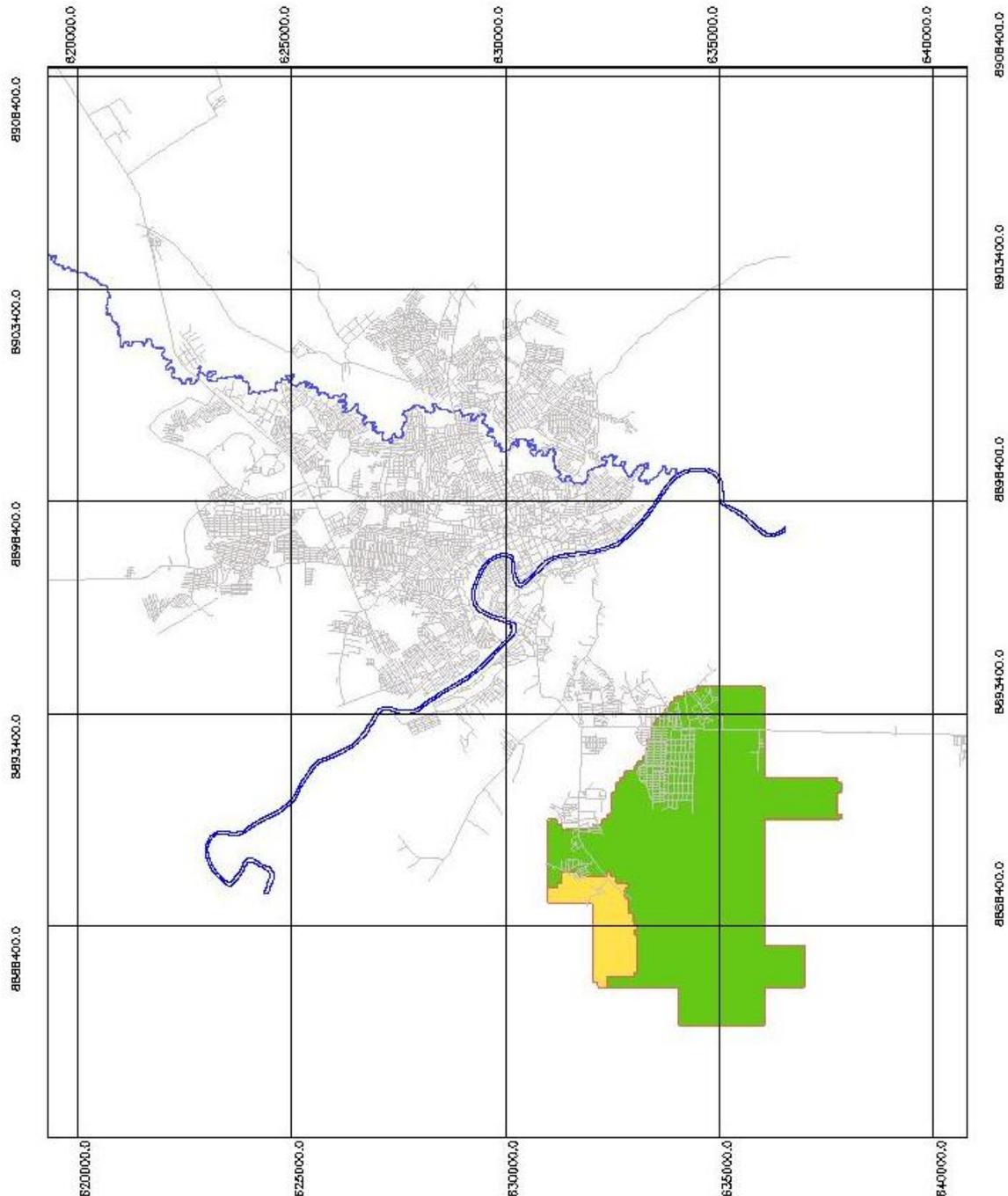


Figura 112 - Carta classes da profundidade do nível d'água (m), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES DE PROFUNDIDADE DE NIVEL D'AGUA

UNIDADE GEOLOGICA TERRACO FLUVIAL
1 e 2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

Legenda

- Prof_nivel_agua > 4m
- 2m < Prof_nivel_agua < 4m
- 2m < Prof_nivel_agua
- Rio_Acre
- Igarape_Sao_Francisco
- Logradouro

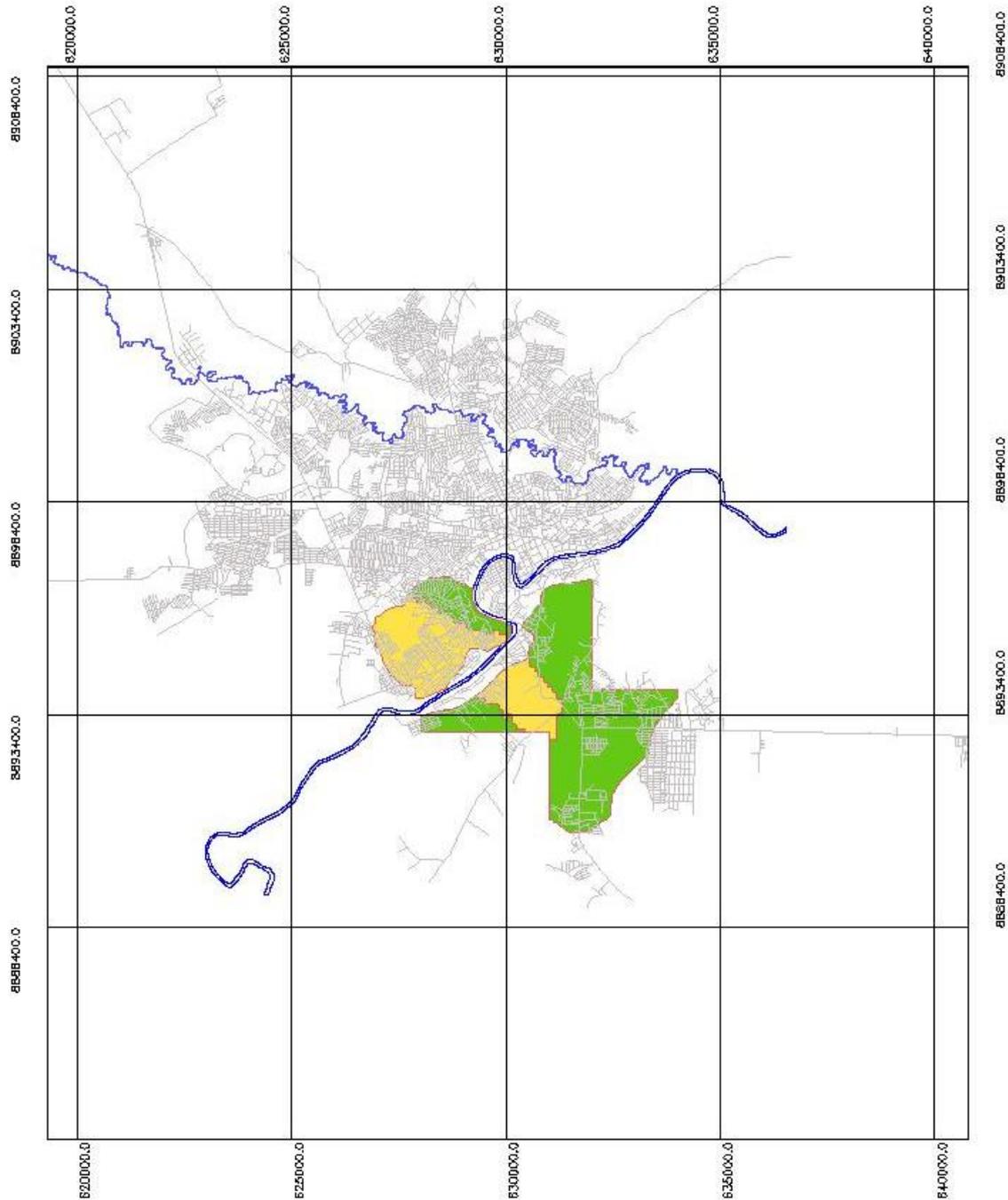


Figura 113 - Carta classes da profundidade do nível d'água no solo (m), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.6 Análise geoestatística do atributo umidade natural dos solos

A Figura 114 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia da umidade natural dos solos, para as áreas 1, 2 e 3.

The figure shows three panels (a, b, and c) representing parameter settings for a semivariogram model. Each panel includes a 'Parâmetros' section with 'Número de Estruturas' (radio buttons for 1, 2, 3) and 'Efeito Pepita' (text input). Below are three 'Estrutura' sections, each with 'Tipo' (dropdown menu), 'Contribuição' (text input), 'Ângulo Anis.' (text input), 'Alcance Máx.' (text input), and 'Alcance Mín.' (text input).

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura
(a)	Número de Estruturas: 3; Efeito Pepita: 42	Tipo: Esférico; Contribuição: 5; Ângulo Anis.: 64; Alcance Máx.: 1500; Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico; Contribuição: 14; Ângulo Anis.: 64; Alcance Máx.: 1700; Alcance Mín.: 1500	Tipo: Esférico; Contribuição: 21; Ângulo Anis.: 64; Alcance Máx.: 100000; Alcance Mín.: 1700
(b)	Número de Estruturas: 3; Efeito Pepita: 58	Tipo: Esférico; Contribuição: 23; Ângulo Anis.: 0; Alcance Máx.: 1200; Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico; Contribuição: 25; Ângulo Anis.: 0; Alcance Máx.: 2960; Alcance Mín.: 1200	Tipo: Esférico; Contribuição: 16; Ângulo Anis.: 0; Alcance Máx.: 100000; Alcance Mín.: 2960
(c)	Número de Estruturas: 3; Efeito Pepita: 1	Tipo: Esférico; Contribuição: 1; Ângulo Anis.: 110; Alcance Máx.: 1700; Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico; Contribuição: 1; Ângulo Anis.: 110; Alcance Máx.: 1850; Alcance Mín.: 1700	Tipo: Esférico; Contribuição: 2; Ângulo Anis.: 110; Alcance Máx.: 100000; Alcance Mín.: 1850

Figura 114 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo umidade natural dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 45 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo umidade natural dos solos.

Tabela 45 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo umidade natural dos solos.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	22	0,89
2	21	0,70
3	5	0,98

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 115, Figura 116 e Figura 117. Na Figura 79 foi apresentada a relação da umidade natural dos solos versus a resistência a penetração do cone panda Qd, quanto maior a umidade natural dos solos, menor a resistência a penetração do cone panda Qd, para as áreas 1, 2 e 3.

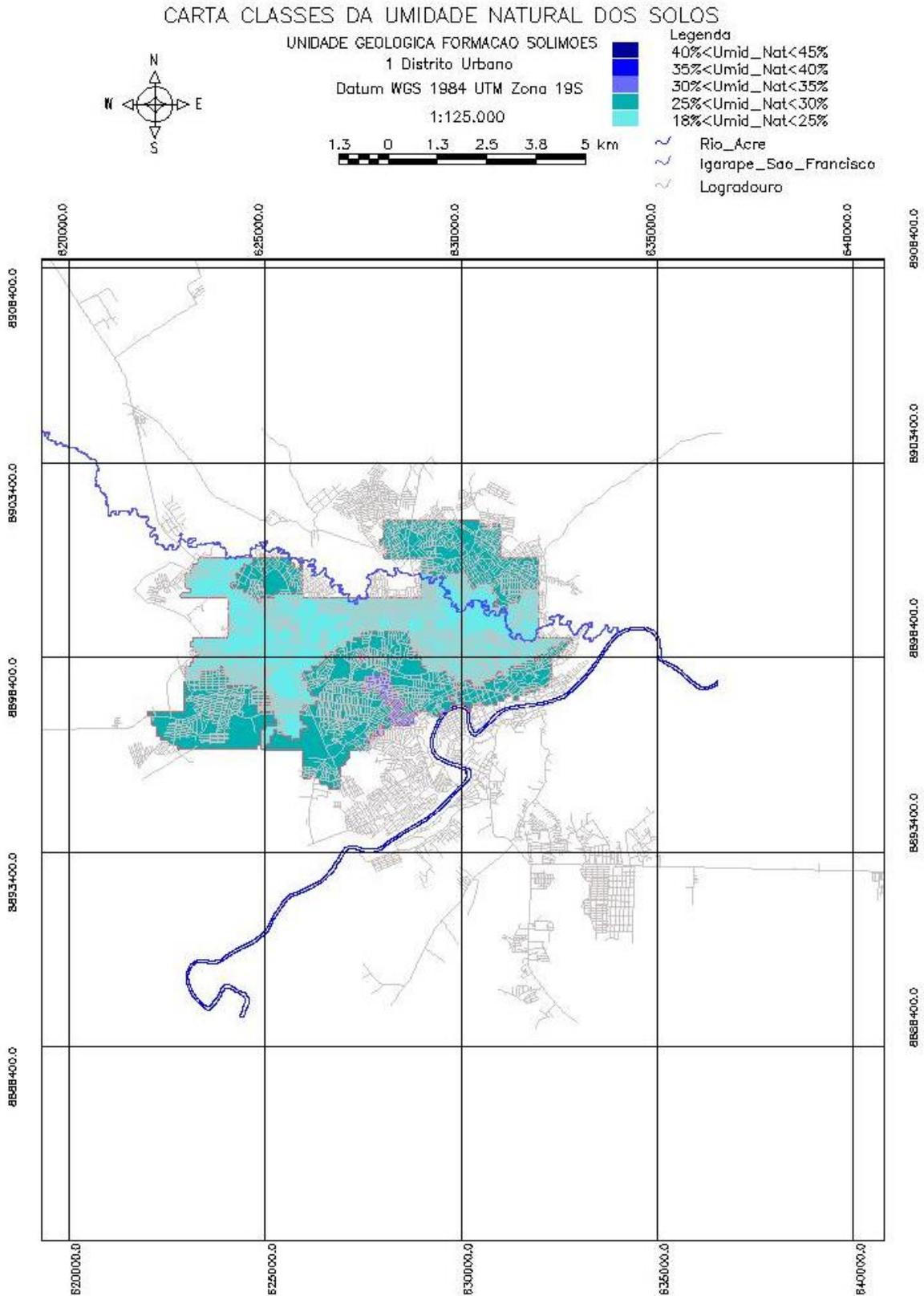


Figura 115 - Carta classes do atributo umidade natural dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

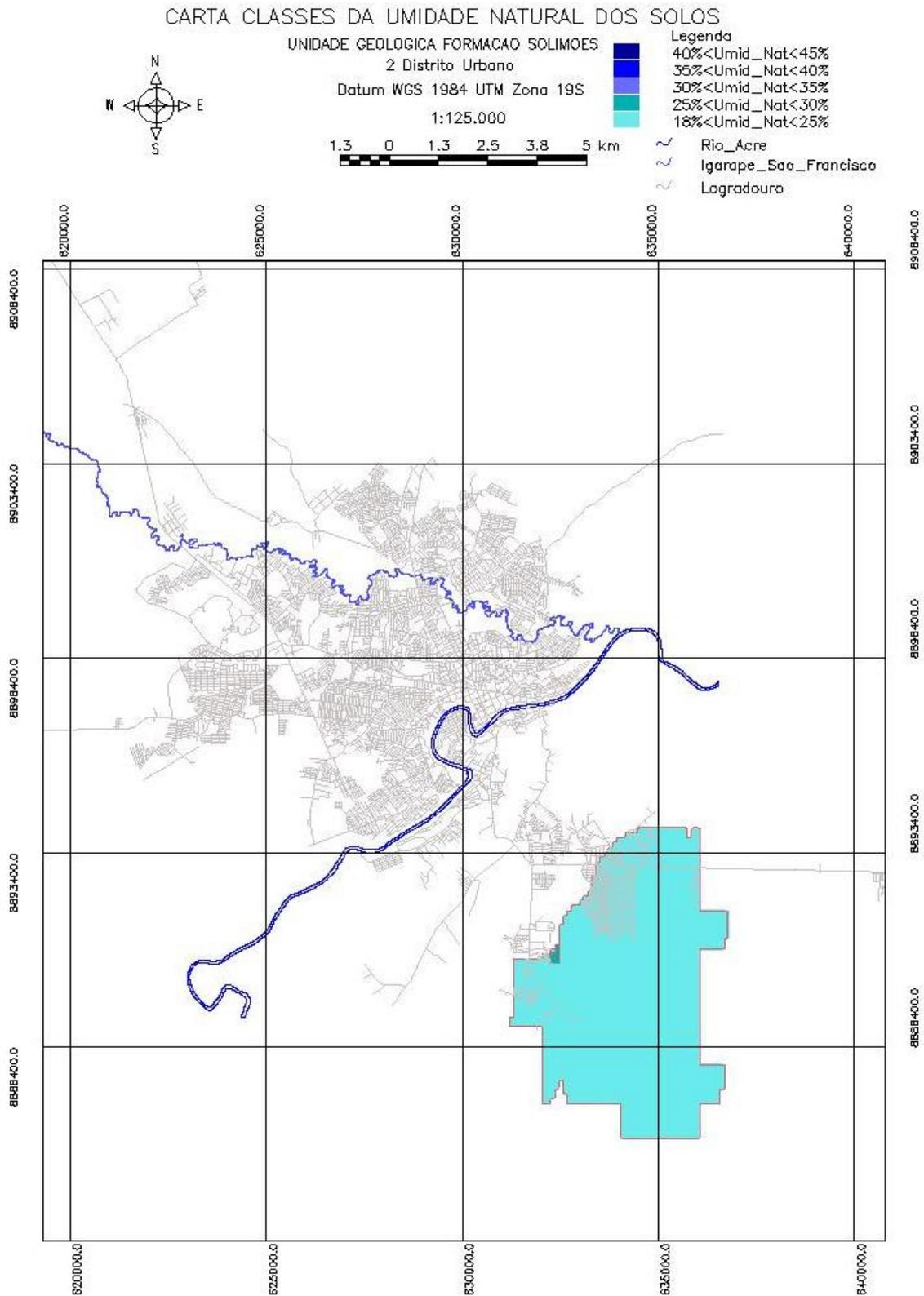


Figura 116 - Carta classes do atributo umidade natural dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

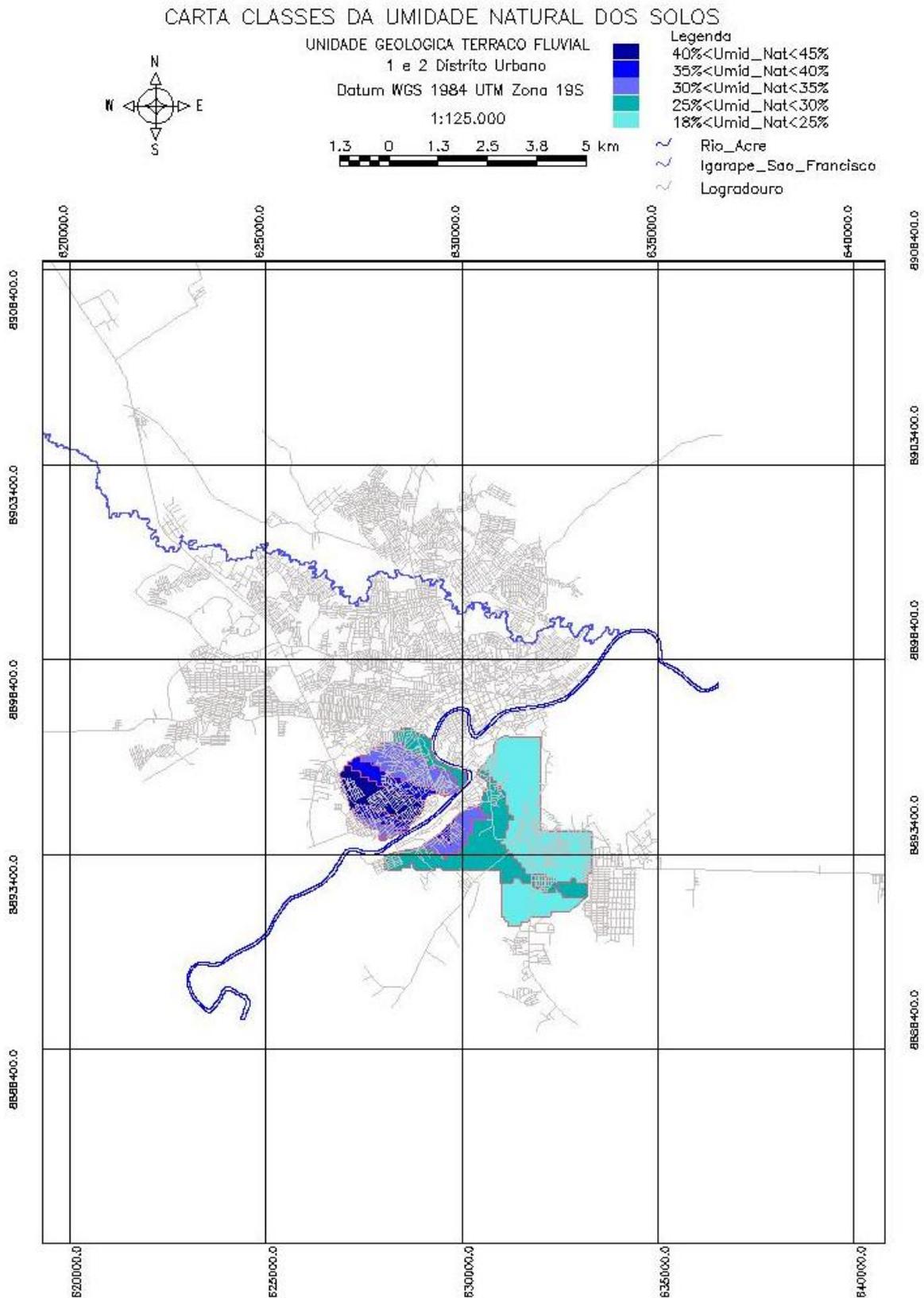


Figura 117 - Carta classes do atributo umidade natural dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).

5.11.7 Análise geoestatística do atributo índice de consistência dos solos

A Figura 118 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo índice de consistência dos solos, para as áreas 1, 2 e 3.

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura		
1	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 43	Tipo: Esférico Contribuição: 28, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 1850, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 31, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 2350, Alcance Mín.: 1850	Tipo: Esférico Contribuição: 2, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2350		
	2	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 3	Tipo: Esférico Contribuição: 105, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 1250, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 1600, Alcance Mín.: 1250	Tipo: Esférico Contribuição: 8, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 1600	
		3	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 3	Tipo: Esférico Contribuição: 5, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 2500, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 6, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 2800, Alcance Mín.: 2500	Tipo: Esférico Contribuição: 3, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2800

Figura 118 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de consistência dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 46 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de consistência dos solos.

Tabela 46 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de consistência dos solos.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	39	0,65
2	30	0,60
3	27	0,40

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 119, Figura 120 e Figura 121. Os valores de índice de consistência menores que 0,65 estão relacionados a solos com baixa capacidade de suporte para fundações superficiais.

CARTA CLASSES DO INDICE DE CONSISTENCIA DOS SOLOS

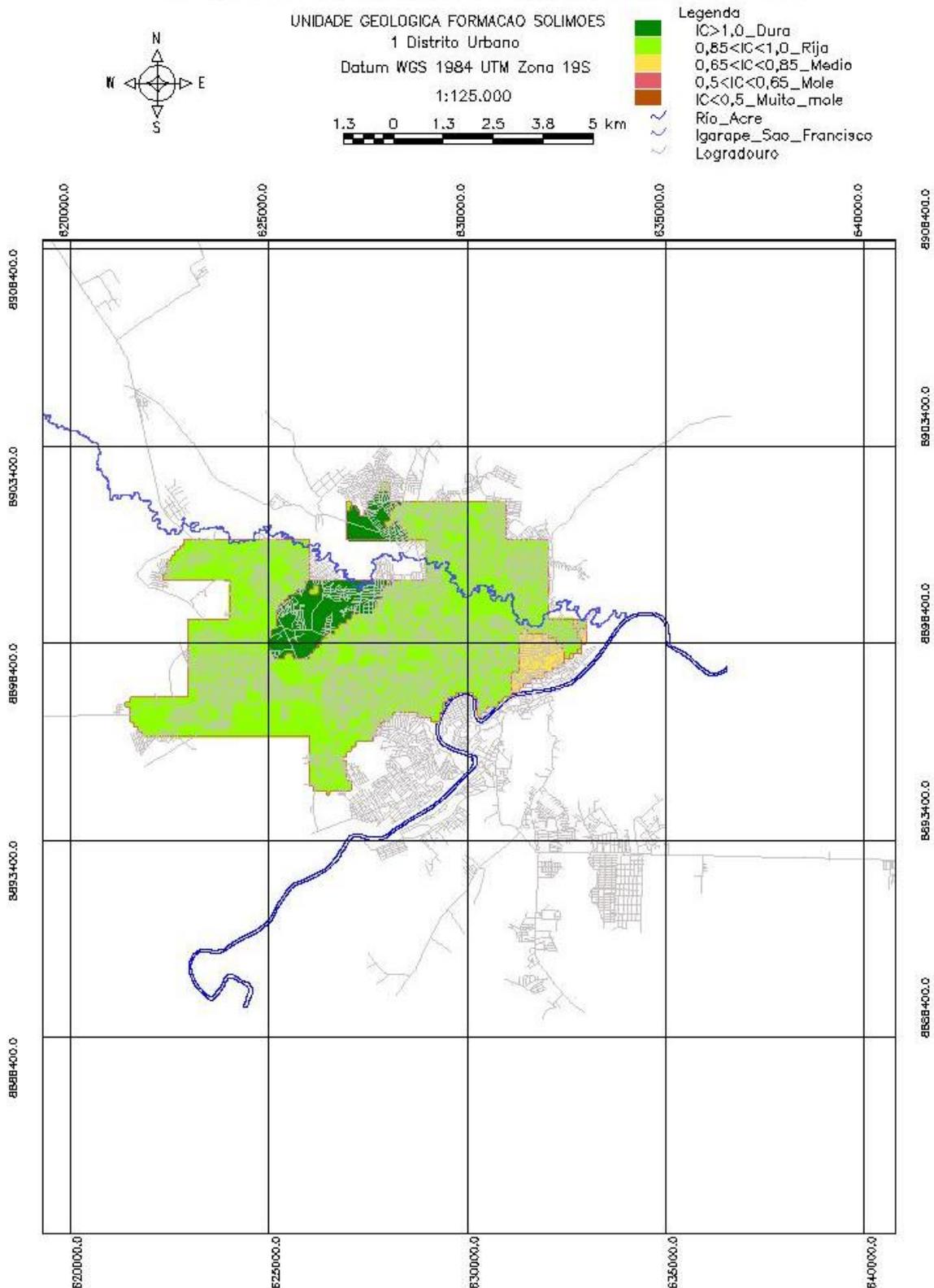


Figura 119 - Carta classes do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

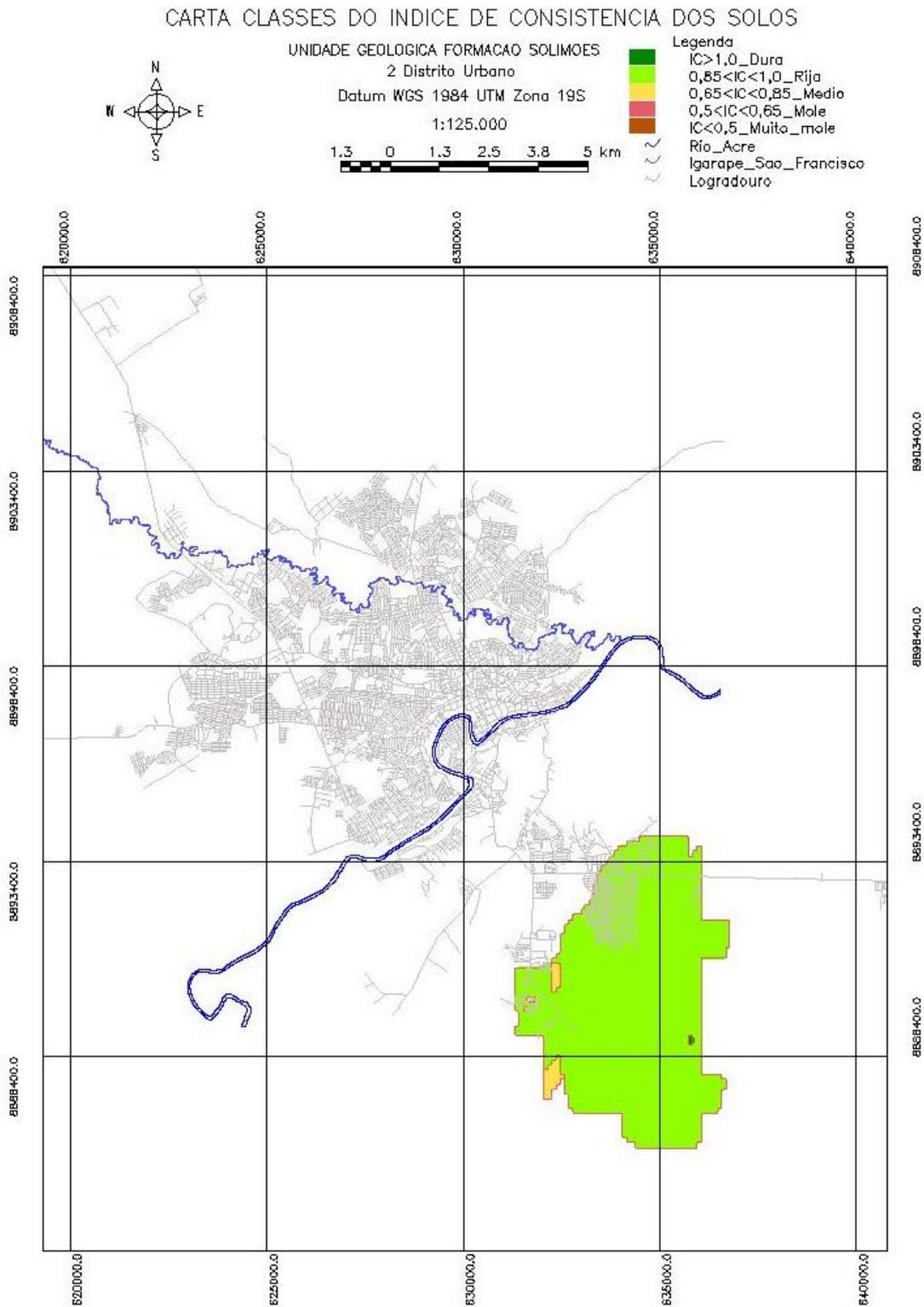


Figura 120 - Carta classes do atributo índice de peso específico seco do solo (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES DO INDICE DE CONSISTENCIA DOS SOLOS

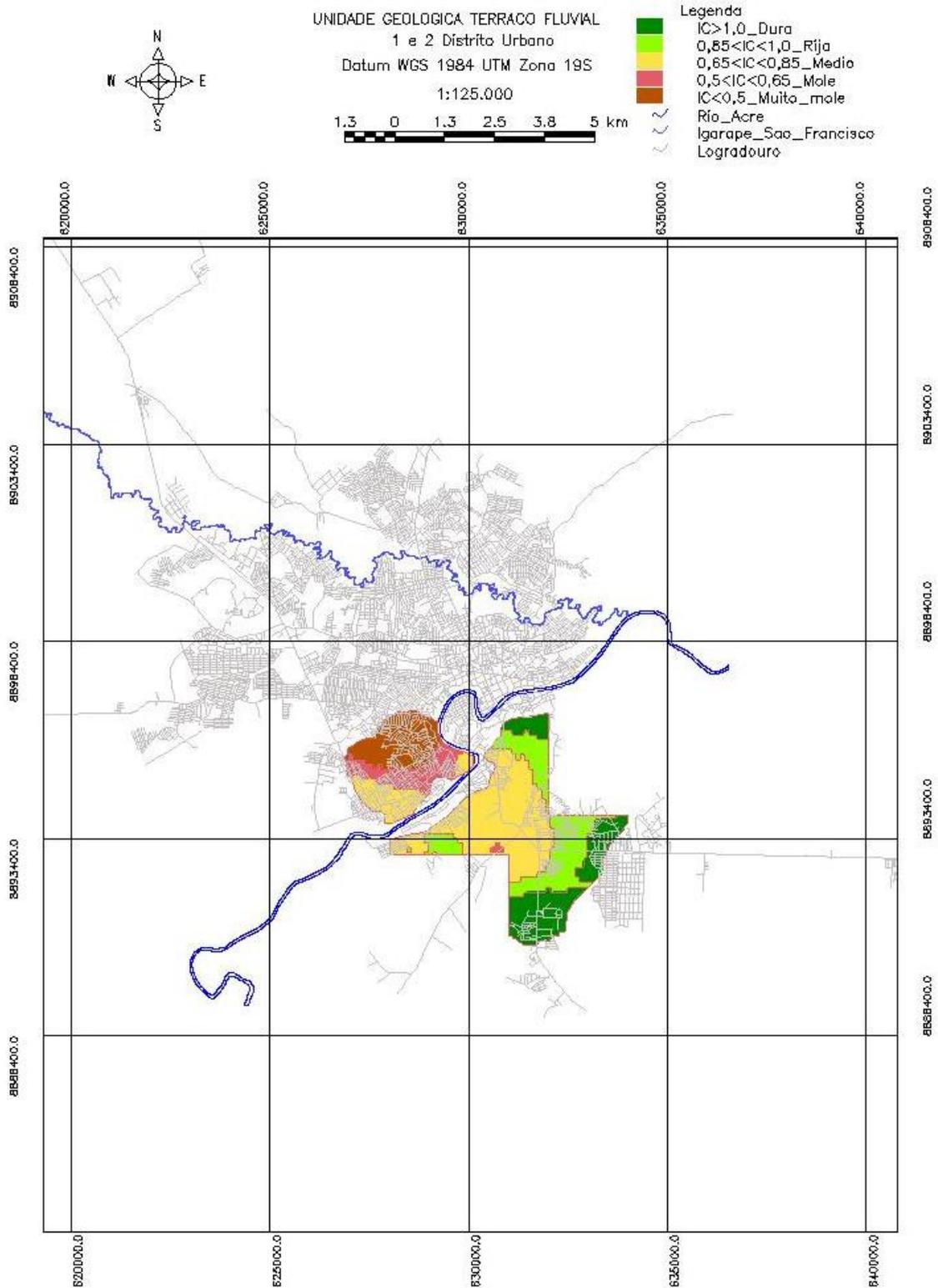


Figura 121 - Carta classes do atributo índice de consistência dos solos (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.8 Análise geoestatística do atributo peso específico real dos grãos

A Figura 122 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo peso específico real dos grãos, para as áreas 1, 2 e 3.

The figure shows three panels of parameter settings for a geostatistical model. Each panel is titled 'Parâmetros' and contains three sections: 'Primeira Estrutura', 'Segunda Estrutura', and 'Terceira Estrutura'. Each section includes a 'Tipo' dropdown menu (set to 'Esférico'), a 'Contribuição' input field, an 'Ângulo Anis.' input field, and 'Alcance Máx.' and 'Alcance Mín.' input fields. The 'Número de Estruturas' is set to 3 in all panels, and 'Efeito Pepita' is set to 54 in panel (a) and 1 in panels (b) and (c).

Panel	Primeira Estrutura Contribuição	Primeira Estrutura Ângulo Anis.	Primeira Estrutura Alcance Máx.	Primeira Estrutura Alcance Mín.	Segunda Estrutura Contribuição	Segunda Estrutura Ângulo Anis.	Segunda Estrutura Alcance Máx.	Segunda Estrutura Alcance Mín.	Terceira Estrutura Contribuição	Terceira Estrutura Ângulo Anis.	Terceira Estrutura Alcance Máx.	Terceira Estrutura Alcance Mín.
(a)	26	64	1500	0.0001	1	64	3400	1500	15	64	100000	3400
(b)	1	0	2350	0.0001	1	0	3400	2350	1	0	100000	3400
(c)	1	110	1670	0.0001	1	110	2195	1670	2	110	100000	2195

Figura 122 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo peso específico real dos grãos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 47 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo peso específico real dos grãos.

Tabela 47 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo peso específico real dos grãos.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	18	0,70
2	23	0,45
3	44	0,97

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 123, Figura 124 e Figura 125. Os valores de peso específicos dos grãos próximos a 2,66gf/cm³ estão relacionados a solos granulares que predominam o mineral quartzo, enquanto que solos com pesos específicos da ordem de 2,76 gf/cm³ estão relacionados a solos que predominam os argilominerais.

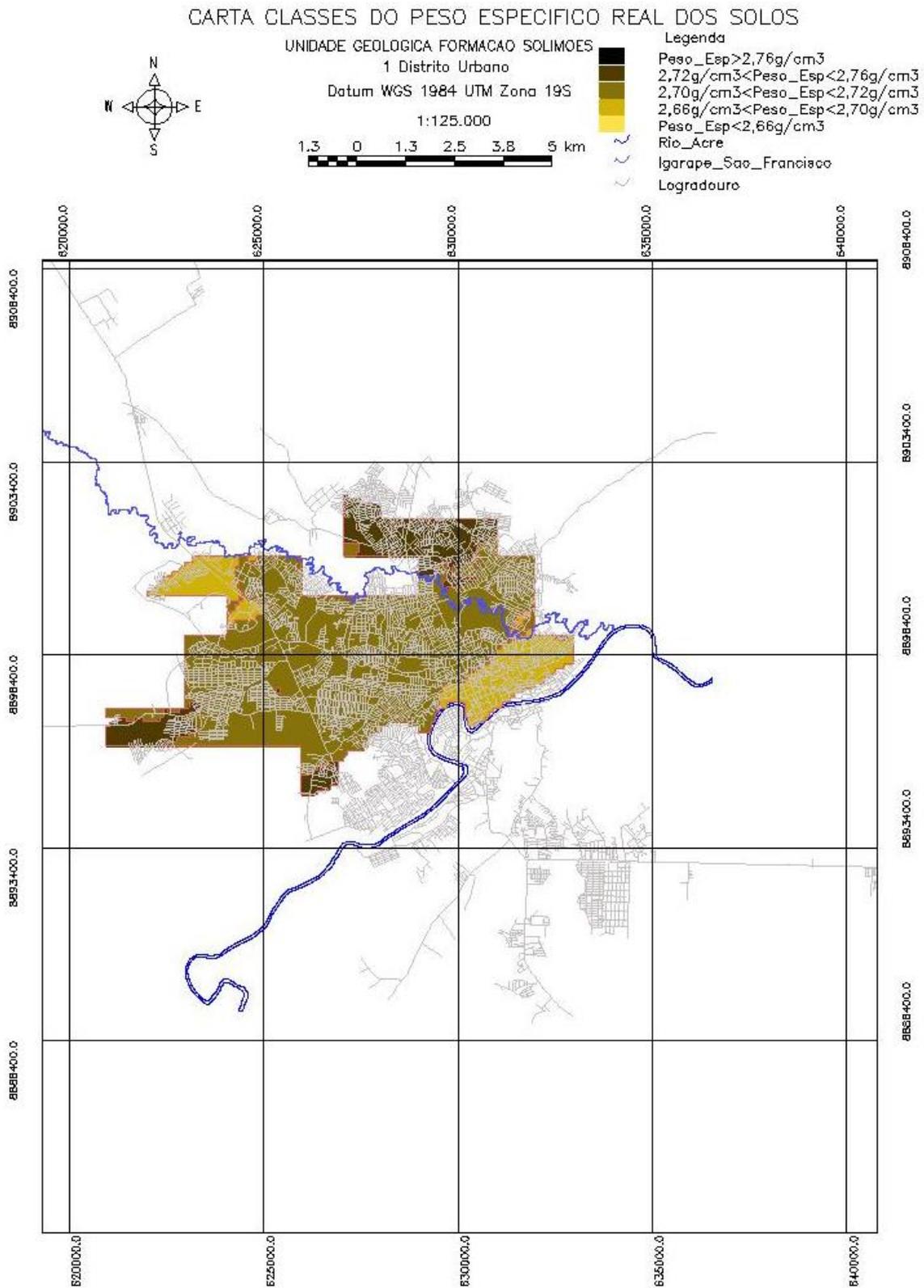


Figura 123 - Carta classes do atributo peso específico real dos grãos (g/cm³), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

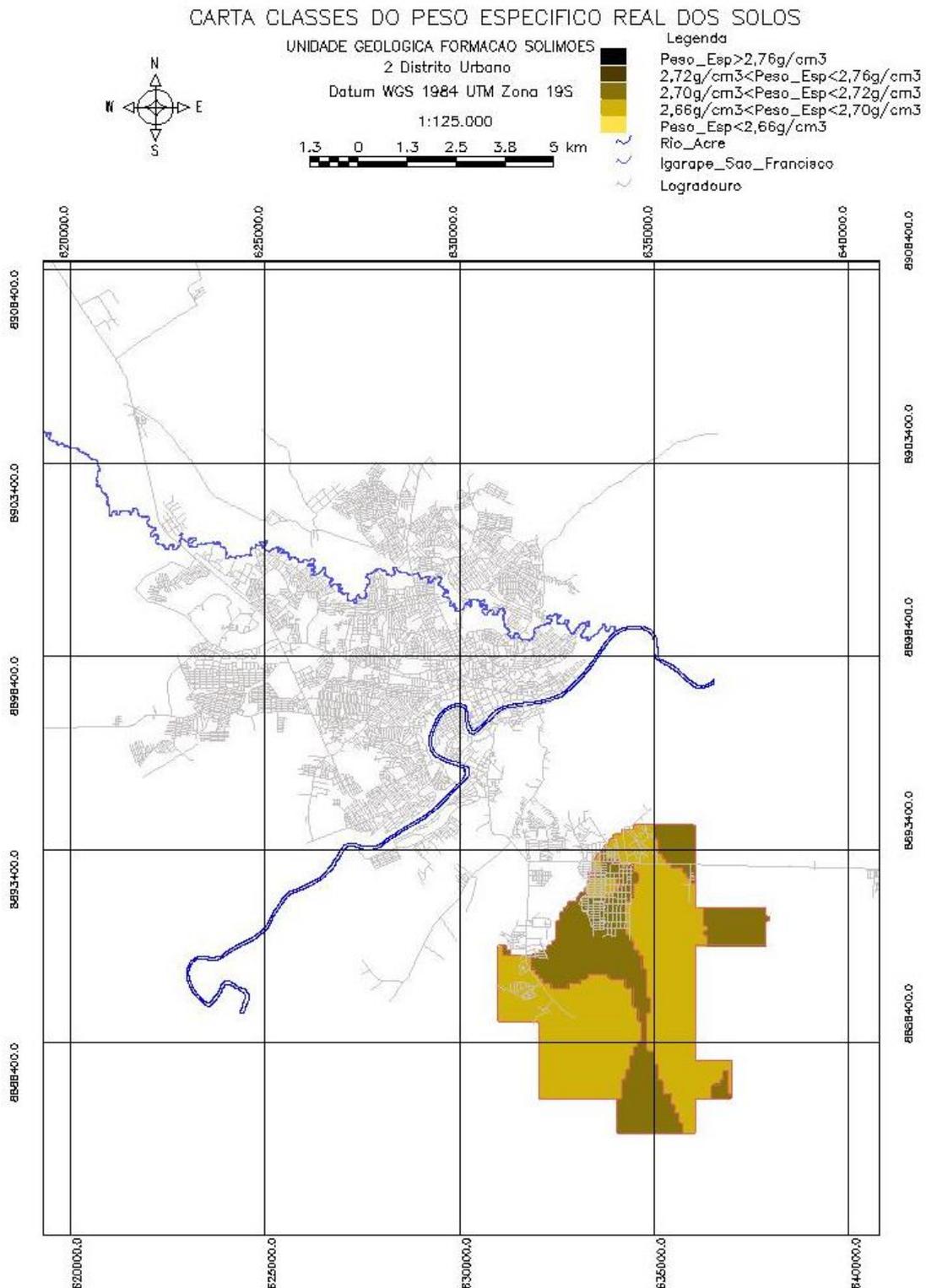


Figura 124 - Carta classes do atributo peso específico real dos grãos (g/cm^3), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

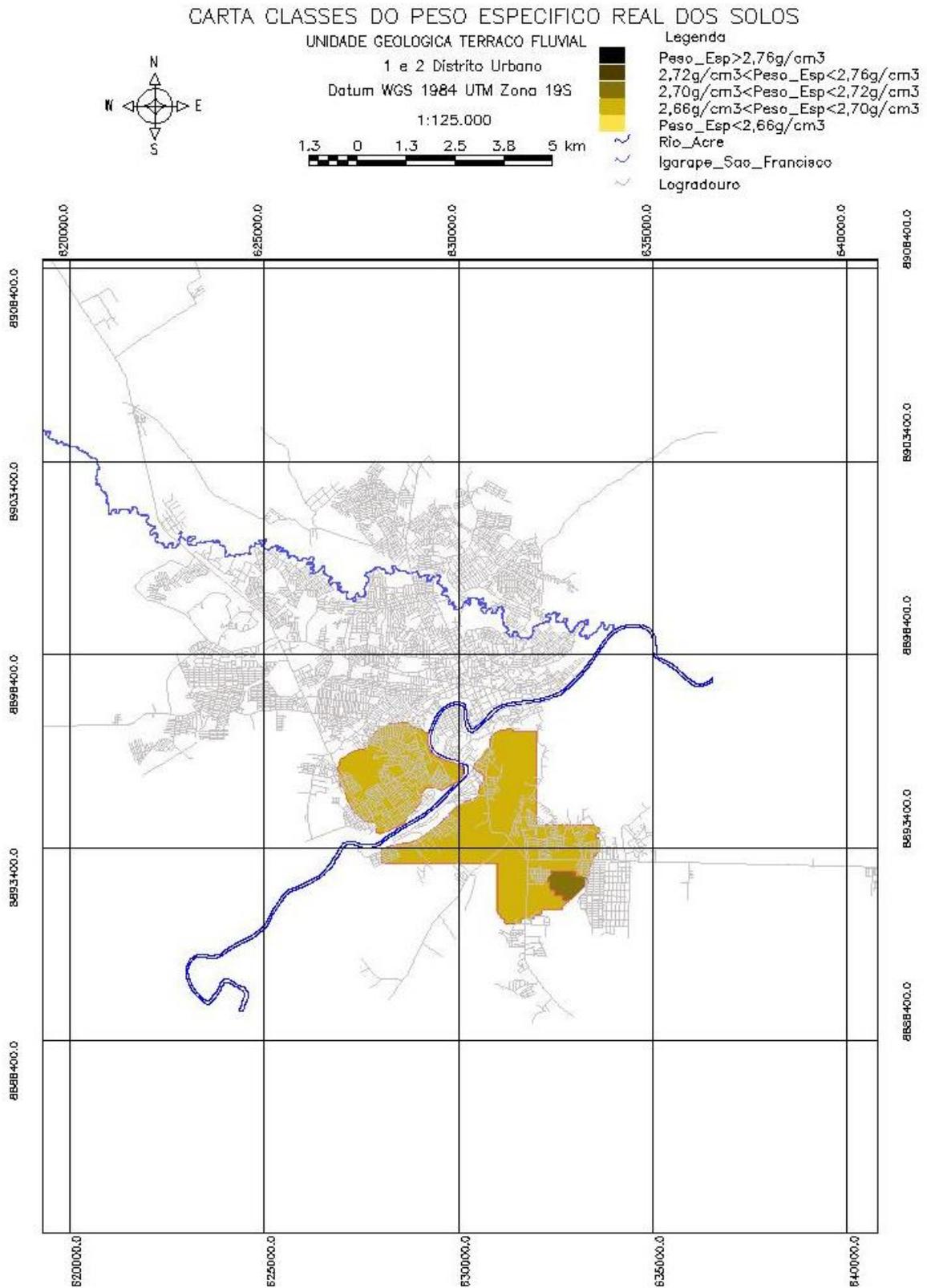


Figura 125 - Carta classes do atributo peso específico real dos grãos (g/cm³), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.9 Análise geoestatística do atributo umidade higroscópica dos solos

A Figura 126 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo umidade higroscópica dos solos, para as áreas 1, 2 e 3.

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura
1	Número de Estruturas: 106	Tipo: Esférico, Contribuição: 53, Ângulo Anis.: 64, Alcance Máx.: 1900, Alcance Min.: 0,0001	Tipo: Esférico, Contribuição: 94, Ângulo Anis.: 64, Alcance Máx.: 2100, Alcance Min.: 1900	Tipo: Esférico, Contribuição: 6, Ângulo Anis.: 64, Alcance Máx.: 100000, Alcance Min.: 2100
2	Número de Estruturas: 45	Tipo: Esférico, Contribuição: 34, Ângulo Anis.: 0, Alcance Máx.: 1200, Alcance Min.: 0,0001	Tipo: Esférico, Contribuição: 4, Ângulo Anis.: 0, Alcance Máx.: 2600, Alcance Min.: 1200	Tipo: Esférico, Contribuição: 20, Ângulo Anis.: 0, Alcance Máx.: 100000, Alcance Min.: 2600
3	Número de Estruturas: 1	Tipo: Esférico, Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 110, Alcance Máx.: 1500, Alcance Min.: 0,0001	Tipo: Esférico, Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 110, Alcance Máx.: 3000, Alcance Min.: 1500	Tipo: Esférico, Contribuição: 2, Ângulo Anis.: 110, Alcance Máx.: 100000, Alcance Min.: 3000

Figura 126 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo umidade higroscópica dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 48 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo umidade higroscópica dos solos.

Tabela 48 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo umidade higroscópica dos solos.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	31	0,72
2	27	0,71
3	28	0,60

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 127, Figura 128 e Figura 129. A umidade higroscópica dos solos está relacionado com vários outros atributos estudados nesse trabalho, apresentados nas correlações dos gráficos de dispersão da Figura 80, Figura 81, Figura 82 e Figura 83. Os solos que apresentam umidade higroscópica maiores que 5% têm predominância de solos argilosos com potencial presença de argilominerais expansivos, como o argilomineral montmorilonita encontrado nas áreas de estudo.

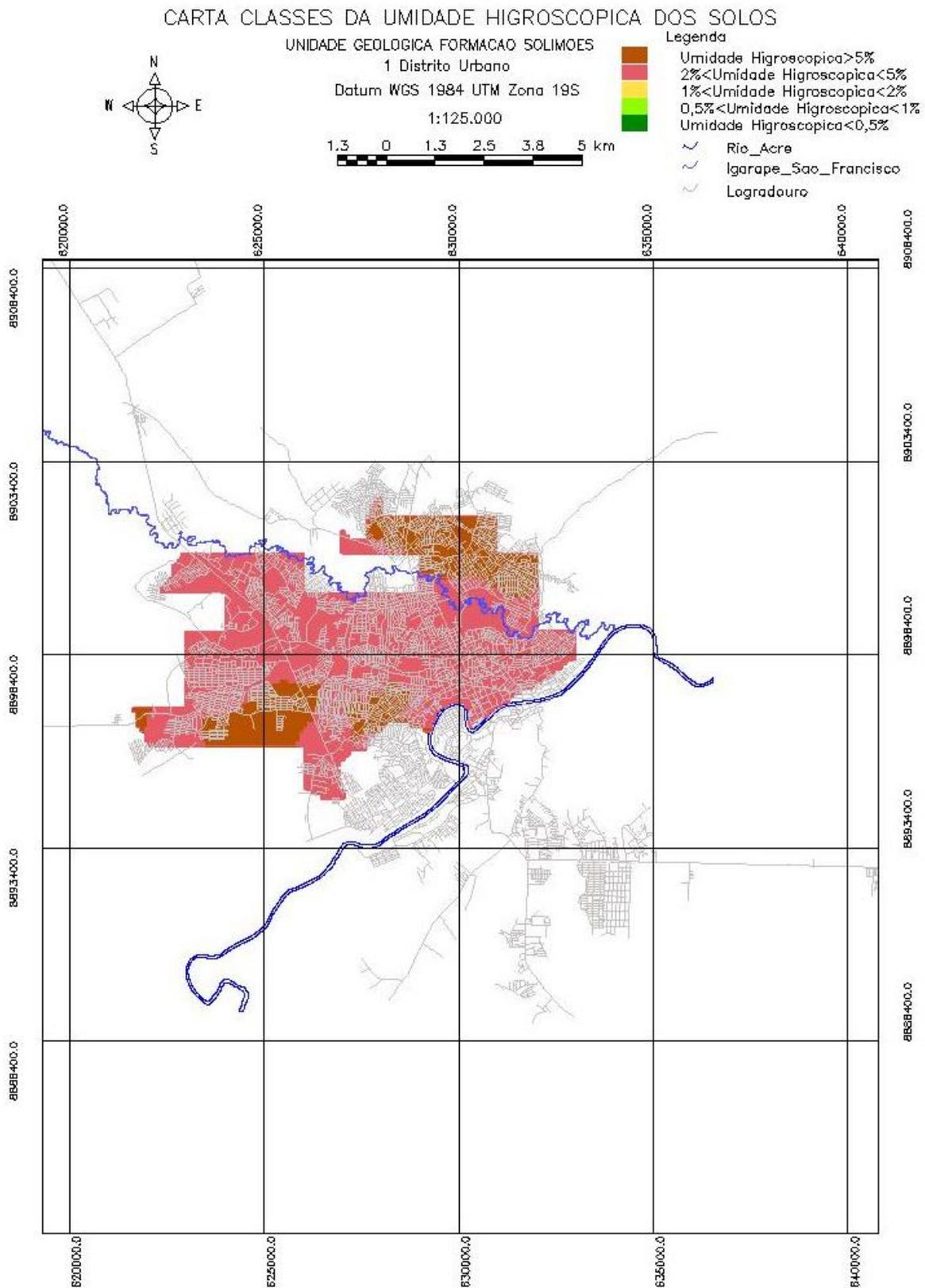


Figura 127 - Carta classes do atributo umidade higroscópica dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

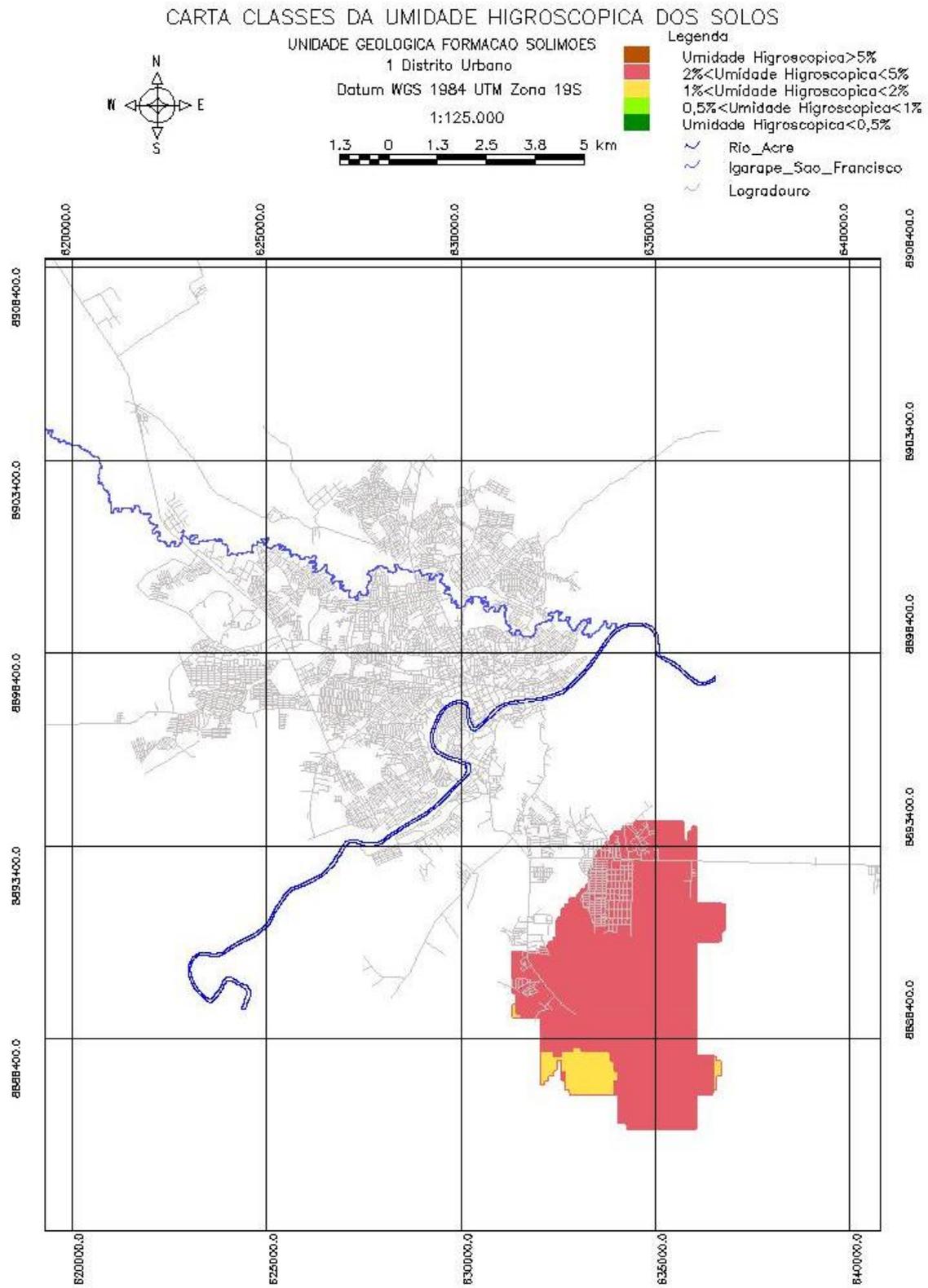


Figura 128 - Carta classes do atributo umidade higroscópica dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

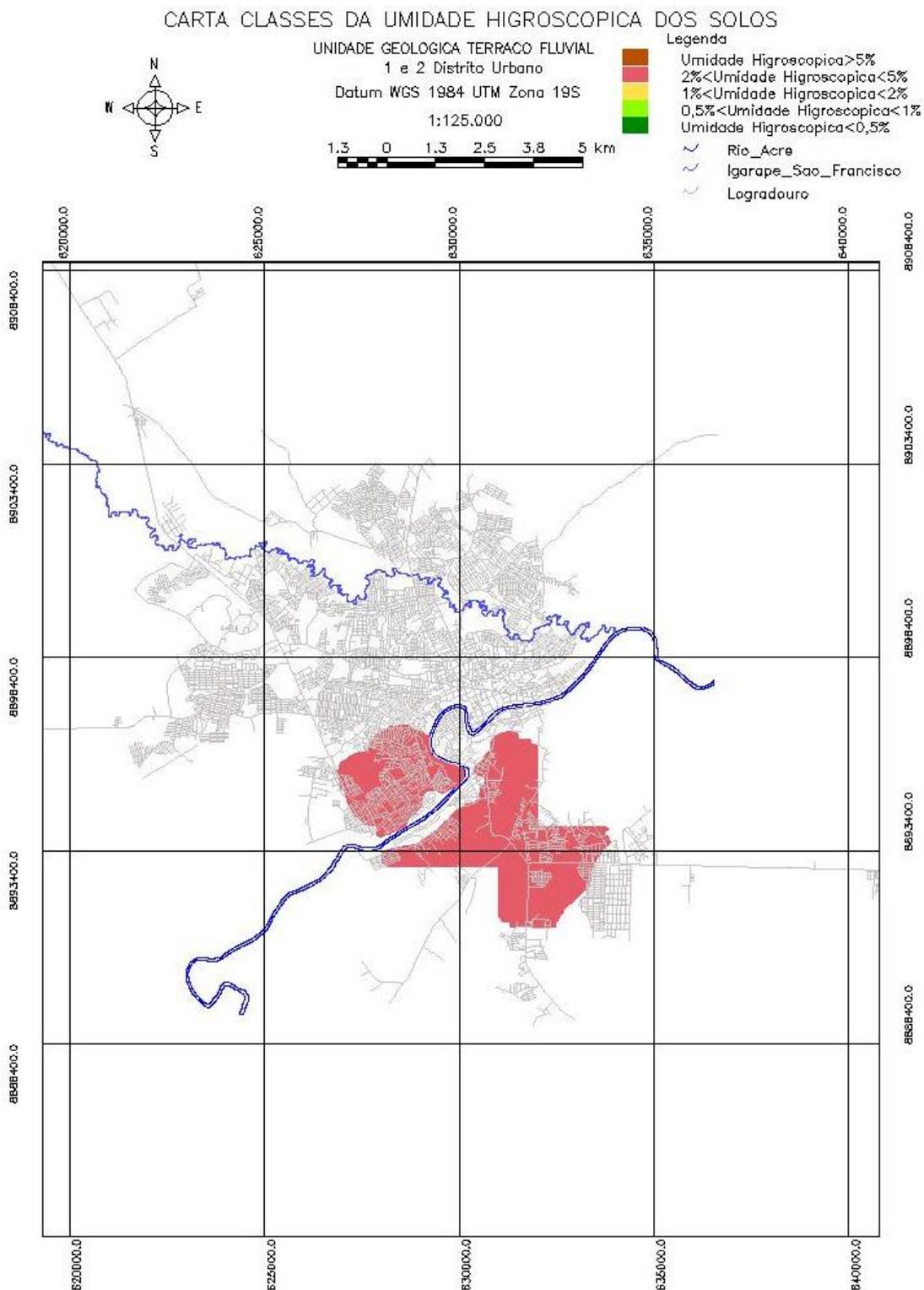


Figura 129 - Carta classes do atributo umidade higróscópica dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.10 Análise geoestatística do atributo limite de liquidez

A Figura 130 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo limite de liquidez, para as áreas 1, 2 e 3.

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura
1	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 118	Tipo: Esférico Contribuição: 30, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 1800, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 12, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 3000, Alcance Mín.: 1800	Tipo: Esférico Contribuição: 10, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 3000
2	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 44	Tipo: Esférico Contribuição: 14, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 2060, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 126, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 2280, Alcance Mín.: 2060	Tipo: Esférico Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2280
3	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 95	Tipo: Esférico Contribuição: 77, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 2150, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 26, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 3430, Alcance Mín.: 2150	Tipo: Esférico Contribuição: 5, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 3430

Figura 130 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo limite de liquidez, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 49 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de liquidez dos solos.

Tabela 49 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de liquidez

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	48	0,82
2	34	0,6
3	26	0,40

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 131, Figura 132 e Figura 133. Os valores de limite de liquidez superiores a 50% estão relacionados com solos predominantemente argilosos e com maior susceptibilidade a deformabilidade quando submetidos a variação de umidade natural, e com potencial presença de argilominerais expansivos, como o argilomineral montmorilonita encontrado nas áreas de estudo.

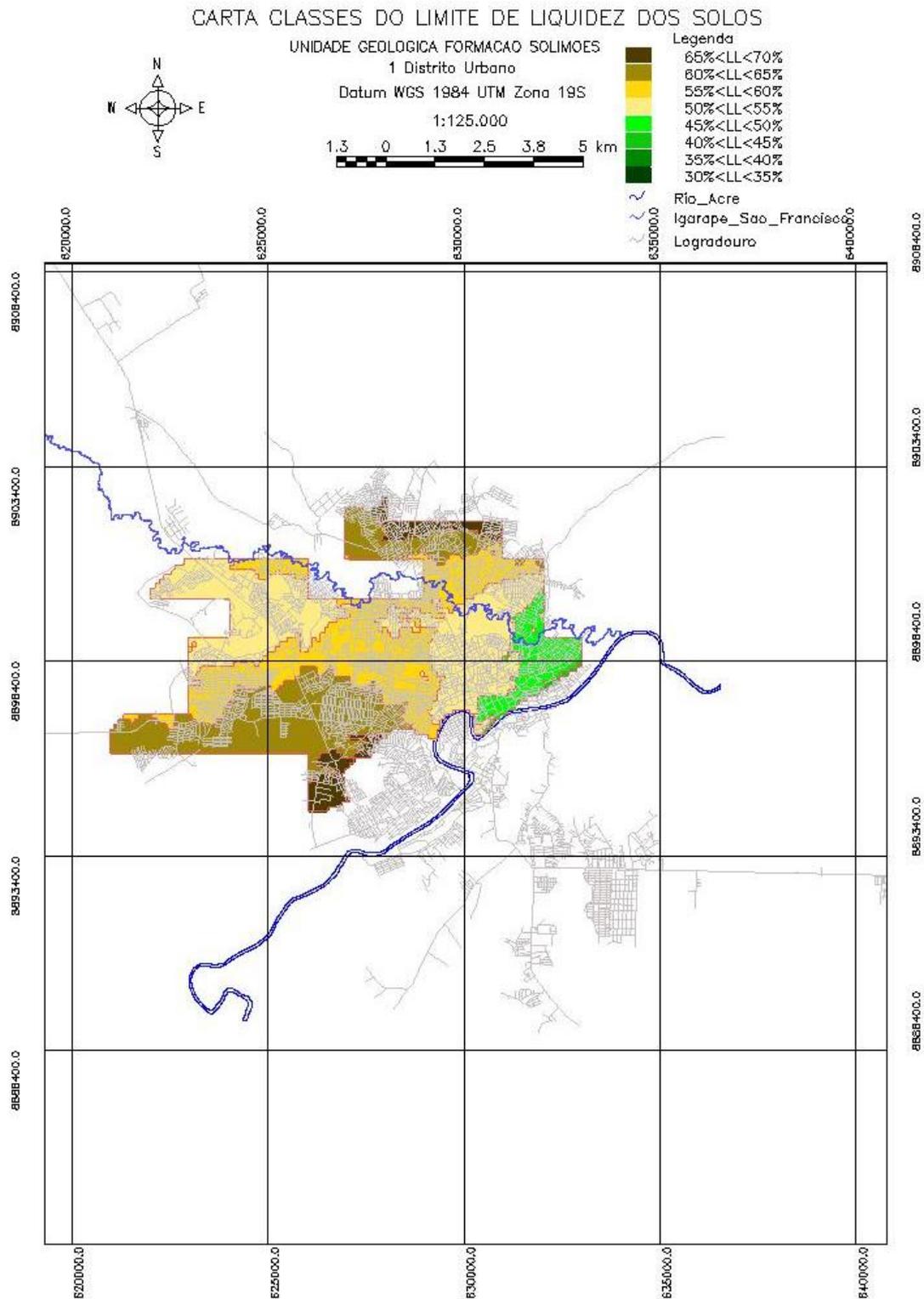


Figura 131 - Carta classes do atributo limite de liquidez dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

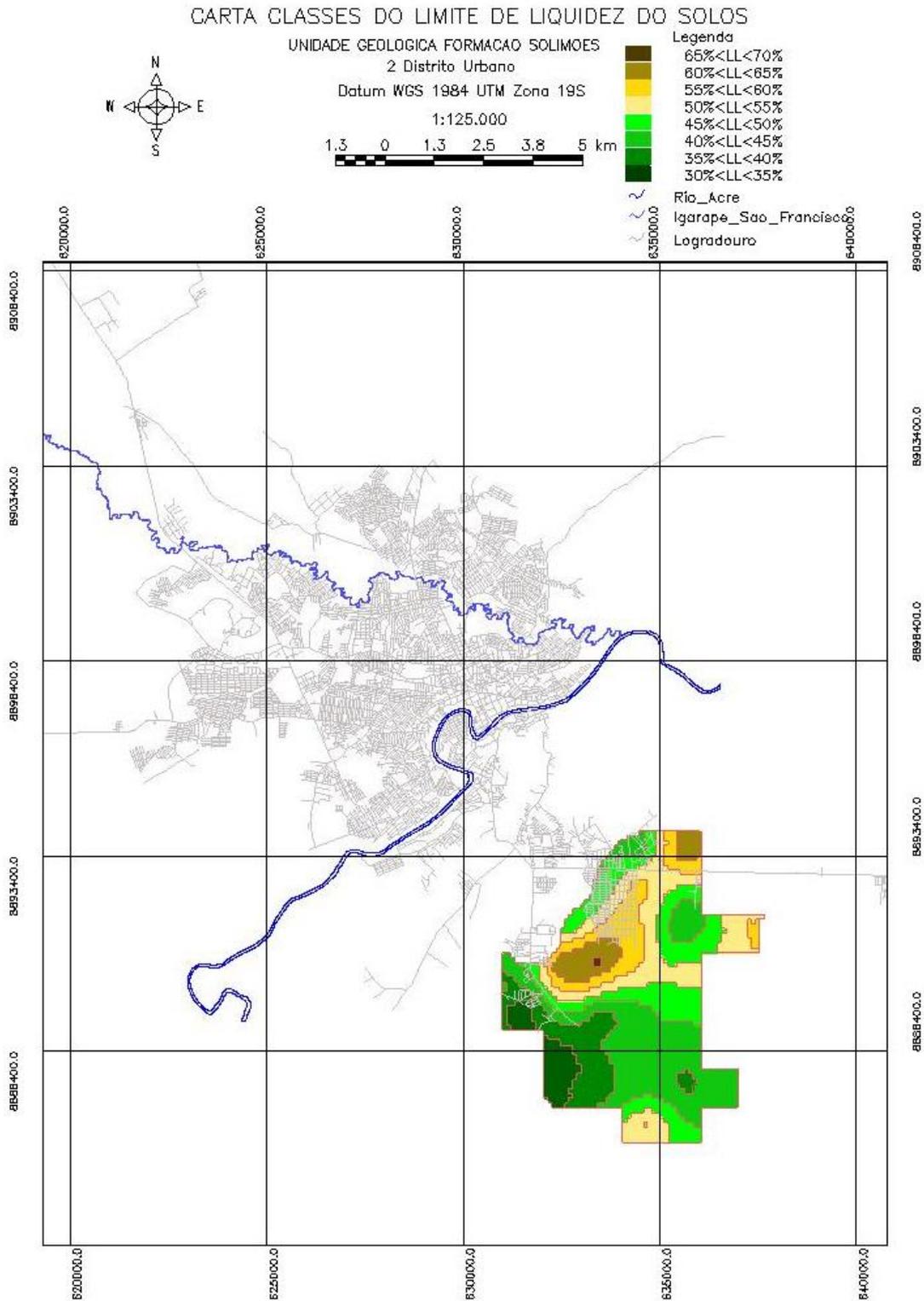


Figura 132 - Carta classes do atributo limite de liquidez dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

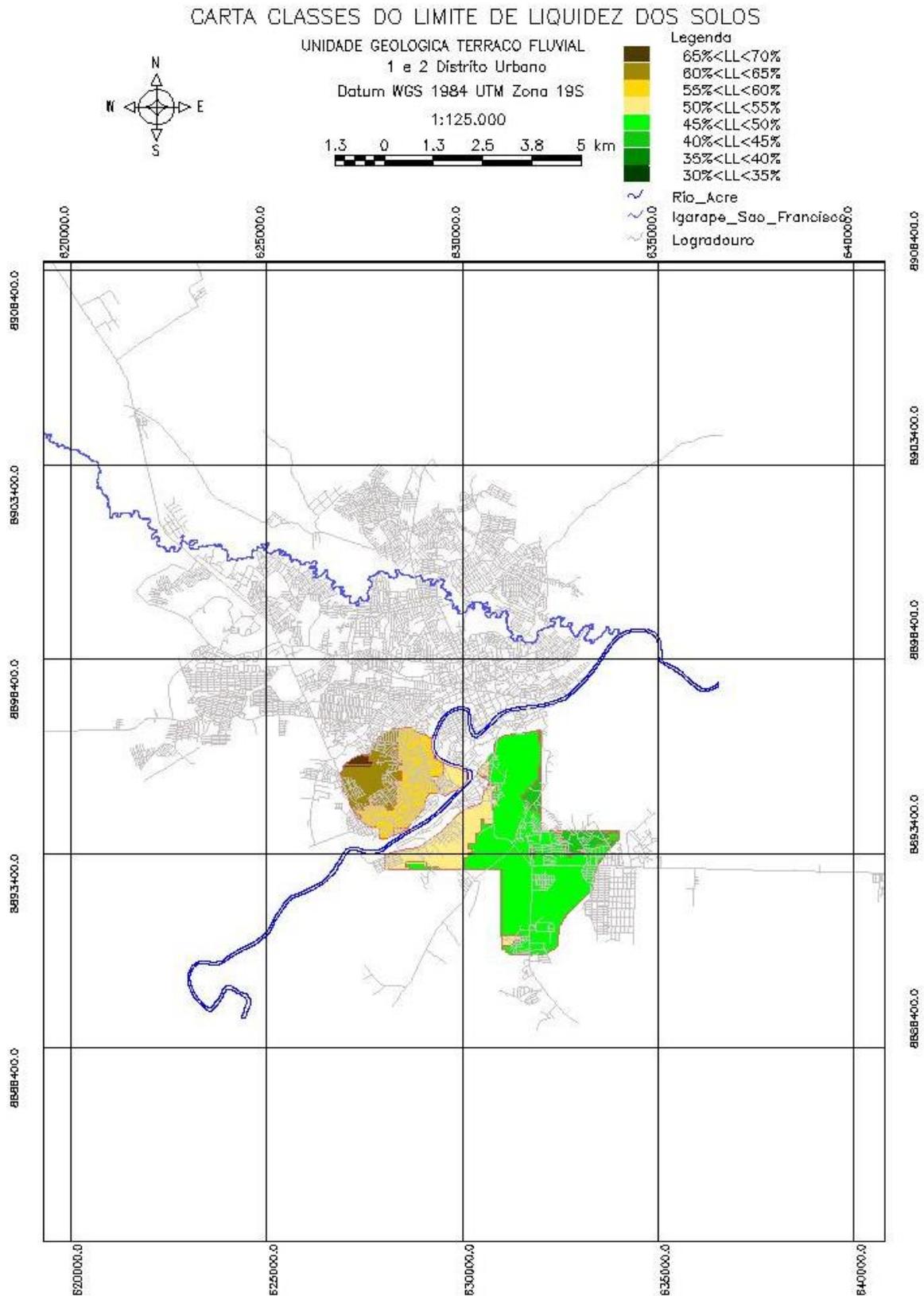


Figura 133 - Carta classes do atributo limite de liquidez dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).

5.11.11 Análise geoestatística do atributo limite de plasticidade

A Figura 134 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo limite de plasticidade dos solos, para as áreas 1, 2 e 3.

The figure shows three panels, (a), (b), and (c), representing the parameter settings for a geostatistical model in three different areas. Each panel includes a 'Parâmetros' section with radio buttons for the number of structures (1, 2, or 3) and a text input for 'Efeito Pepita'. Below this, three sections describe the 'Primeira Estrutura', 'Segunda Estrutura', and 'Terceira Estrutura', each with a 'Tipo' dropdown (set to 'Esférico') and input fields for 'Contribuição', 'Ângulo Anis.', 'Alcance Máx.', and 'Alcance Mín.'.

Área	Nº Estruturas	Efeito Pepita	Primeira Estrutura: Contribuição	Primeira Estrutura: Ângulo Anis.	Primeira Estrutura: Alcance Máx.	Primeira Estrutura: Alcance Mín.	Segunda Estrutura: Contribuição	Segunda Estrutura: Ângulo Anis.	Segunda Estrutura: Alcance Máx.	Segunda Estrutura: Alcance Mín.	Terceira Estrutura: Contribuição	Terceira Estrutura: Ângulo Anis.	Terceira Estrutura: Alcance Máx.	Terceira Estrutura: Alcance Mín.
(a) Área 1	3	6	1	64	2000	0.0001	1	64	3000	2000	1	64	100000	3000
(b) Área 2	3	5	3	0	1450	0.0001	1	0	2750	1450	1	0	100000	2750
(c) Área 3	3	6	3	110	1900	0.0001	6	110	2200	1900	4	110	100000	2200

Figura 134 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo limite de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 50 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de plasticidade dos solos.

Tabela 50 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de plasticidade dos solos.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	37	0,93
2	30	0,89
3	29	0,92

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 135, Figura 136 e Figura 137. Os valores de limite de plasticidade superiores a 22% estão relacionados a solos predominantemente argilosos com maior susceptibilidade a deformações quanto submetidos a variação da umidade natural, e possivelmente apresentam na sua composição argilominerais expansivos, como o argilomineral montmorilonita encontrado nas áreas de estudo.

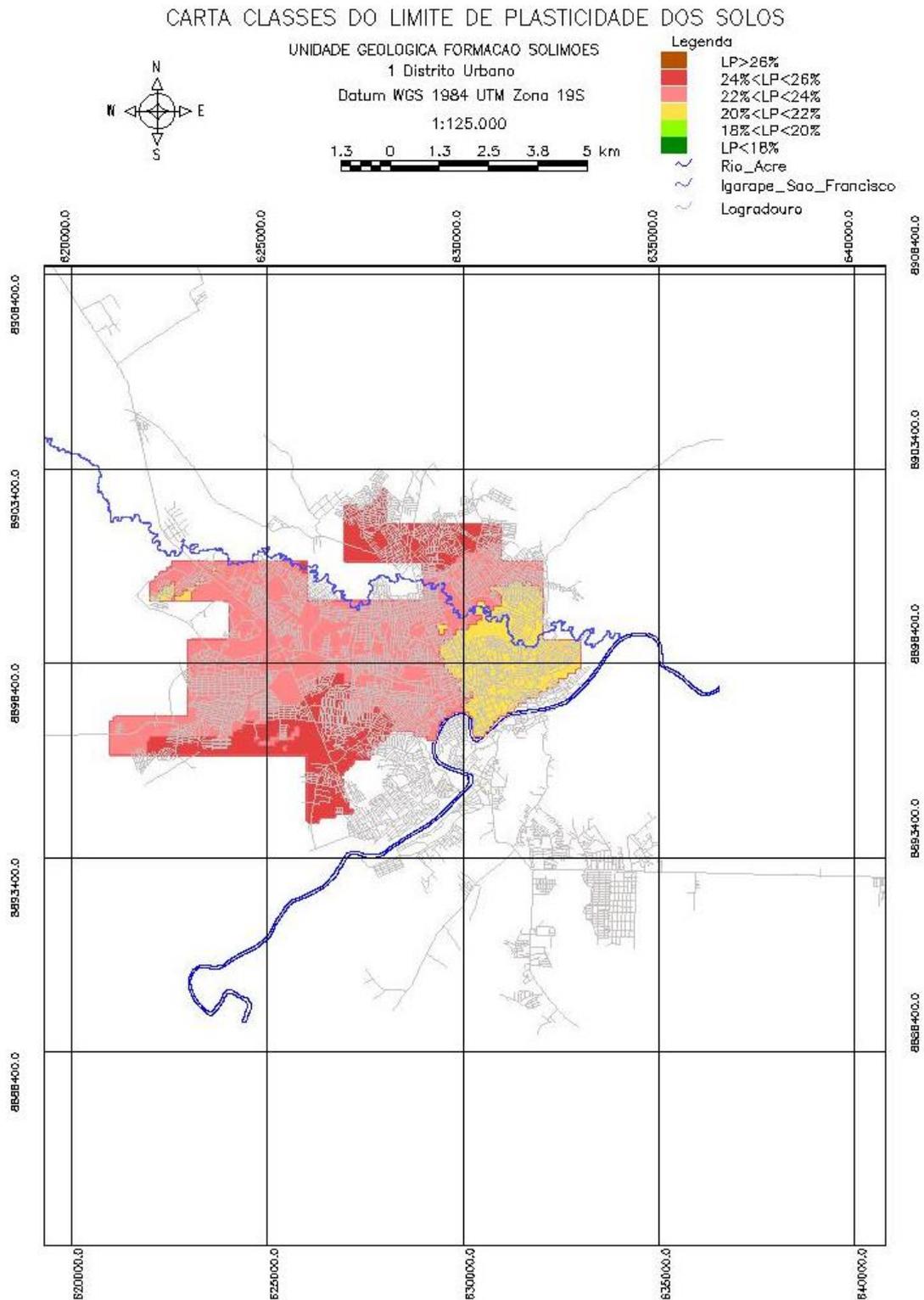


Figura 135 - Carta classes do atributo limite de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

CARTA CLASSES DO LIMITE DE PLASTICIDADE DOS SOLOS

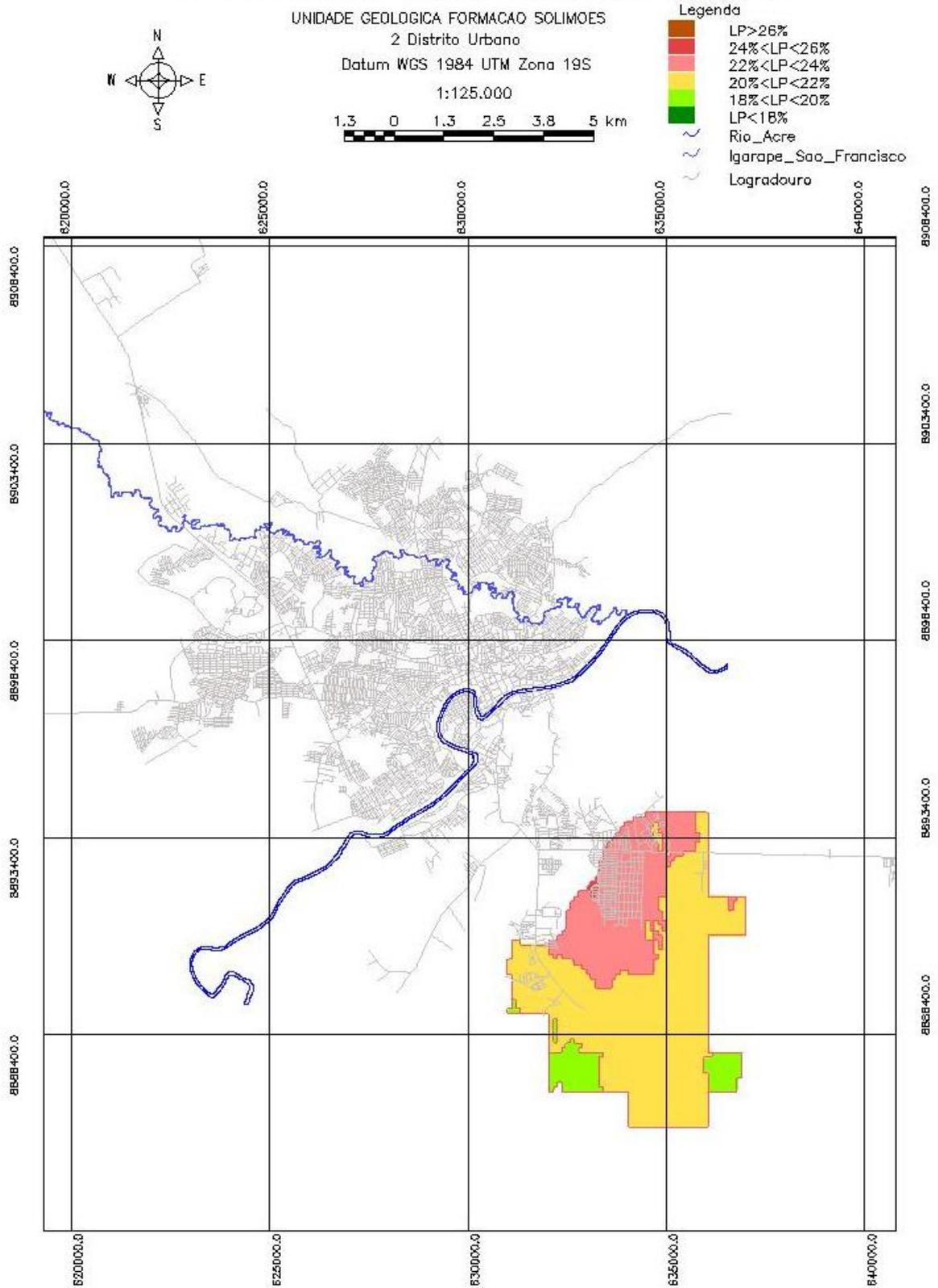


Figura 136 - Carta classes do atributo limite de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

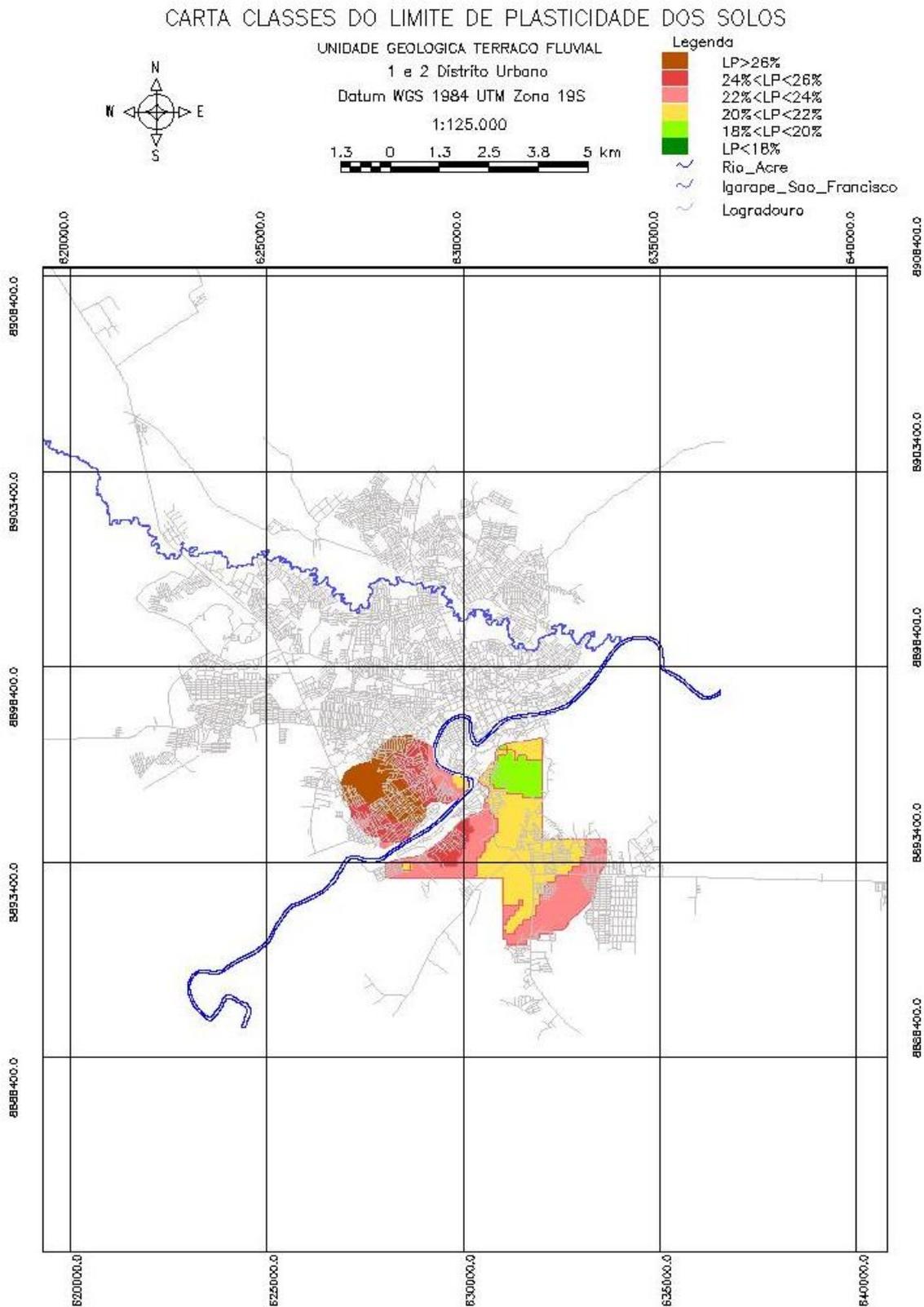


Figura 137 - Carta classes do atributo limite de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).

5.11.12 Análise geoestatística do atributo índice de plasticidade

A Figura 138 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo índice de plasticidade dos solos, para as áreas 1, 2 e 3.

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura
1	Número de Estruturas: 3	Tipo: Esférico	Tipo: Esférico	Tipo: Esférico
	Efeito Pepita: 78	Contribuição: 9	Contribuição: 20	Contribuição: 2
		Ângulo Anis.: 64	Ângulo Anis.: 64	Ângulo Anis.: 64
		Alcance Máx.: 2600	Alcance Máx.: 2970	Alcance Máx.: 100000
2	Número de Estruturas: 3	Tipo: Esférico	Tipo: Esférico	Tipo: Esférico
	Efeito Pepita: 3	Contribuição: 66	Contribuição: 45	Contribuição: 5
		Ângulo Anis.: 0	Ângulo Anis.: 0	Ângulo Anis.: 0
		Alcance Máx.: 1200	Alcance Máx.: 2158	Alcance Máx.: 100000
3	Número de Estruturas: 3	Tipo: Esférico	Tipo: Esférico	Tipo: Esférico
	Efeito Pepita: 42	Contribuição: 44	Contribuição: 50	Contribuição: 2
		Ângulo Anis.: 110	Ângulo Anis.: 110	Ângulo Anis.: 110
		Alcance Máx.: 1800	Alcance Máx.: 2200	Alcance Máx.: 100000

Figura 138 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de plasticidade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 51 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo limite de plasticidade dos solos.

Tabela 51 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de plasticidade dos solos.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	13	0,57
2	14	0,67
3	16	0,79

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 139, Figura 140 e Figura 141 . Os valores de índice de plasticidade superiores a 17% estão relacionados a solos predominantemente argilosos com maior susceptibilidade a deformações quanto submetidos a variação da umidade natural, e possivelmente apresentam na sua composição argilominerais expansivos, como o argilomineral montmorilonita encontrado nas áreas de estudo.

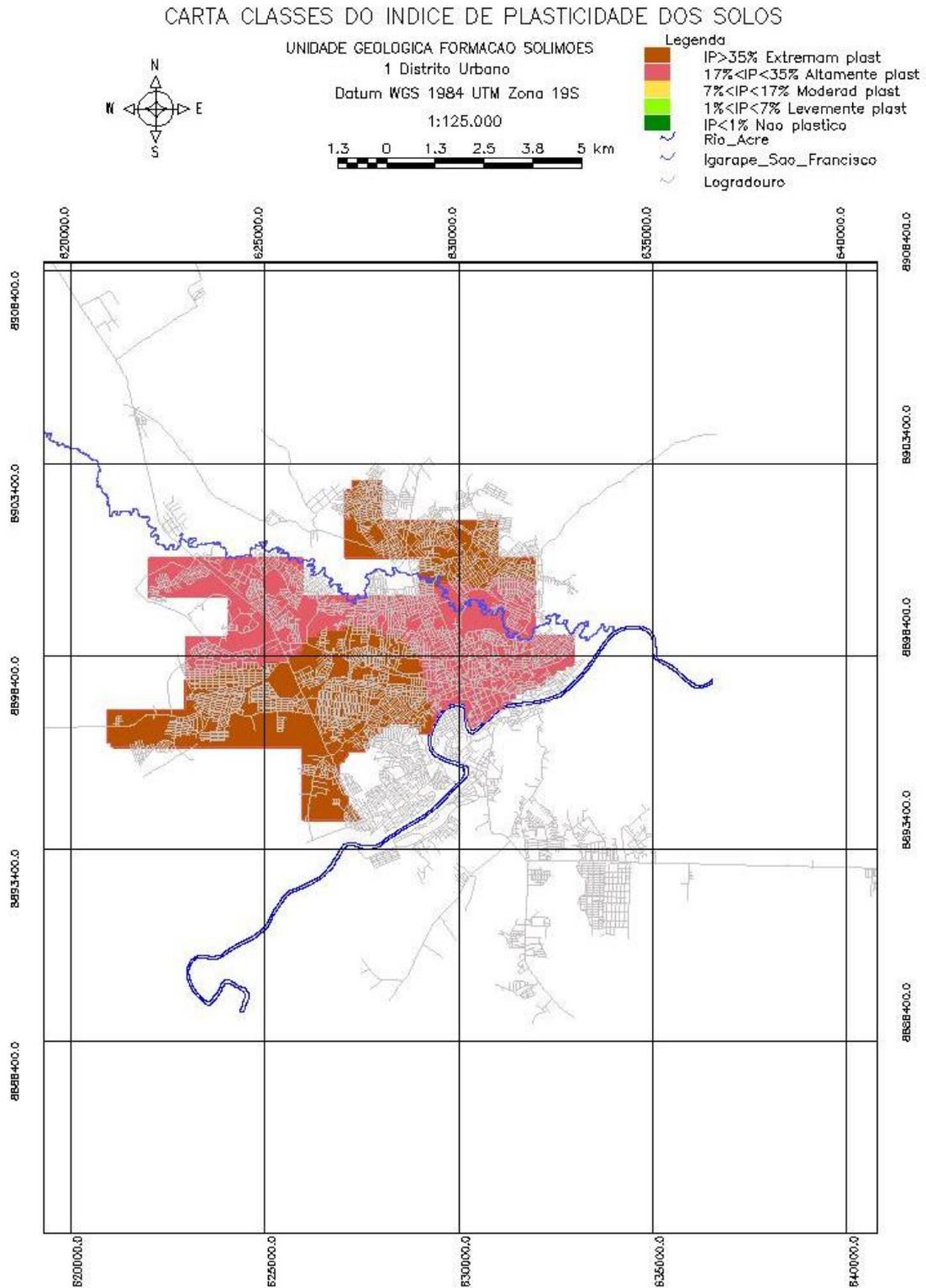


Figura 139 - Carta classes do atributo índice de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

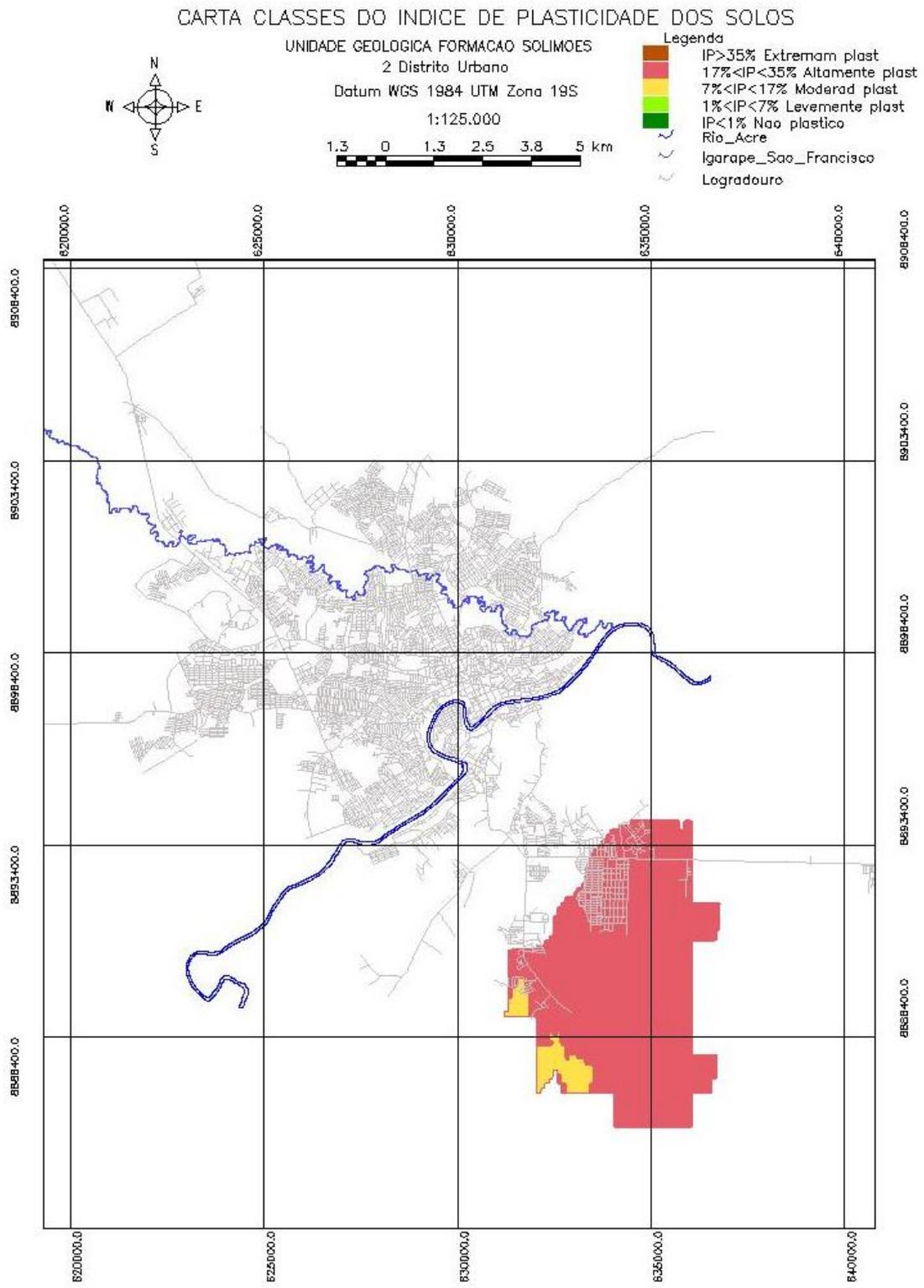


Figura 140 - Carta classes do atributo índice de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES DO INDICE DE PLASTICIDADE DOS SOLOS

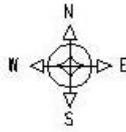
UNIDADE GEOLÓGICA TERRAÇO FLUVIAL

1 e 2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km



Legenda

- IP > 35% Extremam plast
- 17% < IP < 35% Altamente plast
- 7% < IP < 17% Moderad plast
- 1% < IP < 7% Levemente plast
- IP < 1% Nao plastica
- Rio_Acre
- Igarape_Sao_Francisco
- Logradouro

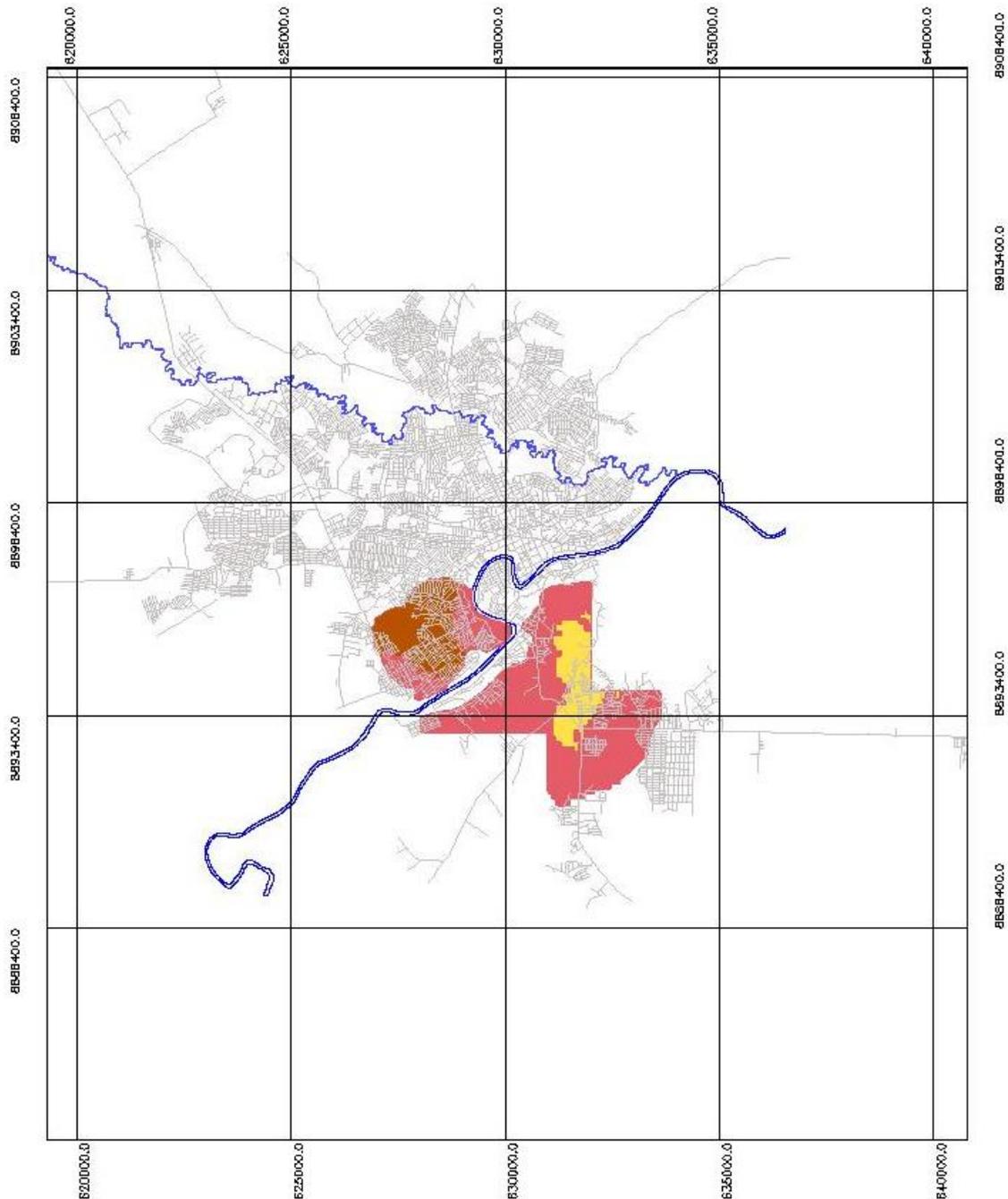


Figura 141 - Carta classes do atributo índice de plasticidade dos solos (%), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.13 Análise geoestatística do atributo tangente de alfa

A Figura 142 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo tangente de alfa, para as áreas 1, 2 e 3.

The figure shows three screenshots of a software interface for parameterizing a spherical model. Each screenshot represents a different area (1, 2, and 3) and shows the same set of parameters for three structures. The parameters are: Número de Estruturas (3), Efeito Pepita (4), and three structures with their own Contribution, Anisotropy Angle, and Range (Maximum and Minimum).

Área	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura
1	Contribuição: 3, Ângulo Anis.: 64, Alcance Máx.: 1900, Alcance Mín.: 0.0001	Contribuição: 2, Ângulo Anis.: 64, Alcance Máx.: 2200, Alcance Mín.: 1900	Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 64, Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2200
2	Contribuição: 12, Ângulo Anis.: 0, Alcance Máx.: 1185, Alcance Mín.: 0.0001	Contribuição: 2, Ângulo Anis.: 0, Alcance Máx.: 2905, Alcance Mín.: 1185	Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 0, Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2905
3	Contribuição: 5, Ângulo Anis.: 110, Alcance Máx.: 2900, Alcance Mín.: 0.0001	Contribuição: 5, Ângulo Anis.: 110, Alcance Máx.: 2950, Alcance Mín.: 2900	Contribuição: 3, Ângulo Anis.: 110, Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2950

Figura 142 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo tangente de alfa, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 52 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo tangente de alfa.

Tabela 52 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo tangente de alfa.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	38	0,90
2	18	0,81
3	11	0,40

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 143, Figura 144 e Figura 145. Os valores de tangente de alfa superiores a 20% estão relacionados a solos predominantemente argilosos com maior susceptibilidade a deformações quando submetidos a variação da umidade natural, e possivelmente apresentam na sua composição argilominerais expansivos, como o argilomineral montmorilonita encontrado nas áreas de estudo.

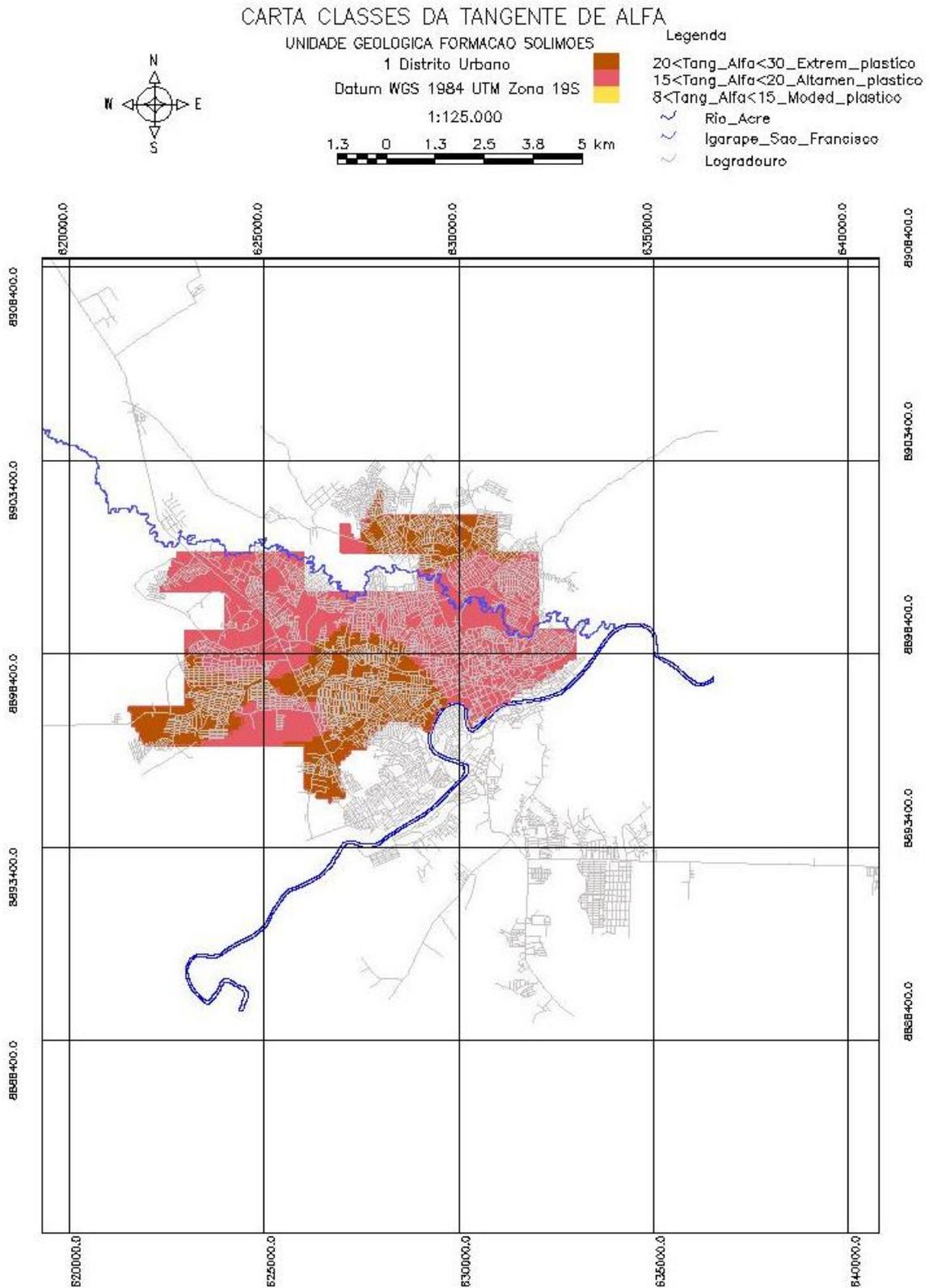


Figura 143 - Carta classes do atributo tangente de alfa (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

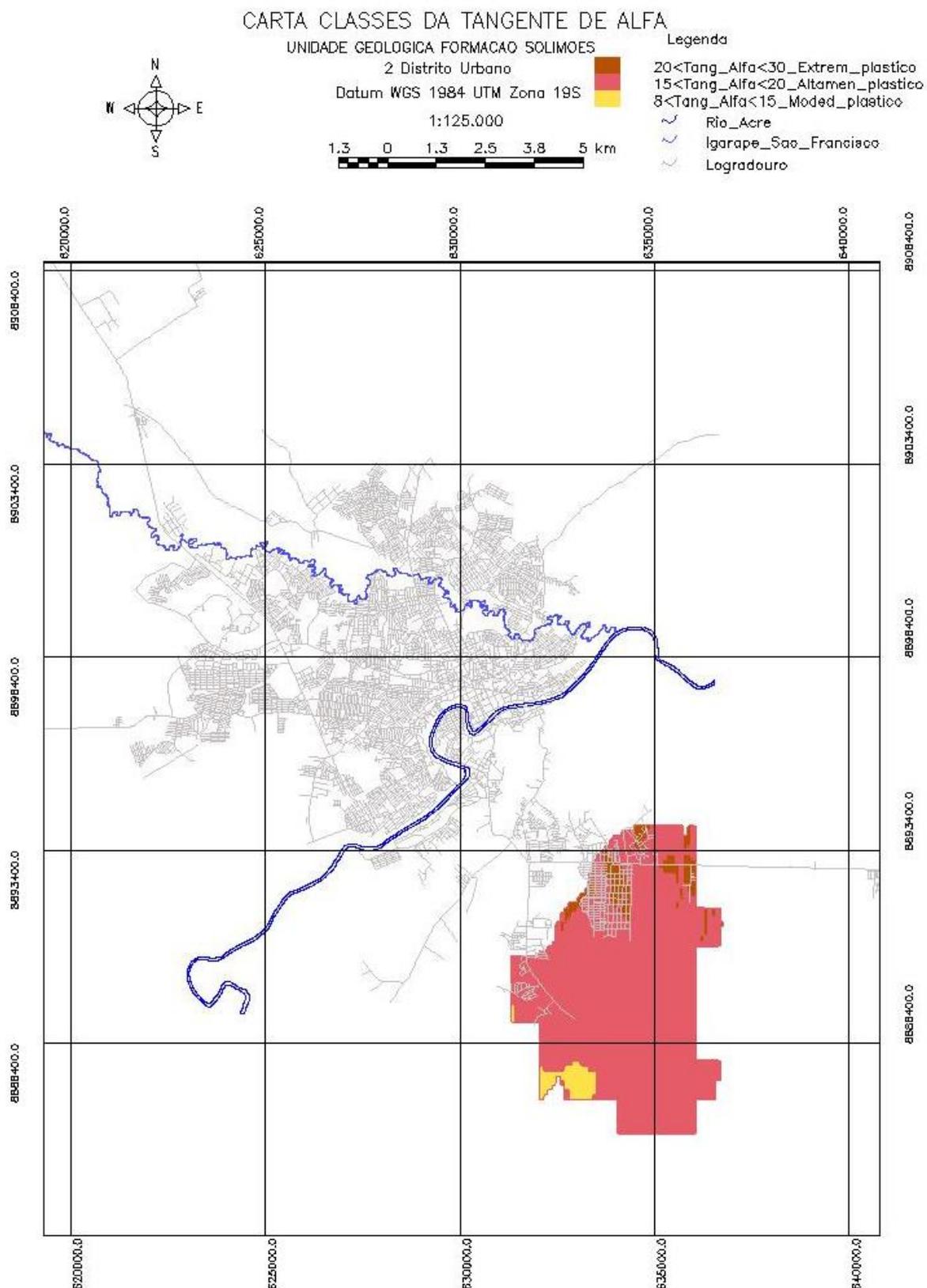


Figura 144 - Carta classes do atributo tangente de alfa (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

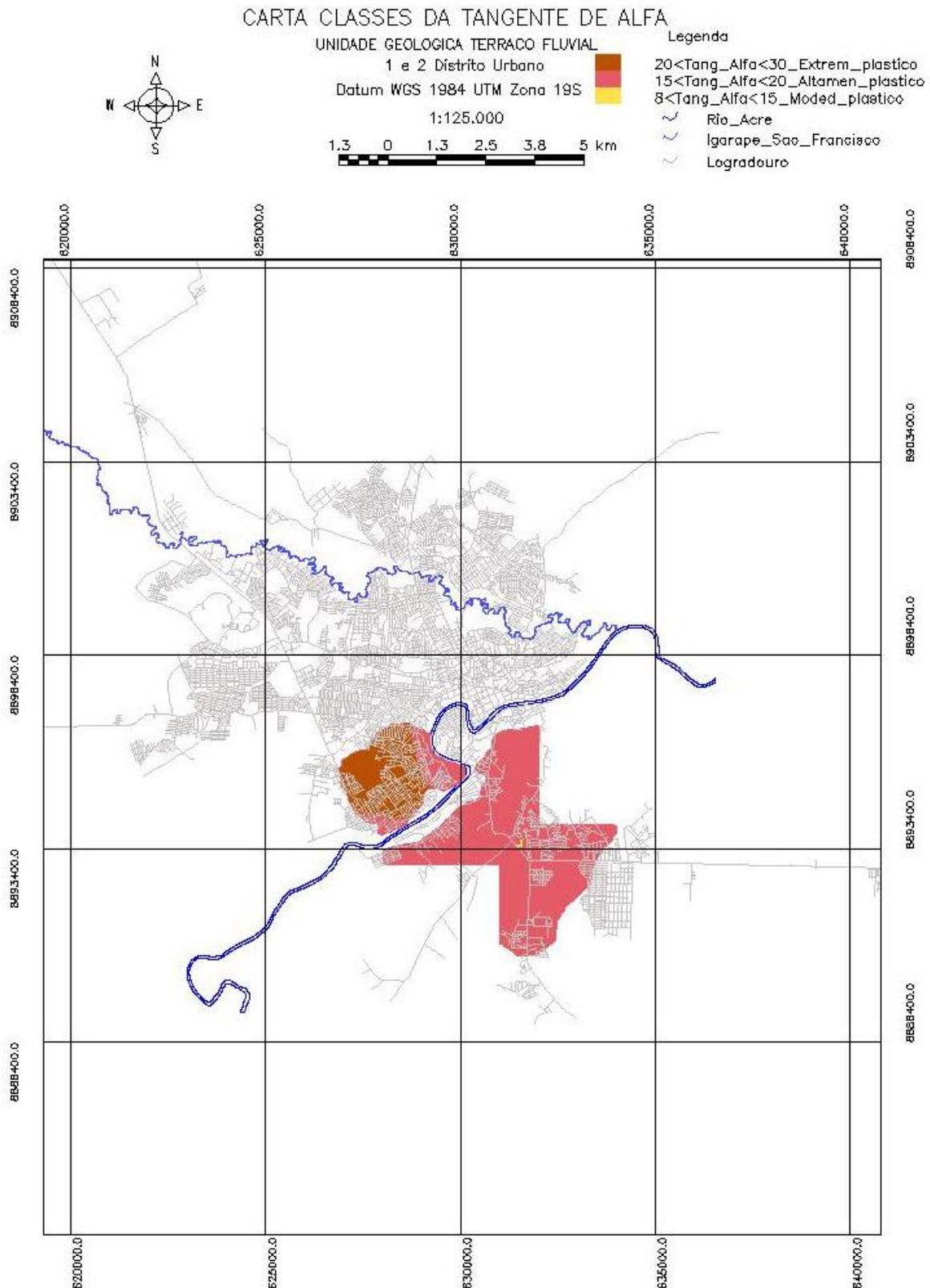


Figura 145 - Carta classes do atributo tangente de alfa (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.14 Análise geoestatística do atributo tangente de beta

A Figura 146 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo tangente de alfa, para as áreas 1, 2 e 3.

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura		
1	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 66	Tipo: Esférico Contribuição: 2 Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 1800 Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 35 Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 2750 Alcance Mín.: 1800	Tipo: Esférico Contribuição: 5 Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 100000 Alcance Mín.: 2750		
	2	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 59	Tipo: Esférico Contribuição: 53 Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 1200 Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 10 Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 2500 Alcance Mín.: 1200	Tipo: Esférico Contribuição: 2 Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 100000 Alcance Mín.: 2500	
		3	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 1	Tipo: Esférico Contribuição: 1 Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 1450 Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 1 Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 2300 Alcance Mín.: 1450	Tipo: Esférico Contribuição: 1 Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 100000 Alcance Mín.: 2300

Figura 146 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo tangente de beta, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 53 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo tangente de beta.

Tabela 53 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo tangente de beta.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	38	0,50
2	14	0,61
3	24	0,93

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 147, Figura 148 e Figura 149. Os valores de tangente de beta inferiores a 0,15 estão relacionados a solos predominantemente argilosos com maior susceptibilidade a deformações quando submetidos a variação da umidade natural, e possivelmente apresentam na sua composição argilominerais expansivos, como o argilomineral montmorilonita encontrado nas áreas de estudo.

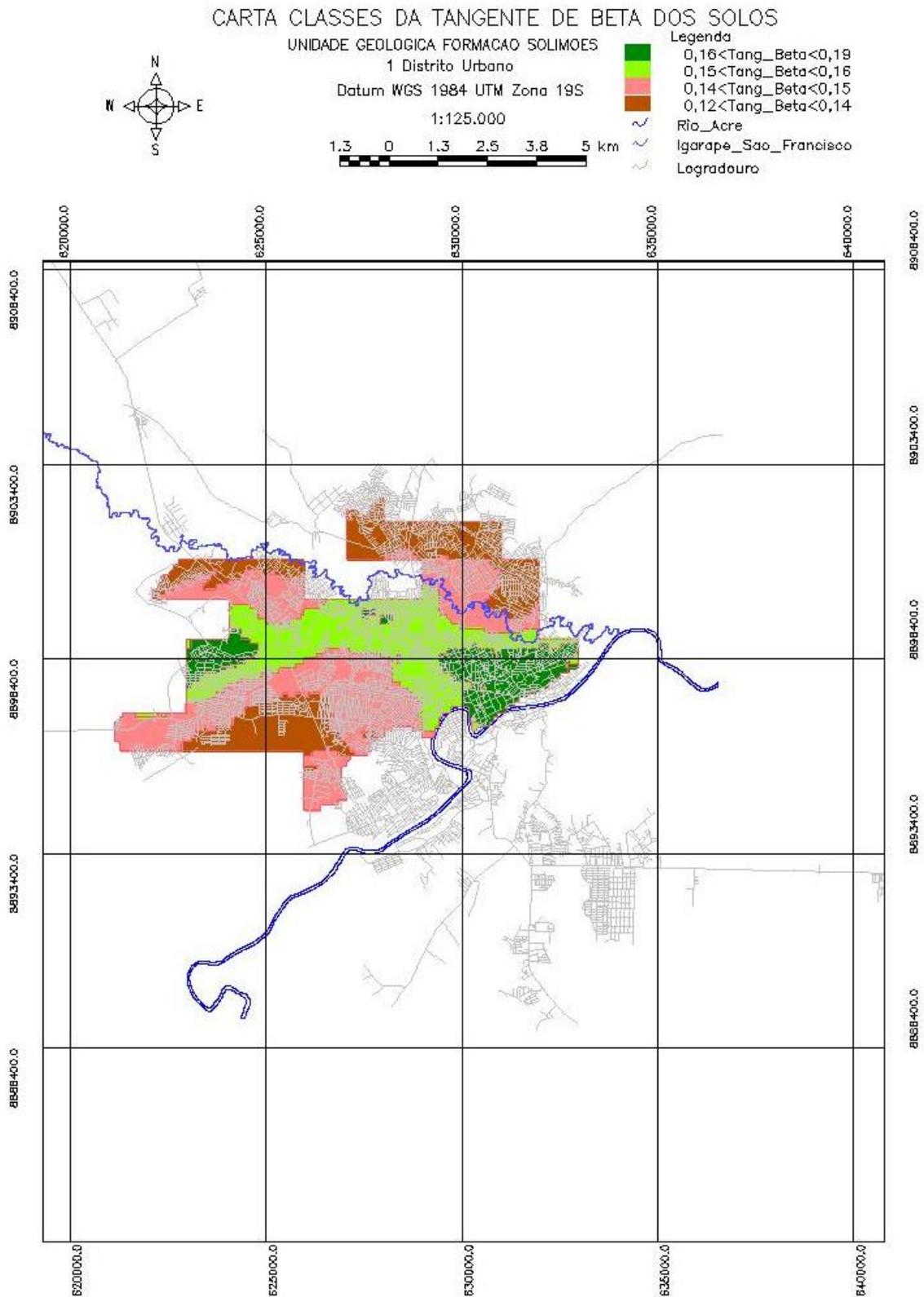


Figura 147 - Carta classes do atributo tangente de beta (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

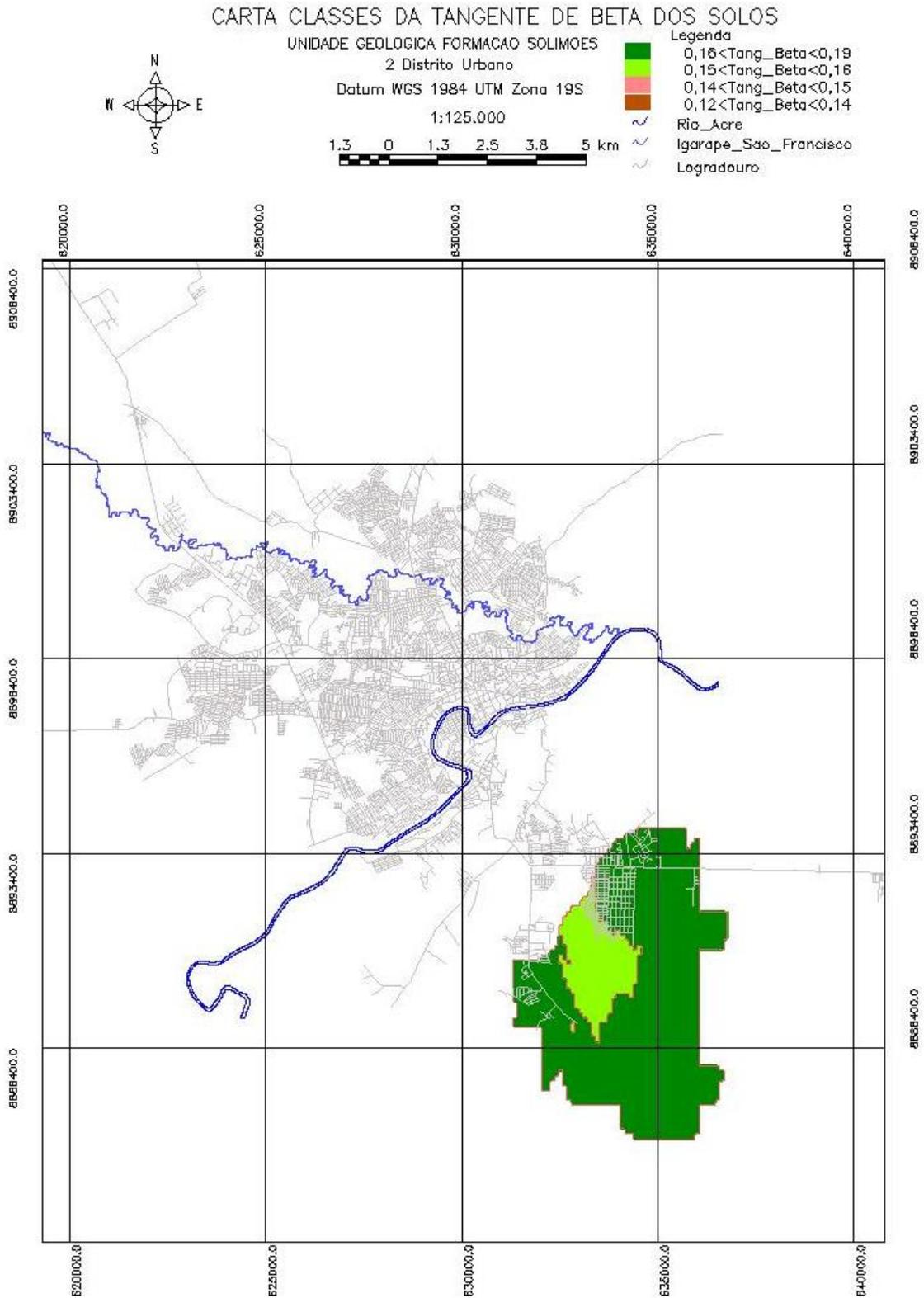


Figura 148 - Carta classes do atributo tangente de beta (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

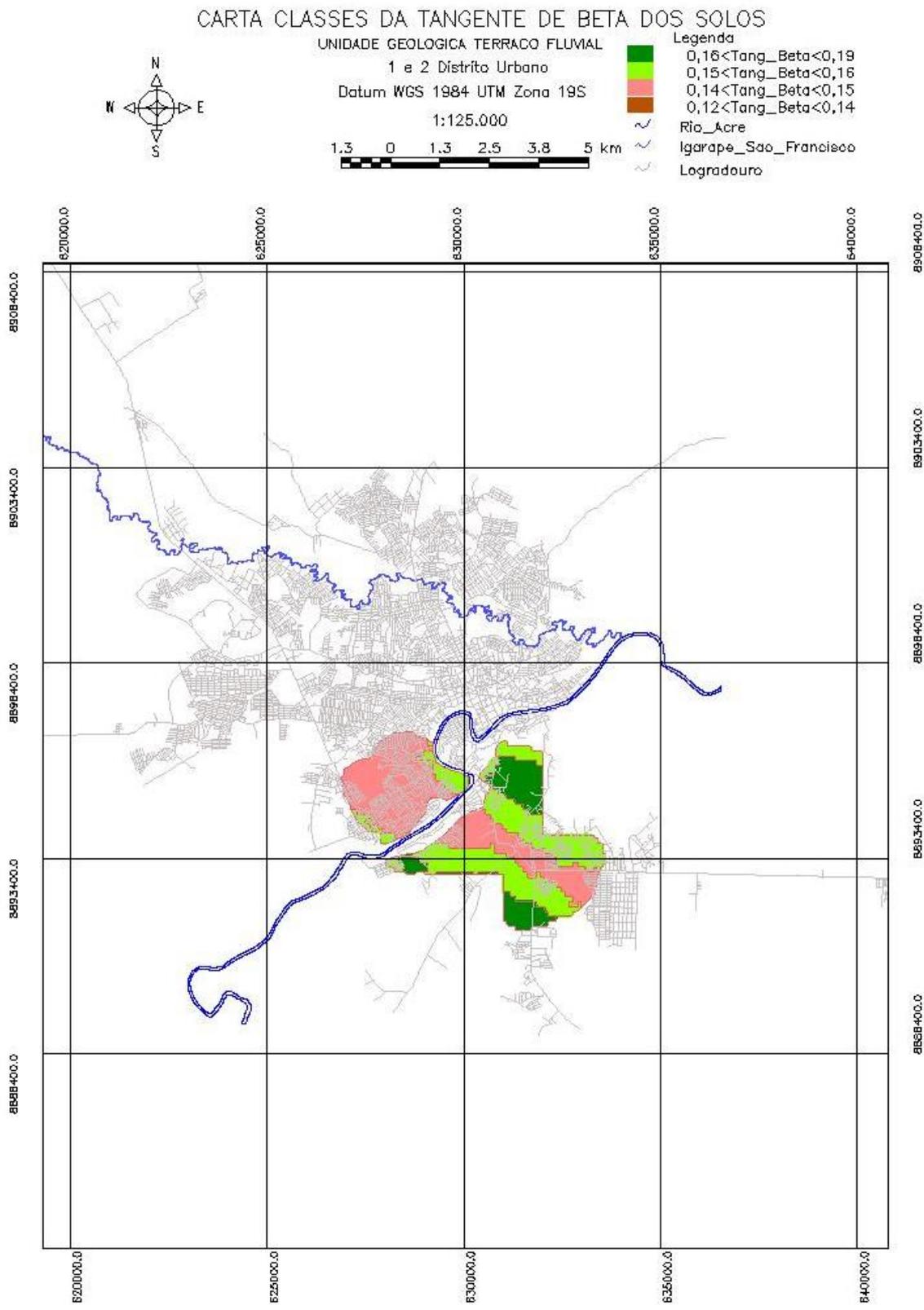


Figura 149 - Carta classes do atributo tangente de beta dos solos (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).

5.11.15 Análise geoestatística do atributo índice de atividade

A Figura 150 apresenta a síntese da modelagem da anisotropia do atributo índice de atividade, para as áreas 1, 2 e 3.

The figure shows three screenshots of a software interface for geostatistical modeling, labeled (a), (b), and (c). Each screenshot displays parameters for three structures (Primeira, Segunda, Terceira Estrutura) under the heading 'Parâmetros'. The parameters include 'Número de Estruturas' (Number of Structures), 'Efeito Pepita' (Nugget Effect), 'Tipo' (Type), 'Contribuição' (Contribution), 'Ângulo Anis.' (Anisotropy Angle), 'Alcance Máx.' (Maximum Range), and 'Alcance Mín.' (Minimum Range).

Área	Número de Estruturas	Efeito Pepita	Primeira Estrutura - Tipo	Primeira Estrutura - Contribuição	Primeira Estrutura - Ângulo Anis.	Primeira Estrutura - Alcance Máx.	Primeira Estrutura - Alcance Mín.	Segunda Estrutura - Tipo	Segunda Estrutura - Contribuição	Segunda Estrutura - Ângulo Anis.	Segunda Estrutura - Alcance Máx.	Segunda Estrutura - Alcance Mín.	Terceira Estrutura - Tipo	Terceira Estrutura - Contribuição	Terceira Estrutura - Ângulo Anis.	Terceira Estrutura - Alcance Máx.	Terceira Estrutura - Alcance Mín.
(a)	3	14	Esférico	11	64	1250	0.0001	Esférico	15	64	3600	1250	Esférico	1	64	100000	3600
(b)	3	5	Esférico	7	0	1450	0.0001	Esférico	81	0	1900	1450	Esférico	2	0	100000	1900
(c)	3	9	Esférico	10	110	2100	0.0001	Esférico	13	110	2300	2100	Esférico	1	110	100000	2300

Figura 150 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de atividade, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 54 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de atividade.

Tabela 54 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de atividade.

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	32	0,95
2	20	0,73
3	27	0,40

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 151, Figura 152 e Figura 153. As áreas de estudo não apresentaram valores de índice de atividade maiores que 1,25 relacionados às argilas ativas.

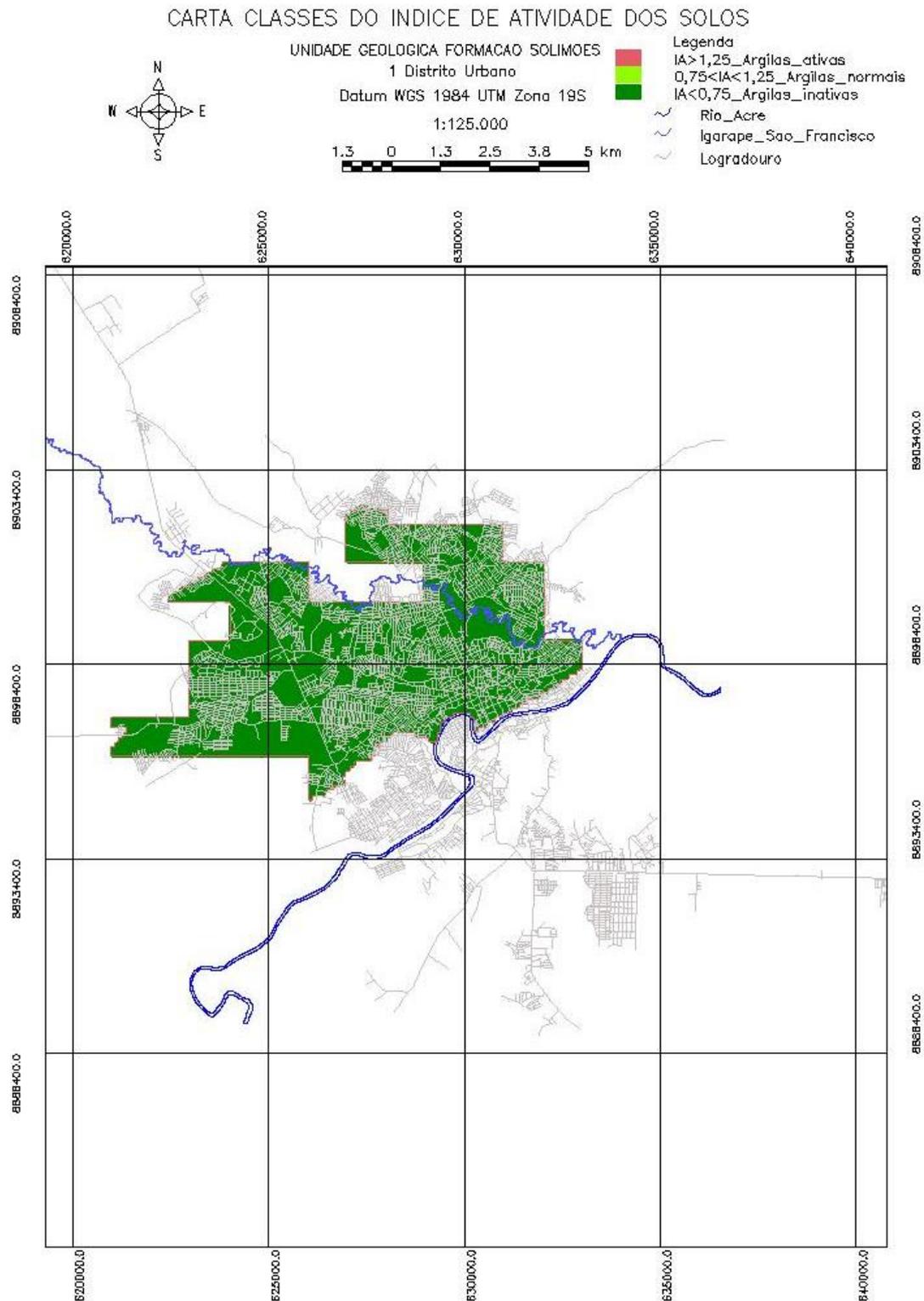


Figura 151 - Carta classes do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

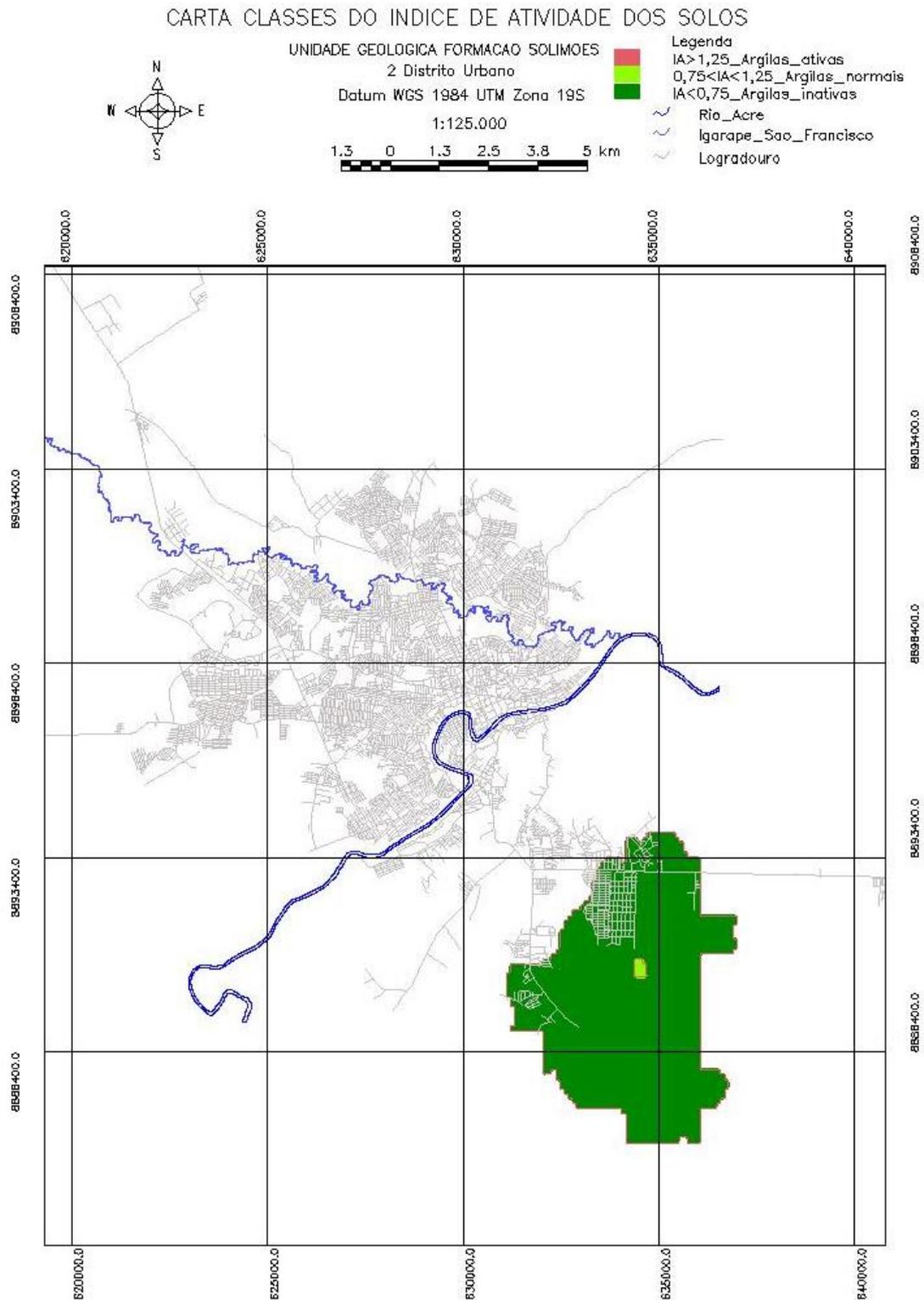


Figura 152 - Carta classes do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES DO ÍNDICE DE ATIVIDADE DOS SOLOS

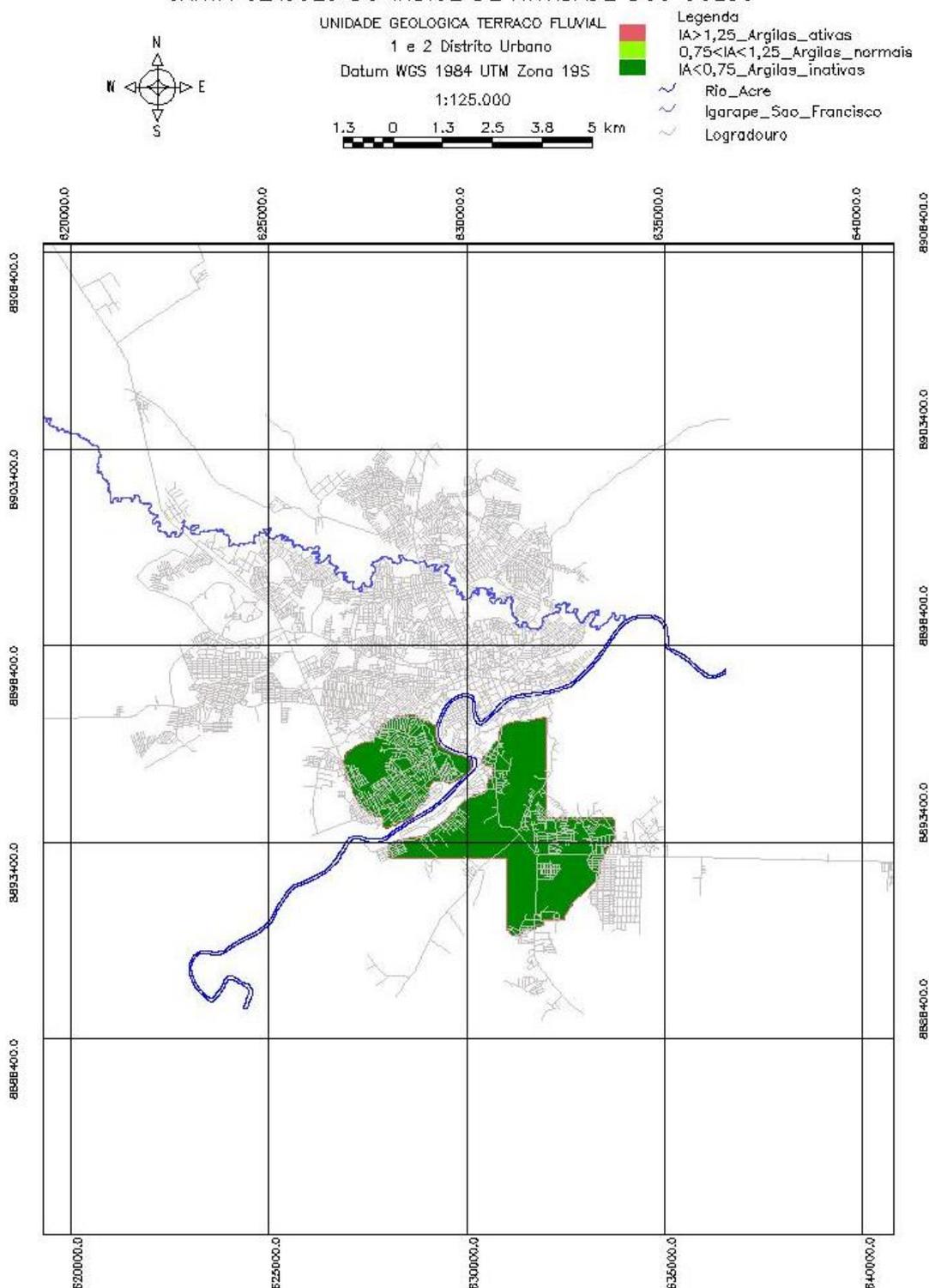


Figura 153 - Carta classes do atributo índice de atividade dos solos (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.11.16 Análise geoestatística do atributo índice liquidez

A Figura 154 apresenta a síntese da modelagem do atributo índice de liquidez dos solos, para as áreas 1, 2 e 3.

Área	Parâmetros	Primeira Estrutura	Segunda Estrutura	Terceira Estrutura
1	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 43	Tipo: Esférico Contribuição: 28, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 1850, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 31, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 2350, Alcance Mín.: 1850	Tipo: Esférico Contribuição: 2, Ângulo Anis.: 64 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 2350
2	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 3	Tipo: Esférico Contribuição: 105, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 1250, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 1, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 1600, Alcance Mín.: 1250	Tipo: Esférico Contribuição: 8, Ângulo Anis.: 0 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 1600
3	Número de Estruturas: 3 Efeito Pepita: 32	Tipo: Esférico Contribuição: 30, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 1200, Alcance Mín.: 0.0001	Tipo: Esférico Contribuição: 29, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 1850, Alcance Mín.: 1200	Tipo: Esférico Contribuição: 6, Ângulo Anis.: 110 Alcance Máx.: 100000, Alcance Mín.: 1850

Figura 154 - Síntese dos parâmetros que compõem o modelo único de semivariograma para qualquer direção do atributo índice de liquidez, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

A Tabela 55 apresenta um resumo das medidas estatísticas do erro (erro = valor observado – valor estimado), obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de liquidez.

Tabela 55 - Resumo das medidas estatísticas do erro obtido na avaliação cruzada dos valores observados versus estimados a partir do modelo de semivariograma ajustado, para o atributo índice de liquidez

Área de estudo	Coefficiente de variação do erro (%)	Coefficiente de determinação do erro
1	39	0,67
2	14	0,78
3	12	0,68

As cartas resultantes das interpolações por krigagem ordinária estão apresentadas na Figura 155, Figura 156 e Figura 157. Os valores de índice de liquidez positivos, apresentam solos com umidade natural maior que o limite de plasticidade (estado plástico), enquanto que valores de índice de liquidez negativos apresentam solos com umidade natural menores que o limite de plasticidade (estado semi-sólido).

CARTA CLASSES DO INDICE DE LIQUIDEZ DOS SOLOS

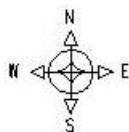
UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMOES

1 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km



Legenda

-  IL > 0 Umidade_Nat_acima_do_LP
-  IL < 0 Umidade_Nat_abaixo_do_LP
-  Rio_Acre
-  Igarape_Sao_Francisco
-  Logradouro

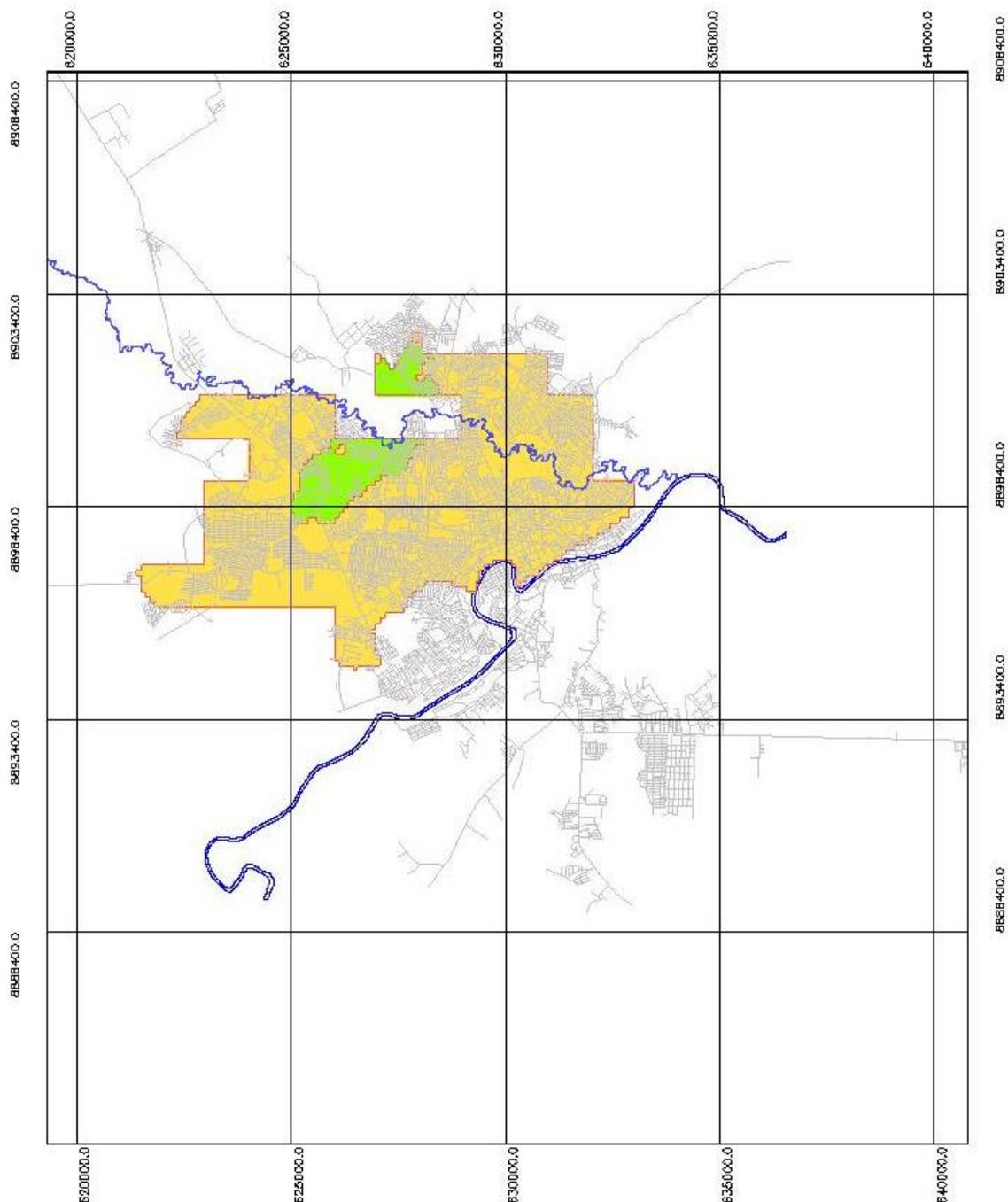


Figura 155 - Carta classes do atributo índice de liquidez (adimensional),

CARTA CLASSES DO INDICE DE LIQUIDEZ DOS SOLOS

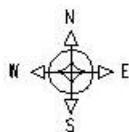
UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMOES

2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km



Legenda

- IL > 0 Umidade_Nat_acima_do_LP
- IL < 0 Umidade_Nat_abaixo_do_LP
- Rio_Acre
- Igarape_Sao_Francisco
- Logradouro

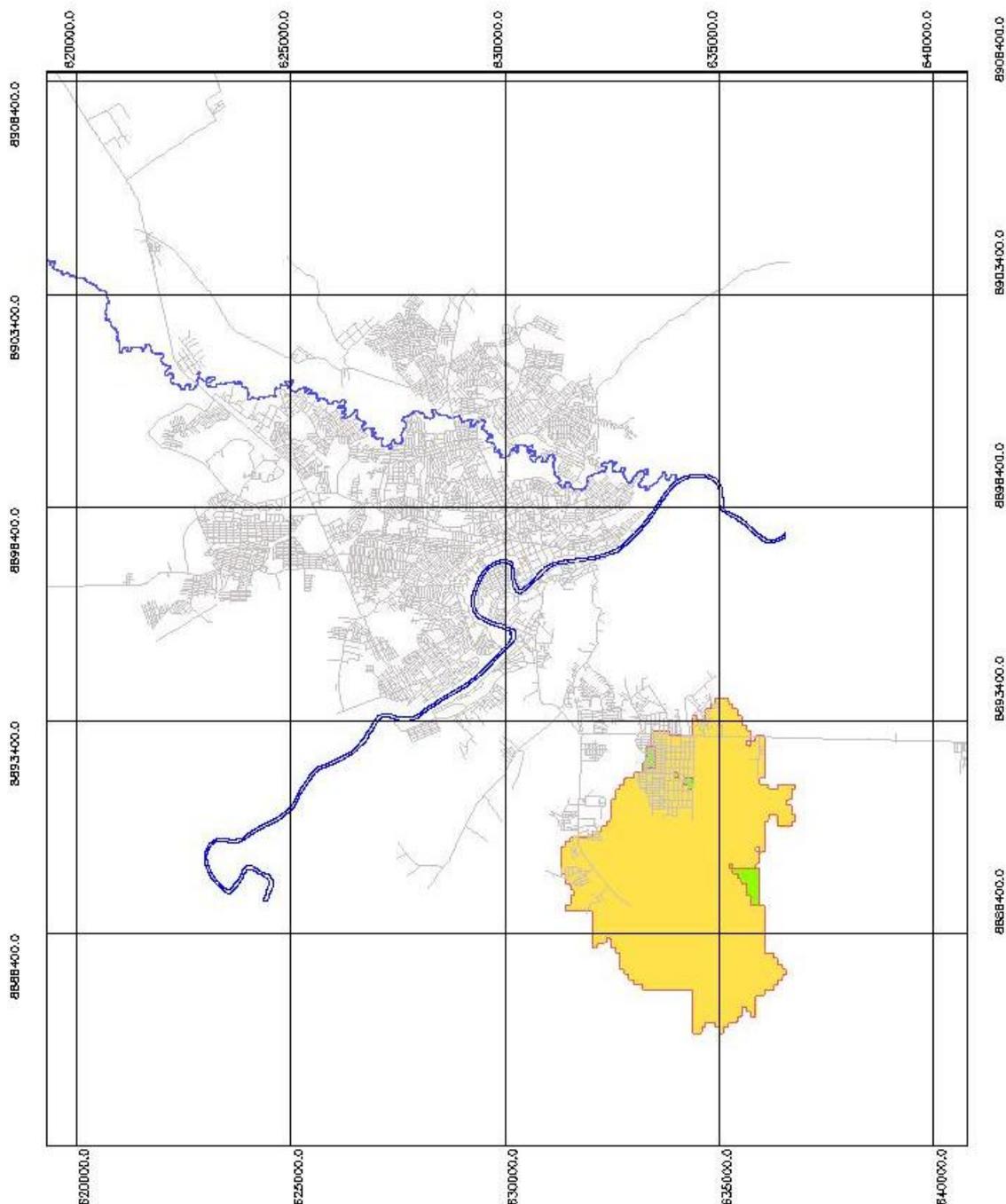


Figura 156 - Carta classes do atributo índice de liquidez (adimensional), na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES DO INDICE DE LIQUIDEZ DOS SOLOS

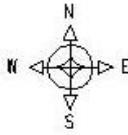
UNIDADE GEOLOGICA TERRACO FLUVIAL

1 e 2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km



Legenda

- IL > 0 Umidade_Nat_acima_do_LP
- IL < 0 Umidade_Nat_abaixo_do_LP
- Rio_Acre
- Igarape_Sao_Francisco
- Logradouro

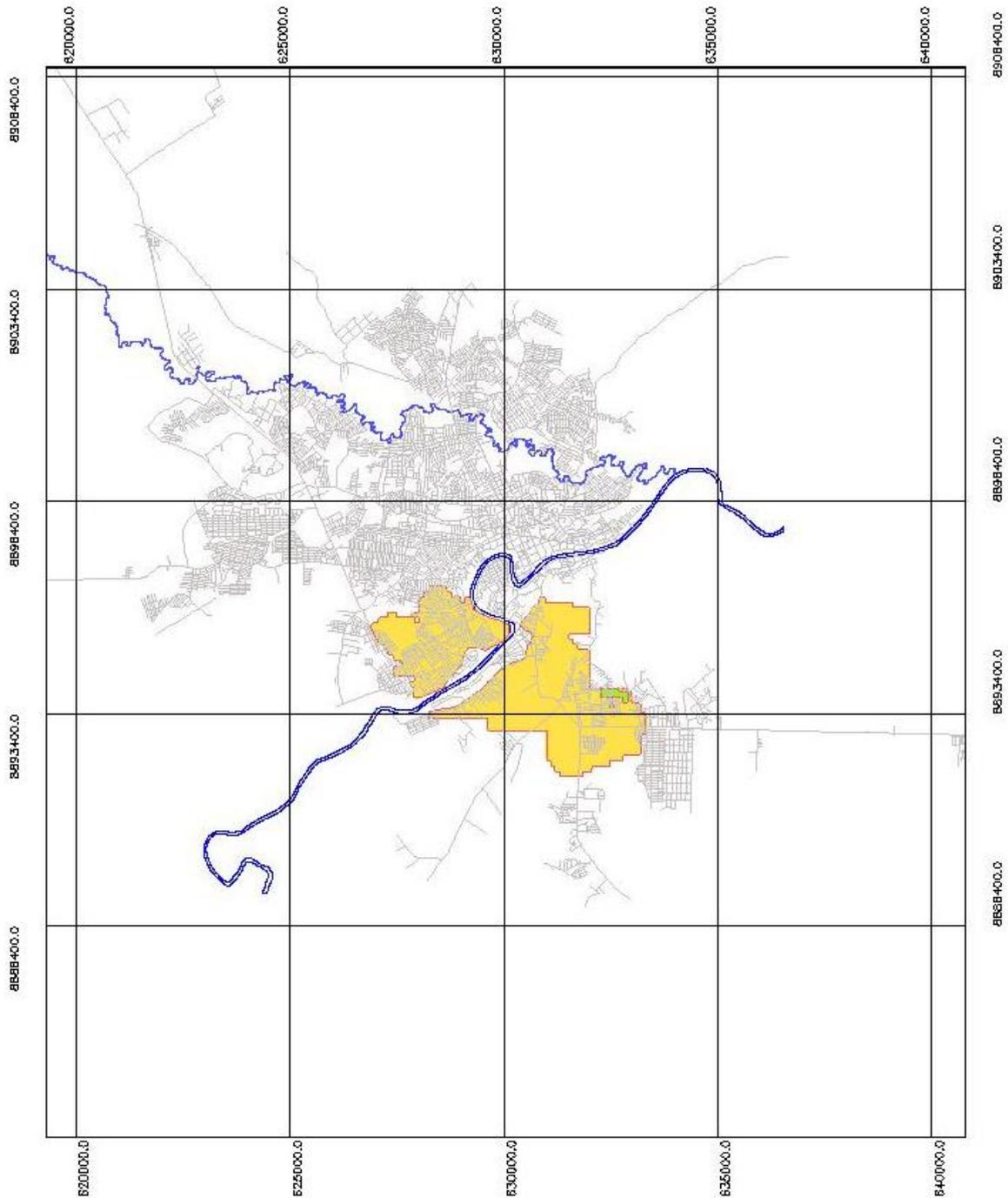


Figura 157 - Carta classes do atributo índice de liquidez (adimensional), na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.12 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COM ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

As matrizes de atributos geotécnicos foram separadas por unidades geológicas diferentes: unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito industrial (área 1), unidade geológica Formação Solimões 2º no distrito industrial (área 2) e unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito industrial (área 3).

As análises de componentes principais foram aplicadas, separadamente, aos atributos relacionados à resistência mecânica dos solos; e atributos relacionados à deformabilidade/expansividade dos solos, com a finalidade de se obter quais os atributos que contribuem com os maiores pesos influenciando a variabilidade dos solos, nas diferentes unidades geológicas.

Nas matrizes de atributos apresentado na Tabela 56, Tabela 57 e Tabela 58, foram considerados nove atributos, que estão relacionados com as características de resistência mecânica dos solos: Resistência a penetração do cone panda Qd (MPa); Número de golpes N_{spt} (golpes); Peso específico do solo seco (kgf/m³); Profundidade do nível d'água (m); Fração areia fina (%); Fração silte (%); Fração argila (%); Umidade natural (%); Índice de consistência (%).

Nas matrizes de atributos apresentadas na Tabela 56, Tabela 57 e Tabela 58, com identificação do número do furo e coordenadas geográficas, compostas por 9 diferentes atributos (colunas), e 48 amostras (linhas) para área 1, 32 amostras (linhas) para a área 2, e 20 amostras (linhas) para área 3, cada amostra, ou célula das matrizes, corresponde aos resultados da média aritmética dos valores de 4 amostras obtidas num mesmo furo nas profundidades 1m, 2m, 3m e 4m.

As matrizes de atributos apresentadas na Tabela 56, Tabela 57 e Tabela 58, foram submetidas à análise de componentes principais, com os autovalores apresentados na Tabela 59, Tabela 60 e Tabela 61, e autovetores apresentados na Tabela 62, Tabela 63 e Tabela 64.

Os resultados da análise de componentes principais apresentados na Tabela 59 mostram que a componente principal 1 corresponde à 31,96 % da variabilidade presente, e a componente principal 2 corresponde à 22,39 % da variabilidade presente, num total acumulado corresponde à 54,35 % da variabilidade presente.

Os resultados da análise de componentes principais apresentados na Tabela 60, mostram que a componente principal 1 corresponde à 34,18 % da variabilidade presente, e a componente principal 2 corresponde à 28,99 % da variabilidade presente, num total acumulado corresponde à 63,16 % da variabilidade presente.

Os resultados da análise de componentes principais apresentados na Tabela 61, mostram que a componente principal 1 corresponde à 41,58 % da variabilidade presente, e a componente principal 2 corresponde à 24,10% da variabilidade presente, num total acumulado corresponde à 65,67 % da variabilidade presente.

Na Tabela 62 são apresentados os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 1, em ordem decrescente: fração areia fina, resistência a penetração do cone panda Qd, peso específico seco, número de golpes Nspt e índice de consistência. Os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 2 são: fração areia fina, peso específico seco e umidade natural.

Na Tabela 63, são apresentados os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 1, em ordem decrescente: fração argila, fração silte, umidade natural, profundidade do nível d'água, índice de consistência, resistência a penetração Nspt, resistência a penetração panda. Os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 2 são: umidade natural, resistência a penetração Nspt e fração argila.

Na Tabela 64 são apresentados os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 1, em ordem decrescente: umidade natural, fração argila, número de golpes Nspt. Os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 2 são: fração areia fina, número de golpes Nspt, peso específico seco e umidade natural.

Os gráficos biplot da Figura 158, Figura 159 e Figura 160, apresentam a correlação dos atributos com maiores pesos e os eixos das componentes principais (atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais).

Nas matrizes de atributos apresentadas na Tabela 65, Tabela 66 e Tabela 67, foram utilizados nove atributos, que estão relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos: Peso específico real dos grãos (g/cm^3); Umidade Higroscópica (%); Limite de liquidez (%); Limite de plasticidade (%); Índice de plasticidade (%); Tangente de alfa (adimensional); Tangente de beta (adimensional); Índice de atividade (adimensional); Índice de liquidez (adimensional).

As matrizes de atributos apresentada na Tabela 65, Tabela 66 e Tabela 67, com identificação do número do furo e coordenadas geográficas, compostas por 9 diferentes atributos (colunas), e 48 amostras (linhas) para área 1, 32 amostras (linhas) para a área 2, e 20 amostras (linhas) para área 3, sendo que cada amostra, ou célula das matrizes, são os resultado da média aritmética dos valores de 4 amostras obtidas num mesmo furo nas profundidade 1m, 2m, 3m e 4m.

As matrizes de atributos apresentada na Tabela 65, Tabela 66 e Tabela 67, foram submetidas à análise de componentes principais, com os autovalores apresentados na Tabela 68, Tabela 69 e Tabela 70, e autovetores apresentados na Tabela 71, Tabela 72 e Tabela 73.

Os resultados da análise de componentes principais apresentados na Tabela 68 mostram que a componente principal 1 corresponde à 62,38% da variabilidade presente, e a componente principal 2 corresponde à 13,00 % da variabilidade presente, num total acumulado corresponde à 75,37 % da variabilidade presente.

Os resultados da análise de componentes principais apresentados na Tabela 69 mostram que a componente principal 1 corresponde à 67,75% da variabilidade presente, e a componente principal 2 corresponde à 12,99 % da variabilidade presente, num total acumulado corresponde à 80,73 % da variabilidade presente.

Os resultados da análise de componentes principais apresentados na Tabela 70 mostram que a componente principal 1 corresponde à 63,38% da variabilidade presente, e a componente principal 2 corresponde à 12,51 % da variabilidade presente, num total acumulado corresponde à 75,89 % da variabilidade presente.

Na Tabela 71 são apresentados os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 1, em ordem decrescente: Limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, limite de plasticidade, tangente de alfa, índice de atividade e peso específico real dos grãos. Os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 2, em ordem decrescente são: limite de plasticidade, peso específico real dos grãos, umidade higroscópica dos solos e limite de liquidez.

Na Tabela 72 são apresentados os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 1, em ordem decrescente: Limite de liquidez, índice de plasticidade, limite de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa, peso específico real dos grãos e índice de atividade. Os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 2, em ordem decrescente são: tangente de beta, índice de atividade, tangente de alfa, índice de plasticidade e limite de liquidez.

Na Tabela 73 são apresentados os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 1, em ordem decrescente: Limite de liquidez, índice de plasticidade, limite de plasticidade, tangente de alfa, índice de atividade, umidade higroscópica dos solos e peso específico real dos grãos. Os atributos com os maiores pesos para a constituição da componente principal 2, em ordem decrescente são: peso específico real dos grãos, tangente de beta, tangente de alfa e limite de plasticidade.

Os gráficos biplot da Figura 161, Figura 162 e Figura 163, apresentam a correlação dos atributos com maiores pesos e os eixos das componentes principais (atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos).

Tabela 56 - Matriz de atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre (área 1).

X	Y	Número do furo	Qd cone Panda (MPa)	Número de golpes Nspst (golpes)	Peso específico seco (kgf/m³)	Profundidade do nível d'água (m)	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)	Umidade natural (%)	Índice de consistência (%)
627453	8902484	1	4,58	9,88	1832	8,0	2,51	26,91	56,27	24,39	0,95
627342	8901618	2	4,57	12,97	1902	8,0	5,65	21,99	60,01	23,39	1,14
628538	8901694	3	4,11	10,59	1818	8,0	3,56	18,39	64,72	26,93	0,99
629558	8901458	4	2,73	7,47	1776	8,0	0,94	16,73	73,58	28,05	0,96
630469	8901574	5	3,08	7,34	1748	8,0	5,22	9,99	81,69	28,60	0,98
622171	8900260	6	7,06	11,63	1729	8,0	15,12	20,08	51,90	22,62	1,02
623773	8900304	7	5,20	16,14	1613	8,0	2,20	30,18	57,10	22,73	1,00
624610	8900536	8	4,63	15,00	1729	2,5	4,94	23,83	52,56	26,34	0,87
625312	8900352	9	3,59	12,82	1675	1,5	5,91	20,81	57,73	26,53	0,89
629481	8900486	10	1,70	4,14	1897	8,0	0,54	22,25	68,25	25,81	0,93
630439	8900618	11	3,52	6,06	1745	3,0	2,36	19,51	45,49	24,94	0,88
631595	8900491	12	3,25	8,72	1787	8,0	3,77	20,05	64,21	24,27	0,95
624317	8899749	13	4,15	9,90	1647	3,0	13,34	19,59	38,63	25,09	0,74
625431	8899592	14	3,87	10,09	1927	8,0	3,29	14,86	74,77	26,97	1,07
626567	8899438	15	7,66	14,33	1652	8,0	10,83	18,99	44,48	20,76	1,01
627419	8899365	16	9,76	13,73	1733	8,0	5,48	24,11	53,33	18,06	1,21
628574	8899623	17	4,64	7,24	1950	8,0	17,26	16,28	36,09	19,87	1,04
629241	8899364	18	3,25	6,40	2180	8,0	27,24	17,33	26,62	21,17	0,73
630685	8899676	19	2,35	10,80	1642	8,0	1,48	27,69	62,00	27,67	0,89
631441	8899568	20	3,72	10,30	1727	8,0	1,48	19,18	70,50	25,21	0,97
623538	8898669	21	9,92	10,68	2192	1,7	30,12	12,10	39,40	19,60	0,93
624424	8898564	22	5,77	10,08	1632	8,0	7,48	23,96	44,01	22,16	0,97
625502	8898492	23	8,65	12,17	1896	4,0	36,35	13,31	27,07	12,15	1,48
626528	8898480	24	4,14	10,28	1758	8,0	5,02	16,36	72,46	26,01	0,96
627480	8898492	25	3,82	10,23	2136	8,0	10,47	14,05	64,15	41,01	0,62
628387	8898424	26	3,81	6,88	1587	8,0	4,50	14,48	70,61	24,31	1,03
629639	8898430	27	4,44	6,32	2237	4,0	23,77	15,57	33,45	18,78	0,93
630442	8898689	28	5,23	5,38	1742	8,0	4,90	28,22	44,54	23,80	0,82
631328	8898602	29	3,06	12,12	1790	2,5	36,31	14,51	27,17	19,43	0,67
632539	8898459	30	4,47	12,06	1926	2,5	6,01	26,52	46,06	23,59	0,91
623608	8897379	31	3,29	9,04	1923	8,0	3,79	20,59	64,97	33,28	0,77
624389	8897502	32	2,51	8,20	1672	8,0	9,98	13,57	67,54	27,86	0,91
625393	8897609	33	3,57	9,64	1967	2,7	4,84	17,57	67,85	25,32	0,97
626687	8897530	34	3,02	6,25	1714	1,5	3,55	17,04	64,33	21,96	1,08
627383	8897544	35	3,22	5,85	1671	2,5	17,29	18,19	49,29	34,69	0,59
628535	8897482	36	3,97	7,14	1550	1,8	4,61	17,56	67,32	33,84	0,87
629318	8897549	37	3,23	12,10	1669	8,0	11,55	13,34	59,76	26,57	0,99
630575	8897705	38	3,30	10,62	2345	3,0	10,81	23,29	50,67	23,08	0,97
631576	8897639	39	3,34	8,26	1888	1,6	11,90	21,00	42,98	37,21	0,32
621459	8896522	41	3,13	11,04	1722	8,0	3,88	15,99	59,13	26,97	0,90
622362	8896485	42	4,18	9,84	1803	2,0	3,10	21,57	59,01	23,98	1,02
623406	8896386	43	4,09	8,64	1814	8,0	6,15	19,99	60,02	23,49	1,02
624659	8896568	44	3,68	8,35	1796	8,0	11,99	18,25	56,29	24,62	1,01
625399	8896606	45	2,98	8,92	1764	2,0	3,95	19,31	64,04	25,45	1,00
626455	8896466	46	4,30	12,80	1766	2,0	10,36	17,77	53,53	22,75	0,93
627448	8896428	47	2,97	5,66	1569	1,5	4,72	18,98	64,43	29,93	0,89
626448	8895548	52	3,60	7,24	1551	8,0	3,83	22,85	55,75	30,42	0,81
626487	8894427	58	5,89	8,52	1558	8,0	1,46	15,54	75,81	23,37	1,12

Tabela 57 - Matriz de atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre (área 2).

X	Y	Número do furo	Qd cone Panda (MPa)	Número de golpes Nspst (golpes)	Peso específico seco (kgf/m³)	Profundidade do nível d'água (m)	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)	Umidade natural (%)	Índice de consistência (%)
634497	8893528	70	2,83	9,62	1786,14	3,50	38,33	11,97	30,08	21,80	0,70
635542	8893462	71	4,02	9,89	1578,13	8,00	2,82	13,95	75,16	30,00	0,95
633422	8892462	74	3,44	9,63	1860,86	8,00	33,17	14,14	34,44	19,40	1,21
634361	8892587	75	4,04	9,75	1580,59	8,00	4,58	19,31	66,14	25,09	1,07
635593	8892506	76	4,14	7,76	1676,23	3,00	25,99	12,80	37,66	21,68	0,83
632632	8891490	78	3,18	8,46	1875,65	8,00	26,14	14,10	33,88	21,53	0,96
633565	8891485	79	3,73	8,29	1786,79	8,00	4,45	21,17	62,75	27,39	0,93
634491	8891446	80	4,02	8,30	1430,69	1,50	8,50	23,65	55,11	23,82	0,94
635487	8891508	81	3,53	5,32	1833,58	8,00	40,60	13,30	33,41	18,75	0,94
636559	8891667	82	5,32	4,78	1930,46	8,00	11,58	24,95	45,05	23,89	0,89
637509	8891527	83	4,57	5,80	1604,20	8,00	14,08	15,17	58,57	25,77	0,97
631578	8890387	84	2,35	8,65	1850,75	8,00	6,22	22,51	36,02	22,08	0,99
632384	8890540	85	2,46	8,20	1788,87	8,00	3,11	15,75	75,73	33,06	0,89
633371	8890600	86	3,47	7,63	1534,55	0,50	4,54	12,35	71,01	35,44	0,59
634475	8890453	87	3,52	6,66	1878,13	8,00	10,64	21,65	41,40	20,99	0,99
635593	8890380	88	4,55	4,82	1859,78	8,00	9,75	17,63	54,55	20,93	1,04
631582	8889546	89	2,94	8,00	1937,62	2,50	32,56	14,09	24,28	21,21	0,57
632366	8889511	90	2,17	7,65	1534,02	1,50	16,74	13,97	47,92	27,29	0,75
633474	8889248	91	1,47	6,25	1610,76	2,50	48,73	8,51	20,64	17,82	1,00
634677	8889612	92	4,33	6,26	1850,63	8,00	18,38	14,91	39,52	20,03	1,05
635482	8889491	93	4,76	5,20	1850,07	4,00	27,29	12,17	41,08	20,46	0,96
632517	8888302	94	4,12	7,05	1785,41	3,00	37,29	11,94	26,53	20,61	0,69
633617	8888567	95	3,38	6,58	1705,06	8,00	20,31	11,72	44,43	20,38	1,10
634491	8888601	96	3,26	6,50	1392,85	2,00	45,53	7,38	38,45	26,95	0,68
635452	8888385	97	4,69	4,93	1782,28	8,00	19,98	16,54	42,41	19,29	1,04
632213	8887546	98	4,18	7,05	1608,60	2,50	53,33	7,58	25,25	18,18	0,98
633771	8887348	99	3,75	6,19	1944,07	3,50	31,40	13,43	32,99	20,46	0,90
634506	8887565	100	4,78	6,13	1814,39	8,00	31,60	11,42	32,46	19,49	0,94
635567	8887467	101	3,45	4,50	1875,92	2,80	30,66	12,53	31,73	19,54	0,87
636631	8887502	102	3,38	4,85	1832,44	8,00	19,70	13,27	41,39	20,86	0,98
634570	8886498	103	3,07	5,32	1808,16	8,00	11,77	16,77	60,14	26,39	0,91
635535	8886482	104	5,33	4,75	1650,05	8,00	16,45	20,93	44,77	17,73	1,08

Tabela 58 - Matriz de atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre (área 3).

X	Y	Número do furo	Qd cone Panda (MPa)	Número de golpes Nspst (golpes)	Peso específico seco (kgf/m³)	Profundidade do nível d'água (m)	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)	Umidade natural (%)	Índice de consistência (%)
628654	8896602	48	2,94	11,57	1873	8,00	6,72	21,40	64,51	27,10	1,46
631597	8896490	51	6,67	5,64	1602	8,00	12,92	16,75	51,68	20,94	1,40
627533	8895496	53	2,11	9,35	1259	3,50	0,16	8,56	82,83	42,32	1,34
628507	8895402	54	4,55	7,53	1904	3,00	6,59	22,30	55,96	27,33	1,32
629727	8895350	55	3,30	9,13	1933	2,00	19,93	25,48	39,23	30,55	0,61
630830	8895545	56	3,90	8,04	1335	3,00	39,38	13,01	35,29	25,61	0,67
631559	8895532	57	5,03	11,57	1815	3,50	26,18	18,49	31,20	18,94	0,89
627420	8894432	59	3,08	8,59	1587	1,00	10,94	25,32	47,42	38,94	0,41
628418	8894504	60	1,29	15,69	1155	1,00	1,26	9,91	75,39	57,39	0,73
630350	8894396	62	3,08	8,37	1524	3,20	13,94	16,82	61,86	37,80	0,69
631511	8894690	63	4,76	13,13	1651	8,00	10,77	24,44	35,46	21,08	0,89
628622	8893334	64	6,67	6,25	1804	8,00	19,65	19,98	32,58	19,86	0,84
629501	8893328	65	3,42	9,30	1536	8,00	0,63	25,11	63,43	31,88	1,33
630518	8893086	66	2,95	9,15	1960	0,50	20,70	18,23	37,16	34,44	0,31
631441	8893428	67	3,58	12,46	1903	3,80	33,32	13,89	31,16	21,03	0,72
632456	8893539	68	5,70	7,18	1649	8,00	44,98	8,56	36,45	19,58	0,94
633519	8893492	69	3,81	6,32	1700	8,00	18,53	15,29	47,00	24,19	1,16
631355	8892722	72	2,66	6,65	1581	3,00	43,73	8,74	27,60	23,87	0,46
632613	8892458	73	3,34	6,46	1577	3,00	10,21	9,69	70,12	31,98	1,21
631514	8891426	77	6,40	5,12	1863	8,00	29,59	13,40	37,96	15,95	1,43

Tabela 59 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na área 1.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Variabilidade (%)	31,96%	22,39%	14,34%	9,50%	8,19%	7,33%	4,56%	1,06%	0,67%
% acumulada	31,96%	54,35%	68,69%	78,19%	86,38%	93,71%	98,27%	99,33%	100,00%

Tabela 60 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na área 2.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Variabilidade (%)	34,18%	28,99%	12,07%	9,94%	6,79%	5,18%	1,82%	0,75%	0,31%
% acumulada	34,18%	63,16%	75,23%	85,16%	91,95%	97,13%	98,95%	99,69%	100,00%

Tabela 61 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos na área 3.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Variabilidade (%)	41,58%	24,10%	16,91%	7,76%	5,02%	2,51%	1,37%	0,54%	0,22%
% acumulada	41,58%	65,67%	82,58%	90,35%	95,36%	97,87%	99,24%	99,78%	100,00%

Tabela 62 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos para área 1.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Fração areia fina	0,459	0,355	-0,138	0,042	0,139	-0,267	0,180	0,433	-0,576
Qd cone Panda	0,432	-0,257	0,065	0,089	0,227	-0,138	-0,803	-0,129	-0,052
Peso específico seco	0,240	0,321	-0,147	-0,568	0,132	0,678	-0,124	-0,038	0,033
Número de golpes N _{spt}	0,238	-0,315	0,378	0,174	0,654	0,238	0,426	-0,043	0,066
Índice de consistência	0,230	-0,527	-0,339	0,090	-0,271	0,253	0,044	0,597	0,225
Fração silte	-0,073	-0,215	0,727	-0,371	-0,320	0,054	-0,074	0,264	-0,320
Profundidade do nível d'água	-0,111	-0,355	-0,274	-0,684	0,297	-0,463	0,120	-0,011	0,024
Fração argila	-0,445	-0,297	-0,290	0,144	0,159	0,335	-0,107	-0,085	-0,673
Umidade natural	-0,468	0,258	0,102	0,048	0,442	-0,014	-0,305	0,599	0,233

Tabela 63 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos para área 2.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Fração argila	0,514	0,176	0,152	-0,103	0,272	0,082	-0,224	-0,149	0,720
Fração silte	0,405	-0,213	-0,058	0,281	-0,572	-0,424	0,232	-0,377	0,073
Umidade natural	0,359	0,434	0,076	0,143	0,291	0,162	0,047	-0,469	-0,569
Profundidade do nível d'água	0,298	-0,423	-0,255	-0,117	0,346	0,248	0,676	0,123	0,004
Índice de consistência	0,143	-0,438	-0,205	-0,609	0,089	-0,186	-0,446	-0,270	-0,246
Número de golpes N _{spt}	0,128	0,324	-0,585	-0,226	-0,489	0,490	-0,051	0,043	0,042
Qd cone Panda	0,122	-0,324	0,643	-0,085	-0,347	0,569	-0,056	-0,017	-0,111
Peso específico seco	-0,065	-0,394	-0,325	0,648	0,163	0,318	-0,400	-0,157	0,048
Fração areia fina	-0,546	-0,002	0,003	-0,166	0,023	0,161	0,268	-0,708	0,275

Tabela 64 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com a resistência mecânica dos solos, obtidos para área 3.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Umidade natural	0,499	0,031	-0,006	0,151	-0,132	-0,080	-0,449	-0,477	-0,523
Fração argila	0,393	-0,408	0,098	0,169	0,161	-0,019	-0,078	-0,315	0,714
Número de golpes N _{spt}	0,285	0,116	-0,315	-0,832	0,178	-0,265	0,031	-0,069	0,075
Fração silte	-0,067	-0,092	-0,749	0,136	-0,394	0,219	0,326	-0,310	0,048
Índice de consistência	-0,076	-0,631	0,113	-0,062	0,363	-0,074	0,465	-0,190	-0,436
Profundidade do nível d'água	-0,307	-0,440	0,058	-0,408	-0,203	0,503	-0,497	-0,034	-0,005
Fração areia fina	-0,320	0,424	0,334	-0,144	0,097	0,196	0,185	-0,702	0,101
Peso específico seco	-0,334	0,071	-0,449	0,215	0,686	-0,035	-0,396	-0,082	0,000
Qd cone Panda	-0,444	-0,184	0,026	-0,002	-0,341	-0,760	-0,176	-0,189	0,091

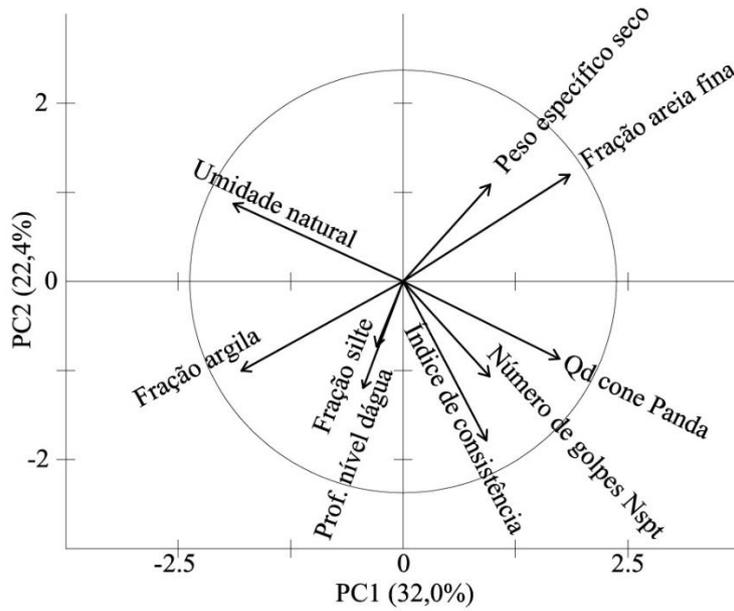


Figura 158 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 1.

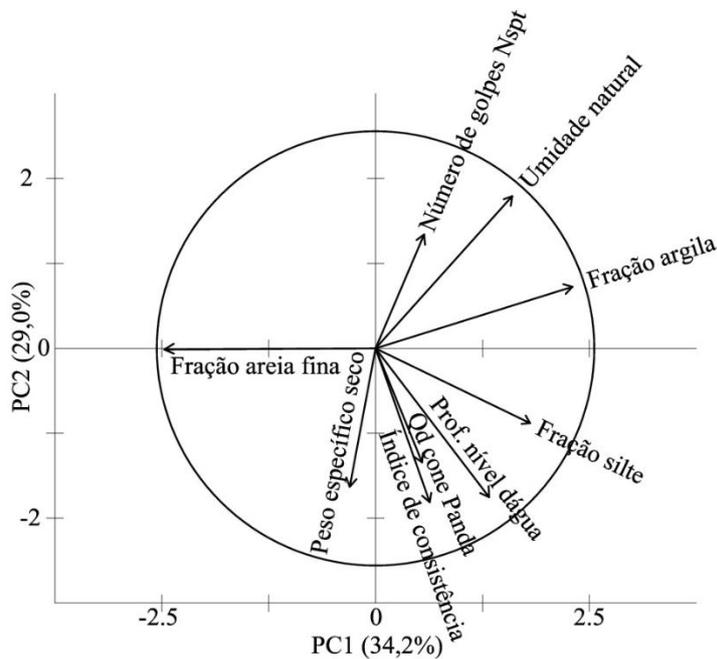


Figura 159 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 2.

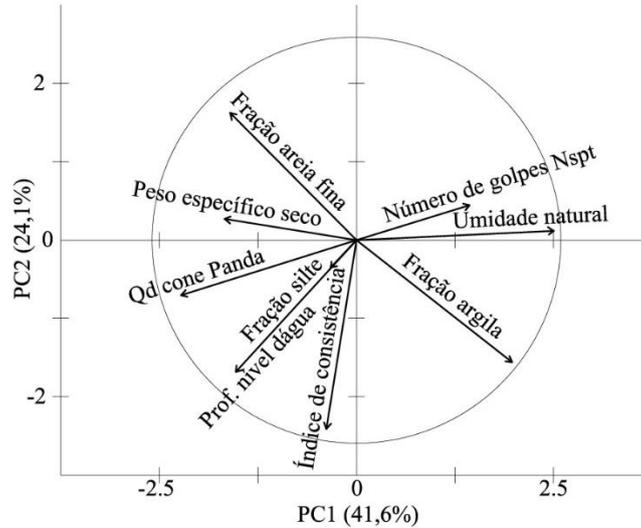


Figura 160 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a resistência mecânica dos solos e capacidade de carga das fundações superficiais, obtidos na área 3. Tabela 65 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 1.

X	Y	Número do Furo	Peso específico real dos grãos (g/cm³)	Umidade Higroscópica (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Tangente de alfa (adimensional)	Tangente de beta (adimensional)	Índice de atividade (adimensional)	Índice de liquidez (adimensional)
627453	8902484	1	2,670	4,082	58,747	22,664	36,083	18,750	0,137	0,643	0,055
627342	8901618	2	2,762	4,556	64,592	28,150	36,443	18,256	0,123	0,608	-0,141
628538	8901694	3	2,765	5,893	67,297	26,708	40,589	22,535	0,144	0,626	0,007
629558	8901458	4	2,737	6,644	72,644	26,112	46,532	22,365	0,129	0,635	0,043
630469	8901574	5	2,738	8,148	73,860	27,544	46,316	21,585	0,126	0,568	0,017
622171	8900260	6	2,638	2,888	57,875	23,660	34,214	18,982	0,141	0,577	-0,023
623773	8900304	7	2,680	5,895	54,767	22,111	32,656	16,289	0,127	0,563	0,000
624610	8900536	8	2,712	3,452	54,407	22,200	32,207	17,418	0,139	0,614	0,130
625312	8900352	9	2,714	4,113	59,283	22,485	36,798	19,848	0,143	0,655	0,108
629481	8900486	10	2,735	6,677	65,971	22,642	43,330	22,910	0,148	0,638	0,071
630439	8900618	11	2,714	4,635	51,764	21,471	30,293	18,840	0,157	0,665	0,121
631595	8900491	12	2,712	6,870	62,441	22,314	40,128	19,900	0,137	0,633	0,048
624317	8899749	13	2,690	2,435	42,458	20,768	21,690	15,738	0,160	0,549	0,257
625431	8899592	14	2,718	5,488	68,943	29,356	39,588	19,873	0,125	0,528	-0,066
626567	8899438	15	2,678	2,445	45,256	21,709	23,547	18,710	0,176	0,529	-0,008
627419	8899365	16	2,733	3,340	53,055	24,266	28,789	20,901	0,171	0,541	-0,214
628574	8899623	17	2,699	2,286	40,005	20,028	19,977	16,345	0,176	0,533	-0,045
629241	8899364	18	2,674	1,458	31,966	19,226	12,740	11,140	0,146	0,451	0,268
630685	8899676	19	2,714	4,538	57,456	24,024	33,433	17,414	0,130	0,543	0,106
631441	8899568	20	2,738	5,801	66,366	23,499	42,867	18,709	0,122	0,602	0,027
623538	8898669	21	2,695	2,019	43,223	18,985	24,237	20,829	0,209	0,615	0,071
624424	8898564	22	2,692	2,198	47,544	22,309	25,235	19,350	0,172	0,554	0,029
625502	8898492	23	2,699	1,485	31,074	17,697	13,378	13,273	0,181	0,469	-0,482
626528	8898480	24	2,706	6,193	72,618	24,358	48,261	23,333	0,139	0,671	0,038
627480	8898492	25	2,729	4,602	64,988	26,289	38,699	21,569	0,145	0,600	0,380
628387	8898424	26	2,746	5,091	74,213	24,776	49,437	23,932	0,143	0,692	-0,033
629639	8898430	27	2,687	1,496	35,659	17,544	18,115	16,137	0,192	0,537	0,073
630442	8898689	28	2,682	2,551	46,416	19,778	26,639	19,496	0,175	0,587	0,176
631328	8898602	29	2,677	1,923	29,821	16,743	13,079	12,640	0,180	0,474	0,332
632539	8898459	30	2,670	3,352	47,822	21,406	26,416	19,284	0,174	0,579	0,086
623608	8897379	31	2,714	5,292	66,469	22,647	43,822	23,362	0,151	0,662	0,231
624389	8897502	32	2,725	5,424	67,261	24,564	42,697	21,255	0,136	0,642	0,088
625393	8897609	33	2,760	6,103	65,890	24,063	41,827	21,075	0,137	0,627	0,029
626687	8897530	34	2,712	5,066	73,661	26,549	47,111	22,309	0,134	0,717	-0,081
627383	8897544	35	2,702	4,256	53,694	21,400	32,294	19,269	0,162	0,642	0,407
628535	8897482	36	2,706	5,979	73,825	27,651	46,174	24,098	0,141	0,686	0,135
629318	8897549	37	2,695	4,866	59,019	24,345	34,673	21,324	0,160	0,556	0,012
630575	8897705	38	2,721	3,654	51,260	22,068	29,192	18,263	0,156	0,572	0,034
631576	8897639	39	2,703	3,353	47,333	19,305	28,029	18,312	0,167	0,675	0,683
621459	8896522	41	2,731	5,435	62,163	23,628	38,534	21,182	0,148	0,644	0,097
622362	8896485	42	2,732	4,469	62,314	24,562	37,752	20,285	0,141	0,638	-0,022
623406	8896386	43	2,721	4,844	60,932	24,042	36,890	18,930	0,138	0,614	-0,020
624659	8896568	44	2,727	4,767	63,038	25,466	37,571	19,004	0,140	0,655	-0,007
625399	8896606	45	2,599	6,740	64,051	25,280	38,771	19,145	0,129	0,606	0,001
626455	8896466	46	2,738	4,145	54,443	21,161	33,282	17,889	0,144	0,610	0,074
627448	8896428	47	2,693	5,800	68,576	25,218	43,358	21,256	0,133	0,669	0,106
626448	8895548	52	2,711	3,077	56,941	23,918	33,023	18,897	0,142	0,589	0,195
626487	8894427	58	2,762	5,626	82,507	27,925	54,582	28,094	0,148	0,710	-0,121

Tabela 66 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 2.

X	Y	Número do Furo	Peso específico real dos grãos (g/cm³)	Umidade Higroscópica (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Tangente de alfa (adimensional)	Tangente de beta (adimensional)	Índice de atividade (adimensional)	Índice de liquidez (adimensional)
634497	8893528	70	2,67	2,20	33,71	18,60	15,12	14,428	0,179	0,47	0,30
635542	8893462	71	2,74	5,89	75,23	27,68	47,55	25,679	0,147	0,63	0,05
633422	8892462	74	2,68	2,35	40,52	20,28	20,24	16,970	0,182	0,56	-0,21
634361	8892587	75	2,73	4,48	66,20	26,96	39,23	24,141	0,158	0,59	-0,07
635593	8892506	76	2,67	1,96	41,98	18,59	23,39	17,759	0,183	0,64	0,17
632632	8891490	78	2,70	2,24	39,13	20,98	18,16	16,505	0,178	0,53	0,04
633565	8891485	79	2,72	5,21	60,58	25,28	35,30	20,283	0,143	0,56	0,07
634491	8891446	80	2,67	2,76	55,37	22,38	33,00	22,937	0,174	0,59	0,06
635487	8891508	81	2,69	2,34	33,27	18,21	15,05	13,560	0,172	0,44	0,06
636559	8891667	82	2,71	2,48	49,50	20,95	28,55	21,595	0,185	0,62	0,11
637509	8891527	83	2,73	3,28	60,76	24,79	35,97	18,349	0,163	0,61	0,03
631578	8890387	84	2,70	2,40	42,36	21,60	20,75	15,481	0,155	0,57	0,01
632384	8890540	85	2,73	6,36	75,83	28,05	47,78	27,396	0,157	0,63	0,11
633371	8890600	86	2,71	4,78	72,75	26,73	46,02	24,832	0,146	0,65	0,41
634475	8890453	87	2,71	2,34	55,02	21,16	33,86	18,066	0,167	0,86	0,01
635593	8890380	88	2,68	2,85	56,17	22,14	34,02	22,003	0,167	0,62	-0,04
631582	8889546	89	2,68	1,25	27,11	17,16	9,96	12,118	0,189	0,38	0,43
632366	8889511	90	2,70	3,04	51,76	21,32	30,43	18,994	0,159	0,63	0,25
633474	8889248	91	2,66	0,92	25,85	17,34	8,51	9,947	0,164	0,37	0,00
634677	8889612	92	2,71	2,69	43,88	21,32	22,56	16,409	0,159	0,56	-0,05
635482	8889491	93	2,70	2,64	45,40	20,66	24,75	19,058	0,180	0,60	0,04
632517	8888302	94	2,68	1,65	31,09	18,23	12,87	11,197	0,148	0,46	0,31
633617	8888567	95	2,70	2,99	46,52	22,77	23,75	17,423	0,158	0,53	-0,10
634491	8888601	96	2,70	1,92	46,32	23,84	22,47	16,696	0,158	0,52	0,32
635452	8888385	97	2,70	2,59	42,65	20,57	22,08	15,861	0,159	0,52	-0,04
632213	8887546	98	2,66	1,25	31,27	17,27	14,00	13,601	0,184	0,48	0,02
633771	8887348	99	2,69	1,68	37,40	19,14	18,26	15,702	0,180	0,55	0,10
634506	8887565	100	2,70	1,94	39,42	19,87	19,55	17,094	0,182	0,59	0,06
635567	8887467	101	2,67	1,87	35,45	18,09	17,36	13,535	0,163	0,53	0,13
636631	8887502	102	2,71	1,90	43,72	20,37	23,35	18,703	0,182	0,56	0,02
634570	8886498	103	2,75	3,45	62,66	24,32	38,33	21,965	0,151	0,62	0,09
635535	8886482	104	2,70	1,85	45,76	19,84	25,93	19,079	0,177	0,58	-0,08

Tabela 67 - Matriz de atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade obtidos na área 3.

X	Y	Número do Furo	Peso específico real dos grãos (g/cm³)	Umidade Higroscópica (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Tangente de alfa (adimensional)	Tangente de beta (adimensional)	Índice de atividade (adimensional)	Índice de liquidez (adimensional)
628654	8896602	48	2,67	5,59	66,27	26,65	39,62	21,95	0,141	0,612	0,01
631597	8896490	51	2,67	4,85	52,60	22,01	30,59	17,49	0,145	0,579	-0,09
627533	8895496	53	2,70	4,59	84,61	31,69	52,92	27,19	0,137	0,635	0,19
628507	8895402	54	2,71	5,29	60,19	24,48	35,71	20,91	0,152	0,643	0,11
629727	8895350	55	2,67	3,74	47,97	20,81	27,16	16,46	0,158	0,635	0,61
630830	8895545	56	2,67	3,36	37,86	17,32	20,54	14,23	0,164	0,550	0,49
631559	8895532	57	2,67	3,21	35,09	18,24	16,85	13,86	0,171	0,520	0,09
627420	8894432	59	2,66	4,32	48,87	21,86	27,01	17,50	0,154	0,570	0,69
628418	8894504	60	2,71	2,86	78,46	28,98	49,47	24,27	0,133	0,654	0,59
630350	8894396	62	2,69	7,07	58,25	25,62	32,63	18,29	0,140	0,549	0,54
631511	8894690	63	2,69	3,14	40,17	21,38	18,79	15,84	0,169	0,524	-0,03
628622	8893334	64	2,67	2,94	35,87	18,40	17,47	14,91	0,179	0,537	0,12
629501	8893328	65	2,71	5,71	69,69	29,22	40,47	22,90	0,142	0,653	0,07
630518	8893086	66	2,69	2,56	41,38	19,33	22,05	17,22	0,181	0,591	0,77
631441	8893428	67	2,67	2,49	34,74	18,33	16,41	11,51	0,141	0,527	0,19
632456	8893539	68	2,69	2,44	39,61	20,04	19,57	14,34	0,152	0,493	-0,11
633519	8893492	69	2,70	3,81	52,39	23,47	28,92	19,76	0,165	0,593	0,05
631355	8892722	72	2,67	1,18	33,08	19,25	13,84	12,62	0,161	0,435	0,50
632613	8892458	73	2,75	4,83	65,34	27,29	38,04	20,62	0,137	0,543	0,13
631514	8891426	77	2,69	2,63	48,48	22,66	25,82	20,70	0,185	0,580	-0,30

Tabela 68 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 1.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Variabilidade (%)	62,38%	13,00%	10,36%	7,40%	3,38%	2,65%	0,74%	0,11%	0,00%
% acumulada	62,38%	75,37%	85,73%	93,13%	96,51%	99,16%	99,89%	100,00%	100,00%

Tabela 69 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 2.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Variabilidade (%)	67,75%	12,99%	8,86%	4,99%	3,57%	1,02%	0,54%	0,28%	0,00%
% acumulada	67,75%	80,73%	89,59%	94,58%	98,16%	99,18%	99,72%	100,00%	100,00%

Tabela 70 - Matriz de autovalores com a variabilidade das componentes principais dos atributos relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 3.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Variabilidade (%)	63,38%	12,51%	8,92%	7,79%	4,78%	2,30%	0,29%	0,04%	0,00%
% acumulada	63,38%	75,89%	84,81%	92,60%	97,38%	99,67%	99,96%	100,00%	100,00%

Tabela 71 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 1.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Límite de liquidez	0,419	0,001	-0,037	0,081	0,089	-0,042	0,232	-0,404	-0,768
Índice de plasticidade	0,416	-0,068	-0,013	0,097	-0,068	0,047	0,441	-0,483	0,615
Umidade higroscópica dos solos	0,372	0,022	-0,250	-0,010	-0,199	0,767	-0,411	0,049	0,000
Límite de plasticidade	0,369	0,238	-0,115	0,013	0,612	-0,337	-0,518	-0,073	0,180
Tangente de alfa	0,354	-0,200	0,387	0,304	0,334	0,164	0,284	0,611	0,000
Índice de atividade	0,317	-0,450	0,194	0,178	-0,541	-0,427	-0,389	0,047	0,000
Peso específico real dos grãos	0,229	0,106	0,513	-0,818	-0,054	0,025	-0,005	0,010	0,000
Índice de liquidez	-0,070	-0,799	-0,338	-0,357	0,334	0,043	0,022	-0,033	0,000
Tangente de beta	-0,306	-0,213	0,598	0,251	0,234	0,289	-0,288	-0,468	0,000

Tabela 72 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 2.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Límite de liquidez	0,401	0,013	0,088	-0,058	0,123	-0,165	-0,071	-0,427	0,774
Índice de plasticidade	0,397	0,047	0,144	-0,024	0,159	-0,082	-0,310	-0,566	-0,608
Límite de plasticidade	0,388	-0,103	-0,110	-0,171	-0,008	-0,437	0,754	0,082	-0,177
Umidade higroscópica dos solos	0,374	-0,146	-0,118	-0,306	0,125	0,826	0,175	0,053	0,000
Tangente de alfa	0,370	0,160	0,249	-0,340	0,175	-0,212	-0,401	0,650	0,000
Peso específico real dos grãos	0,342	-0,032	-0,147	0,075	-0,904	0,020	-0,188	0,043	0,000
Índice de atividade	0,274	0,406	0,387	0,702	0,049	0,198	0,228	0,154	0,000
Índice de liquidez	-0,039	-0,737	0,663	0,062	-0,097	0,011	0,032	0,032	0,000
Tangente de beta	-0,246	0,480	0,521	-0,506	-0,291	0,092	0,224	-0,196	0,000

Tabela 73 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos das componentes principais, relacionados com as características de deformabilidade/expansividade dos solos obtidos na área 3.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
Límite de liquidez	0,414	-0,032	0,035	-0,053	0,170	0,142	0,188	-0,346	-0,787
Índice de plasticidade	0,412	-0,068	0,065	-0,034	0,185	0,060	0,544	-0,392	0,578
Límite de plasticidade	0,406	0,067	-0,045	-0,101	0,124	0,354	-0,765	-0,213	0,217
Tangente de alfa	0,393	0,090	0,310	-0,007	0,101	0,339	0,158	0,769	0,000
Índice de atividade	0,321	-0,168	0,517	0,326	-0,025	-0,666	-0,228	-0,007	0,000
Umidade higroscópica dos solos	0,286	-0,092	-0,362	0,583	-0,638	0,169	0,058	0,013	0,000
Peso específico real dos grãos	0,271	0,369	-0,024	-0,627	-0,563	-0,279	0,036	0,012	0,000
Índice de liquidez	-0,024	-0,873	0,123	-0,367	-0,253	0,144	-0,032	0,037	0,000
Tangente de beta	-0,285	0,216	0,695	0,107	-0,351	0,407	0,027	-0,297	0,000

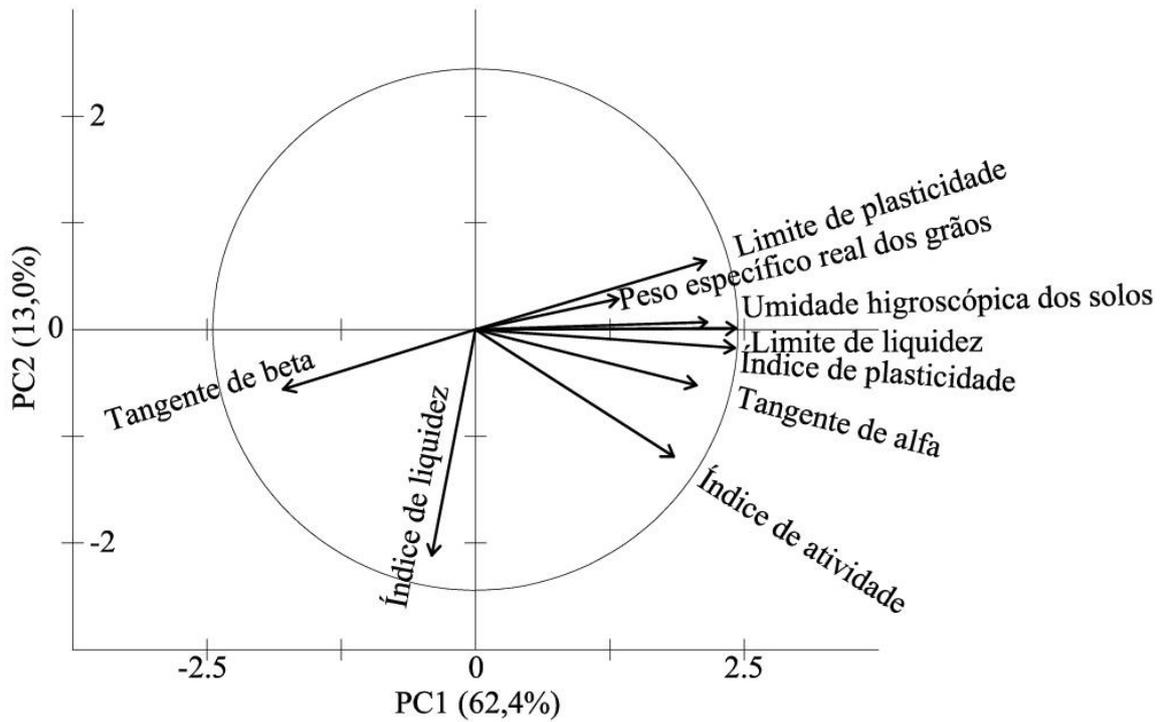


Figura 161 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos, amostras obtidas na área 1.

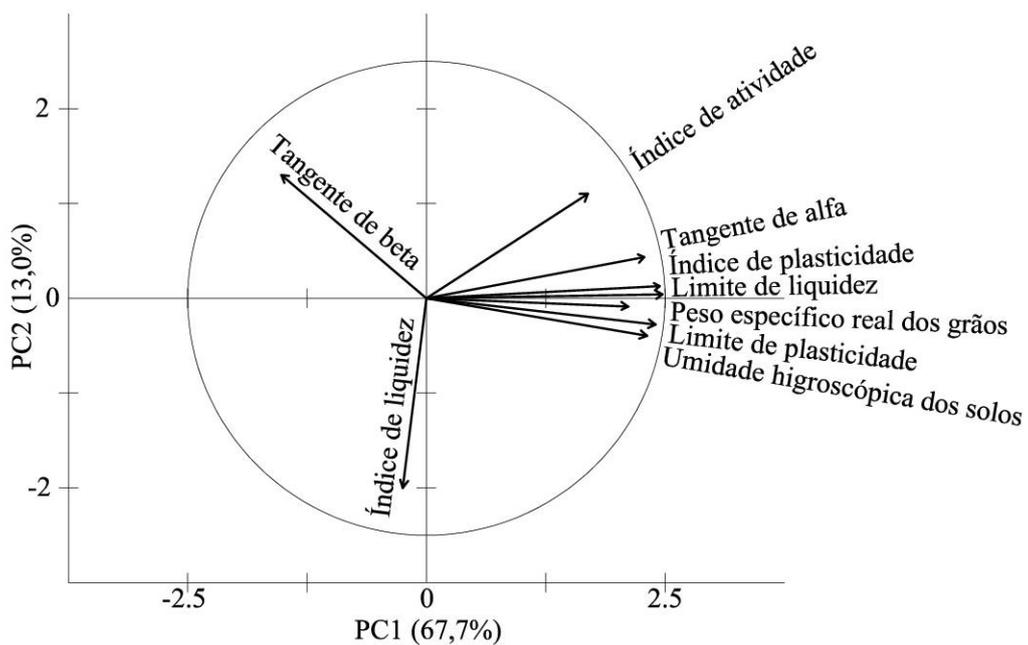


Figura 162 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos, amostras obtidas na área 2.

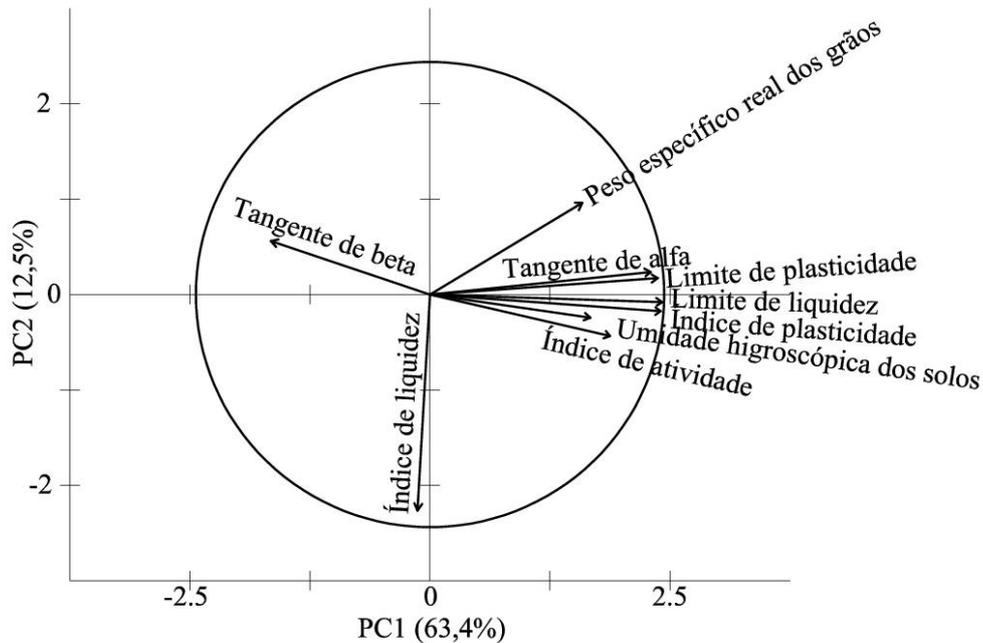


Figura 163 - Resultado gráfico biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre as componentes PC1 e PC2 e os atributos relacionados com a deformabilidade/expansividade dos solos, amostras obtidas na área 3.

5.12.1 Análise de componentes principais da matriz de atributos geotécnicos da unidade geológica Aluvião.

A matriz de atributos pertencentes a unidade geológica Aluvião, é composta por 16 amostras. A Figura 164 apresenta a localização dos furos de sondagem realizados na unidade geológica Aluvião. A Tabela 74 apresenta as médias aritméticas dos valores dos atributos: resistência de ensaio de cone Panda (MPa), massa específica dos grãos do solo (g/cm^3), umidade higroscópica (%), fração areia fina (%), fração silte (%), fração argila (%), limite de liquidez (%), limite de plasticidade (%), índice de plasticidade (%), tangente de alfa, tangente de beta, índice de atividade.

A matriz de atributos da unidade geológica Aluvião, foi submetida à análise de componentes principais, com os autovalores e autovetores apresentados na Tabela 75 e Tabela 76. A análise de componentes principais aplicada na matriz de atributos da unidade geológica Aluvião, mostram que o maior peso para a constituição do autovetor 1, que corresponde à 61% da variabilidade presente, é o atributo fração areia fina, e para o autovetor 2, com 16% da variabilidade presente, são os atributos massa específica real e resistência a penetração do cone Panda, que apresentam os maiores pesos da componente principal 2. O gráfico biplot da Figura 165 apresenta a correlação dos atributos com maior peso e os eixos das componentes principais.

Tabela 74 - Valores de média dos atributos da unidade geológica Aluvião.

Atributos	Unidade	Média
Resistência de Cone Panda	MPa	3,58
Massa Específica Real	g/cm ³	2,67
Fração Areia Fina	%	11,26
Fração Silte	%	25,31
Fração Argila	%	35,41
Umidade Higroscópica	%	3,02
Limite de Liquidez	%	39,00
Limite de Plasticidade	%	20,35
Índice de Plasticidade	%	18,65
Tangente de Alfa	adimensional	14,20
Tangente de Beta	adimensional	0,16
Índice de Atividade	adimensional	0,50

Tabela 75 - Matriz de autovalores com peso da variabilidade das componentes principais da unidade geológica Aluvião.

Informação	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9	Comp.10	Comp.11	Comp.12
Variabilidade (%)	61%	16%	12%	6%	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% Acumulada	61%	77%	89%	95%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabela 76 - Matriz de autovetores com pesos dos atributos nos componentes principais da unidade geológica Aluvião.

Atributos	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9	Comp.10	Comp.11	Comp.12
Fração Areia Fina	0,303	0,310	-0,074	-0,317	-0,398	0,088	-0,149	0,282	0,662	0,018	0,000	0,000
Tangente de Beta	0,003	0,527	0,297	0,005	0,180	-0,561	0,158	0,063	-0,011	-0,411	0,299	0,000
Massa Específica Real	-0,011	0,335	-0,476	0,548	0,240	-0,005	-0,420	-0,275	0,225	-0,005	0,000	0,000
Resistência de Cone Panda	-0,103	0,075	0,472	0,605	-0,607	0,112	-0,093	0,041	-0,063	-0,006	-0,003	0,000
Fração Silte	-0,181	-0,448	0,226	0,294	0,387	-0,138	0,019	0,411	0,538	0,027	0,030	0,000
Limite de Plasticidade	-0,219	0,014	-0,578	0,211	-0,268	-0,085	0,539	0,357	-0,045	-0,165	-0,037	-0,214
Índice de Atividade	-0,297	0,337	0,102	-0,080	0,274	0,552	-0,182	0,448	-0,181	-0,290	-0,224	0,000
Tangente de Alfa	-0,319	0,388	0,129	-0,041	0,079	-0,208	0,208	-0,017	0,071	0,655	-0,449	0,000
Umidade Higroscópica	-0,336	-0,146	-0,162	-0,191	-0,226	-0,471	-0,619	0,301	-0,231	0,054	0,006	0,000
Fração Argila	-0,402	-0,133	0,051	-0,166	-0,145	-0,075	0,015	-0,454	0,305	-0,506	-0,456	0,000
Índice de Plasticidade	-0,419	0,050	0,068	-0,156	-0,014	0,203	-0,035	-0,202	0,140	0,152	0,515	-0,634
Limite de Liquidez	-0,420	0,047	-0,108	-0,072	-0,089	0,149	0,125	-0,070	0,106	0,082	0,428	0,743

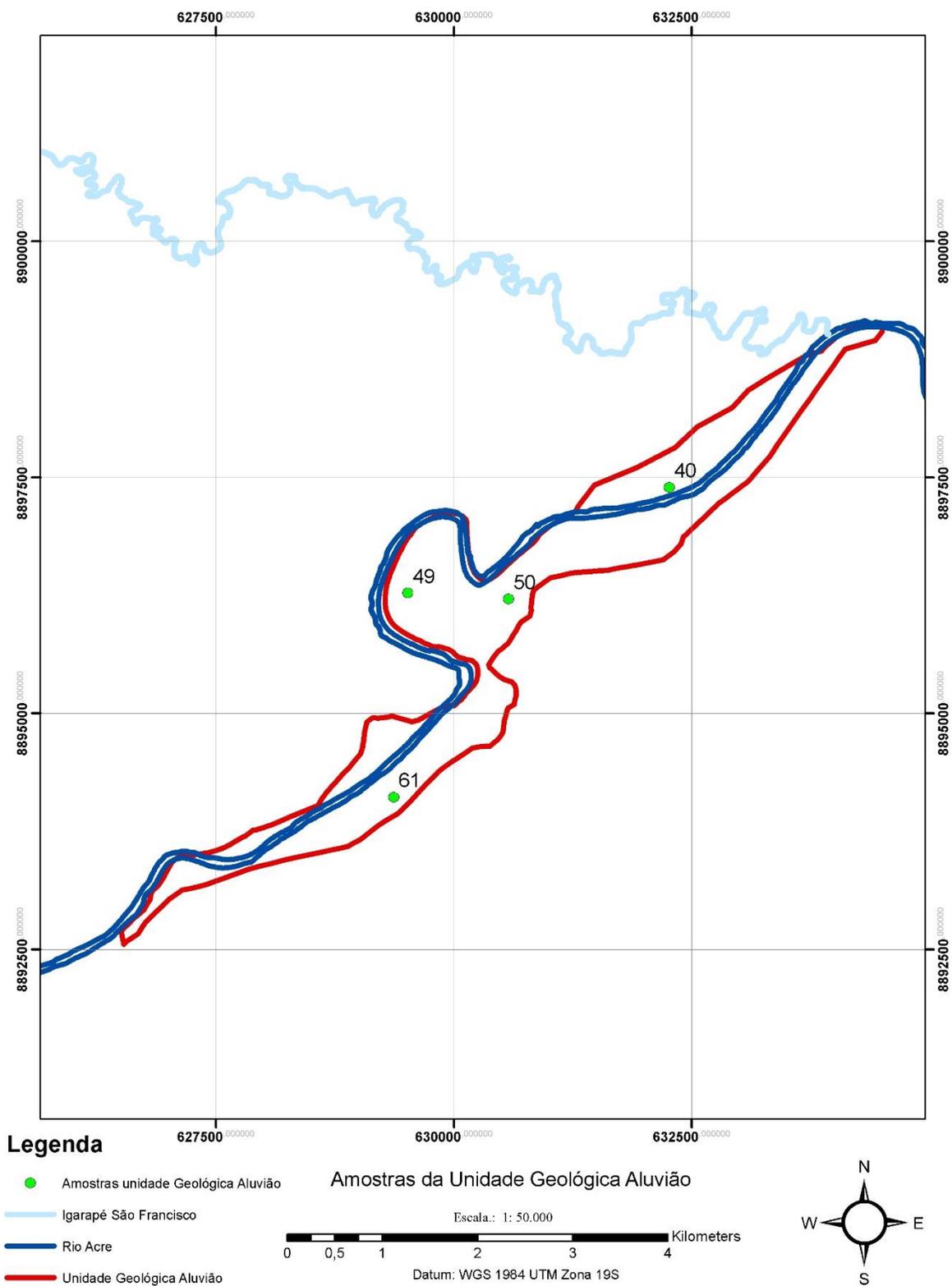


Figura 164 – Localização dos furos de sondagem pertencentes a unidade geológica Aluvião.

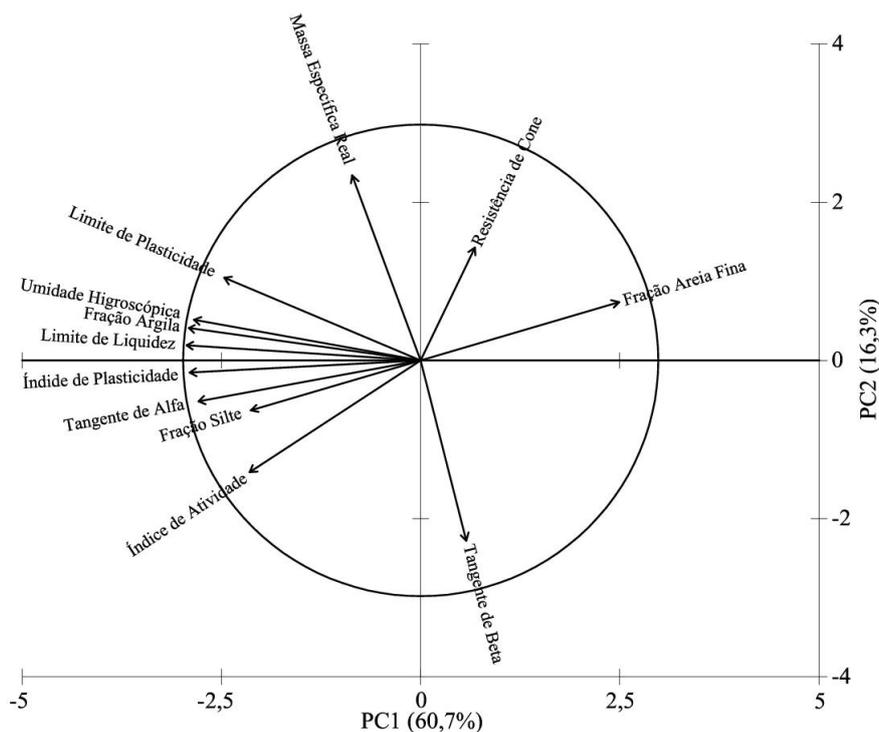


Figura 165 - Resultado Gráfico Biplot da análise de componentes principais, apresenta a correlação entre os atributos e as componentes PC1 e PC2 da unidade geológica Aluvião.

5.13 ANÁLISE MULTICRITÉRIO COM TÉCNICA AHP

Neste subitem, com uso da análise multicritério com a técnica AHP, foram elaboradas as seguintes cartas: Cartas de susceptibilidade da capacidade de cargas dos solos; Cartas de susceptibilidade à deformabilidade/expansividade dos solos; Cartas de potencialidade do uso de fundações superficiais (rasas). O primeiro passo para a aplicação do método AHP foi a elaboração de uma relação de importância relativa entre as os atributos estudados. Essa relação foi utilizada como dado de entrada, e foram utilizados os pesos dos autovalores e autovetores da componente principal 1, para cada área de estudo (área 1, área 2 e área 3) obtidos pela análise de componentes principais, para a escolha dos atributos, destacando sua variabilidade.

5.13.1 Análise multicritério: índice AHP para estimativa de capacidade de carga dos solos.

Os modelos numéricos obtidos nas análises geoestatísticas por krigagem ordinária dos atributos: resistência a penetração do cone panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco do solo, profundidade do nível d'água e índice de consistência dos solos IC, foram escolhidos para suporte à decisão AHP para obtenção de índice de capacidade de cargas dos solos.

A Figura 166 apresenta o critério de importância relativa entre os atributos e razão de consistência (inferiores a 0,10) para valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3. Na Figura 167, Figura 168 e Figura 169 são apresentados os algoritmos no programa Legal do SPRING, para obtenção dos valores AHP de índice da capacidade da carga dos solos (var6), para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente. A Figura 170, Figura 171 e Figura 172 apresentam as cartas da capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone panda Q_d , resistência a penetração N_{spt} , peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

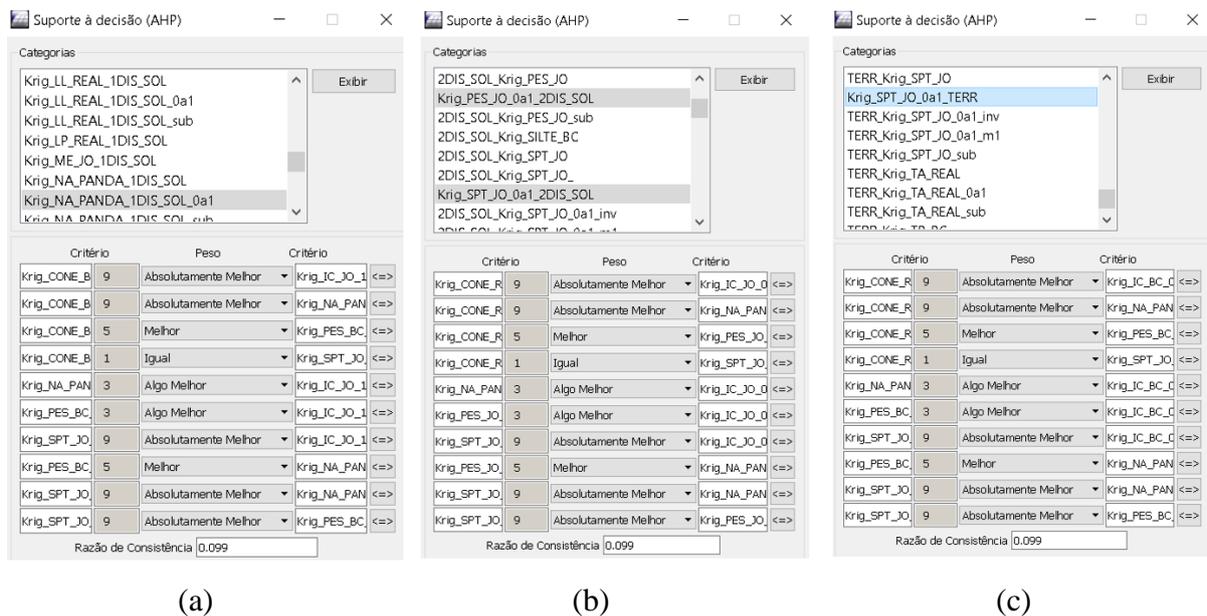


Figura 166 - Critério de importância relativa entre os atributos e razão de consistência para valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

```

1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Krig_CONE_BC_1DIS_0a1 = 0.372
4 // Krig_IC_JÔ_1DIS_SOL_0a1 = 0.032
5 // Krig_NA_PANDA_1DIS_SOL_0a1 = 0.046
6 // Krig_PES_BC_1DIS_SOL_0a1 = 0.101
7 // Krig_SPT_JÔ_1DIS_SOL_0a1 = 0.447
8
9 // Razao de consistência
10 // CR = 0.099
11
12 // Programa em LEGAL
13 // Este programa deve ser completado
14 // pelo usuario para incluir os dados
15 // apresentados entre os sinais de <>
16
17 // Definicao dos dados de entrada
18
19 Numerico var1 ("Krig_CONE_BC_1DIS_0a1");
20 Numerico var2 ("Krig_IC_JÔ_1DIS_SOL_0a1");
21 Numerico var3 ("Krig_NA_PANDA_1DIS_SOL_0a1");
22 Numerico var4 ("Krig_PES_BC_1DIS_SOL_0a1");
23 Numerico var5 ("Krig_SPT_JÔ_1DIS_SOL_0a1");
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var6 ("AHP_SOL_1DIS_Qd_N_NA_PES_IC");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 var1 = Recupere (Nome="Krig_CONE_BC_1DIS_0a1");
32 var2 = Recupere (Nome="Krig_IC_JÔ_1DIS_SOL_0a1");
33 var3 = Recupere (Nome="Krig_NA_PANDA_1DIS_SOL_0a1");
34 var4 = Recupere (Nome="Krig_PES_BC_1DIS_SOL_0a1");
35 var5 = Recupere (Nome="Krig_SPT_JÔ_1DIS_SOL_0a1");
36
37 // Criacao do dado de saida
38
39 var6 = Novo (Nome="AHP_SOL_1DIS_Qd_N_NA_PES_IC", ResX=30, ResY=30,
40             Min=0, Max=1);
41
42 // Geracao da media ponderada
43
44 var6 = 0.372*var1 + 0.032*var2+ 0.046*var3+ 0.101*var4+ 0.447*var5;
45 )

```

Figura 167 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editor  Executar
AHP_CAP_CARGA_SOL_2DIS.alg
1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Krig_CONE_REAL_0a1_2DIS_SOL = 0.372
4 // Krig_IC_JO_0a1_2DIS_SOL = 0.032
5 // Krig_NA_PANDA_0a1_2DIS_SOL = 0.046
6 // Krig_PES_JO_0a1_2DIS_SOL = 0.101
7 // Krig_SPT_JO_0a1_2DIS_SOL = 0.447
8
9 // Razao de consistência
10 // CR = 0.099
11
12 // Programa em LEGAL
13 // Este programa deve ser completado
14 // pelo usuario para incluir os dados
15 // apresentados entre os sinais de <>
16
17 // Definicao dos dados de entrada
18
19 Numerico var1 ("Krig_CONE_REAL_0a1_2DIS_SOL");
20 Numerico var2 ("Krig_IC_JO_0a1_2DIS_SOL");
21 Numerico var3 ("Krig_NA_PANDA_0a1_2DIS_SOL");
22 Numerico var4 ("Krig_PES_JO_0a1_2DIS_SOL");
23 Numerico var5 ("Krig_SPT_JO_0a1_2DIS_SOL");
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var6 ("AHP_SOL_2DIS_Qd_N_NA_PES_IC");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 var1 = Recupere (Nome="Krig_CONE_REAL_0a1_2DIS_SOL");
32 var2 = Recupere (Nome="Krig_IC_JO_0a1_2DIS_SOL");
33 var3 = Recupere (Nome="Krig_NA_PANDA_0a1_2DIS_SOL");
34 var4 = Recupere (Nome="Krig_PES_JO_0a1_2DIS_SOL");
35 var5 = Recupere (Nome="Krig_SPT_JO_0a1_2DIS_SOL");
36
37 // Criacao do dado de saida
38
39 var6 = Novo (Nome="AHP_SOL_2DIS_Qd_N_NA_PES_IC", ResX=30, ResY=30,
40             Min=0, Max=1);
41
42 // Geracao da media ponderada
43
44 var6 = 0.372*var1 + 0.032*var2+ 0.046*var3+ 0.101*var4+ 0.447*var5;
45 }

```

Figura 168 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos da unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

```
1 |(
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Krig_CONE_REAL_0a1_TERR = 0.372
4 // Krig_IC_BC_0a1_TERR = 0.032
5 // Krig_NA_PANDA_REAL_0a1_TERR = 0.046
6 // Krig_PES_BC_0a1_TERR = 0.101
7 // Krig_SPT_JO_0a1_TERR = 0.447
8
9 // Razao de consistência
10 // CR = 0.099
11
12 // Programa em LEGAL
13 // Este programa deve ser completado
14 // pelo usuario para incluir os dados
15 // apresentados entre os sinais de <>
16
17 // Definicao dos dados de entrada
18
19 Numerico var1 ("Krig_CONE_REAL_0a1_TERR");
20 Numerico var2 ("Krig_IC_BC_0a1_TERR");
21 Numerico var3 ("Krig_NA_PANDA_REAL_0a1_TERR");
22 Numerico var4 ("Krig_PES_BC_0a1_TERR");
23 Numerico var5 ("Krig_SPT_JO_0a1_TERR");
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var6 ("AHP_TERR_Qd_N_NA_PES_IC");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 var1 = Recupere (Nome="Krig_CONE_REAL_0a1_TERR");
32 var2 = Recupere (Nome="Krig_IC_BC_0a1_TERR");
33 var3 = Recupere (Nome="Krig_NA_PANDA_REAL_0a1_TERR");
34 var4 = Recupere (Nome="Krig_PES_BC_0a1_TERR");
35 var5 = Recupere (Nome="Krig_SPT_JO_0a1_TERR");
36
37 // Criacao do dado de saida
38
39 var6 = Novo (Nome="AHP_TERR_Qd_N_NA_PES_IC", ResX=30, ResY=30, Escala=1,
40             Min=0, Max=1);
41
42 // Geracao da media ponderada
43
44 var6 = 0.372*var1 + 0.032*var2+ 0.046*var3+ 0.101*var4+ 0.447*var5;
45 )
```

Figura 169 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de índice de capacidade de carga dos solos, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3).

CARTA CLASSES ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP CAPACIDADE DE CARGA DOS SOLOS

UNIDADE GEOLÓGICA FORMAÇÃO SOLIMÕES

1 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

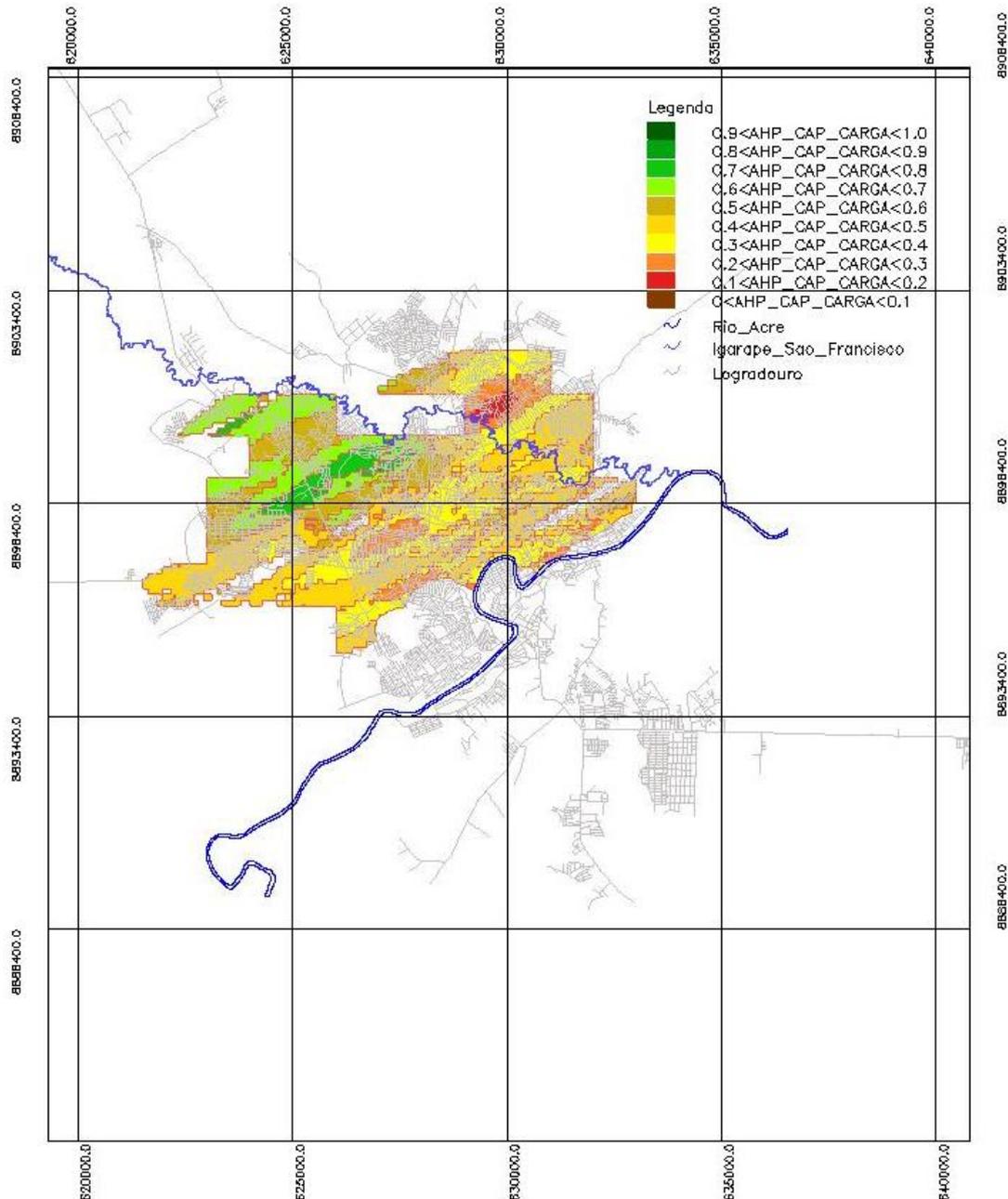
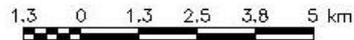
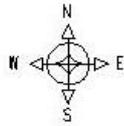


Figura 170 - Carta de capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone Panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

CARTA CLASSES ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP CAPACIDADE DE CARGA DOS SOLOS

UNIDADE GEOLÓGICA FORMAÇÃO SOLIMÕES

2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1,3 0 1,3 2,5 3,8 5 km

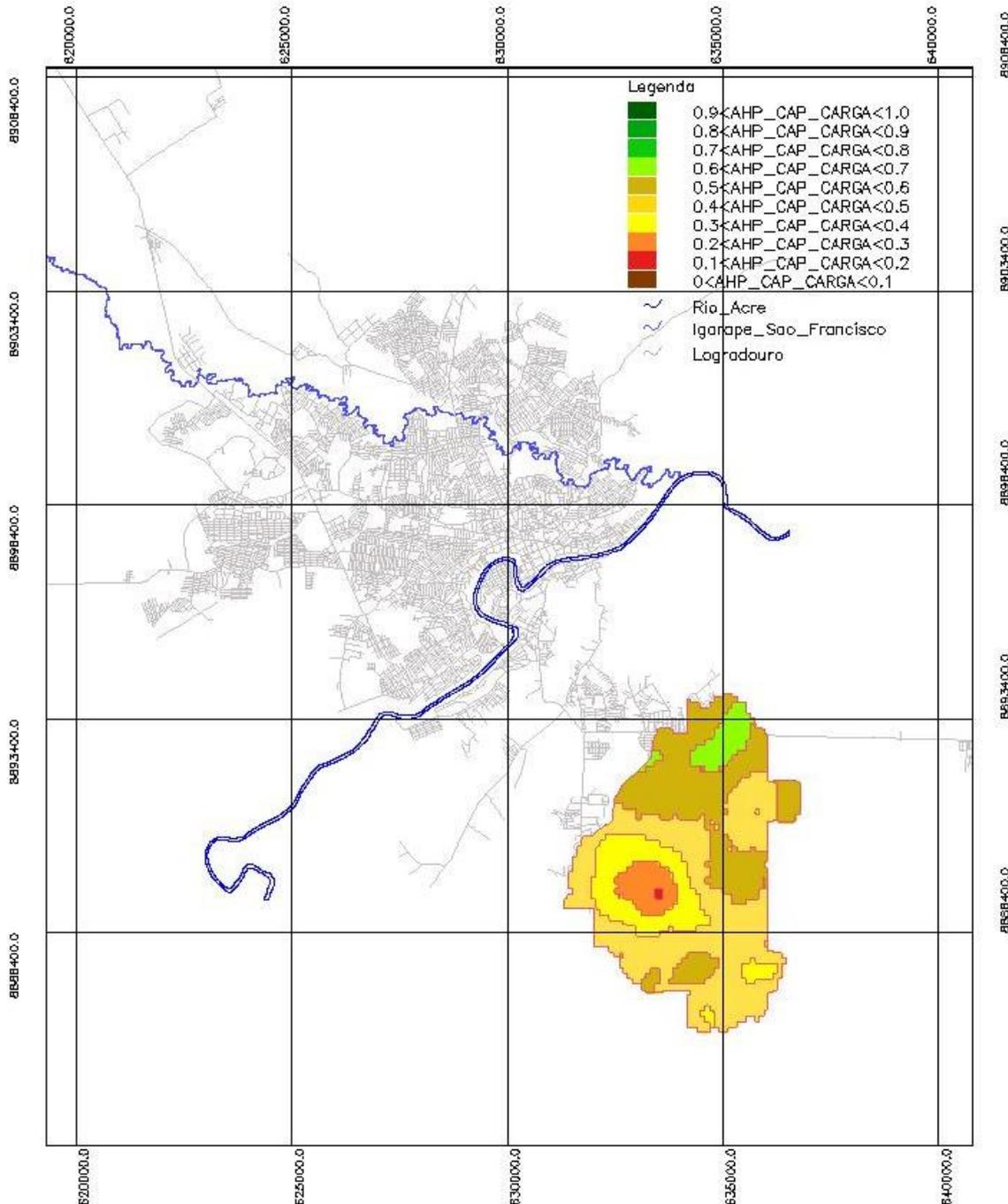
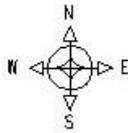


Figura 171 - Carta de capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone Panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP CAPACIDADE DE CARGA DOS SOLOS

UNIDADE GEOLÓGICA TERRAÇO FLUVIAL

1 e 2 Distritos Urbanos

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

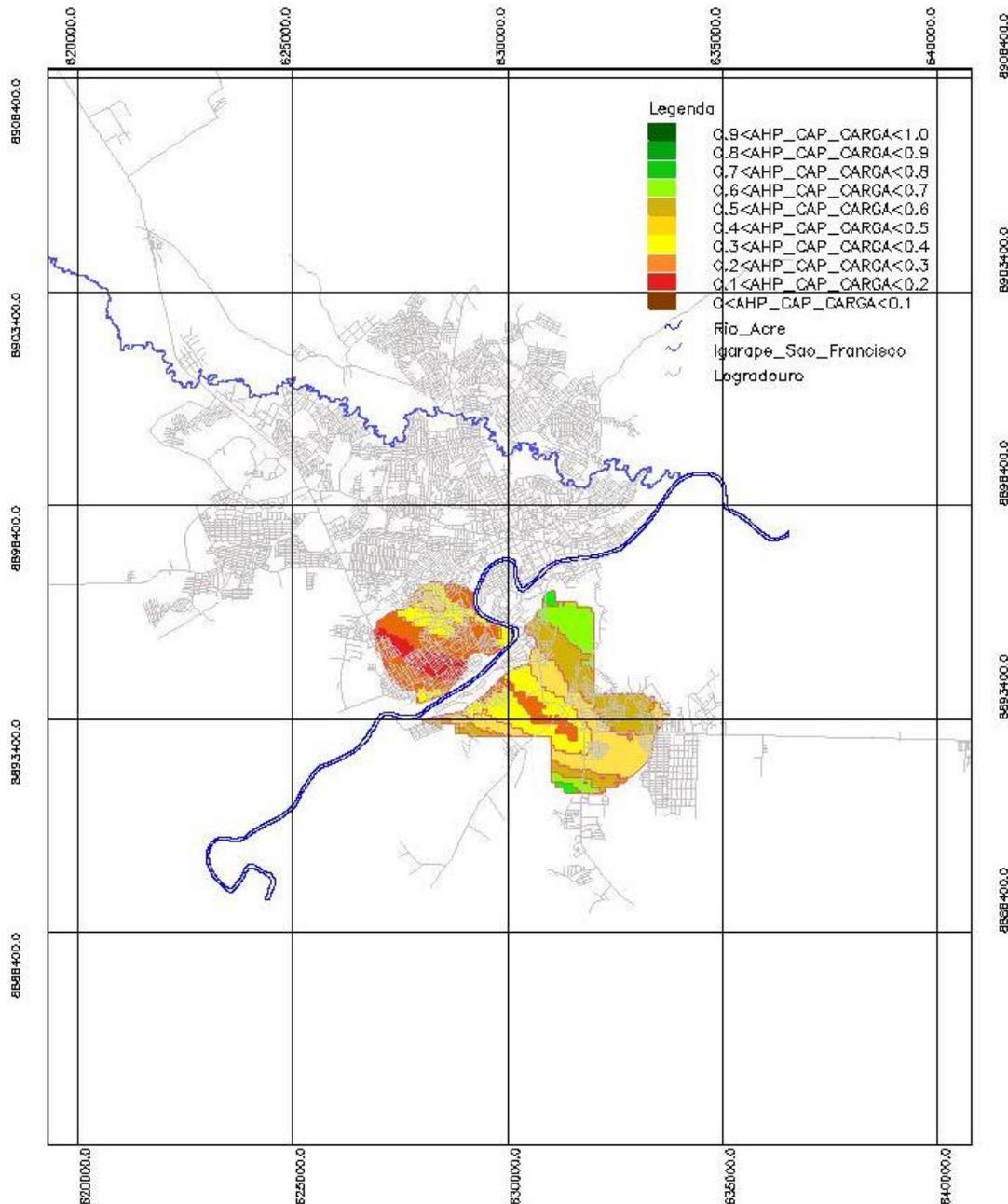
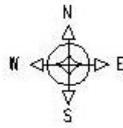


Figura 172 - Carta de capacidade de carga dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos resistência a penetração do cone Panda Qd, resistência a penetração Nspt, peso específico seco dos solos, profundidade do nível d'água e índice de consistência, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1° e 2° distritos urbanos (área 3).

5.13.2 Análise multicritério AHP para obtenção de valores de susceptibilidade de deformabilidade e expansividade dos solos.

Os modelos numéricos obtidos nas análises geoestatísticas por krigagem ordinária dos atributos: limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, foram escolhidos para suporte à decisão AHP para obtenção de valores de susceptibilidade de deformabilidade e expansividade dos solos.

A Figura 173 apresenta o critério de importância relativa entre os atributos e razão de consistência (inferiores a 0,10) para valores AHP de susceptibilidade de capacidade de carga dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

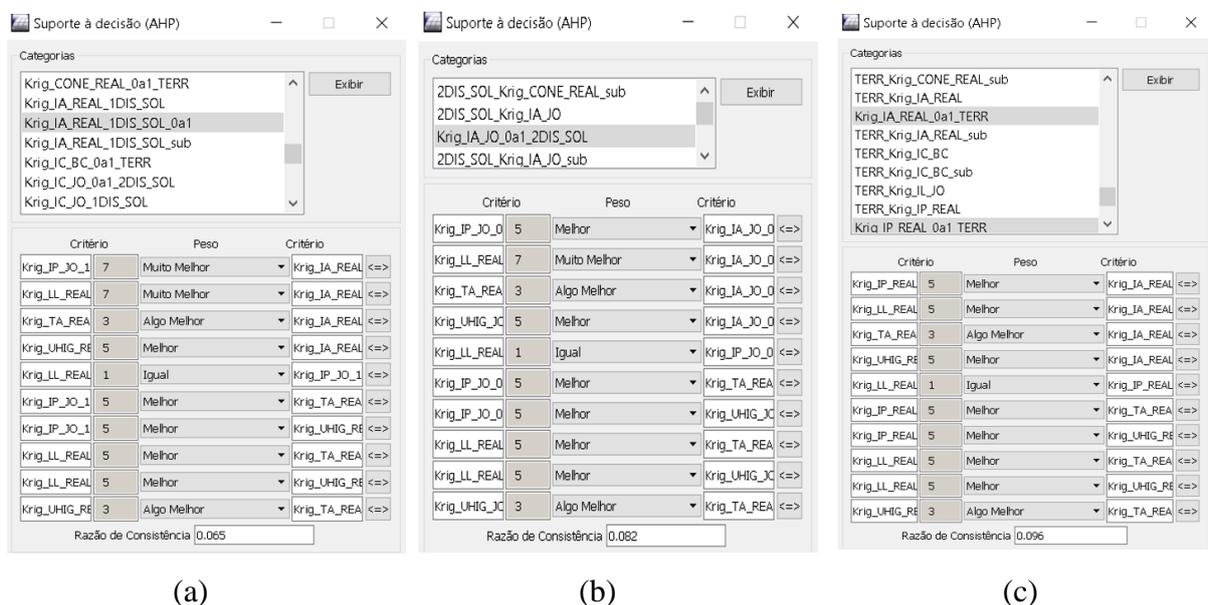
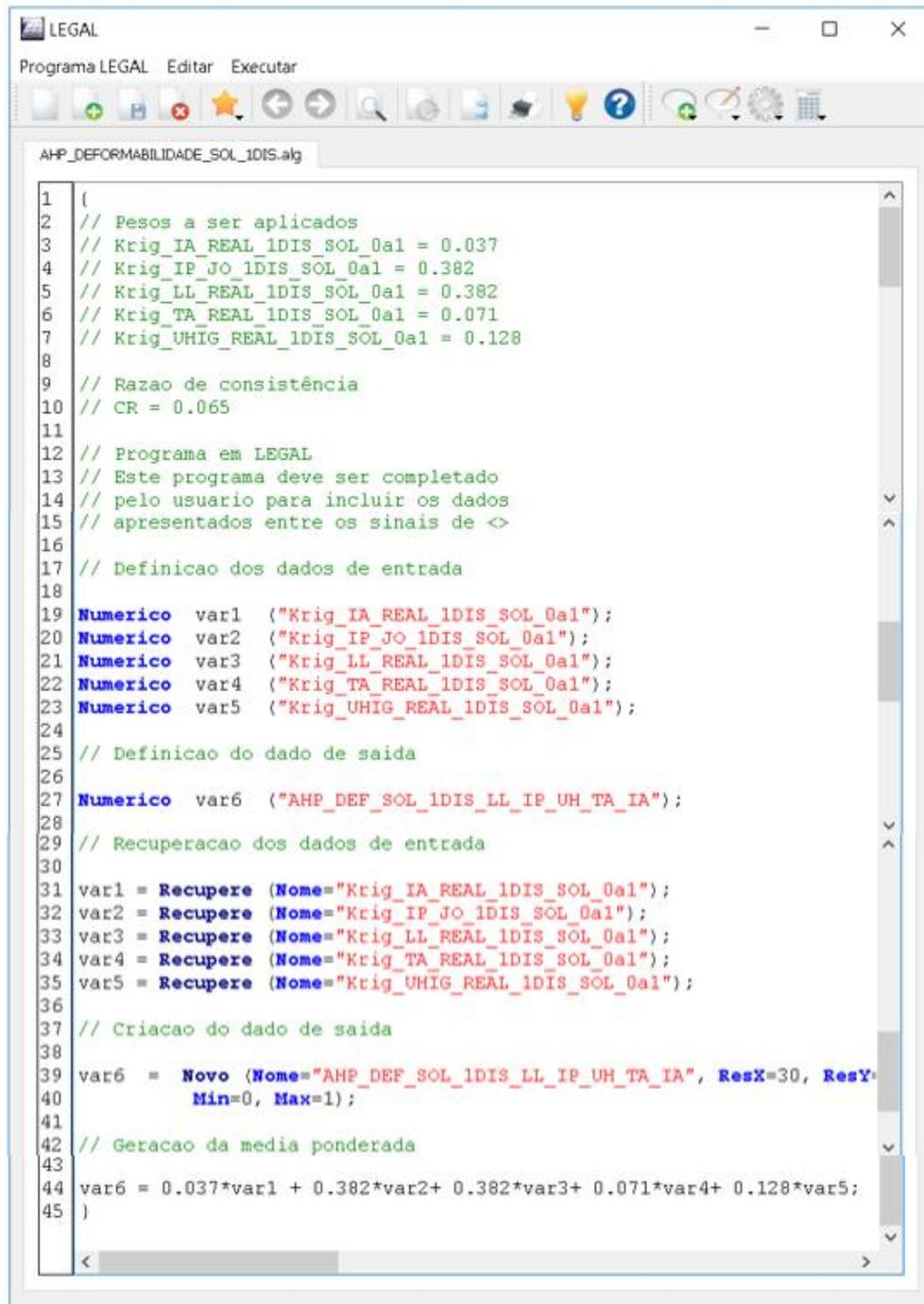


Figura 173 - Critério de importância relativa entre os atributos e razão de consistência para valores AHP de susceptibilidade de deformabilidade e expansividade dos solos, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Na Figura 174, Figura 175 e Figura 176 são apresentados os algoritmos no programa Legal do SPRING, para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade de deformabilidade e expansividade dos solos (variável 6), para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

A Figura 177, Figura 178 e Figura 179 apresentam as cartas de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.



```
1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Krig_IA_REAL_1DIS_SOL_0a1 = 0.037
4 // Krig_IP_JO_1DIS_SOL_0a1 = 0.382
5 // Krig_LL_REAL_1DIS_SOL_0a1 = 0.382
6 // Krig_TA_REAL_1DIS_SOL_0a1 = 0.071
7 // Krig_UHIG_REAL_1DIS_SOL_0a1 = 0.128
8
9 // Razao de consistência
10 // CR = 0.065
11
12 // Programa em LEGAL
13 // Este programa deve ser completado
14 // pelo usuario para incluir os dados
15 // apresentados entre os sinais de <>
16
17 // Definicao dos dados de entrada
18
19 Numerico var1 ("Krig_IA_REAL_1DIS_SOL_0a1");
20 Numerico var2 ("Krig_IP_JO_1DIS_SOL_0a1");
21 Numerico var3 ("Krig_LL_REAL_1DIS_SOL_0a1");
22 Numerico var4 ("Krig_TA_REAL_1DIS_SOL_0a1");
23 Numerico var5 ("Krig_UHIG_REAL_1DIS_SOL_0a1");
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var6 ("AHP_DEF_SOL_1DIS_LL_IP_UH_TA_IA");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 var1 = Recupere (Nome="Krig_IA_REAL_1DIS_SOL_0a1");
32 var2 = Recupere (Nome="Krig_IP_JO_1DIS_SOL_0a1");
33 var3 = Recupere (Nome="Krig_LL_REAL_1DIS_SOL_0a1");
34 var4 = Recupere (Nome="Krig_TA_REAL_1DIS_SOL_0a1");
35 var5 = Recupere (Nome="Krig_UHIG_REAL_1DIS_SOL_0a1");
36
37 // Criacao do dado de saida
38
39 var6 = Novo (Nome="AHP_DEF_SOL_1DIS_LL_IP_UH_TA_IA", ResX=30, ResY=
40             Min=0, Max=1);
41
42 // Geracao da media ponderada
43
44 var6 = 0.037*var1 + 0.382*var2+ 0.382*var3+ 0.071*var4+ 0.128*var5;
45 }
```

Figura 174 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade e expansividade dos solos, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

The image shows a screenshot of a software window titled "LEGAL". The window contains a code editor with the following text:

```
AHP_DEFOR_EXPAN_SOL_2DIS.alg
1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Krig_IA_JO_0a1_2DIS_SOL = 0.041
4 // Krig_IP_JO_0a1_2DIS_SOL = 0.369
5 // Krig_LL_REAL_0a1_2DIS_SOL = 0.385
6 // Krig_TA_REAL_0a1_2DIS_SOL = 0.073
7 // Krig_UHIG_JO_0a1_2DIS_SOL = 0.132
8
9 // Razao de consistência
10 // CR = 0.082
11
12 // Programa em LEGAL
13 // Este programa deve ser completado
14 // pelo usuario para incluir os dados
15 // apresentados entre os sinais de <>
16
17 // Definicao dos dados de entrada
18
19 Numerico var1 ("Krig_IA_JO_0a1_2DIS_SOL");
20 Numerico var2 ("Krig_IP_JO_0a1_2DIS_SOL");
21 Numerico var3 ("Krig_LL_REAL_0a1_2DIS_SOL");
22 Numerico var4 ("Krig_TA_REAL_0a1_2DIS_SOL");
23 Numerico var5 ("Krig_UHIG_JO_0a1_2DIS_SOL");
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var6 ("AHP_2DIS_SOL_DEF_EXP_0A1");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 var1 = Recupere (Nome="Krig_IA_JO_0a1_2DIS_SOL");
32 var2 = Recupere (Nome="Krig_IP_JO_0a1_2DIS_SOL");
33 var3 = Recupere (Nome="Krig_LL_REAL_0a1_2DIS_SOL");
34 var4 = Recupere (Nome="Krig_TA_REAL_0a1_2DIS_SOL");
35 var5 = Recupere (Nome="Krig_UHIG_JO_0a1_2DIS_SOL");
36
37 // Criacao do dado de saida
38
39 var6 = Novo (Nome="AHP_2DIS_SOL_DEF_EXP_0A1", ResX=30, ResY=30, Esc
40             Min=0, Max=1);
41
42 // Geracao da media ponderada
43
44 var6 = 0.041*var1 + 0.369*var2+ 0.385*var3+ 0.073*var4+ 0.132*var5;
45 }
```

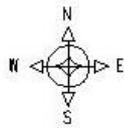
Figura 175 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade e expansividade dos solos, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

The image shows a screenshot of a software window titled 'LEGAL'. The window contains a code editor with the following text:

```
AHP_DEFORMABILIDADE_TERRACO.alg
1 ||
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Krig_IA_REAL_0a1_TERR = 0.045
4 // Krig_IP_REAL_0a1_TERR = 0.372
5 // Krig_LL_REAL_0a1_TERR = 0.372
6 // Krig_TA_REAL_0a1_TERR = 0.075
7 // Krig_UHIG_REAL_0a1_TERR = 0.135
8
9 // Razao de consistência
10 // CR = 0.096
11
12 // Programa em LEGAL
13 // Este programa deve ser completado
14 // pelo usuario para incluir os dados
15 // apresentados entre os sinais de <>
16
17 // Definicao dos dados de entrada
18
19 Numerico var1 ("Krig_IA_REAL_0a1_TERR");
20 Numerico var2 ("Krig_IP_REAL_0a1_TERR");
21 Numerico var3 ("Krig_LL_REAL_0a1_TERR");
22 Numerico var4 ("Krig_TA_REAL_0a1_TERR");
23 Numerico var5 ("Krig_UHIG_REAL_0a1_TERR");
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var6 ("AHP_TERRACO_DEF_EXP_0A1");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 var1 = Recupere (Nome="Krig_IA_REAL_0a1_TERR");
32 var2 = Recupere (Nome="Krig_IP_REAL_0a1_TERR");
33 var3 = Recupere (Nome="Krig_LL_REAL_0a1_TERR");
34 var4 = Recupere (Nome="Krig_TA_REAL_0a1_TERR");
35 var5 = Recupere (Nome="Krig_UHIG_REAL_0a1_TERR");
36
37 // Criacao do dado de saida
38
39 var6 = Novo (Nome="AHP_TERRACO_DEF_EXP_0A1", ResX=30, ResY=30, Escala=1,
40             Min=0, Max=1);
41
42 // Geracao da media ponderada
43
44 var6 = 0.045*var1 + 0.372*var2+ 0.372*var3+ 0.075*var4+ 0.135*var5;
45 )
<
```

Figura 176 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade e expansividade dos solos, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3).

CARTA CLASSES ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP DEFORMABILIDADE E EXPANSIBILIDADE DOS SOLOS
 UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMÕES
 1 Distrito Urbano



Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1,3 0 1,3 2,5 3,8 5 km

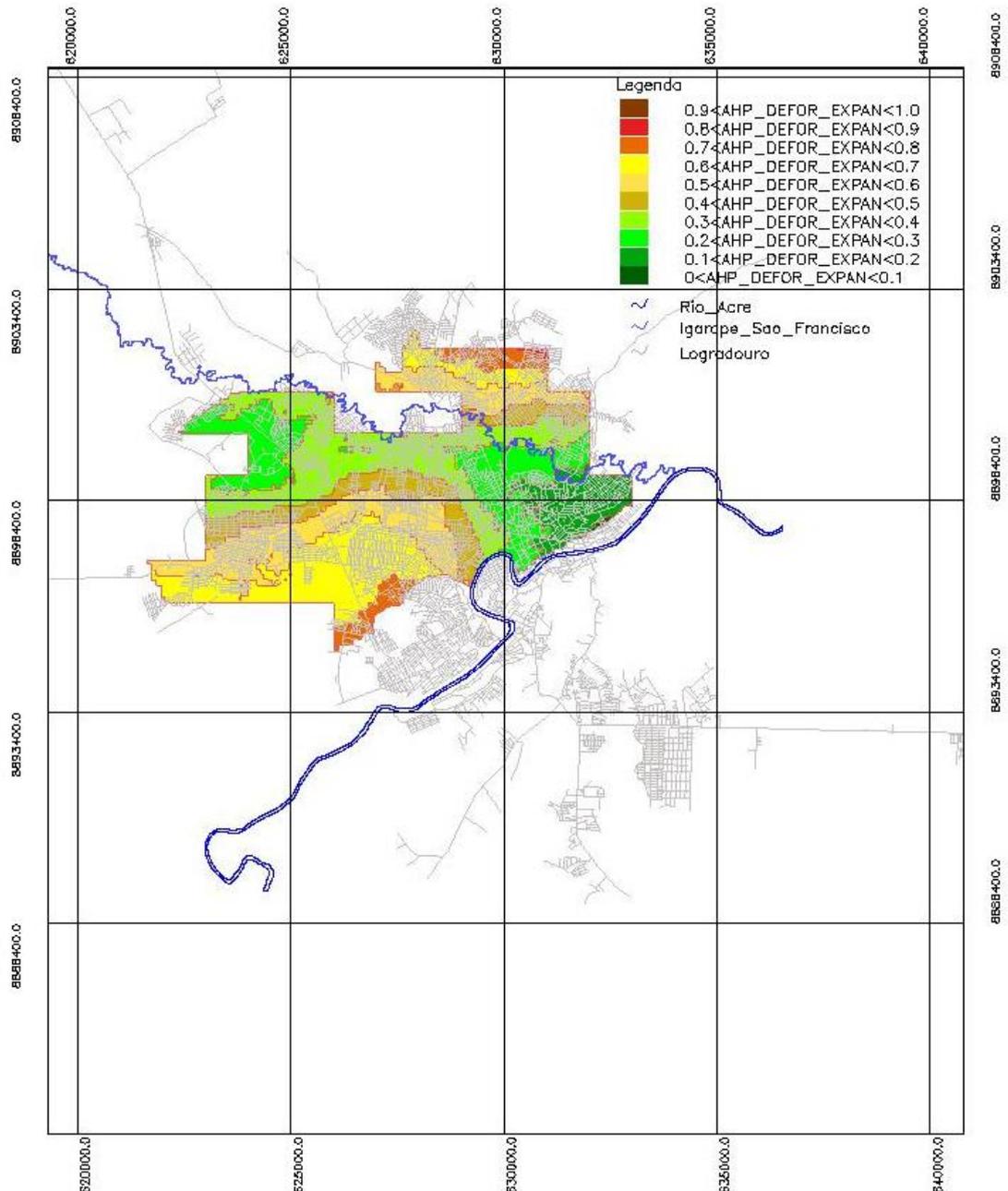


Figura 177 - Carta classes de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

CARTA CLASSES ANALISE MULTICRITERIO AHP DEFORMABILIDADE E EXPANSIBILIDADE DOS SOLOS
UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMÕES

2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

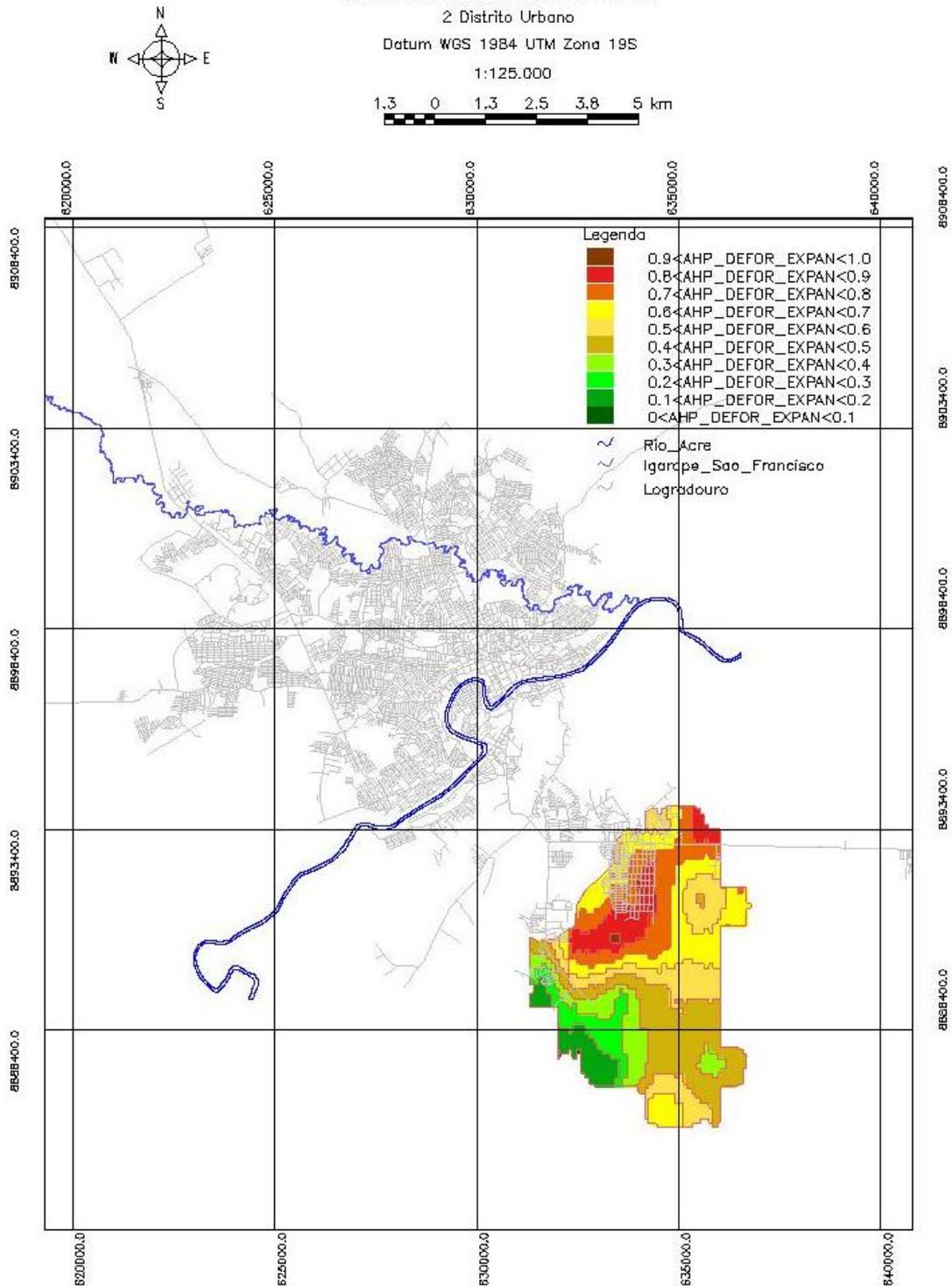


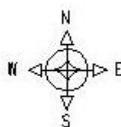
Figura 178 - Carta classes de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP DEFORMABILIDADE E EXPANSIBILIDADE DOS SOLOS
 UNIDADE GEOLÓGICA TERRAÇO FLUVIAL

1 e 2 Distritos Urbanos

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000



1,3 0 1,3 2,5 3,8 5 km

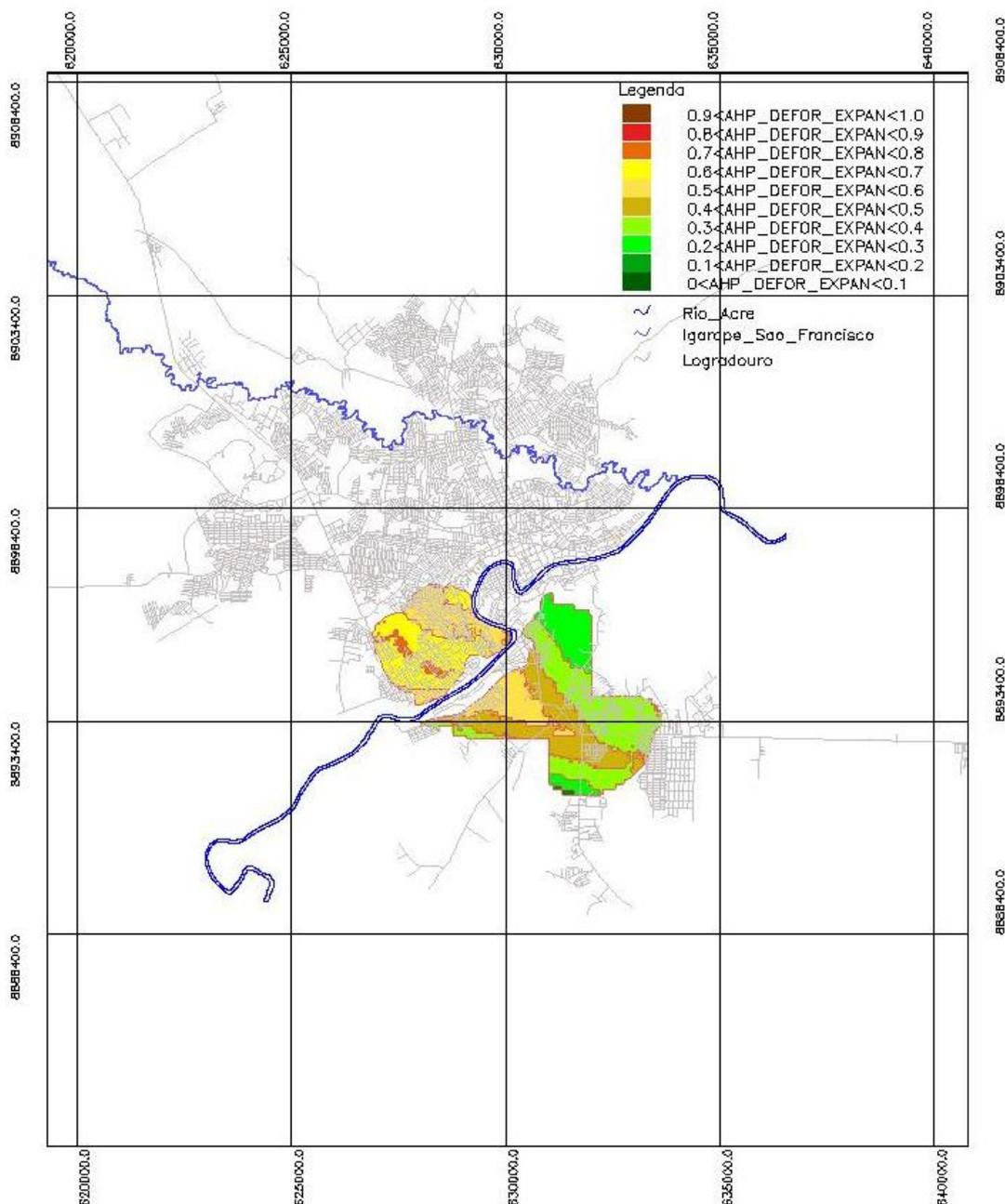


Figura 179 - Carta classes de susceptibilidade à deformabilidade e expansividade dos solos, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos atributos limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade higroscópica dos solos, tangente de alfa e índice de atividade, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

5.13.3 Análise multicritério AHP para obtenção de valores de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais.

Os modelos numéricos de valores AHP de capacidade de carga dos solos (com valores invertidos, ou seja quanto maior o valor AHP menor a capacidade de carga dos solos), valores AHP de susceptibilidade a deformabilidade/expansividade dos solos e atributo declividade do terreno, foram escolhidos para suporte à decisão AHP para obtenção de valores de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais.

A Figura 180 apresenta o critério de importância relativa entre os valores AHP capacidade de carga dos solos (invertidos), valores AHP susceptibilidade à deformabilidade/expansividade dos solos e atributo declividade do terreno, e a razão de consistência (inferiores a 0,10) para valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

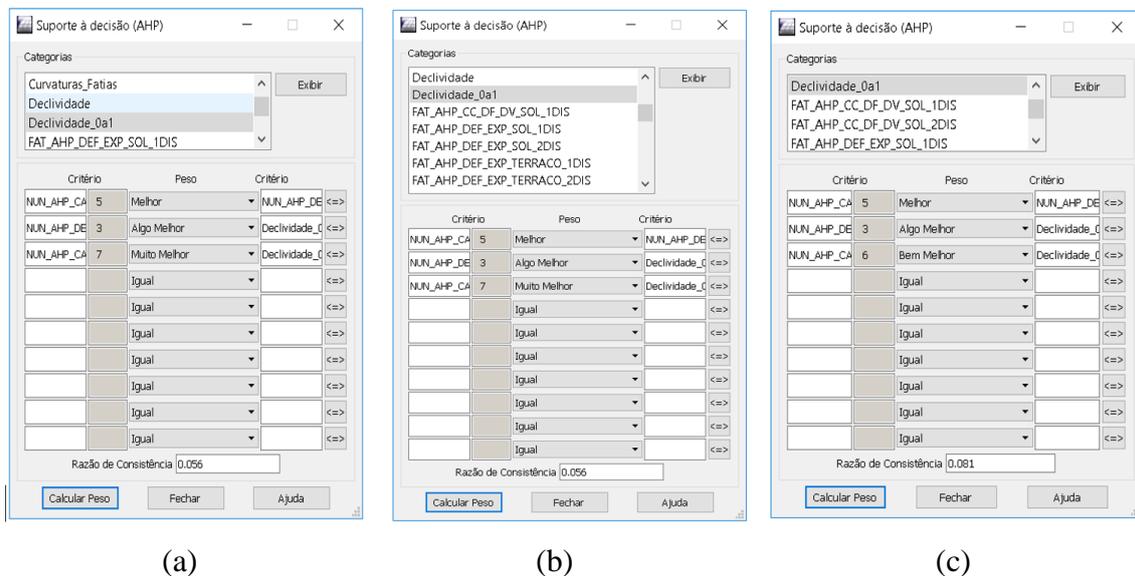
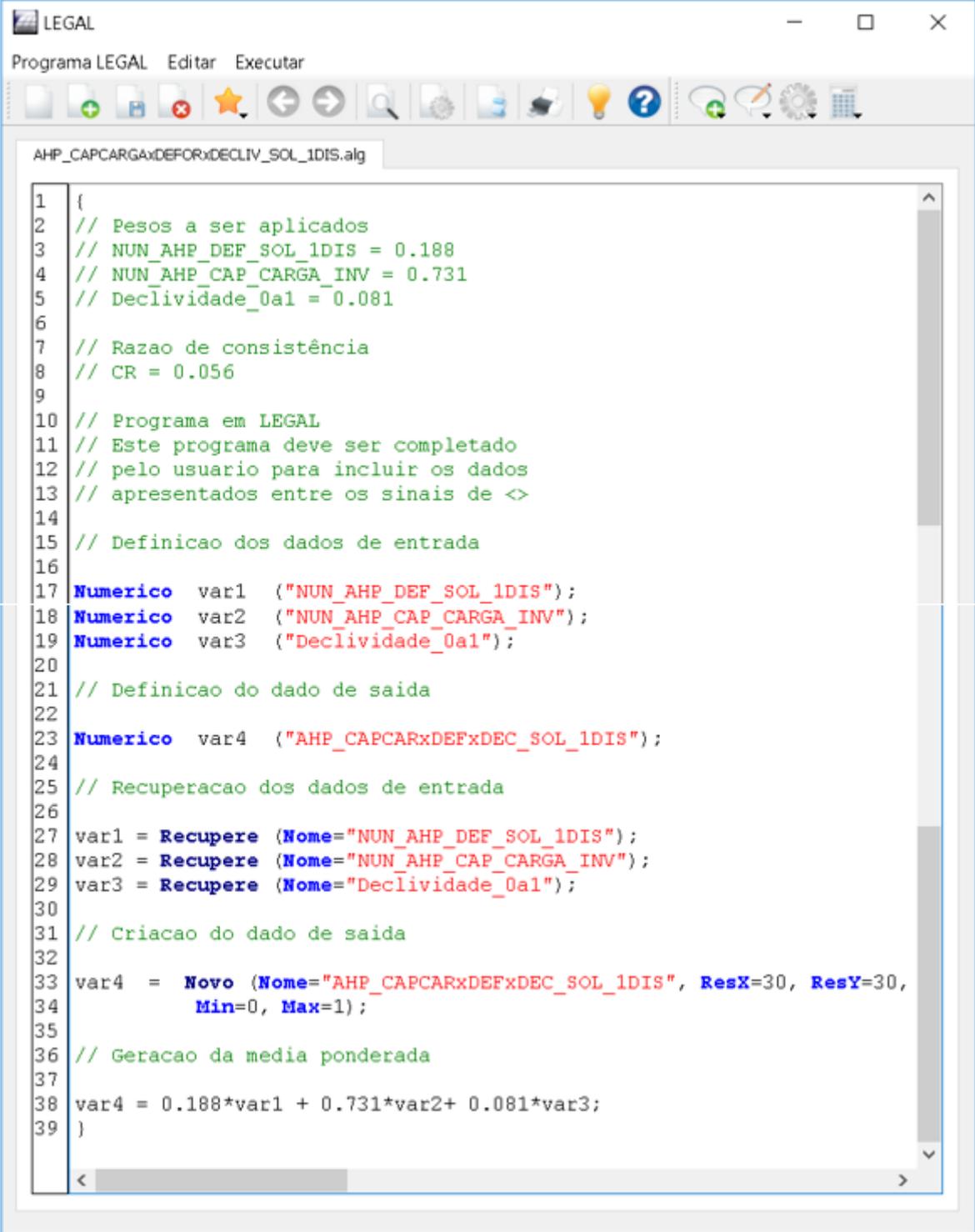


Figura 180 - Critério de importância relativa entre os valores AHP de capacidade de carga dos solos (invertidos), valores AHP de susceptibilidade à deformabilidade/expansividade dos solos e declividade do terreno, (a) obtidos na área 1, (b) obtidos na área 2, e (c) obtidos na área 3.

Na Figura 181, Figura 182 e Figura 183 são apresentados os algoritmos no programa Legal do SPRING, para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais (variável 4), para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

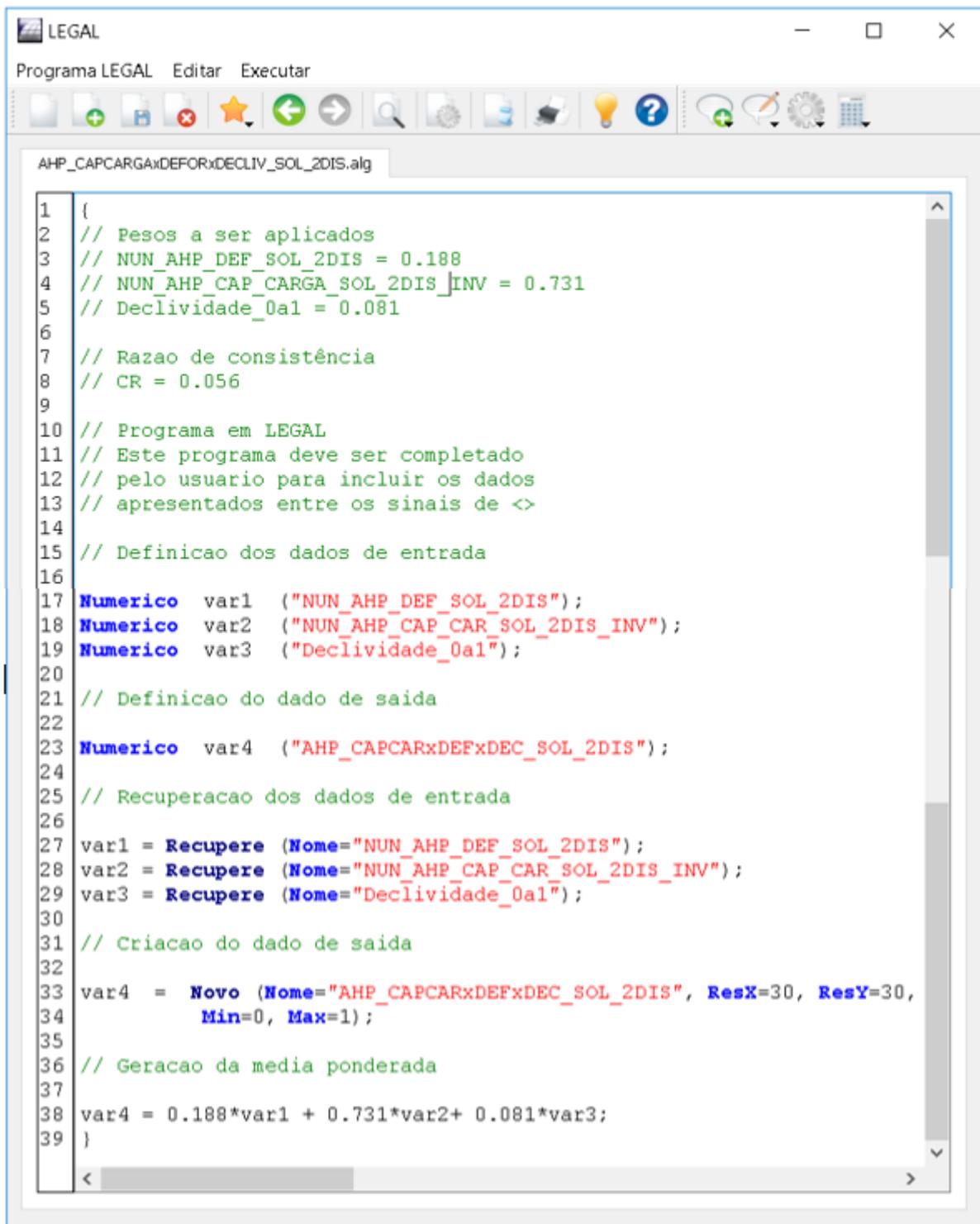
A Figura 184, Figura 185 e Figura 186 apresentam as cartas classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir dos valores AHP de susceptibilidade de capacidade de carga, valores AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.



The image shows a screenshot of a software window titled "LEGAL". The window has a menu bar with "Programa LEGAL", "Editar", and "Executar". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area of the window displays a code editor with the following text:

```
AHP_CAPCARGAxDEFORxDECLIV_SOL_1DIS.alg
1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // NUN_AHP_DEF_SOL_1DIS = 0.188
4 // NUN_AHP_CAP_CARGA_INV = 0.731
5 // Declividade_0a1 = 0.081
6
7 // Razao de consistência
8 // CR = 0.056
9
10 // Programa em LEGAL
11 // Este programa deve ser completado
12 // pelo usuario para incluir os dados
13 // apresentados entre os sinais de <>
14
15 // Definicao dos dados de entrada
16
17 Numerico var1 ("NUN_AHP_DEF_SOL_1DIS");
18 Numerico var2 ("NUN_AHP_CAP_CARGA_INV");
19 Numerico var3 ("Declividade_0a1");
20
21 // Definicao do dado de saida
22
23 Numerico var4 ("AHP_CAPCARxDEFxDEC_SOL_1DIS");
24
25 // Recuperacao dos dados de entrada
26
27 var1 = Recupere (Nome="NUN_AHP_DEF_SOL_1DIS");
28 var2 = Recupere (Nome="NUN_AHP_CAP_CARGA_INV");
29 var3 = Recupere (Nome="Declividade_0a1");
30
31 // Criacao do dado de saida
32
33 var4 = Novo (Nome="AHP_CAPCARxDEFxDEC_SOL_1DIS", ResX=30, ResY=30,
34             Min=0, Max=1);
35
36 // Geracao da media ponderada
37
38 var4 = 0.188*var1 + 0.731*var2+ 0.081*var3;
39 }
```

Figura 181 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).



The image shows a screenshot of a software window titled "LEGAL". The window has a menu bar with "Programa LEGAL", "Editar", and "Executar". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area of the window displays a code editor with the following text:

```
1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // NUN_AHP_DEF_SOL_2DIS = 0.188
4 // NUN_AHP_CAP_CARGA_SOL_2DIS_INV = 0.731
5 // Declividade_0a1 = 0.081
6
7 // Razao de consistência
8 // CR = 0.056
9
10 // Programa em LEGAL
11 // Este programa deve ser completado
12 // pelo usuario para incluir os dados
13 // apresentados entre os sinais de <>
14
15 // Definicao dos dados de entrada
16
17 Numerico var1 ("NUN_AHP_DEF_SOL_2DIS");
18 Numerico var2 ("NUN_AHP_CAP_CAR_SOL_2DIS_INV");
19 Numerico var3 ("Declividade_0a1");
20
21 // Definicao do dado de saida
22
23 Numerico var4 ("AHP_CAPCARxDEFxDEC_SOL_2DIS");
24
25 // Recuperacao dos dados de entrada
26
27 var1 = Recupere (Nome="NUN_AHP_DEF_SOL_2DIS");
28 var2 = Recupere (Nome="NUN_AHP_CAP_CAR_SOL_2DIS_INV");
29 var3 = Recupere (Nome="Declividade_0a1");
30
31 // Criacao do dado de saida
32
33 var4 = Novo (Nome="AHP_CAPCARxDEFxDEC_SOL_2DIS", ResX=30, ResY=30,
34             Min=0, Max=1);
35
36 // Geracao da media ponderada
37
38 var4 = 0.188*var1 + 0.731*var2+ 0.081*var3;
39 }
```

Figura 182 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

The image shows a screenshot of a software application window titled "LEGAL". The window has a menu bar with "Programa LEGAL", "Editar", and "Executar". Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations and editing. The main area of the window displays a code editor with the following text:

```
AHP_CAPCARGAxDEFORxDECLIV_TERR.alg
1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // NUN_AHP_DEF_TERR = 0.195
4 // NUN_AHP_CAPCARGA_TERR_INV = 0.717
5 // Declividade_0a1 = 0.088
6
7 // Razao de consistência
8 // CR = 0.081
9
10 // Programa em LEGAL
11 // Este programa deve ser completado
12 // pelo usuario para incluir os dados
13 // apresentados entre os sinais de <>
14
15 // Definicao dos dados de entrada
16
17 Numerico var1 ("NUN_AHP_DEF_TERR");
18 Numerico var2 ("NUN_AHP_CAPCARGA_TERR_INV");
19 Numerico var3 ("Declividade_0a1");
20
21 // Definicao do dado de saida
22
23 Numerico var4 ("AHP_CAPCARxDEFxDEC_TERRACO");
24
25 // Recuperacao dos dados de entrada
26
27 var1 = Recupere (Nome="NUN_AHP_DEF_TERR");
28 var2 = Recupere (Nome="NUN_AHP_CAPCARGA_TERR_INV");
29 var3 = Recupere (Nome="Declividade_0a1");
30
31 // Criacao do dado de saida
32
33 var4 = Novo (Nome="AHP_CAPCARxDEFxDEC_TERRACO", ResX=30, ResY=30, Esca
34             Min=0, Max=1);
35
36 // Geracao da media ponderada
37
38 var4 = 0.195*var1 + 0.717*var2+ 0.088*var3;
39 }
```

Figura 183 - Algoritmo no programa Legal para obtenção dos valores AHP de susceptibilidade ao uso de fundações superficiais, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano (área 3).

CARTA CLASSES ANALISE MULTICRITERIO AHP SUSCEPTIBILIDADE AO USO DE FUNDACOES SUPERFICIAIS
 UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMOES

1 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

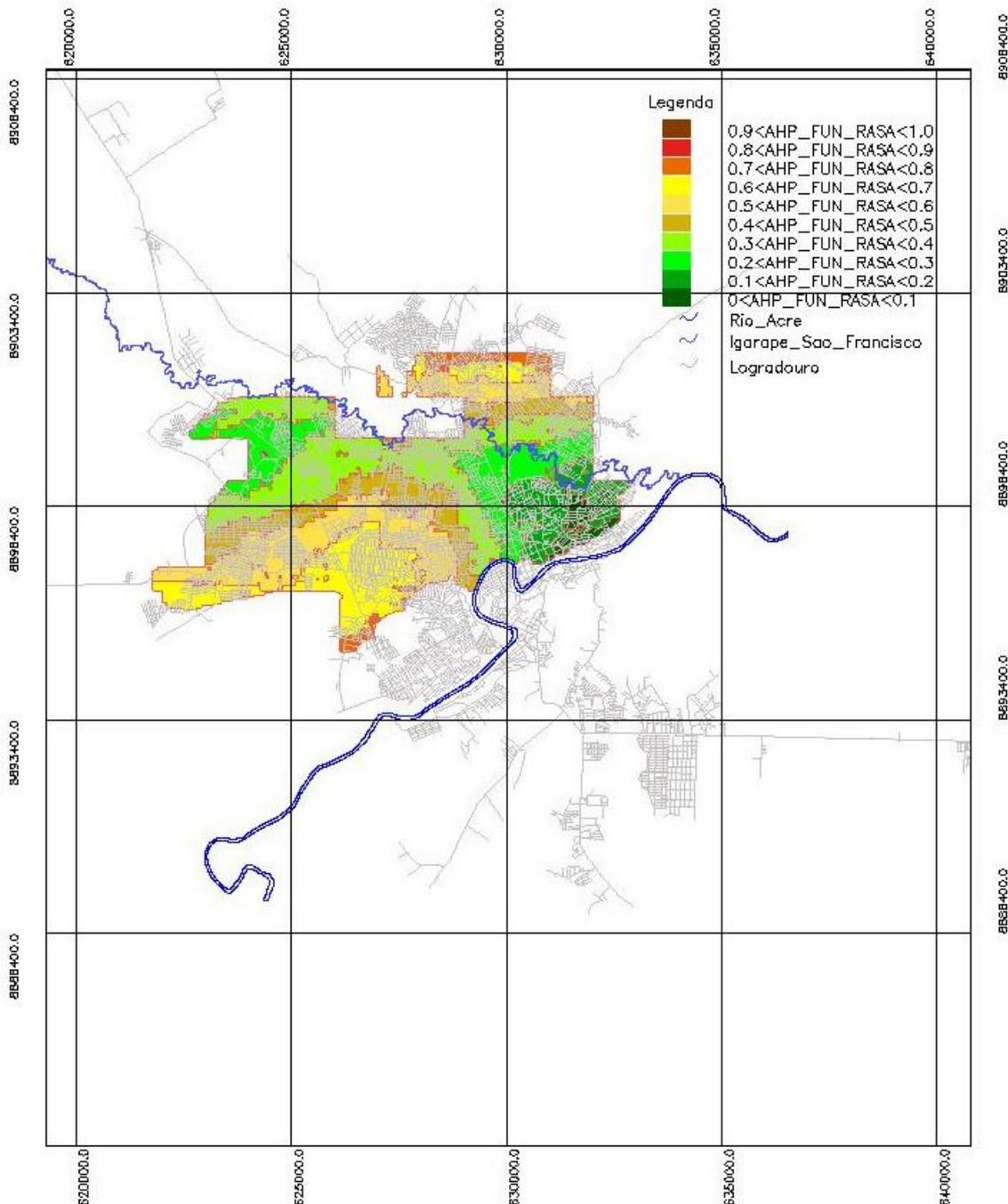
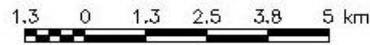
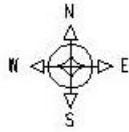


Figura 184 - Carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir do índice AHP de capacidade de carga (inversos), índice AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano (área 1).

CARTA CLASSES ANALISE MULTICRITERIO AHP SUSCETIBILIDADE AO USO DE FUNDACOES SUPERFICIAIS
 UNIDADE GEOLOGICA FORMACAO SOLIMOES

2 Distrito Urbano

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1,3 0 1,3 2,5 3,8 5 km

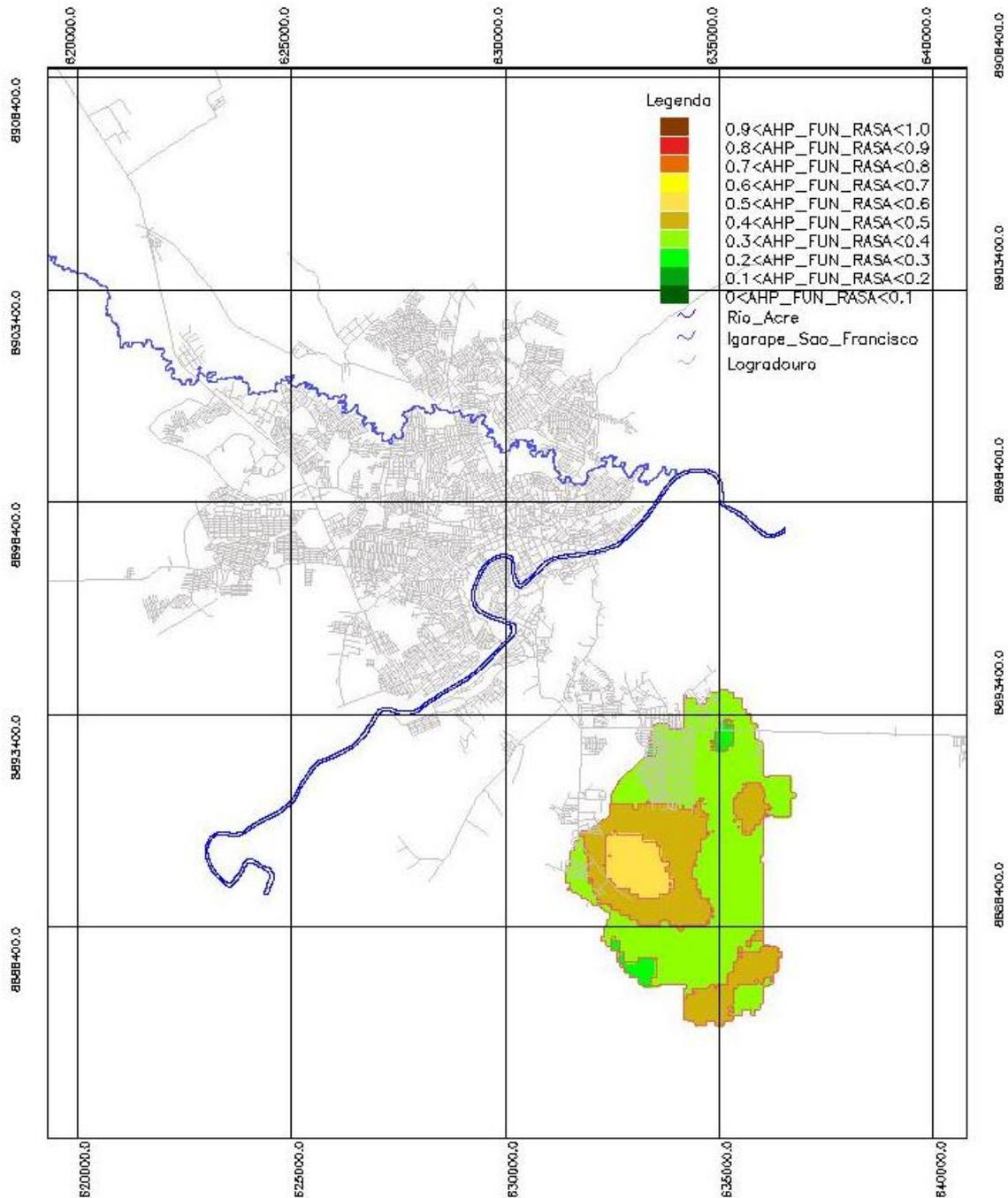


Figura 185 - Carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir do índice AHP de capacidade de carga (invertidos), índice AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, na unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano (área 2).

CARTA CLASSES ANÁLISE MULTICRITÉRIO AHP SUSCETIBILIDADE AO USO DE FUNDACOES SUPERFICIAIS
 UNIDADE GEOLOGICA TERRACO FLUVIAL
 1 e 2 Distritos Urbanos

Datum WGS 1984 UTM Zona 19S

1:125.000

1.3 0 1.3 2.5 3.8 5 km

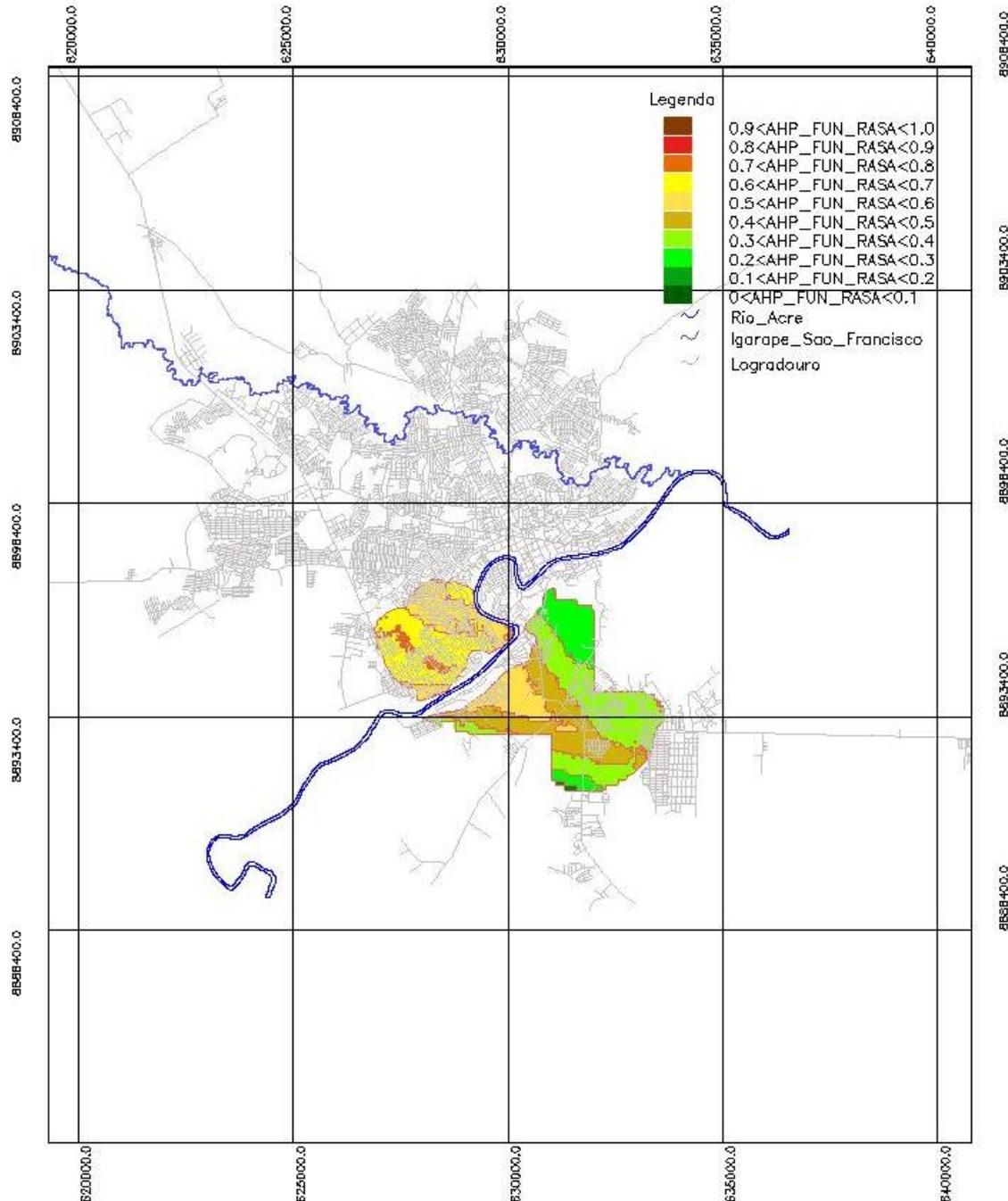


Figura 186 - Carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais, obtida com uso da análise multicritério AHP a partir do índice AHP de capacidade de carga (invertidos), índice AHP susceptibilidade de deformabilidade/expansividade, e declividade do terreno, na unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distritos urbanos (área 3).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de pesquisa, concebido para a cidade de Rio Branco capital do Acre, possibilitou o desenvolvimento de uma rotina para mapeamento geotécnico, com uso de um banco de dados de atributos geotécnicos, geológicos e topográficos, manipulados em um sistema de informações geográficas, apoiado em diferentes análises estatísticas consagradas, tendo como objetivo o conhecimento da variabilidade numérica e espacial desses atributos.

As informações topográficas adquiridos por sistemas LIDAR (light detection and ranging), permitiram a criação de um modelo numérico do terreno (MNT) que serviu de base para extração da rede de drenagem e diferentes análises das feições geomorfológicas, possibilitando um melhor entendimento da geomorfologia da área de estudo. A partir das informações topográficas e análises das feições geomorfológicas da área de estudo, foram geradas as seguintes cartas: carta de rede de drenagem, carta hipsométrica, carta de relevo sombreado, carta de classes de relevo, carta de curvatura de perfil, carta de curvatura plana e carta de orientação de vertentes.

A proposta de amostragem sistemática da área de estudo, levando em consideração a relação da escala de trabalho do mapeamento geotécnico e o tamanho da área de investigação, permitiu de forma satisfatória dimensionar a malha de amostragem e quantificar os ensaios para obtenção dos atributos geotécnicos.

A análise estatística descritiva dos atributos permitiu uma melhor compreensão do conjunto de atributos, descrevendo a variabilidade e comportamento em torno da média, o que possibilitou uma melhor interpretação dos resultados.

A análise geoestatística com krigagem ordinária se mostrou eficiente na detecção de anisotropia direcional e o conhecimento da variabilidade espacial, permitindo a separação de áreas distintas em função dos diferentes atributos geotécnicos analisados e gerando as seguintes cartas geotécnicas: carta de resistência a penetração do cone panda Q_d , carta de resistência à penetração N_{spt} , carta da fração areia fina, carta da fração silte, carta da fração argila, carta do peso específico seco do solo, carta de profundidade do nível d'água, carta da umidade natural dos solos, carta do índice de consistência dos solos, carta do peso específico real dos grãos, carta da umidade higroscópica dos solos, carta do limite de liquidez dos solos, carta do limite de plasticidade dos solos, carta do índice de plasticidade dos solos, carta da tangente de alfa, carta da tangente de beta, carta do índice de atividade dos solos, carta do índice de liquidez.

A análise de componentes principais permitiu julgar a importância dos atributos geotécnicos com maior peso na combinação linear dos primeiros componentes principais (CP1 e CP2) que são os mais relevantes do ponto de vista da variabilidade.

A análise multicritério com técnica AHP combinada com os resultados obtidos na análise de componentes principais permitiu a escolha dos atributos que influenciam a tomada de decisão para um critério de importância relativa atribuído ao relacionamento entre os atributos, permitindo a obtenção das cartas de diferentes índices AHP, gerando diferentes cartas de susceptibilidade: carta de classes de capacidade de carga dos solos, carta classes de susceptibilidade à deformabilidade/expansividade dos solos, carta classes de susceptibilidade de uso de fundações superficiais.

Os resultados gerados no mapeamento geotécnico servirão para auxiliar no planejamento da ocupação urbana da cidade de Rio Branco, e servem como informação adicional no planejamento e levantamento preliminar para escolha do tipo de fundação a ser utilizada nas obras construídas na área de estudo, e também em obras de pavimentação urbana.

As diferentes análises estatísticas utilizadas na pesquisa mostraram que é possível realizar trabalhos de mapeamento geotécnico levando em consideração a variabilidade dos atributos.

Os limitadores da pesquisa foram o tempo excessivo na realização dos ensaios de campo e laboratório, além do tempo demasiado na compilação de perfis de sondagem SPT para o meio digital. O objetivo de cruzar informações de cores do solo com outros atributos geotécnicos, por exemplo, a mineralogia dos solos não foi concretizada. Outro fator limitante é a escassez de laboratórios que realizem a caracterização mineralógica dos solos, as quantidades de amostras para caracterização mineralógica dos solos tiveram que ser reduzidas.

O banco de dados digital gerado para o desenvolvimento dessa pesquisa, e integrado a um sistema de informação geográfica, permitirá novas pesquisas ligadas ao mapeamento geotécnico, da área de estudo, e até mesmo da extrapolação desses dados para áreas próximas à área de estudo. A sistemática desenvolvida nessa pesquisa, pode ser aproveitada e melhorada para aplicação em cidades que também estejam localizadas na bacia do rio Acre, ao todo são sete cidades brasileiras localizadas nas margens do rio Acre: Assis Brasil, Brasília, Epitaciolândia, Xapuri, Rio Branco, Porto Acre e Boca do Acre.

Enfim, fazer uma pesquisa científica compreende inúmeros estágios que vão desde a formulação de ideias até a conclusão da pesquisa, não encarando a conclusão como o esgotamento do assunto, mas sim como a entrega de um produto que foi realizado em um determinado tempo, e ao contrário, enxergando que muito ainda pode ser realizado nessa área de conhecimento. Nesse intervalo, que durou anos, inúmeras pessoas foram fundamentais, embora nem sempre saibam da sua importância no processo. Os desafios foram vários, e serviram para enriquecer o conhecimento e amadurecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROIMAGEM (2016). Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevanteamento. Disponível em: <<http://www.aeroimagem.com/v2/produtos-e-servicos/lev-aerofotogrametricos.html>>, acessado em 25 de maio de 2016.
- AFNOR (2000). Control de calidad de compactación: método del penetrômetro dinâmico de energia variable, principio y método de calibrado del penetrômetro, explotación de resultados, interpretación. XP P 94-105. ISSN 0335-3931.
- ALONSO, U. R. (2003). Previsão e controle das fundações. 3ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Edgard Blucher.
- ALONSO, U. R. (2007). Rebaixamento temporário de aquíferos. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.
- ALONSO, U. R. (2013). Exercício de fundações. 2ª Edição, 3ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Edgard Blucher.
- ANDRADE, D. F.; OGLIARI, P. J. (2013). Estatística para as ciências agrárias e biológicas: com noções de experimentação. 3ª Edição revisada e ampliada, Florianópolis, SC, Editora da UFSC.
- ANDRIOTTI, J. L. S. (2013). Fundamentos de Estatística e Geoestatística. 2ª reimpressão, São Leopoldo, RS, Editora Unisinos.
- BALTSAVIAS, E. P. (1999). A comparison between Photogrammetry and LASER scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 83-94.
- BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DOERA, J. G.; LANDIM, P.M. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. (2009). Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, v.23 p. 79-90.
- BORGES, M. V. (2007). Contribuição de um sistema de dados georeferenciados baseado em geomorfologia e pedologia ao estudo de fundações na cidade de Rio Branco, Acre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- BORGES, M. V., SOUZA, M. N., SILVA, E. E. A. Jr. (2015). Relação da escala de trabalho do mapeamento geotécnico e área de influência das sondagens. Artigo aceito em abril de 2015. Revista Brasileira de Geologia, de Engenharia e Ambiental (RBGEA), São Paulo, SP.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. (1964). An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society, v. 16, n. 2, p. 211-252.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. (2013). Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.edição. Porto Alegre, RS, Editora Bookman.
- BRANDALIZE, A. A. (2002). Perfilamento a LASER: Comparação com Métodos Fotogramétricos. ESTEIO Engenharia e Aerolevanteamentos S.A., Comissão Técnica: Fotogrametria, Curitiba, PR.

BRUCH, A. F.; GRUBER, N. L. S.; HANSEN, M. A. F. (2009). Construção e representação de modelos numéricos do terreno no SIG Spring para o relevo da sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã-RS. In: ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DA AMERICA LATINA, 12., 2009. Montevidéo. Anais.... Montevidéo: Gega, v.1, p. 1-8.

BUDHU, M. (2013). Fundações e estruturas de contenção. Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC.

CAMARGO, E. C. G; FELGUEIRAS, C. A. (2015). Análise espacial de dados geográficos - Geostatística Linear, Apostila, Cursos de curta duração, São José dos Campos, SP. DPI/INPE – Divisão de Processamentos de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. (2015). Mecânica dos solos e suas aplicações. 3ª Edição, Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC.

CARRINO, T. A.; SILVA, A. M.; BOTELHO, N. F.; SILVA, A. A. C. (2011). Discriminação de áreas de espesso regolito do leste do estado do amazonas usando estatística multivariada, algoritmo hiperespectral e modelagem de dados espaciais. Revista Brasileira de Geofísica.

CHRISTOFOLETTI, S. R. (2003). Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do pólo cerâmico de Santa Gertrudes. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. (2011a). Fundações diretas: projeto geométrico. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. (2011b). Fundações por estacas: projeto geométrico. 1ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

CLAUDIO, B. J.; BARBASSA, A. P. (2012). Geoprocessamento e recursos hídricos, aplicações práticas. São Carlos, SP. Editora Edufcar.

COSTA, W. D. (2012). Geologia de barragens. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos. DAS, B. M.; SOBHAN, K. (2014). Fundamentos de engenharia geotécnica. Tradução Noveritis do Brasil, São Paulo, SP, Editora Cengage Learning.

DAS, B. M.; SOBHAN, K. (2014). Fundamentos de engenharia geotécnica. Tradução Noveritis do Brasil, São Paulo, SP, Editora Cengage Learning.

DIAS, R. D. (1987). Aplicação de Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

DIEMER, F. (2014). Caracterização da resistência de um solo tropical a partir do ensaio de penetração dinâmica de cone com energia variável (PANDA). Dissertação de mestrado. UFG, Goiânia, GO.

DOS ANJOS, D. S., JUNIOR, M. M., NUNES, J.O. R. (2011). Classificação da curvatura de vertentes em perfil via Modelo Numérico de Terreno. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.2286.

DUARTE, A. F. (2005). Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.1, p.37-42.

DUARTE, A. F. (2013). Enchente do rio acre em Rio Branco em março de 2013. Parecer técnico, Grupo de estudos e serviços ambientais, UFAC, Rio Branco, Acre.

FÁVERO, L. P.; BELFIORI, P. (2015). Análise de dados: técnicas multivariadas e exploratórias. Rio de Janeiro, RJ, Editora Elsevier.

FERES, R., (1998). Caracterização geotécnica de uma bacia hidrográfica urbana (Rio Branco-AC) com ênfase nos processos de ocupação dos fundos de vale. Dissertação de mestrado, UFSCar, São Carlos, SP.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. (1999). Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 23:515-524.

FIELD, A. (2009). Descobrimo a estatística usando o SPSS. 2ª Edição, Porto Alegre, RS, Editora Artmed.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. (2013). Fundamentos de mecânicas dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. 2ª Edição, 2ª reimpressão revisada e ampliada, Curitiba, PR, Editora UFPR, Editora.

FITZ, P. R. (2012). Cartografia básica. 2ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

FLORENZANO, T. G. (2011). Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais. 1ª Edição, 2ª Reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

FOLLE, D. (2009). Análise e aplicações da geoestatística no contexto geológico-geotécnico urbano. UFRS, Porto Alegre, RS.

FOLLE, D.; MOSCATELLI, M.; RASPA, G.; COSTA, J. F. C. L. (2009). Modelagem geotécnica utilizando a geoestatística multivariada. Artigo, UFRS, Porto Alegre, RS.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. (1996). Curso de estatística. 6ª Edição, São Paulo, SP, Editora Atlas.

GERSCOVICH, D. M. S. (2013). Estabilidade de taludes. 1ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

GOMES, R. L.; MARQUES, E. A. G.; FRANCO, G. B. (2017). Aptidão da Bacia Hidrográfica do Rio Almada diante da implantação de áreas para disposição ambiental de rejeitos. Eng Sanit Ambient, v.22 n.4, 731-747.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T., (2006). Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. 5ª edição. Rio de Janeiro, RJ, Editora Bertrand Brasil.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (2008). Fundações: teoria e prática. 2ª Edição, 8ª tiragem, São Paulo, SP. Editora PINI.

HID, A.R., (2000). Monitoramento da Expansão Urbana e Ocupação Predial às Margens do Igarapé São Francisco em Rio Branco – Acre. Dissertação de mestrado, UFSC, Florianópolis, SC.

IAEG (1979). Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping Part 1: Rock and Soil Materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 19, 355-371.

IBGE (2007). Manual técnico de pedologia. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Manuais técnicos em Geociências, 2ª Edição, Rio de Janeiro, RJ.

JOPPERT, I. J. (2007). Fundações e contenções de edifícios: qualidade total da gestão do projeto e execução. São Paulo, SP, Editora PINI.

KARACSONYI, S. e REMMENYI, P. (1970). The significance of the explorations connected with the town development in the engineering geological mapping. In: CONG. DA IAEG, 1, Paris.

KLEIN, C.; HURLBUT, C. S. J. (2011). Manual de Mineralogía. Volumen 1 e 2, 4ª Edición, Barcelona, España, Editorial Reverté.

KUME, H. (1993). Métodos estatísticos para melhoria da qualidade. Tradução: Dário Ikuo Miyake, 11ª edição, São Paulo, SP, Editora Gente.

LANDIM, P. M. B. (2002). Análise estatística de dados geológicos. São Paulo, SP, 2ª Edição revisada e ampliada, Editora Unesp.

LANDIM, P. M. B. (2011). Análise estatística de dados geológicos multivariados. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

LATRUBESSE, E., (1996). Mapa de Geomorfologia da Faixa Fluvial do Rio Acre na escala 1:40.000. UFAC - Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia, Rio Branco, AC.

LOPES, E. S. S. (2003). Procedimentos geoestatísticos com o SPRING/INPE. Apostila, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP, Campus Rio Claro.

MALDONADO, F. D. (1999). Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos. SP.

MARCHETTI, O. (2008a). Pontes de concreto armado. São Paulo, SP, Editora Blucher.

MARCHETTI, O. (2008b). Muros de arrimo. São Paulo, SP, Editora Blucher.

MARTINS, F. G; COELHO, L. S. (2012). Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 7, nº 1, p. 65-80.

MASCARENHA, M. M. A. (2003). Influência do recarregamento e da sucção na capacidade de carga de estacas escavadas em solos porosos colapsíveis. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

MASSAD, F. (2003). Obras de terra: curso básico de geotecnia. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

MASSON, M. R. (2002). Caracterização de uma jazida visando a garantia da qualidade de matérias-primas para indústria cerâmica de revestimentos. Tese de Doutorado, UNESP, Rio Claro, SP.

MATULA, M.; PASEK, J. (1984). Engineering geological maps in the Czechoslovak Socialist Republic. In: INT. GEOL. CONG., 22, New Delhi.

MELO, H. R. M. J. e MARMOS, J. L., (2006). Avaliação Hidrogeológica do Município de Rio Branco-Acre. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, DHT - Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, Porto Velho, RO.

MICHELIN, R. G. (1975). Drenagem superficial e subterrânea de estradas. Porto Alegre, RS, 2ª Edição, Editora Multilibri.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. (2013). Patologia das fundações. 2ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. (1997). Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Artigo, Departamento de Química, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.

MONTEGOMERY, D. C. e RUNGER, G. C. (2013). Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Rio de Janeiro/RJ. Editora LTC.

MOTTA, E. Q.; FERREIRA, S. R. M. (2011). Variações da compressibilidade e do potencial de colapso de um solo perante diferentes líquidos de inundação. Revista de estudos ambientais online. v.13, n. 1, p. 28-41.

MUNSELL (2013). Munsell Soil Color Charts. Munsell Color Company, Baltimore, Maryland, EUA.

NASCIMENTO, R. R. (2016). Procedimento baseado em rotina de apoio à decisão aplicado à redução de risco de movimentos gravitacionais de massa em margens de cursos d'água: estudo de caso em Rio Branco/AC. Tese de doutorado, UFMG, Belo Horizonte, MG.

NAVARRETE, M. A. B. (2009). Mesures Dynamiques Lors du Battage du Penetrometre panda 2. 2009. 194 p. Thèse (Docteur d'universite specialite : genie civil). Universite Blaise Pascal - Clermont II, Clermont – Ferrand.

- OLIVEIRA, I. A. (2013). Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região sul do Amazonas. Dissertação de Mestrado, UNESP, Jaboticabal, SP.
- OLIVEIRA, M. A.; FERREIRA, A. L. (2006). Avaliação geológico-geotécnica da cidade de Rio Branco-Acre. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, DHT - Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, Manaus, AM.
- ORTIGÃO, J. A. R. (1993). Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC.
- PINTO, C. S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos. 3ª Edição, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.
- RADAMBRASIL (1976). Levantamento de Recursos Naturais, Folhas SC. 19 – Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra”. Projeto RADAMBRASIL, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, vol. 12, 464p.
- RESENDE; M.; CURI, N.; KER, J. C. REZENDE, S. B. (2011). Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações. 2ª Edição revisada e ampliada, Lavras, MG, Editora UFLA.
- ROQUE, W. V. (2006). Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus-AM. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- ROSIM, S.; MONTEIRO, A. M. V.; RENNÓ, C. D.; SOUZA, R. C. M. DE; SOARES, J. V. (2003). Terrahidro - uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos s. Anais XI SBSR. p.2589-2596, Belo Horizonte, MG.
- RUMSEY, D. (2012). Estatística para leigos. 2ª reimpressão, Rio de Janeiro, RJ. Editora Alta Books.
- SAATY, T. L. A. (1977). Scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15, p. 234-281.
- SAATY, T. L. A. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- SALAMUNI, E.; STELLFELD, M. C. (2001). Banco de dados geológicos geo-referenciados da bacia sedimentar de Curitiba (PR) como base de sistema de informação geográfica (SIG). Boletim Paranaense de Geociências, n. 49, p. 21-31, Editora da UFPR.
- SCHMERTMANN, J. H. (1970). Static cone to compute static settlement over sand. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol.96, n° SM.3, p. 1011-1043.
- SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. (2012). Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

SHAPIRO, S. S. E M. B. WILK (1965) An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* Trust, London, v. 52, p. 591–609. 3/4 (Dec., 1965). Disponível em: <<http://www>>.

SILVA, A. A. (2012a). A utilização do airborne digital sensor ADS - 80 no reconhecimento por sistemas ópticos digitais. *Revista Spectrum, Força Aérea*, Brasília – DF.

SILVA, A. R. V. (2011). Análise estatística multivariada no estudo da relação de variáveis de um solo residual granítico com a cultura da vinha, caso da casta Vinhão. Dissertação de mestrado. Universidade do Minho, Braga, Portugal.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (2011). *Geoprocessamento e meio ambiente*. São Cristovam, RJ. Editora Bertrand Brasil.

SILVA, A. B. (2012). *Sistemas de informações geo-referenciadas*. 1º Edição, 2ª reimpressão, Campinas, SP, Editora da Unicamp.

SILVEIRA, J. F. A. (2013). *Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento*. 1ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

SILVESTRE, A. L. (2007). *Análise de dados e estatística descritiva*. Escolar Editora.

SINTON, D. (1978). The inherent structure of information as a constraint to analysis—Mapped thematic data as a case study, in Dutton, G., ed., *Harvard papers on GIS, Volume 7: Reading, Massachusetts*, Addison-Wesley, p. 1–17.

SKEMPTON, A. W. (1953). The colloidal activity of clays. *Proc. 3rd ICSMFE, Int. Cof. On Soil Mechanics*. v. 13, p. 131-158.

SOARES, W. C. (2011). Banco de dados geológico-geotécnicos com base em sondagens à percussão e uso de SIG: análise espacial da profundidade do lençol freático e do Nspt para obras de fundações em João Pessoa – PB. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH, F. I. J. (2013). *Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento*. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

TEIXERA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. (2013). *Decifrando a terra*. 2ª Edição, 4ª reimpressão, São Paulo, SP, Companhia Editora Nacional.

TOBLER, W. (1979). Lattice Tuning. *Geographical Analysis*, XI, 1, 36-44.

TSCHEBOTATIOFF, G. P. (1978). *Fundações, estruturas de arrimo e obras de terra*. São Paulo, SP, Editora McGraw-Hill do Brasil.

VAIDYA, O.S.; KUMAR, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, v. 169, pp. 1-29.

VARGAS, M. (1978). *Introdução à mecânica dos solos*. São Paulo, SP, Editora MacGraw-Hill do Brasil.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2011). Fundações: critério de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

VELOSO, A. J. G. (2002) Importância do Estudo das Vertentes. GEOgraphia. v.8, n.8.

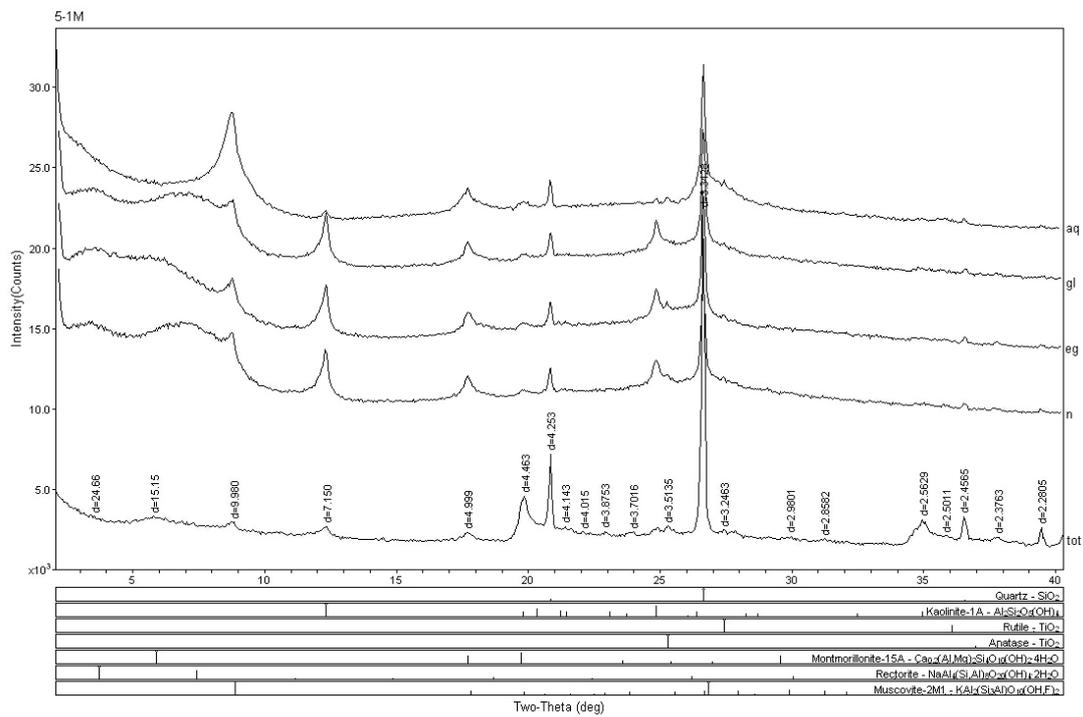
YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. (2013). Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

YEO, I.K; JOHNSON, R.A. (2000). A New Family of Power Transformation to Improve Normality or Symmetry. Biometrika, 87, 954-959.

ZEVENBERGEN, L. W. e THORNE, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. Earth Surface Processes and Landforms, Vol 12, pp. 47-56.

ZUQUETTE, L.; GANDOLFI, N. (2013). Cartografia Geotécnica. 1º Edição, 2ª reimpressão, São Paulo, SP, Editora Oficina de Textos.

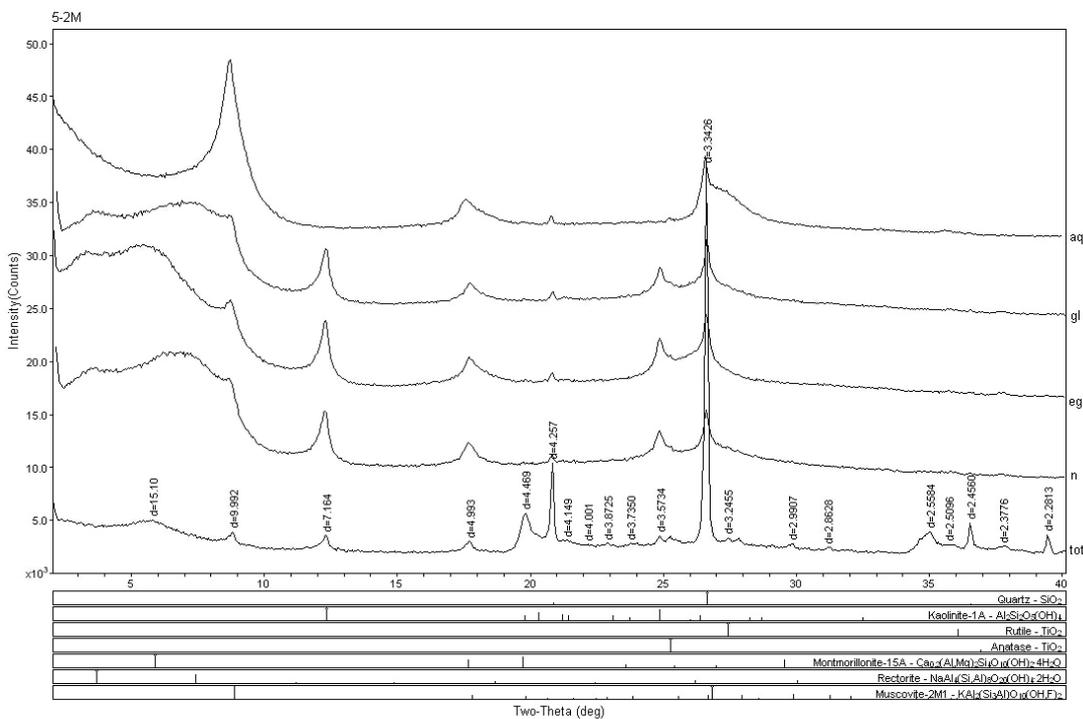
ANEXO



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:46 (MDIUADEN)

Figura 187 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 1 metro), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:46 (MDIUADEN)

Figura 188 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.

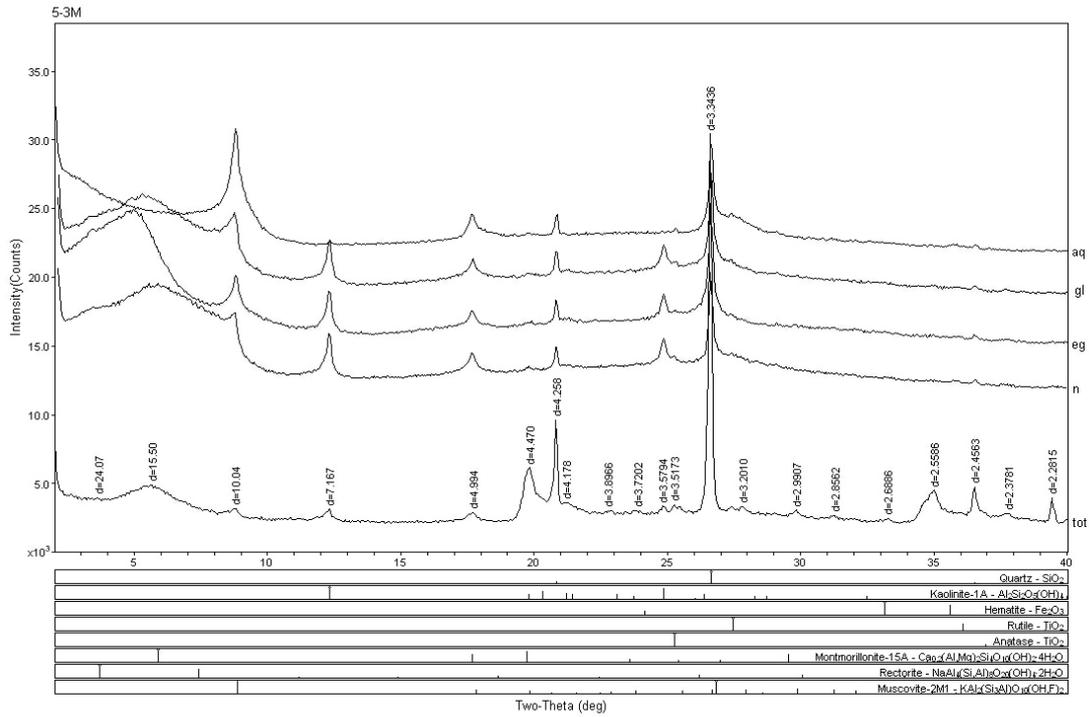


Figura 189 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.

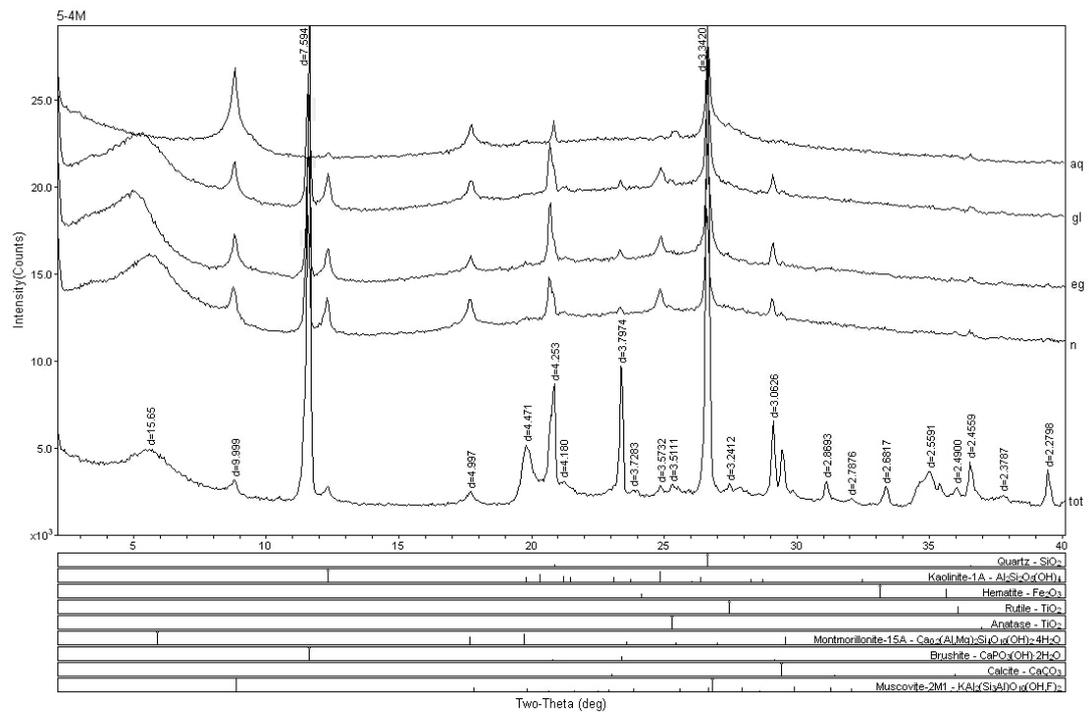
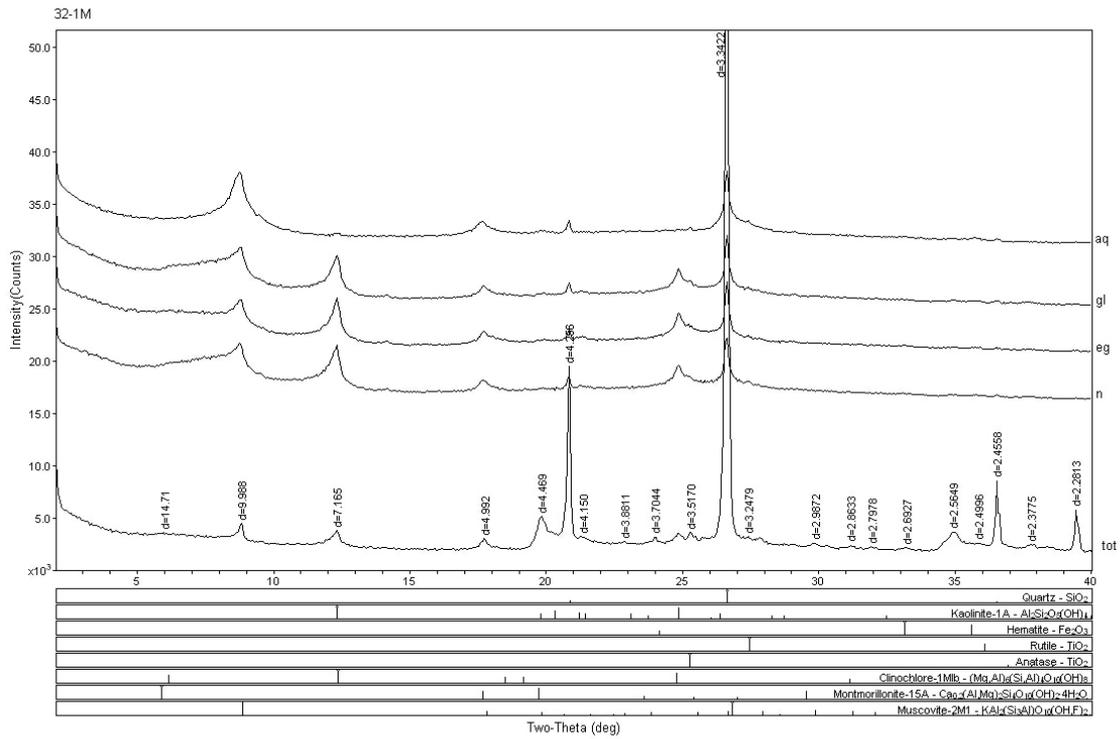


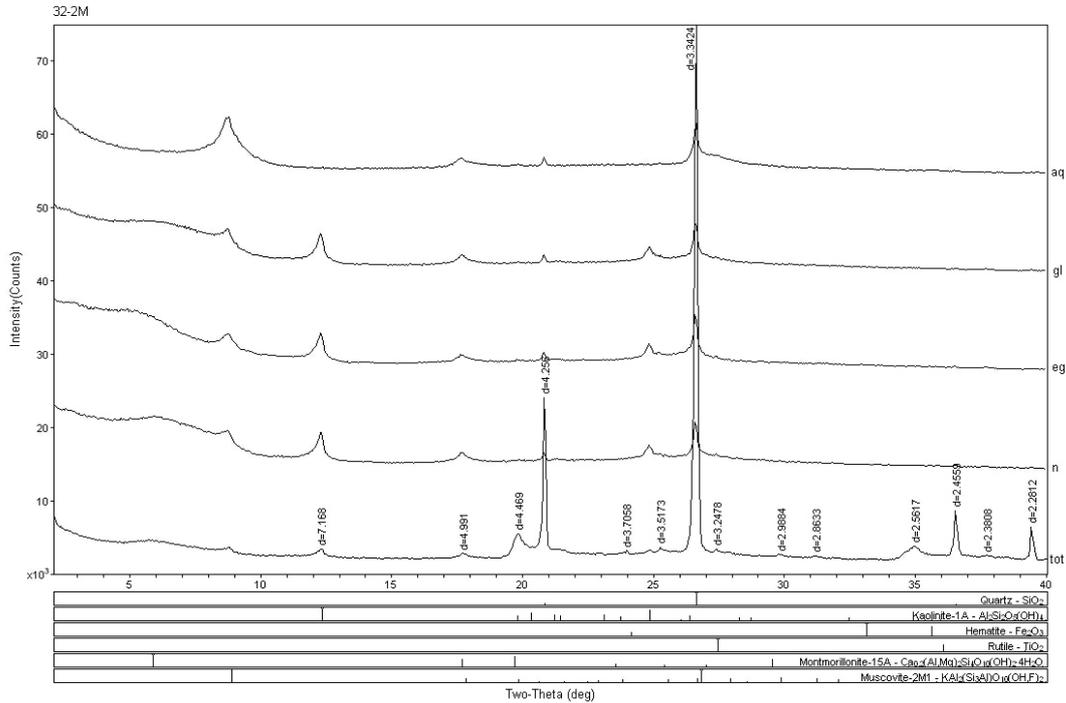
Figura 190 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 05 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.



Camous Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:21o (MDI\JADEB)

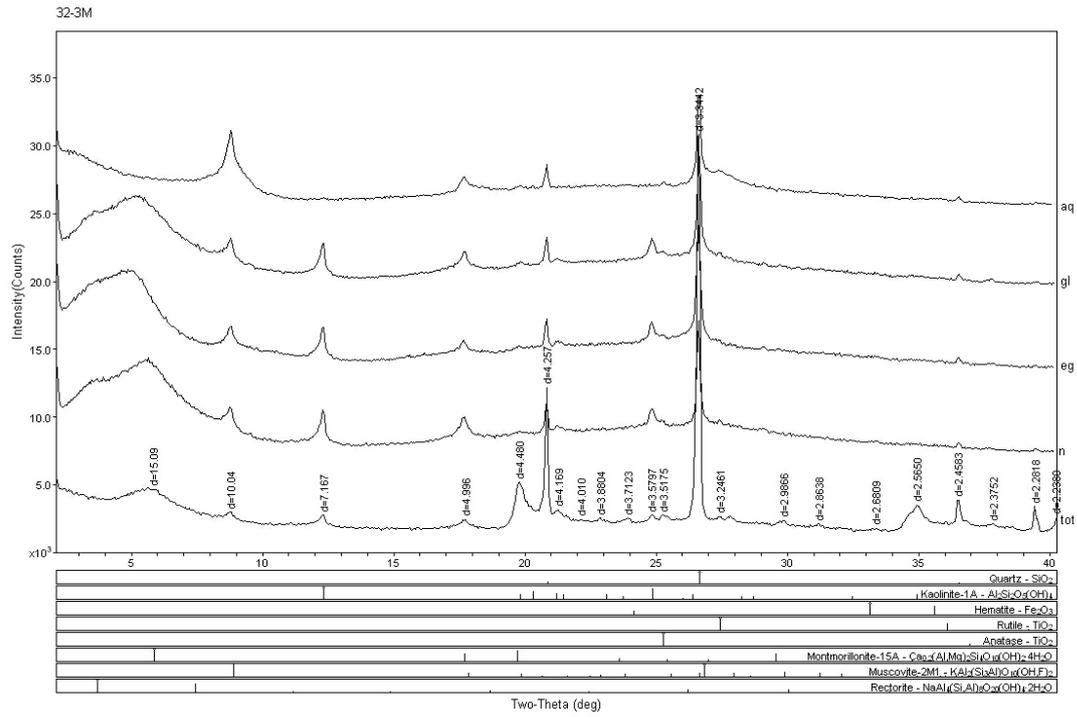
Figura 191 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 32 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano.



Camous Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:19o (MDI\JADEB)

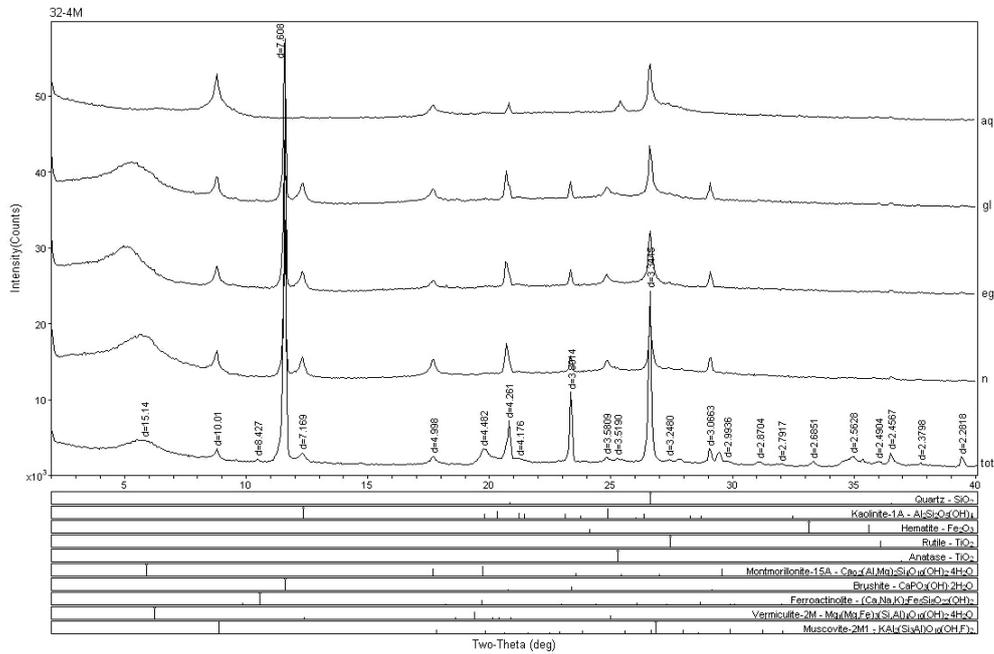
Figura 192 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 32 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:27:0 (MDI/JAD/BR)

Figura 193 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 32 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:28:0 (MDI/JAD/BR)

Figura 194 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 32 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano.

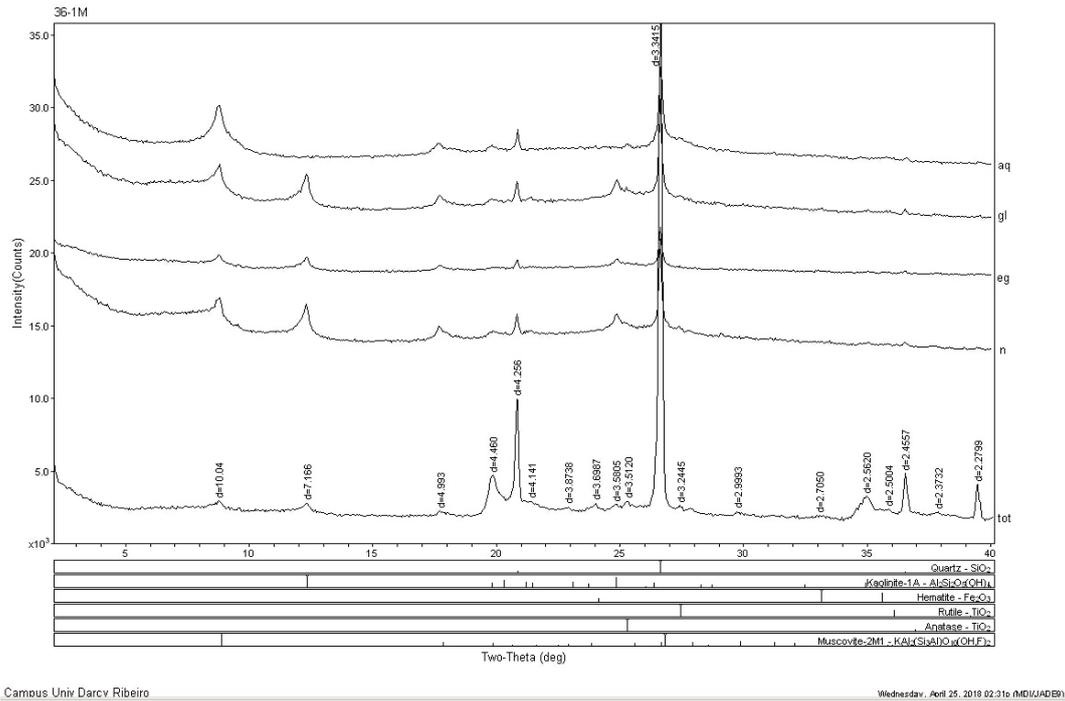


Figura 195 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 36 na profundidade 1 metro), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.

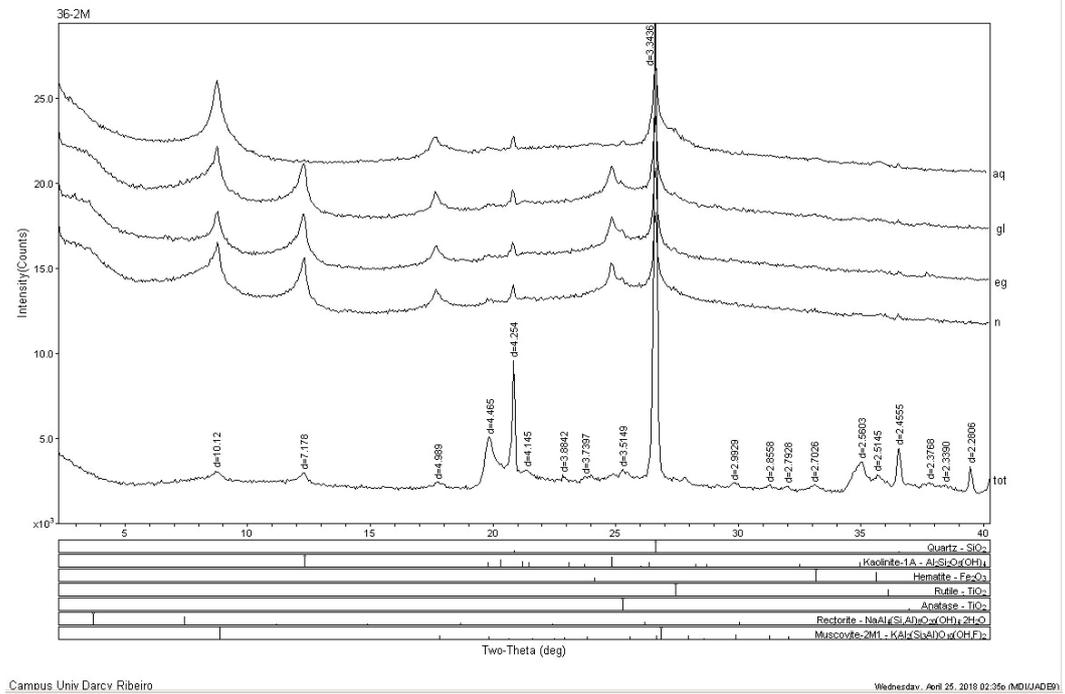
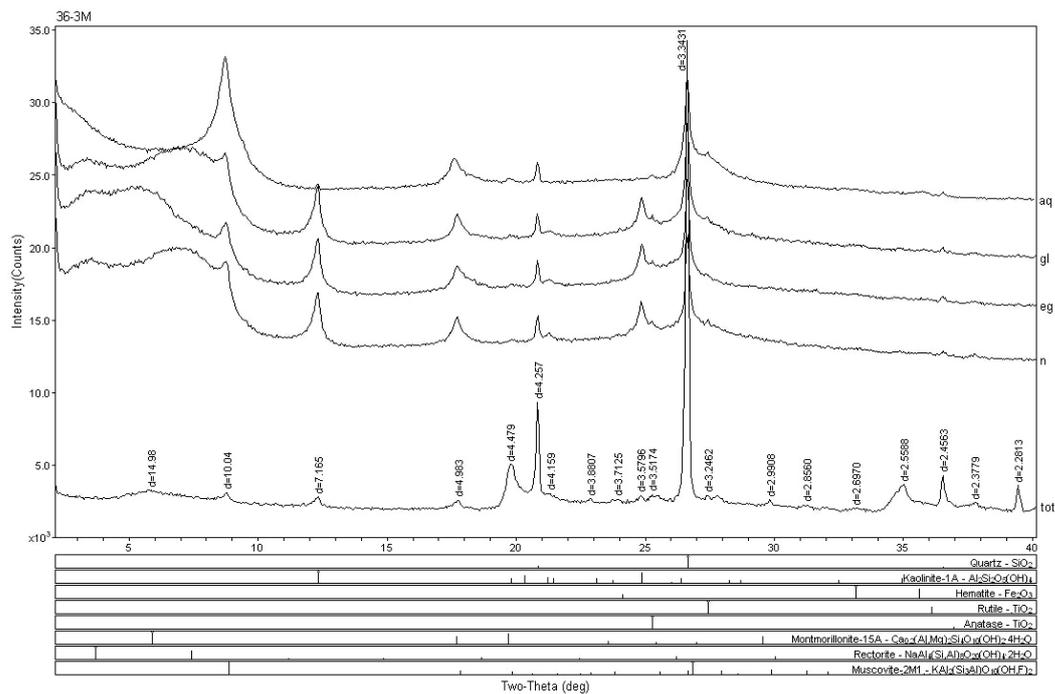


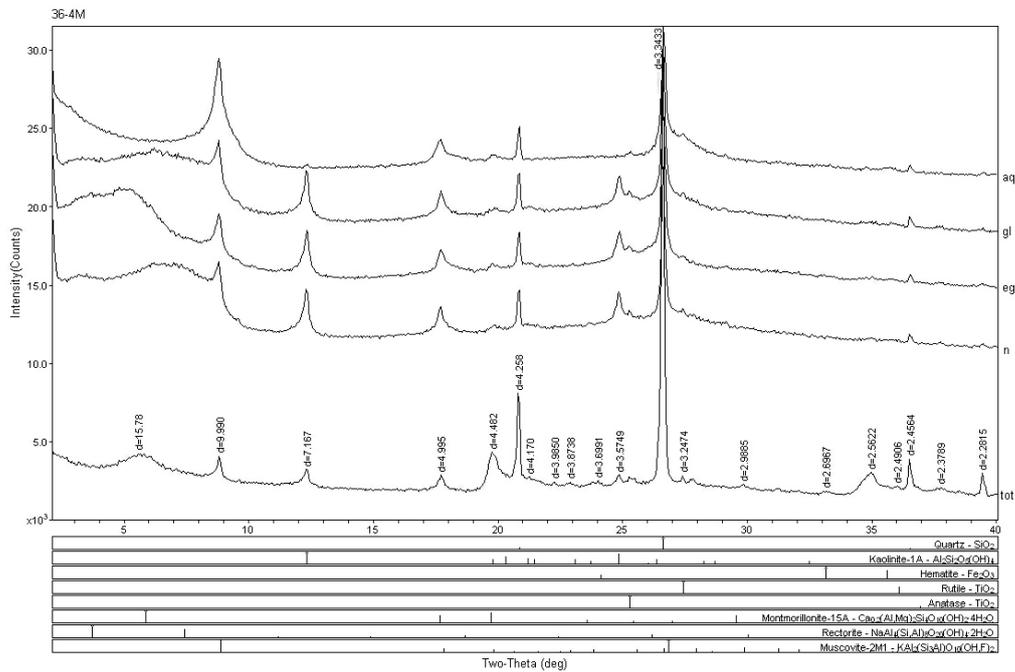
Figura 196 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 36 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:38:6 (MDI/JADEB)

Figura 197 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 36 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 02:38:6 (MDI/JADEB)

Figura 198 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 36 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Formação Solimões no 1° distrito urbano.

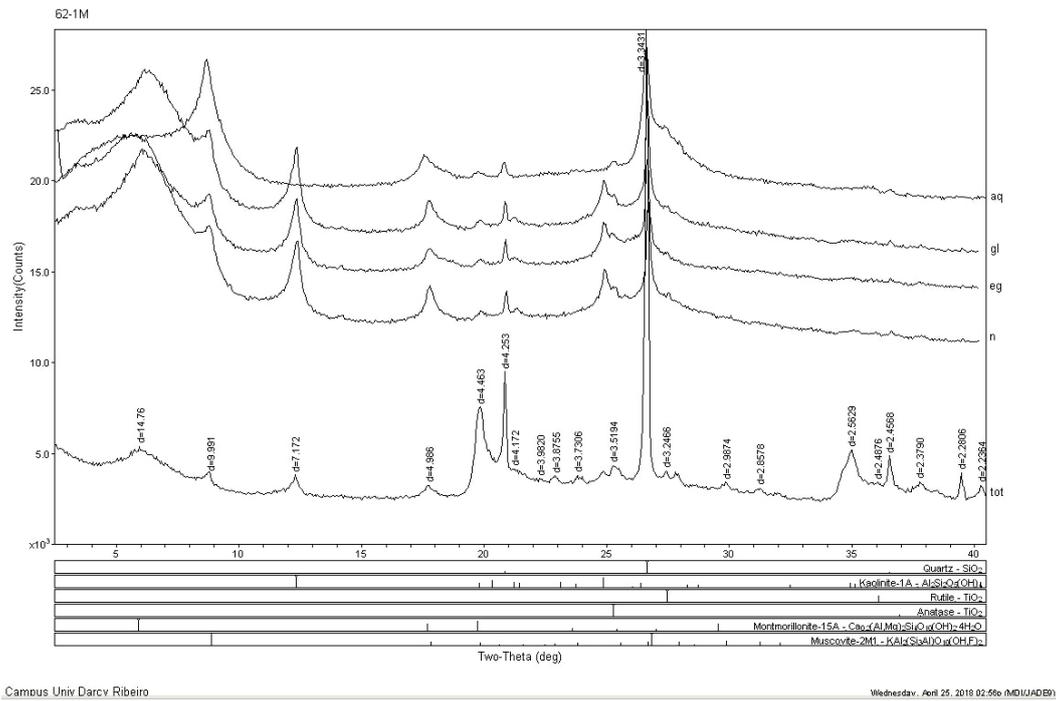


Figura 199 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 62 na profundidade 1 metro), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2° distrito urbano.

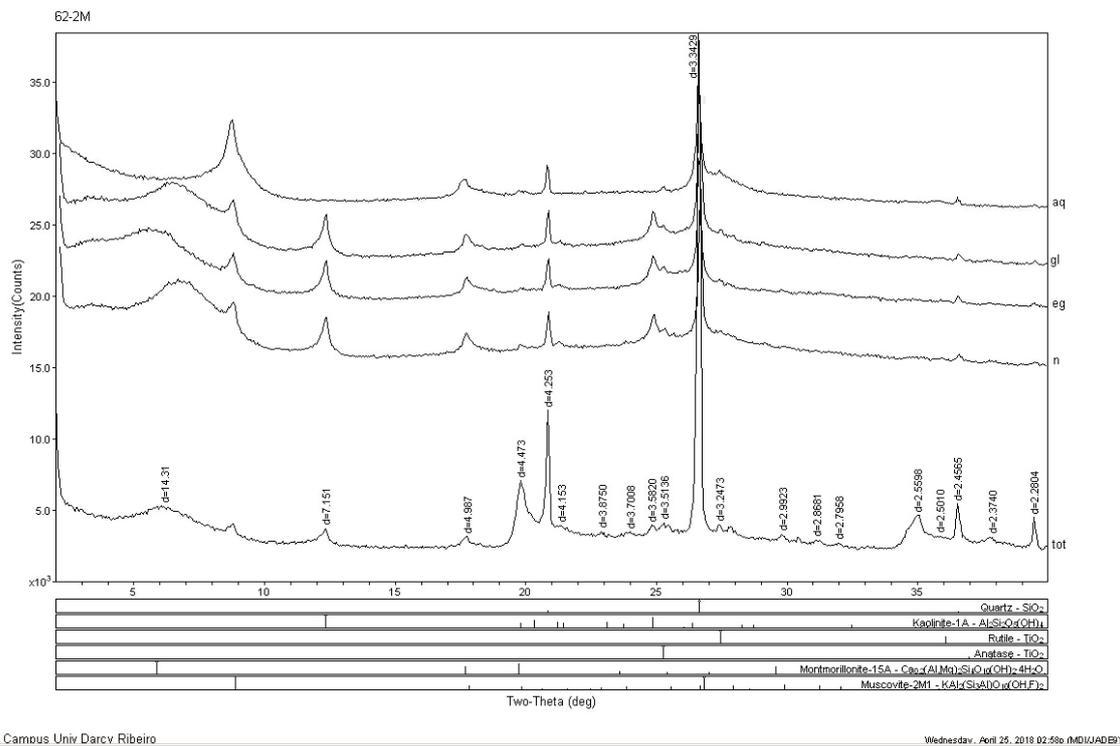
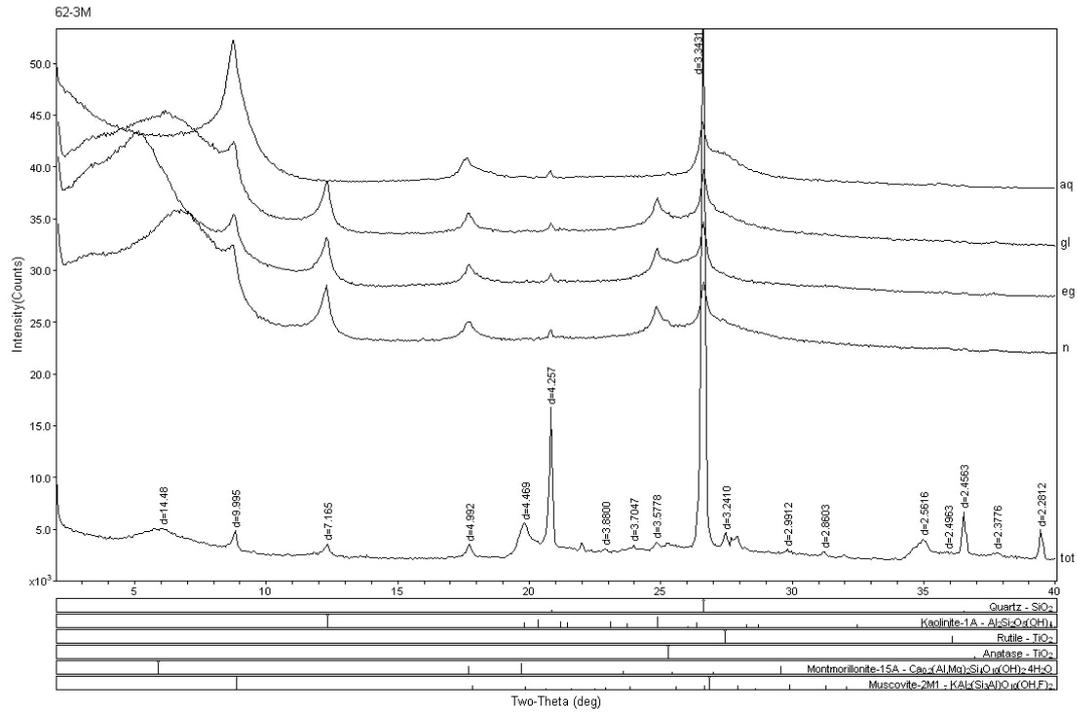


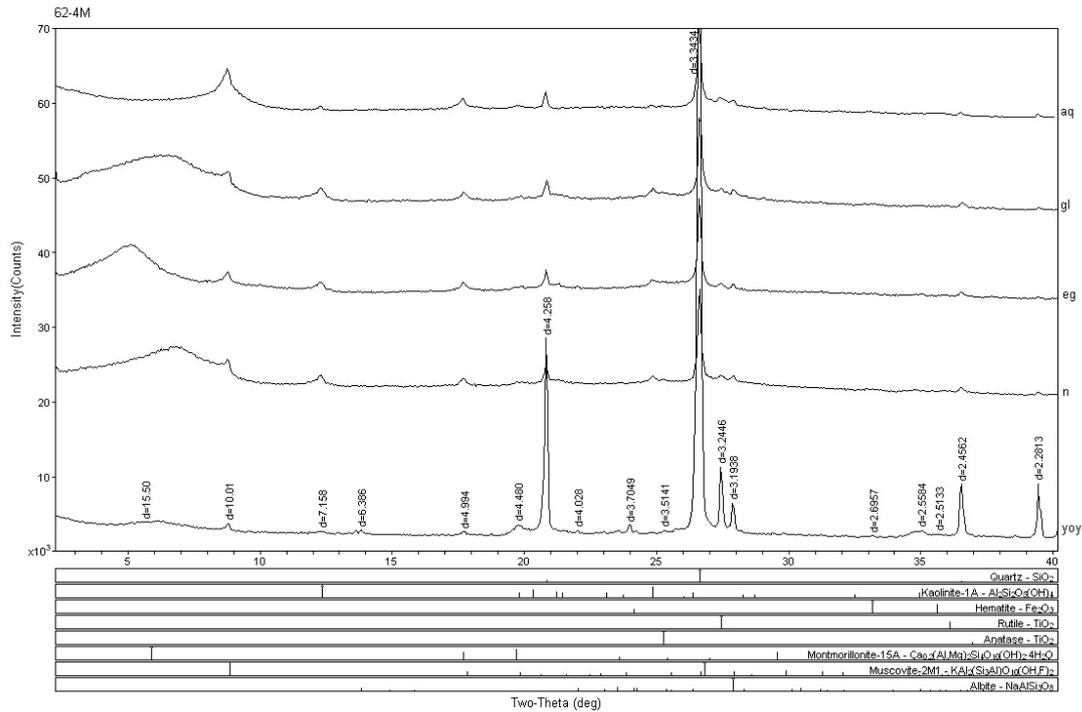
Figura 200 -Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo n° 62 na profundidade 2 metros), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2° distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 03:06 (MDI/JAD/EB)

Figura 201 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 62 na profundidade 3 metros), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2º distrito urbano.



Campos Univ Darcy Ribeiro

Wednesday, April 25, 2018 03:10 (MDI/JAD/EB)

Figura 202 - Difratoograma de raio-X de amostras de solo (furo nº 62 na profundidade 4 metros), obtida na unidade geológica Terraço Fluvial no 2º distrito urbano.

Tabela 77 - Matriz de atributos obtidos na área 1 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.

X	Y	Número do furo	Qd cone Panda (MPa)	Peso específico seco (kgf/cm³)	Profundidade do nível d'água (m)	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)	Umidade natural (%)	Índice de consistência (%)	Peso específico real dos grãos (g/cm³)	Umidade Higroscópica (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Tangente de alfa (adimensional)	Tangente de beta (adimensional)	Índice de atividade (adimensional)	Índice de liquidez (adimensional)
627453	8902484	1	4,58	1832	8,0	2,51	26,91	56,27	24,39	0,95	2,762	4,082	58,747	22,664	36,083	18,750	0,137	0,643	0,055
627342	8901618	2	4,57	1902	8,0	5,65	21,99	60,01	23,39	1,14	2,762	4,556	64,592	28,150	36,443	18,256	0,123	0,608	-0,141
628538	8901694	3	4,11	1818	8,0	3,56	18,39	64,72	26,93	0,99	2,765	67,297	26,708	40,589	22,535	0,144	0,626	0,007	
629558	8901458	4	2,73	1776	8,0	0,94	16,73	73,58	28,05	0,96	2,737	6,644	72,644	26,112	46,532	22,265	0,129	0,635	0,043
630469	8901574	5	3,08	1748	8,0	5,22	9,99	81,69	28,60	0,98	2,738	8,148	73,880	27,544	46,316	21,585	0,126	0,568	0,017
621271	8900260	6	7,06	1729	8,0	15,12	20,08	51,90	22,62	1,02	2,638	2,888	57,875	23,660	30,214	18,982	0,141	0,577	-0,023
623773	8900304	7	5,20	1613	8,0	2,20	30,18	57,10	22,73	1,00	2,680	5,895	54,767	22,111	32,656	16,289	0,127	0,563	0,000
624610	8900356	8	4,63	1729	2,5	4,94	23,83	52,56	26,34	0,87	2,712	3,452	54,407	22,200	32,207	17,418	0,139	0,614	0,130
625312	8900352	9	3,59	1675	1,5	5,91	20,81	57,73	26,53	0,89	2,714	4,113	59,283	22,485	36,798	19,848	0,143	0,655	0,108
629481	8900486	10	1,70	1897	8,0	0,54	22,25	68,25	25,81	0,93	2,735	6,677	65,971	22,642	43,330	22,910	0,148	0,638	0,071
630439	8900618	11	3,52	1745	3,0	2,36	19,51	45,49	24,94	0,88	2,714	4,635	51,784	21,471	30,293	18,840	0,157	0,665	0,121
631595	8900491	12	3,25	1787	8,0	3,77	20,05	64,21	24,27	0,95	2,712	6,870	62,441	22,314	40,128	19,900	0,137	0,633	0,048
624317	8999749	13	4,15	1647	3,0	13,34	19,59	58,63	25,09	0,74	2,690	2,435	42,458	20,768	21,690	15,738	0,160	0,549	0,257
625431	8999592	14	3,87	1927	8,0	3,29	14,86	74,77	26,97	1,07	2,718	5,488	68,943	29,356	39,588	19,873	0,125	0,528	-0,066
626567	8999438	15	7,66	1652	8,0	10,83	18,99	44,48	20,76	1,01	2,678	2,445	45,256	21,709	23,547	18,710	0,176	0,529	-0,006
627419	8999365	16	9,76	1733	8,0	5,48	24,11	53,33	18,06	1,21	2,733	3,340	53,055	24,266	28,789	20,901	0,171	0,541	-0,214
628574	8999623	17	4,64	1993	8,0	17,76	16,28	36,09	19,87	1,04	2,699	2,286	40,005	20,028	19,977	16,345	0,176	0,533	-0,045
629241	8999364	18	3,25	2180	8,0	27,24	12,33	26,62	21,17	0,73	2,674	1,458	23,966	19,235	12,740	11,140	0,146	0,451	0,258
630685	8999676	19	2,35	1642	8,0	1,48	27,69	62,00	27,67	0,89	2,714	4,538	57,456	24,024	33,433	17,414	0,130	0,543	0,106
631441	8999568	20	3,72	1727	8,0	1,48	19,18	70,50	25,21	0,97	2,738	5,801	66,366	23,499	42,867	18,709	0,122	0,602	0,027
632538	8998669	21	9,92	2192	1,7	30,12	12,10	39,40	19,60	0,93	2,695	2,019	43,223	18,985	24,237	20,829	0,209	0,615	0,079
624424	8998564	22	5,77	1632	8,0	7,48	23,96	44,01	22,16	0,97	2,692	2,198	47,544	22,309	25,235	19,350	0,172	0,554	0,029
632502	8998492	23	8,65	1896	4,0	36,35	13,34	27,07	12,15	1,48	2,699	1,485	31,074	17,697	13,378	13,273	0,181	0,469	-0,482
626528	8998480	24	4,14	1758	8,0	5,02	16,36	72,46	26,01	0,96	2,705	6,193	72,618	24,358	48,261	23,333	0,139	0,671	0,038
627480	8998492	25	3,82	2136	8,0	10,47	14,05	64,15	41,01	0,62	2,729	4,602	64,988	26,289	38,699	21,569	0,145	0,600	0,380
628387	8998424	26	3,81	1587	8,0	4,50	14,48	70,61	24,31	1,03	2,746	5,091	74,213	24,776	49,437	23,932	0,143	0,692	-0,033
629639	8998430	27	4,44	2237	4,0	23,77	15,57	33,45	18,78	0,93	2,687	1,496	35,659	17,544	18,115	16,137	0,192	0,537	0,073
630442	8998689	28	5,23	1742	8,0	4,90	28,22	44,54	23,80	0,82	2,682	2,551	46,416	19,778	26,639	19,496	0,175	0,587	0,176
631328	8998862	29	3,06	1798	2,5	36,31	14,53	27,17	19,43	0,67	2,877	1,923	29,821	16,743	13,079	12,640	0,180	0,474	0,322
632539	8998459	30	4,47	1936	2,5	6,01	26,52	46,06	23,59	0,91	2,670	3,352	47,822	21,406	26,416	19,284	0,174	0,579	0,086
632608	8997379	31	3,29	1923	8,0	3,79	20,59	64,97	33,28	0,77	2,714	5,292	66,469	22,647	43,822	23,362	0,151	0,662	0,231
624389	8997502	32	2,51	1672	8,0	9,98	13,57	67,54	27,86	0,91	2,725	5,424	67,261	24,564	42,697	21,255	0,136	0,642	0,088
625393	8997609	33	3,57	1967	2,7	4,84	17,57	67,85	25,32	0,97	2,760	6,103	65,890	24,063	41,827	21,075	0,137	0,627	0,029
626687	8997530	34	3,02	1714	1,5	3,55	17,04	64,33	21,96	1,08	2,712	5,066	73,661	26,549	47,111	22,309	0,134	0,717	-0,081
627383	8997544	35	3,22	1671	2,5	17,29	18,19	49,29	34,69	0,59	2,702	4,256	53,694	21,400	32,294	19,669	0,162	0,642	0,407
628353	8997452	36	3,97	1550	1,8	4,61	17,56	67,32	33,84	0,87	2,701	5,979	73,825	27,651	46,174	24,008	0,141	0,615	0,135
629318	8997549	37	3,23	1669	8,0	11,55	13,34	59,76	26,57	0,99	2,695	4,866	59,019	24,345	34,673	21,324	0,160	0,556	0,012
630575	8997705	38	3,30	2345	3,0	10,81	23,29	50,67	23,08	0,97	2,721	3,654	51,260	22,068	29,192	18,263	0,156	0,572	0,034
631576	8997639	39	3,34	1888	1,6	11,90	21,00	42,98	37,21	0,32	2,703	3,353	47,333	19,305	28,029	18,312	0,167	0,675	0,683
621459	8996522	41	3,13	1722	8,0	3,88	15,99	59,13	26,97	0,90	2,731	5,435	62,163	23,628	38,534	21,182	0,148	0,644	0,097
623262	8996485	42	4,18	1863	2,0	3,10	21,57	59,01	23,98	1,02	2,732	4,469	62,314	24,562	37,752	20,285	0,141	0,638	-0,022
623406	8996396	43	4,09	1814	8,0	6,15	19,99	60,02	23,49	0,91	2,721	4,844	60,932	24,042	36,890	18,590	0,138	0,614	0,020
624659	8996568	44	3,68	1796	8,0	11,99	18,25	56,29	24,62	1,01	2,727	4,767	63,038	25,466	37,571	19,004	0,140	0,655	-0,007
625399	8996606	45	2,98	1764	2,0	3,95	19,31	64,04	25,45	1,00	2,599	6,740	64,051	25,280	38,771	19,145	0,129	0,606	0,001
626455	8996466	46	4,30	1766	2,0	10,36	17,77	53,53	22,75	0,93	2,738	4,145	54,443	21,161	33,282	17,889	0,144	0,610	0,074
627448	8996428	47	2,97	1569	1,5	4,72	18,98	64,43	29,93	0,89	2,699	6,800	68,576	25,218	43,358	21,256	0,133	0,669	0,106
628448	8995548	52	3,60	1551	8,0	3,83	22,85	55,75	30,42	0,81	2,711	3,077	56,941	23,918	33,023	18,897	0,142	0,589	0,195
629487	8994427	58	5,89	1558	8,0	1,46	15,54	75,81	23,37	1,12	2,762	5,626	82,507	27,925	54,582	28,094	0,148	0,710	-0,121

Tabela 78 - Matriz de atributos obtidos na área 2 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.

X	Y	Número do furo	Qd cone Panda (MPa)	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)	Umidade natural (%)	Peso específico seco (kgf/cm³)	Profundidade do nível d'água (m)	Índice de consistência (%)	Peso específico real dos grãos (g/cm³)	Umidade Higroscópica (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Tangente de alfa (adimensional)	Tangente de beta (adimensional)	Índice de atividade (adimensional)	Índice de liquidez (adimensional)
634497	8893528	70	2,83	38,33	11,97	30,08	21,80	17,86	3,5	0,70	2,67	2,20	33,71	18,60	15,12	14,428	0,179	0,47	0,30
635542	8893462	71	4,02	2,82	13,95	75,16	30,00	15,78	8,0	0,95	2,74	5,89	75,23	27,68	47,55	25,679	0,147	0,63	0,05
632422	8892462	74	3,41	13,17	14,14	34,44	19,49	18,61	8,0	1,21	2,68	2,35	40,52	20,28	29,24	16,970	0,182	0,56	-0,21
634361	8892587	75	4,04	4,55	19,31	66,14	25,09	15,81	8,0	1,07	2,73	4,48	66,20	26,96	39,23	24,141	0,158	0,59	-0,27
635593	8892506	76	4,14	25,99	12,80	37,66	21,68	16,76	3,0	0,83	2,67	1,96	41,98	18,59	23,39	17,759	0,183	0,64	0,17
632632	8891490	78	3,18	26,14	14,10	33,88	21,53	18,76	8,0	0,96	2,70	2,24	39,13	20,98	18,16	16,505	0,178	0,53	0,04
633565	8891485	79	3,73	4,45	21,17	62,75	27,39	17,87	8,0	0,93	2,72	5,21	60,58	25,28	35,30	20,283	0,143	0,56	0,07
634491	8891446	80	4,02	8,50	23,65	55,11	23,82	14,31	1,5	0,84	2,67	2,76	55,37	22,38	33,00	22,327	0,174	0,59	0,06
635487	8891508	81	3,53	40,60	13,30	33,41	18,75	18,54	8,0	0,94	2,69	7,06	33,27	18,21	15,05	13,560	0,172	0,44	0,06
636559	8891667	82	5,32	11,58	24,95	45,05	23,89	19,50	8,0	0,89	2,71								

Tabela 79 - Matriz de atributos obtidos na área 3 de estudo, unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.

X	Y	Número do furo	Qd cone Panda (MPa)	Peso específico seco (kg/m³)	Profundidade do nível d'água (m)	Fração areia fina (%)	Fração silte (%)	Fração argila (%)	Umidade natural (%)	Índice de consistência (%)	Peso específico real dos grãos (g/cm³)	Umidade Higroscópica (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Tangente de alfa (adimensional)	Tangente de beta (adimensional)	Índice de atividade (adimensional)	Índice de liquidez (adimensional)
628654	8896602	48	2,94	1873	8,00	6,72	21,40	64,51	27,10	1,46	2,67	5,59	66,27	26,65	39,62	21,95	0,141	0,612	0,01
631597	8896490	51	6,67	1602	8,00	12,92	16,75	51,68	20,94	1,40	2,67	4,85	52,60	22,01	30,59	17,49	0,145	0,579	-0,09
627533	8895496	53	2,11	1259	3,50	0,16	6,56	82,83	42,32	1,34	2,70	4,59	84,61	31,69	52,92	27,19	0,137	0,635	0,19
628507	8895402	54	4,55	1904	3,00	6,59	22,30	55,96	27,33	1,32	2,71	5,29	60,19	24,48	35,71	20,91	0,152	0,643	0,11
629727	8895350	55	3,30	1933	2,00	19,93	25,48	39,23	30,55	0,61	2,67	3,74	47,97	20,81	27,16	16,46	0,158	0,635	0,61
630830	8895545	56	3,90	1335	3,00	39,38	13,01	35,29	25,61	0,67	2,67	3,36	37,86	17,32	20,54	14,23	0,164	0,550	0,49
631559	8895532	57	5,03	1815	3,50	26,18	18,49	31,20	18,94	0,89	2,67	3,21	35,09	18,24	16,85	13,86	0,171	0,520	0,09
627420	8894432	59	3,08	1587	1,00	10,94	25,32	47,42	38,94	0,41	2,66	4,32	48,87	21,86	27,01	17,50	0,154	0,570	0,69
628418	8894504	60	1,29	1155	1,00	1,26	9,91	75,39	57,39	0,73	2,71	2,86	78,46	28,98	49,47	24,27	0,133	0,654	0,59
630350	8894396	62	3,08	1524	3,20	13,94	16,82	61,86	37,80	0,69	2,69	7,07	58,25	25,62	32,63	18,29	0,140	0,549	0,54
631511	8894690	63	4,76	1651	8,00	10,77	24,44	35,46	21,08	0,89	2,69	3,14	40,17	21,38	18,79	15,84	0,169	0,524	-0,03
628622	8893334	64	6,67	1804	8,00	19,65	19,98	32,58	19,86	0,84	2,67	2,94	35,87	18,40	17,47	14,91	0,179	0,527	0,12
629501	8893328	65	3,42	1526	8,00	0,63	25,11	63,43	31,88	1,53	2,71	5,71	69,69	29,22	40,67	22,90	0,142	0,653	0,07
630518	8893086	66	2,95	1960	0,50	20,70	18,23	37,16	34,44	0,31	2,68	2,56	41,38	19,33	22,05	17,22	0,181	0,591	0,77
631441	8893428	67	3,58	1903	3,80	33,32	13,89	31,16	21,03	0,72	2,67	2,49	34,74	18,33	16,41	11,51	0,141	0,527	0,19
632456	8893539	68	5,70	1649	8,00	44,98	8,56	36,45	19,58	0,94	2,69	2,44	39,61	20,04	19,57	14,34	0,152	0,493	-0,11
633519	8893452	69	3,81	1700	8,00	18,53	15,29	47,00	24,19	1,16	2,70	3,81	52,39	23,47	28,92	19,76	0,165	0,593	0,05
631355	8892722	72	2,66	1581	3,00	43,73	8,74	27,60	23,87	0,46	2,67	1,18	33,08	19,25	13,84	12,62	0,161	0,435	0,50
632613	8892458	73	3,34	1577	3,00	10,21	9,69	70,12	31,98	1,21	2,75	4,83	65,34	27,29	38,04	20,62	0,137	0,543	0,13
631514	8891426	77	6,40	1863	8,00	29,59	13,40	37,96	15,95	1,43	2,69	2,63	48,48	22,66	25,82	20,70	0,185	0,580	-0,30

Tabela 80 - Matriz do atributo número de golpes Nspt, obtidos na área 1 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 1º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)
628813,263	8898268,979	1	15P1	14,5	626024,420	8899044,038	91	295P1	17,25	629450,379	8897731,488	181	66SP6	15,5
628810,729	8898249,130	2	15P2	12,25	626042,521	8899041,934	92	295P2	22,25	628640,447	8901492,293	182	67SP1	26,75
628789,191	8898238,995	3	15P3	6	626053,885	8899034,358	93	295P3	19	628630,944	8901493,970	183	67SP2	23
628802,705	8898259,265	4	15P4	12	626034,945	8899026,781	94	295P4	19	626452,473	8898554,061	184	70SP1	7,25
628815,797	8898230,126	5	15P5	21,25	626028,210	8899017,522	95	295P5	18,5	626460,304	8898558,051	185	70SP2	4,25
628809,462	8898212,811	6	15P6	19,25	626048,414	8899004,895	96	295P6	16,5	630617,530	8896887,759	186	71SP1	5,5
630768,747	8897851,610	7	45P1	20,5	626039,996	8898989,321	97	295P7	12,75	630605,114	8896915,783	187	71SP2	4,75
627064,448	8898831,752	8	35P2	18,25	626006,744	8898983,429	98	295P8	8,75	630598,729	8896883,147	188	71SP3	5,5
630768,747	8897851,610	9	45P1	15	630284,406	8899181,984	99	30SP1	10,5	630588,441	8896906,205	189	71SP4	4,5
630765,000	8897865,139	10	45P2	16,25	630265,875	8899176,404	100	30SP2	10,5	630719,561	8897479,294	190	72SP1	19,25
630775,407	8897859,103	11	45P3	10	630247,941	8899164,249	101	30SP3	5	630713,884	8897470,262	191	72SP2	16,5
630768,331	8897873,881	12	45P4	11,5	630232,199	8899159,268	102	30SP4	5	630706,142	8897458,650	192	72SP3	15,75
629876,897	8899228,723	13	55P1	12,25	630245,948	8899195,733	103	30SP5	8,5	628213,633	8897911,502	193	73SP1	6,75
629887,280	8899238,586	14	55P2	13,75	630261,292	8899198,523	104	30SP6	8,25	628239,544	8897918,047	194	73SP2	3
629897,663	8899192,383	15	55P3	14,5	630275,240	8899200,209	105	30SP7	13	628234,608	8897892,630	195	73SP3	2,25
631742,527	8898031,258	16	65P1	18,75	628813,407	8900630,325	106	31SP2	11	628207,710	8897895,098	196	73SP4	2,5
631743,394	8898045,988	17	65P2	18	630121,634	8897382,311	107	32SP1	12	628206,970	8897873,135	197	73SP5	11,25
631742,527	8898061,296	18	65P3	17,25	630110,429	8897393,760	108	32SP2	12	628233,127	8897868,200	198	73SP6	9,25
629019,402	889500,381	19	75P1	8,75	630099,711	8897400,824	109	32SP3	14,5	630036,747	8898403,343	199	74SP1	17,5
629035,493	889505,265	20	75P2	7,75	625746,636	8897738,067	110	34SP1	12,25	630038,852	8898414,661	200	74SP2	2,5
629025,149	889518,196	21	75P3	8,75	625760,412	8897774,153	111	34SP2	15,75	630030,956	8898414,529	201	74SP3	5,75
629011,070	889513,311	22	75P4	6,75	625777,346	8897782,175	112	34SP4	7,75	626663,956	8893117,737	202	75SP1	17
632709,793	8898165,487	23	95P1	16,75	625761,303	8897746,300	113	34SP5	10,75	626695,267	8893112,090	203	75SP2	22,25
632686,338	8898159,232	24	95P2	10,25	625741,694	8897764,349	114	34SP6	13	626708,099	8893092,072	204	75SP3	21,75
627618,396	8893690,824	25	105P1	8	625793,124	8897762,358	115	34SP7	12,75	632200,792	8899687,818	205	77SP1	20,5
627622,997	8893700,566	26	105P2	13	627418,615	8898356,668	116	35SP1	15,25	632213,266	8899669,405	206	77SP2	19,5
629981,256	8899344,484	27	115P1	15,5	627420,439	8898359,708	117	35SP2	19,25	632180,357	8899666,662	207	77SP3	18,75
629996,415	8899364,392	28	115P2	16,5	627422,263	8898364,693	118	35SP3	12,25	632193,286	8899646,682	208	77SP4	12,75
629981,073	8899368,228	29	115P3	12,5	627426,534	8898369,661	119	35SP4	6,5	626031,995	8897803,341	209	78SP1	16,75
629973,037	8899378,821	30	115P4	12,25	627430,288	8898361,775	120	35SP5	13	625994,004	8897850,017	210	78SP2	13,75
629960,252	8899365,488	31	115P5	14,75	627436,044	8898363,298	121	35SP6	30	625737,805	8897580,751	211	79SP1	8,75
629960,069	8899347,224	32	115P6	21,5	627443,248	8898371,078	122	35SP7	14,25	625737,060	8897560,258	212	79SP2	7,25
629944,362	8899367,680	33	115P7	11,25	630344,607	8898000,162	123	36SP1	13,75	625716,567	8897592,675	213	79SP3	11
629264,306	8897746,674	34	125P1	5	630353,674	8898005,871	124	36SP2	14,75	625716,939	8897571,436	214	79SP4	12,25
629259,725	8897750,339	35	125P2	4,25	630363,748	8898002,512	125	36SP3	6,25	625716,567	8897551,688	215	79SP5	9,25
629263,940	8897755,836	36	125P3	4,75	630453,077	8896991,758	126	38SP1	16,25	625700,172	8897580,006	216	79SP6	10,5
629783,084	8897532,862	37	145P1	12	630437,531	8896987,274	127	38SP2	12,75	625695,701	8897559,513	217	79SP7	11,75
629775,236	8897534,554	38	145P2	11,25	630425,573	8896984,284	128	38SP3	16,25	625685,640	8897582,242	218	79SP8	10,25
629771,095	8897527,667	39	145P3	9,75	628968,617	8897341,208	129	40SP1	23	625677,816	8897560,258	219	79SP9	9,25
629765,101	8897530,065	40	145P4	10,75	628960,327	8897329,161	130	40SP2	19,25	625664,029	8897582,242	220	79SP10	12
630999,016	8897195,510	41	155P1	2,75	628969,244	8897319,198	131	40SP3	20,5	625653,969	8897561,003	221	79SP11	9,5
631011,808	8897200,796	42	155P2	2,5	626913,176	8899170,024	132	41SP1	39,5	625652,106	8897581,869	222	79SP12	10,25
631010,645	8897195,722	43	155P3	2,75	626897,308	8899171,441	133	41SP2	34,5	630431,379	8898576,810	223	80SP1	18,75
629890,610	8899135,791	44	165P1	4,5	626914,592	8899230,378	134	41SP3	3,5	630440,543	8898585,101	224	80SP2	15,75
629904,076	8899125,545	45	165P2	8,75	626947,461	8899221,027	135	41SP4	33,25	630453,854	8898585,756	225	80SP3	16,75
629914,907	8899116,470	46	165P3	7	626967,296	8899216,777	136	41SP5	34,25	627690,442	8898825,727	226	82SP1	10,75
629920,470	8899124,960	47	165P4	6,5	626995,914	8899207,993	137	41SP6	26,25	627701,803	8898815,886	227	82SP2	11,25
629913,151	8899141,939	48	165P5	9,75	626973,529	8899152,456	138	41SP7	32,25	627707,571	8898828,087	228	82SP3	12,25
629917,835	8899151,014	49	165P6	7,25	626933,294	8899163,224	139	41SP8	32,5	627713,393	8898816,277	229	82SP4	12,5
629930,716	8899155,991	50	165P7	5,75	629402,339	8899368,050	140	42SP1	5,75	627724,044	8898826,477	230	82SP5	15
629927,495	8899143,403	51	165P8	5,75	629387,182	8899371,196	141	42SP2	6,25	630628,185	8899687,818	231	83SP1	14,75
629938,034	8899141,354	52	165P9	4	630130,973	8897515,708	142	43SP1	9,75	630632,154	8897079,408	232	83SP2	11,75
629934,814	8899130,522	53	165P10	5,25	630142,351	8897512,605	143	43SP2	10,25	630637,313	8897069,883	233	83SP3	14,75
627860,198	8899517,675	54	175P1	17,75	630148,558	8897524,501	144	43SP3	7,75	632100,830	8899724,029	234	84SP1	13,5
627856,234	8899513,661	55	175P2	17,75	631314,027	8897914,287	145	44SP1	10	632103,464	8899747,969	235	84SP2	16,25
630372,000	8897363,155	56	195P1	3,5	631318,804	8897920,019	146	44SP2	11	626046,230	8897973,232	236	85SP1	21
630372,394	8897372,606	57	195P2	5,75	629511,109	8899404,091	147	45SP1	12,25	626032,074	8898002,504	237	85SP2	15,5
630973,183	8897183,352	58	205P1	2	629499,301	8899410,427	148	45SP2	15,75	626026,024	8898021,997	238	85SP3	15,5
630961,382	8897180,565	59	205P2	4,25	629501,317	8899425,547	149	45SP3	10	626019,435	8898034,956	239	85SP4	15,25
625981,314	8898863,303	60	215P1	4,25	629487,781	8899436,347	150	45SP4	21,5	626008,909	8898059,358	240	85SP5	16,25
626010,823	8898846,687	61	215P2	4,25	630378,768	8897610,750	151	46SP1	18	626011,909	8898083,837	241	85SP6	16,75
625975,871	8898819,470	62	215P3	1,6	630381,783	8897564,175	152	46SP2	34,25	626024,680	8898057,622	242	85SP7	13
626000,509	8898795,692	63	215P4	17,5	630369,386	8897593,661	153	46SP3	22,5	626043,838	8898017,252	243	85SP8	17,75
631261,336	8897888,174	64	245P1	14,25	625704,240	8897501,230	154	47SP1	2,5	626061,650	8897970,911	244	85SP9	14,5
631254,044	8897890,605	65	245P2	10,75	625711,010	8897489,770	155	47SP2	24,75	626077,810	8898023,472	245	85SP10	14,75
630243,171	8897138,278	66	255P1	3,5	625724,040	8897476,220	156	47SP3	20,75	626101,734	8898009,597	246	85SP11	8,75
627010,241	8896854,714	67	265P1	21,5	625723,520	8897461,100	157	47SP4	17,5	626128,050	8897994,285	247	85SP12	14,75
626978,444	8896909,475	68	265P2	16,5	628678,318	8897339,098	158	48SP1	19,5	626109,868	8898039,262	248	85SP13	17
627017,307	8896956,287	69	265P3	14,25	628694,921	8897349,664	159	48SP2	24,25	626132,356	8898023,951	249	85SP14	11,5
6269														

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspft (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspft (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspft (golpes)
630379,446	8897524,414	271	965P2	4,25	628837,304	8896864,501	361	1305P5	15	629810,543	8890099,576	451	1615P2	27,25
630371,516	8897527,298	272	965P3	4,5	628873,317	8896876,506	362	1305P6	12,75	629820,426	8898075,267	452	1615P3	23,25
628553,529	8897684,905	273	985P1	11,5	628863,840	8896887,878	363	1305P7	13,25	629813,748	8898072,329	453	1615P4	16
628559,456	8897678,142	274	985P2	10,5	628856,890	8896895,460	364	1305P8	11	629805,476	8898068,322	454	1615P5	19,5
628567,377	8897683,997	275	985P3	12,75	628847,729	8896905,885	365	1305P9	13,25	629815,618	8898046,685	455	1615P6	18,25
628565,334	8897670,830	276	985P4	8,75	628835,093	8896916,626	366	1305P10	10,25	629830,043	8898052,562	456	1615P7	26
628552,621	8897671,057	277	985P5	11	630481,220	8897117,082	367	1315P3	4,75	629826,838	8898060,308	457	1615P8	22,5
627378,422	8898726,904	278	1025P1	12,5	630465,426	8897109,077	368	1315P4	8	629819,625	8898057,637	458	1615P9	19,5
627385,015	8898716,871	279	1025P2	13,5	630500,042	8897111,889	369	1315P5	10,25	629822,296	8898049,356	459	1615P10	19
627396,768	8898709,418	280	1025P3	2	630469,969	8897099,557	370	1315P6	4,25	629812,680	8898054,165	460	1615P11	18,5
627403,074	8898695,659	281	1025P4	4	630504,586	8897100,855	371	1315P7	12,5	629814,015	8898090,226	461	1615P12	24,25
627389,028	8898702,825	282	1025P5	9,5	630476,243	8897088,091	372	1315P8	3	629806,002	8898087,822	462	1615P13	22
626185,245	8894500,872	283	1045P1	9	630483,383	8897091,769	373	1315P9	3	629797,454	8898083,548	463	1615P14	20,25
626180,443	8894522,746	284	1045P2	8	628686,816	8898925,103	374	1325P1	4,5	629803,330	8898096,905	464	1615P15	22,25
626172,441	8894475,798	285	1045P3	10,75	628695,311	8898937,717	375	1325P2	2,25	630788,102	8898924,273	465	1645P1	11,5
626176,709	8894449,656	286	1045P4	6,25	628711,787	8898937,975	376	1325P3	2,25	630772,150	8898941,820	466	1645P4	11,25
626165,505	8894428,316	287	1045P5	5,75	628698,143	8898919,955	377	1325P4	4,5	626494,000	8893604,000	467	1655P1	11
626171,374	8894405,909	288	1045P6	11	628717,708	8898916,093	378	1325P5	5	626507,000	8893600,000	468	1655P2	9
626266,337	8894406,976	289	1045P7	9	628728,777	8898908,628	379	1325P6	8	626505,000	8893570,000	469	1655P3	13,75
626267,404	8894387,771	290	1045P8	13,75	628728,520	8898937,975	380	1325P7	2,75	626564,000	8893594,000	470	1655P4	8
626271,672	8894441,654	291	1045P9	9	624386,852	8900326,899	381	1345P1	12,25	626596,000	8893700,000	471	1655P5	8,25
626275,406	8894420,847	292	1045P10	10,5	624390,340	8900313,644	382	1345P2	11,5	626597,000	8893634,000	472	1655P6	9
626281,808	8894462,994	293	1045P11	5,25	624393,828	8900298,994	383	1345P3	11	626625,000	8893604,000	473	1655P7	7,5
626287,677	8894506,741	294	1045P12	5,5	628966,157	8899924,401	384	1355P1	2,25	626663,000	8893642,000	474	1655P8	9
630181,643	8897534,293	295	1055P1	13,25	628928,746	8899986,275	385	1355P2	3	626650,000	8893664,000	475	1655P9	7,5
630202,348	8897543,750	296	1055P2	9,5	628932,246	8899973,367	386	1355P3	2	626710,000	8893668,000	476	1655P10	10,75
630196,710	8897526,167	297	1055P3	11,5	628968,783	8899973,180	387	1355P4	3,75	626661,000	8893730,000	477	1655P11	7
630213,020	8897516,075	298	1055P4	18,5	628495,113	8897371,255	388	1365P1	12	629317,955	8897775,800	478	1665P1	10
630192,038	8897508,298	299	1055P5	14,75	628508,011	8897393,414	389	1365P2	11,25	631583,095	8897983,214	479	1675P1	14,25
626090,543	8897719,707	300	1075P1	11,25	631345,240	8898164,015	390	1375P1	18,5	631576,697	8897955,312	480	1675P2	16,5
626107,420	8897681,030	301	1075P2	11,5	622380,153	8897067,949	391	1395P1	14,5	631581,851	8897942,339	481	1675P3	14,5
626090,543	8897696,852	302	1075P3	11,75	622396,266	8897046,465	392	1395P2	9,25	625947,537	8897648,616	482	1685P1	9,25
627321,279	8898600,635	303	1085P1	8,5	630701,138	8898984,212	393	1405P1	10,75	625939,386	8897629,461	483	1685P2	9,25
627289,109	8898600,638	304	1085P2	9,75	630699,631	8898838,468	394	1405P2	6,75	625929,605	8897653,506	484	1685P3	9,75
627302,766	8898607,315	305	1085P3	10,75	630751,357	889798,795	395	1405P3	7,5	625289,610	8898619,549	485	1715P2	20,5
627315,513	8898616,420	306	1085P4	4,75	630736,291	889828,424	396	1405P4	9,75	625251,977	8898580,224	486	1715P3	21,75
627290,020	8898617,937	307	1085P5	7,75	630847,000	889850,000	397	1405P5	9,5	625267,454	8898562,319	487	1715P4	22,25
627327,360	8898624,614	308	1085P6	4,5	632097,108	8899596,559	398	1425P1	6,5	625286,734	8898588,740	488	1715P5	22
627327,349	8898634,326	309	1085P7	11,5	632109,373	8899591,416	399	1425P2	17,75	629398,357	8897754,590	489	1725P1	6,75
627298,518	8898641,609	310	1085P8	8,25	632118,472	8899588,251	400	1425P3	10,25	629402,018	8897760,235	490	1725P2	7,5
627276,363	8898654,356	311	1085P9	6,5	630235,537	8897583,611	401	1435P1	12	629407,663	8897766,031	491	1725P3	5
630368,726	8897899,096	312	1105P1	19,75	630241,880	8897602,618	402	1435P2	4,75	629589,858	8902029,580	492	1735P1	8,75
630388,113	8897894,788	313	1105P2	17	629948,038	8898677,603	403	1445P1	16,5	629631,169	8902018,662	493	1735P2	9,25
625546,251	8898764,541	314	1115P1	4,75	629953,344	8898660,038	404	1445P2	18,75	629640,241	8901989,371	494	1735P3	7,5
625555,982	8898781,811	315	1115P2	5,75	628645,171	8901682,592	405	1455P1	12,75	629671,306	8901954,037	495	1735P4	7,5
625560,506	8898795,244	316	1115P3	5,75	628663,870	8901678,914	406	1455P2	10,75	629724,987	8901932,695	496	1735P5	7,75
625548,718	8898805,250	317	1115P4	11,75	628461,064	8897691,216	407	1465P1	12,25	629701,415	8901926,965	497	1735P6	7,5
625544,057	8898788,939	318	1115P5	8,75	628472,974	8897691,960	408	1465P2	11	629604,624	8902005,738	498	1735P7	7,75
625526,924	8898777,425	319	1115P6	13,25	628473,160	8897679,480	409	1465P3	8,5	629617,195	8901976,256	499	1735P8	9
626841,246	8898555,678	320	1135P1	20	628460,505	8897679,492	410	1465P4	9,25	629647,231	8901936,299	500	1735P9	10,25
626945,182	8898565,696	321	1135P2	20,75	628654,552	8900856,952	411	1475P1	6,5	629579,753	8901981,296	501	1735P10	8
622765,623	8900495,601	322	1145P1	14,25	628657,453	8900868,191	412	1475P2	6,5	629604,028	8901955,749	502	1735P11	10
622775,173	8900487,113	323	1145P2	12,75	628668,691	8900872,541	413	1475P3	14,75	629618,734	8901919,412	503	1735P12	8
628609,239	8897367,246	324	1175P1	12,25	628645,852	8900862,390	414	1475P4	18,75	627212,037	8896234,180	504	1755P1	9,75
628601,061	8897363,057	325	1175P2	10,25	628846,563	8897937,165	415	1485P1	9,5	627231,423	8896236,067	505	1755P2	10,25
628616,420	8897362,658	326	1175P3	12,5	628827,121	8897924,062	416	1485P2	8	629709,749	8898721,590	506	1765P1	17,5
624089,057	8896995,262	327	1185P1	15,25	628850,578	8897909,692	417	1485P3	9,25	629733,795	8898713,977	507	1765P2	14,5
624092,923	8896992,900	328	1185P2	13,75	628806,622	8897935,051	418	1485P4	9,75	625111,654	8898523,991	508	1795P1	4,5
629295,195	8898369,360	329	1205P1	3	628807,467	8897911,171	419	1485P5	9,25	625109,141	8898518,536	509	1795P2	9,5
629296,244	8898352,977	330	1205P2	2,75	630552,352	8897497,628	420	1495P1	12,5	625103,111	8899512,290	510	1795P3	13
629300,020	8898340,830	331	1205P3	2,75	630561,189	8897499,560	421	1495P2	13	631051,627	8897416,484	511	1805P1	5,5
629319,000	8898368,000	332	1205P4	3,25	630558,200	8897481,514	422	1495P3	13,25					

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)
624785,470	8897216,661	541	186SP15	2	626867,800	8893641,890	631	238SP2	9,25	630344,213	8898834,763	721	275SP4	10
624867,378	8897250,669	542	186SP19	4,75	628730,891	8897852,028	632	239SP1	9,25	630347,966	8898844,855	722	275SP5	10,25
624785,949	8897268,392	543	186SP20	5	628735,180	8897841,472	633	239SP2	6,75	629734,531	8898534,170	723	276SP1	17,75
626555,299	8898034,296	544	188SP1	8,5	628740,623	8897825,142	634	239SP3	7,75	629743,119	8898524,041	724	276SP2	7,75
626553,665	8898043,060	545	188SP2	14,75	630362,505	8900232,952	635	243SP1	7,5	629746,642	8898540,336	725	276SP3	16,75
626493,498	8897623,418	546	189SP1	9,25	630362,418	8900239,340	636	243SP2	6,5	629753,908	8898529,326	726	276SP4	14
626489,569	8897630,351	547	189SP2	8,5	624689,910	8899216,750	637	245SP1	11	630234,297	8898813,851	727	279SP1	13
626492,689	8897637,169	548	189SP3	8,5	624654,390	8899243,870	638	245SP2	14,75	630234,440	8898804,389	728	279SP2	9,5
623689,670	8898204,435	549	190SP1	10	624678,650	8899251,810	639	245SP3	15,25	627076,049	8899061,465	729	281SP1	5,5
623684,884	8898188,281	550	190SP2	7,75	624739,871	8899185,413	640	245SP4	11,25	627053,247	8899061,616	730	281SP2	2,5
627186,842	8899132,901	551	192SP1	15,75	624719,512	8899161,816	641	245SP5	12,25	628991,175	8901553,399	731	282SP1	3,25
627171,912	8899141,196	552	192SP2	17,75	624713,960	8899198,369	642	245SP6	12,5	628981,875	8901563,761	732	282SP2	5,25
629365,818	8900442,827	553	193SP1	2,25	630419,064	8896859,965	643	246SP1	13	628964,059	8901561,817	733	282SP3	5,75
629373,083	8900447,913	554	193SP2	2,25	630405,355	8896868,459	644	246SP2	7,25	623337,229	8898258,598	734	283SP1	6,75
629389,974	8900451,908	555	193SP3	3	630401,928	8896883,807	645	246SP3	4	623325,370	8898254,199	735	283SP2	6,75
629959,284	8898275,662	556	195SP1	9,25	630417,276	8896881,272	646	246SP4	14	623334,360	8898232,776	736	283SP3	6,75
629949,056	8898274,515	557	195SP2	7,5	623586,960	8896836,210	647	247SP1	6,75	630345,050	8896889,141	737	285SP1	3,75
629946,953	8898280,346	558	195SP3	5,5	623572,610	8896829,140	648	247SP2	12,5	630349,289	8896876,894	738	285SP2	3
629965,689	8898297,649	559	195SP4	14	623581,780	8896816,910	649	247SP3	14,25	630328,845	8896883,300	739	285SP3	3,75
629968,844	8898290,861	560	195SP5	10,5	630291,796	8901099,756	650	249SP1	4,5	630328,939	8896870,299	740	285SP4	5,75
629974,006	8898280,920	561	195SP6	10,25	630280,573	8901102,834	651	249SP2	6,5	629694,099	8899129,100	741	286SP1	10
625525,377	8897070,052	562	196SP1	12,25	624840,325	8897046,914	652	250SP1	4,75	629672,865	8899117,716	742	286SP2	6,25
625520,123	8897050,842	563	196SP2	9,25	624825,333	8897028,078	653	250SP2	7,75	629695,130	8899106,142	743	286SP3	14,75
629550,924	8897693,055	564	198SP1	8	624816,107	8897012,238	654	250SP3	6,75	629694,574	8899082,582	744	286SP4	6,5
629562,363	8897703,330	565	198SP2	17,75	632044,276	8899613,907	655	251SP1	7,75	629711,797	8899058,721	745	286SP5	6,5
629548,792	8897711,667	566	198SP3	9,25	632054,393	8899605,832	656	251SP2	6,75	629661,909	8899100,309	746	286SP6	4
630561,454	8897670,107	567	199SP1	17	629906,694	8900055,581	657	252SP1	10,75	629682,621	8899048,663	747	286SP7	3,5
630576,069	8897656,820	568	199SP2	11,5	630612,585	8898955,550	658	253SP1	20,75	626217,448	8896055,329	748	290SP1	6
630583,019	8897677,466	569	199SP3	8,75	630606,630	8898980,966	659	253SP2	6,25	626207,087	8896056,942	749	290SP2	10
629520,179	8898189,828	570	202SP1	2,75	629959,003	8898173,464	660	254SP1	12	626214,815	8896065,095	750	290SP3	8,75
629507,472	8898177,626	571	202SP2	3	629973,665	8898197,072	661	254SP2	12,5	626204,624	8896066,963	751	290SP4	12,5
626565,764	8898071,890	572	203SP1	5	630080,907	8897784,916	662	255SP1	10	629091,099	8899694,175	752	291SP1	11,5
626558,068	8898082,152	573	203SP2	5,25	630059,516	8897785,661	663	255SP2	4,5	629106,840	8899709,669	753	291SP2	7,25
629401,949	8898137,455	574	204SP1	9,75	625197,205	8898441,083	664	256SP1	22,25	629090,607	8899720,737	754	291SP3	9,75
630623,481	8897141,285	575	205SP1	6,5	625194,546	8898479,291	665	256SP2	20,75	629266,521	8902791,438	755	292SP1	8,75
630615,966	8897146,884	576	205SP2	7,5	625209,248	8898453,102	666	256SP3	24	629112,551	8902706,806	756	292SP2	9
630617,882	8897155,725	577	205SP3	7,25	625248,482	8898513,492	667	256SP4	20,75	629020,950	8902692,820	757	293SP1	5,5
630610,367	8897159,261	578	205SP4	7,5	625240,844	8898586,934	668	256SP5	19,75	629043,833	8902687,198	758	293SP2	6,5
625605,396	8898563,154	579	206SP1	17	625283,036	8898551,586	669	256SP6	22,5	629048,387	8902661,884	759	293SP3	5
625611,385	8898576,787	580	206SP2	13	625289,295	8898591,154	670	256SP7	21,25	629071,211	8902656,329	760	293SP4	9
626035,606	8898211,420	581	208SP1	11,25	625300,719	8898622,841	671	256SP8	18,5	629075,764	8902631,015	761	293SP5	8,75
630509,519	8898617,615	582	211SP1	3,25	625247,304	8898612,715	672	256SP9	26,25	629098,707	8902625,326	762	293SP6	9,5
630502,005	8898610,427	583	211SP2	9,75	625161,247	8898455,892	673	256SP10	20,75	629103,260	8902600,011	763	293SP7	8,5
630445,027	8898197,554	584	212SP1	13,5	625277,634	8898627,945	674	257SP1	16,25	629126,144	8902594,389	764	293SP8	8,25
630425,242	8898205,029	585	212SP2	14,5	625297,401	8898606,626	675	257SP2	14	629130,697	8902569,075	765	293SP9	7,5
630178,791	8898496,196	586	213SP1	3	625253,642	8898590,222	676	257SP3	9,5	629153,581	8902563,453	766	293SP10	7,25
630165,829	8898502,533	587	213SP2	2	625227,071	8898579,626	677	257SP4	12	629158,134	8902538,139	767	293SP11	5
629885,970	8901214,144	588	214SP1	10	625235,887	8898457,169	678	257SP5	15,5	629158,134	8902538,139	768	293SP12	5,5
623454,784	8900797,193	589	215SP1	9,5	625201,708	8898556,725	679	257SP6	11,25	629181,018	8902532,517	769	293SP13	8,25
623463,078	8900777,842	590	215SP2	13,5	625236,760	8898503,502	680	257SP7	10,25	629181,018	8902532,517	770	293SP14	8,25
623437,852	8900789,591	591	215SP3	8,5	625199,269	8898483,603	681	257SP8	9,25	629185,531	8902507,248	771	293SP15	6,25
630547,799	8897689,818	592	216SP1	6	625173,903	8898433,797	682	257SP9	9,5	629185,531	8902507,248	772	293SP16	6,25
630572,585	8897684,377	593	216SP2	4,75	631247,852	8897364,221	683	258SP1	11,25	629210,534	8902502,504	773	293SP17	9
630563,759	8897706,140	594	216SP3	6,25	631260,513	8897361,056	684	258SP2	11,25	629210,534	8902502,504	774	293SP18	9
630542,721	8897710,371	595	216SP4	11,25	631275,660	8897370,551	685	258SP3	9,25	629049,348	8902718,006	775	293SP19	9,5
627659,880	8900905,075	596	217SP1	8,75	631284,025	8897362,412	686	258SP4	8	629049,348	8902718,006	776	293SP20	9,5
629868,016	8900471,990	597	219SP1	5,5	626412,202	8898510,334	687	259SP1	6,5	629072,079	8902712,453	777	293SP21	6,75
629880,839	8900463,255	598	219SP2	7,25	626405,211	8898489,971	688	259SP2	5,75	629072,079	8902712,453	778	293SP22	6,75
629892,361	8900454,614	599	219SP3	5,5	626409,483	8898473,240	689	259SP3	15,75	629076,734	8902687,025	779	293SP23	8,5
625288,077	8898025,087	600	220SP1	3,75	624897,225	8899290,575	690	260SP1	11,25	629076,734	8902687,025	780	293SP24	8,5
625309,086	8898016,507	601	220SP2	9	624903,968	8899249,316	691	260SP2	14,25	629101,686	8902682,235	781	293SP25	7
625291,975	8898013,424	602	220SP3	8,25	628130,129	8897689,554	692	261SP1	8,75	629104,171	8902656,089	782	293SP26	9
625281,752	8898005,073	603	220SP4	7,5	628130,798	8897678,279	693	261SP2	6,5	629126,995	8902650,534	783	293SP27	7,5
625306,264	8897997,748	604	220SP5	12,25	628118,742	8897673,144	694	261SP3	10,25	629131,608	8902625,153	784	293SP28	8,75
625290,849	8897992,737	605	220SP6	10	629992,605	8897405,175	695	262SP1	7,75	629154,542	8902619,576	785	293SP29	9,5
629961,040	8898284,445	606	221SP1	4,75	629991,074	8897419,211	696	262SP2	11,75	629159,045	8902594,216	786	293SP30	7,75
629957,981	8898269,135	607	221SP2	2,25	629984,949	8897426,102	697	262SP3	9,25	629181,928	8902588,594	787	293SP31	9,5
630363,410	8901906,172	608	222SP1	7,5	629988,011	8897438,606	698	262SP4	9	629185,177	8902563,169	788	293SP32	8
630306,627	8901888,828	609	222SP2	7,25	631832,085	8897861,410	699	263SP1	3,25	629210,131	8902558,377	789	293SP33	8,5
632624,439	889													

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)
628912,760	8899130,560	811	3045P5	6	623213,860	8892237,369	901	3395P2	7	626815,971	8896842,939	991	3725P1	7,5
628905,610	8899144,360	812	3045P6	5,75	623222,044	8892232,314	902	3395P3	5,25	626800,109	8896836,443	992	3725P2	9,75
630949,448	8898850,968	813	3075P1	3,5	626296,778	8898036,506	903	3405P1	15,25	626781,075	8896843,241	993	3725P3	4,75
630941,044	8898838,194	814	3075P2	4,25	626281,445	8898038,500	904	3405P2	22,25	627333,620	8899418,290	994	3735P1	2,75
625627,326	8897599,204	815	3085P1	8	626280,323	8898020,674	905	3405P3	12,75	627341,000	8899405,840	995	3735P2	3
625634,958	8897591,436	816	3085P2	6,75	624417,964	8899556,311	906	3415P1	13,5	630549,380	8897943,290	996	3745P1	9,25
625641,773	8897579,715	817	3085P3	5,75	624448,763	8899563,810	907	3415P2	8,25	630537,000	8897939,050	997	3745P2	8,5
629724,941	8897475,710	818	3095P1	5,5	624419,480	8899596,529	908	3415P3	11,5	630538,450	8897928,150	998	3745P3	7,5
629711,993	8897462,413	819	3095P2	5,25	624455,226	8899585,478	909	3415P4	10,75	628565,210	8898487,510	999	3755P1	9,5
629704,469	8897484,284	820	3095P3	4,5	624475,595	8899596,124	910	3415P5	8,75	629100,930	8899200,136	1000	3765P1	8,5
629698,695	8897497,931	821	3095P4	3,5	624510,128	8899585,208	911	3415P6	10,75	629096,321	8899186,075	1001	3765P2	10,25
629719,867	8897502,481	822	3095P5	2,25	624499,201	8899564,454	912	3415P7	6,75	629082,716	8899194,951	1002	3765P3	10,25
630628,494	8897100,541	823	3105P1	7,25	624552,792	8899555,964	913	3415P8	9	629078,095	8899181,106	1003	3765P4	11,25
630627,383	8897082,451	824	3105P2	9,5	624395,629	8899430,856	914	3425P1	15,25	628583,000	8901145,590	1004	3775P1	8,75
630641,823	8897071,185	825	3105P3	8	624400,171	8899409,499	915	3425P2	11,75	628575,150	8901128,600	1005	3775P2	7
626278,932	8899665,691	826	3115P1	12,75	624399,178	8899387,861	916	3425P3	14,25	628555,780	8901108,500	1006	3775P3	6,25
626264,102	8899662,325	827	3115P2	14,25	624416,918	8899395,994	917	3425P4	12,25	626495,096	8899893,021	1007	3785P1	7,25
626276,589	8899640,775	828	3115P3	9,5	624417,355	8899425,553	918	3425P5	14	626492,099	8899900,013	1008	3785P2	5
626249,821	8899629,356	829	3115P4	14,25	624432,734	8899409,472	919	3425P6	11,75	628480,000	8897483,000	1009	3805P1	4
626263,416	8899628,169	830	3115P5	13,5	624447,041	8899424,716	920	3425P7	13,25	628486,000	8897488,000	1010	3805P2	3,25
626278,242	8899614,027	831	3115P6	12,75	624446,641	8899395,979	921	3425P8	12,5	626042,420	8897710,280	1011	3815P1	7
626263,460	8899603,606	832	3115P7	11,5	624467,118	8899428,678	922	3425P9	11,25	626032,540	8897724,760	1012	3815P2	6,75
626278,127	8899584,081	833	3115P8	13,5	624462,339	8899408,575	923	3425P10	11	626037,820	8897744,320	1013	3815P3	7
627112,391	8898530,556	834	3125P1	8,75	624468,272	8899388,970	924	3425P11	10,75	624685,430	8897379,320	1014	3825P1	10,5
627104,199	8898512,434	835	3125P2	8,75	625357,746	8897586,807	925	3475P1	13	626032,540	8897724,760	1015	3815P2	8,25
627093,772	8898519,137	836	3125P3	9,25	625368,122	8897606,468	926	3475P2	12,25	624599,920	8897325,110	1016	3835P1	5,25
628180,229	8898030,452	837	3135P1	2,5	625397,613	8897611,383	927	3475P3	11,5	624606,810	8897314,740	1017	3835P2	4,75
628199,990	8898026,114	838	3135P2	5	628945,542	8897847,466	928	3485P1	4,75	624665,294	8897459,378	1018	3845P1	10
628199,829	8898004,264	839	3135P3	10,5	628958,842	8897843,246	929	3485P2	6	624668,974	8897443,571	1019	3845P2	8,75
628184,085	8898000,087	840	3135P4	4,25	629729,079	8898880,653	930	3495P1	11	624805,271	8897379,306	1020	3855P1	4
626516,487	8893685,368	841	3145P1	7,5	628013,316	8897104,587	931	3505P1	6	624809,915	8897365,822	1021	3855P2	2,25
626491,572	8893671,827	842	3145P2	4,25	630341,662	8897858,126	932	3515P1	14,5	624355,274	8898993,764	1022	3865P1	5,25
631868,077	8897880,590	843	3155P1	3	630333,645	8897852,485	933	3515P2	13,25	629464,364	8898934,292	1023	3875P1	8,25
631858,017	8897895,553	844	3155P2	8,5	624155,902	8896931,741	934	3525P1	13,25	629463,270	8898947,307	1024	3875P2	8,5
631884,789	8897891,010	845	3155P3	2,25	624163,830	8896935,939	935	3525P2	13,25	629447,722	8898945,436	1025	3875P3	2,75
631884,465	8897879,165	846	3155P4	3	629986,712	8898596,223	936	3545P1	7,75	629445,290	8898994,790	1026	3875P4	3,75
629780,055	8897700,395	847	3165P1	9,75	629968,014	8898603,235	937	3545P2	7,5	629434,896	8898983,277	1027	3875P5	2,75
629792,165	8897679,599	848	3165P2	11,25	624040,970	8898402,114	938	3555P1	12	629746,921	8897505,061	1028	3885P1	2
629789,532	8897660,119	849	3165P3	10,25	624052,606	8898404,852	939	3555P2	13	629756,868	8897506,431	1029	3885P2	2,75
629802,168	8897656,433	850	3165P4	8,25	624061,049	8898443,189	940	3565P1	13,25	628744,940	8897347,090	1030	3895P1	7
624789,082	8897025,261	851	3185P1	12,5	624064,699	8898433,689	941	3565P2	14	629410,250	8899047,650	1031	3905P1	12,75
624836,506	8896994,633	852	3185P2	13,25	628530,441	889728,650	942	3575P1	7,5	629415,780	8899058,920	1032	3905P2	10,25
624879,978	8897018,345	853	3185P3	15	628593,994	8897733,539	943	3575P2	8,25	629414,380	8898945,450	1033	3915P2	8,25
625913,974	8897732,441	854	3195P1	11	628567,921	8897807,797	944	3575P3	5,5	624549,480	8897254,290	1034	3925P1	6,25
625872,344	8897768,868	855	3195P2	6,75	628615,179	8897758,278	945	3575P4	4,75	624542,590	8897246,130	1035	3925P2	5
630559,125	8898706,362	856	3205P1	2,25	628616,808	8898852,498	946	3575P5	3,75	630369,640	8896906,380	1036	3935P1	5,25
630566,428	8898712,161	857	3205P2	2,5	628634,733	8898544,360	947	3575P6	5,75	630366,170	8896913,810	1037	3935P2	5,5
630580,174	8898708,510	858	3205P3	6	628680,361	8898846,794	948	3575P7	6,25	631085,595	8897355,512	1038	4255P2	15
631248,541	8898445,009	859	3215P1	12	629335,220	8898448,940	949	3595P1	6,5	628902,300	8897831,200	1039	3955P1	7,25
631235,093	8898449,998	860	3215P2	11,25	629340,760	8898438,323	950	3595P2	3,25	624629,500	8897264,800	1040	3965P1	4,75
631226,634	8898432,646	861	3215P3	17,5	627805,300	8896530,100	951	3605P1	5	624615,200	8897272,450	1041	3965P2	4,75
627184,953	8896233,256	862	3225P1	7,25	627834,000	8896528,900	952	3605P2	3,75	623701,345	8897162,917	1042	3975P1	8,25
627200,190	8896212,464	863	3225P2	7	627832,100	8896513,600	953	3605P3	2	624828,100	8897259,800	1043	3985P1	7,75
627210,190	8896192,624	864	3225P3	8,64	627847,300	8896544,300	954	3605P4	4,5	624826,900	8897273,800	1044	3985P2	7,8
628560,996	8897455,767	865	3235P1	10,25	627863,000	8896534,700	955	3605P5	2,5	628755,490	8897029,506	1045	3995P1	5,75
628540,157	8897333,627	866	3235P2	11	627881,000	8896528,600	956	3605P6	2,75	624682,355	8897409,631	1046	4005P1	8
628518,711	8897272,962	867	3235P3	13,75	627875,500	8896506,600	957	3605P7	10,25	624678,013	8897427,031	1047	4005P2	8,5
630073,537	8898216,029	868	3245P1	9,5	627849,400	8896520,300	958	3605P8	2,5	630251,391	8898102,886	1048	4015P1	11,25
630090,622	8898222,519	869	3245P2	5,75	628142,866	8896798,878	959	3615P1	7,75	630238,439	8898104,001	1049	4015P2	8,5
630090,071	8898240,432	870	3245P3	3	628131,704	8896793,989	960	3615P2	6,75	626669,993	8897576,820	1050	4025P1	3,75
630075,354	8898234,072	871	3245P4	2,25	623459,841	8898417,044	961	3625P1	4,75	626655,946	8897578,032	1051	4025P2	4
626190,191	8900083,536	872	3255P1	3	623475,209	8898417,776	962	3625P2	4,25	630957,440	8898866,810	1052	4045P1	3
626193,488	8900067,287	873	3255P2	7,75	624321,050	8897944,400	963	3635P1	10,25	630954,170	8898885,010	1053	4045P2	3
626396,957	8897181,587	874	3265P1	8,5	624302,810	8897670,770	964	3635P2	10,75	626206,550	8895494,680	1054	4055P1	3,75
626387,080	8897179,285	875	3265P2	9	624335,530	889764,220	965	3635P3	10	626200,860	8895499,380	1055	4055P2	4
631004,200	8897292,489	876	3275P1	2,5	624352,840	889802,570	966	3635P4	10	629905,040	8898524,250	1056	4075P1	4
631133,173	8897609,818	877	3285P1	3,25	624298,880	8898811,300	967	3635P5	11,75	629916,020	8898530,590	1057	4075P2	4
627581,619	8896824,355	878	3295P1	10,75</										

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)
631167,318	8901241,524	1081	413SP12	5,5	629318,460	8902624,430	1106	416SP1	4,5	630301,655	889277,654	1131	429SP1	6,75
631180,231	8901297,330	1082	413SP13	7,75	629319,380	8902653,032	1107	416SP2	3,75	630309,752	889273,876	1132	429SP2	5
631166,406	8901297,410	1083	413SP14	5,75	622708,899	8896768,099	1108	417SP1	11	630306,153	889290,610	1133	429SP3	2,75
631173,883	8901327,955	1084	413SP15	6,25	622712,035	8896758,041	1109	417SP2	11,25	626789,861	8895861,166	1134	431SP2	6,75
631197,157	8901301,785	1085	413SP16	5	629366,959	8897752,260	1110	418SP1	6,25	626805,445	8895880,491	1135	431SP3	7
631209,986	8901320,873	1086	413SP17	4,5	629349,656	8897759,181	1111	418SP2	6,5	626826,952	8895860,855	1136	431SP4	7
631235,817	8901343,950	1087	413SP18	5,75	629345,526	8897752,706	1112	418SP3	7,5	626810,744	8895841,218	1137	431SP5	11
631246,637	8901375,855	1088	413SP19	4,75	628980,621	8898267,868	1113	420SP1	5,75	626940,315	8895813,156	1138	431SP6	8,5
631241,001	8901388,583	1089	413SP20	5,25	628976,414	8898277,891	1114	420SP2	5,75	626965,890	8895817,831	1139	431SP7	7,25
631227,406	8901408,386	1090	413SP21	9,75	628971,959	8898286,554	1115	420SP3	4,5	626989,264	8895824,156	1140	431SP8	8,25
631204,132	8901434,556	1091	413SP22	5,25	629424,050	8899063,800	1116	421SP1	7,75	627012,914	8895830,206	1141	431SP9	7,5
631179,284	8901405,280	1092	413SP23	6,25	629438,820	8899066,750	1117	421SP2	2,75	627037,389	8895841,481	1142	431SP10	8,5
631166,540	8901400,041	1093	413SP24	8,25	626581,568	8898207,664	1118	422SP1	8,25	627056,914	8895855,506	1143	431SP11	8,5
631108,881	8901291,458	1094	413SP25	7,25	626573,668	8898198,711	1119	422SP2	8,75	627076,714	8895869,255	1144	431SP12	12,25
631111,315	8901301,592	1095	413SP26	7	627285,693	8898768,434	1120	423SP1	10	627103,114	8895855,781	1145	431SP13	10
631099,030	8901327,875	1096	413SP27	8,5	627270,886	8898755,856	1121	423SP2	14,75	627097,339	8895831,581	1146	431SP14	13,5
631093,802	8901342,505	1097	413SP28	8,75	627273,115	8898781,968	1122	423SP3	14	626824,144	8895853,805	1147	431SP20	7,5
631074,752	8901339,882	1098	413SP29	9	624676,133	8897384,283	1123	424SP1	8,75	627004,631	8895831,779	1148	431SP21	5
631058,570	8901306,311	1099	413SP30	8,75	624669,704	8897370,303	1124	424SP2	8					
631042,480	8901312,578	1100	413SP31	6,25	631095,331	8897338,564	1125	425SP1	9,75					
631092,668	8901298,113	1101	413SP32	6,25	629348,350	8898888,918	1126	426SP1	11					
631071,116	8901306,926	1102	413SP33	6,5	626797,983	8895151,376	1127	427SP1	11					
631056,425	8901328,675	1103	413SP34	9,75	632767,688	8901036,507	1128	428SP1	7,75					
625002,080	8899621,730	1104	415SP1	9	632734,300	8901025,590	1129	428SP2	8,75					
624998,420	8899607,580	1105	415SP2	10	632758,753	8901007,740	1130	428SP3	8,75					

Tabela 81 - Matriz do atributo número de golpes Nspt obtidos na área 2 de estudo, unidade geológica Formação Solimões no 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)
634156,817	8893183,945	1	22SP1	12,50	631656,816	8890251,723	11	115SP2	10,25	635786,000	8891214,000	21	371SP2	2,75
634137,289	8893202,426	2	22SP2	11,00	636970,836	8891788,659	12	209SP1	4,75	635759,000	8891196,000	22	371SP3	4,50
634177,390	8893202,775	3	22SP3	12,50	637250,89	8891514,36	13	209SP2	6,50	635669,000	8891137,000	23	371SP4	2,75
634177,739	8893169,997	4	22SP4	4,00	637415,853	8891694,669	14	209SP3	6,75	635323,000	8890925,000	24	371SP5	7,00
634135,894	8893173,484	5	22SP5	7,25	637636,443	8891815,514	15	209SP4	4,25	635010,000	8890839,000	25	371SP6	6,75
635072,547	8892856,276	6	99SP1	15,25	637870,46	8891738,787	16	209SP5	8,00	635361,000	8891398,000	26	371SP7	4,00
635100,001	8892810,918	7	99SP2	11,25	633247,828	8889038,716	17	235SP1	4,50	634454,613	8888186,709	27	406SP1	8,00
635127,454	8892754,219	8	99SP3	13,50	633256,332	8889037,17	18	235SP2	7,00	634445,828	8888171,222	28	406SP2	8,75
633423,202	8892762,628	9	112SP2	10,75	635528,42	8887436,24	19	358SP1	4,50					
631657,535	8890257,474	10	115SP1	9,75	635495,45	8887374,31	20	358SP2	3,00					

Tabela 82 - Matriz do atributo número de golpes Nspt obtidos na área 3 de estudo, unidade geológica Terraço Fluvial no 1º e 2º distrito urbano da cidade de Rio Branco, Acre.

X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)	X	Y	Número do furo	Código da Sondagem	Número de golpes Nspt (golpes)
628344,879	8895911,097	1	23SP1	12,5	628840,637	8896426,819	46	95SP19	4	628981,326	8895802,330	91	280SP1	11,25
628345,940	8895906,249	2	23SP2	12,5	628534,218	8896136,773	47	95SP20	6,25	628968,941	8895800,322	92	280SP2	9
628340,334	8895906,703	3	23SP3	12,75	631724,488	8892651,915	48	100SP1	6,75	629325,986	8895596,134	93	287SP1	6,25
628342,455	8895902,916	4	23SP4	15,25	631740,510	8892666,480	49	100SP2	12,5	629317,998	8895545,365	94	287SP2	6,25
63089,958	8896205,395	5	39SP1	18,5	631761,629	8892667,208	50	100SP3	11,5	629311,920	8895487,414	95	287SP3	6
630913,114	8896203,105	6	39SP2	17	631733,955	8892686,385	51	100SP4	12	629289,346	8895452,336	96	287SP4	6,25
630925,025	8896200,814	7	39SP3	15,25	631716,720	8892706,291	52	100SP5	11	629225,616	8895350,101	97	287SP5	6
630900,059	8896177,681	8	39SP4	16,75	631733,470	8892718,671	53	100SP6	5,5	629261,041	8895335,666	98	287SP6	4,75
630915,634	8896190,049	9	39SP5	16,5	628683,863	8895551,015	54	116SP1	2,5	628799,132	8896284,857	99	288SP1	4
630919,986	8896174,474	10	39SP6	15,5	628683,351	8895533,251	55	116SP2	2,75	628787,611	8896274,686	100	288SP2	3,25
630898,226	8896193,256	11	39SP7	10,75	631529,076	8891140,115	56	119SP1	14,75	628792,217	8896254,512	101	288SP3	7,5
631675,750	8890977,051	12	68SP1	11,5	631524,554	8891145,260	57	119SP2	16	628810,753	8896247,947	102	288SP4	6,75
631676,597	8890957,574	13	68SP2	15,75	631524,866	8891141,206	58	119SP3	15,5	628810,053	8896230,429	103	288SP5	3,5
631622,400	8890973,663	14	68SP3	19	631488,687	8891285,000	59	138SP1	7,5	628754,358	8896245,660	104	288SP6	6
631597,419	8890967,736	15	68SP4	17,25	631475,575	8891296,522	60	138SP2	16	628747,963	8896264,695	105	288SP7	8,75
631636,796	8890936,403	16	68SP5	19,5	631457,299	8891276,656	61	138SP3	14,25	628725,386	8896256,449	106	288SP8	5
631591,491	8890934,710	17	68SP6	21,5	628950,968	8896193,350	62	141SP1	2,5	628687,461	8896242,162	107	288SP9	7
631542,799	8890966,042	18	68SP7	17,25	628966,456	8896200,459	63	141SP2	3,5	628643,276	8896171,609	108	288SP10	4,75
631541,529	8890946,989	19	68SP8	16	628965,948	8896218,232	64	141SP3	2,75	628621,310	8896153,901	109	288SP11	6,25
631541,952	8890929,629	20	68SP9	17	628949,191	8896210,107	65	141SP4	2,25	630706,496	8893856,536	110	296SP1	7,25
631545,763	8890917,350	21	68SP10	19,25	628999,432	8896257,884	66	141SP5	4,5	630687,188	8893862,512	111	296SP2	8,5
630851,544	8894660,465	22	69SP1	11,25	629018,174	8896258,280	67	141SP6	5,25	630664,204	8893852,399	112	296SP3	4,75
630847,819	8894657,981	23	69SP2	12	629009,727	8896268,576	68	141SP7	6,75	631929,776	8890920,078	113	305SP1	7,25
630689,468	8894349,017	24	76SP1	12,25	628991,776	8896268,708	69	141SP8	7	631941,941	8890928,557	114	305SP2	5,75
630659,778	8894334,629	25	76SP2	10,5	630847,000	8893773,000	70	169SP5	3,25	631947,287	8890915,654	115	305SP3	5
631937,715	8893133,345	26	81SP1	12	631108,000	8893707,000	71	169SP6	7,5	631217,500	8892737,594	116	430SP1	11
631929,563	8893142,475	27	81SP2	12,5	630920,000	8893683,000	72	169SP7	9,75	630968,773	8892813,556	117	430SP2	10,25
631950,432	8893161,062	28	81SP3	11	630962,000	8893679,000	73	169SP8	13,25	631088,556	8892656,831	118	430SP4	11
631937,063	8893175,409	29	81SP4	6,75	631007,000	8893665,000	74	169SP9	10	631135,765	8892690,867	119	430SP5	12
631944,889	8893192,039	30	81SP5	11,5	631592,293	8893133,285	75	170SP1	2,25	630993,500	8892847,477	120	430SP6	4,25
630321,162	8892728,569	31	88SP1	15	631585,305	8893132,702	76	170SP2	3,25	631069,587	8892823,072	121	430SP7	8,5
631563,355	8891165,945	32	91SP1	21,25	631578,667	8893131,538	77	170SP3	4,25	631215,299	8892801,179	122	430SP8	4,75
631553,048	8891170,669	33	91SP2	18,25	631125,735	8892969,857	78	210SP1	5,5	627204,529	8895683,027	123	431SP1	7,5
631572,803	8891161,221	34	91SP3	16,75	631141,780	8892968,623	79	210SP2	5,75	627211,358	8895665,006	124	431SP15	5,5
627927,889	8896371,093	35	95SP8	4,5	631173,870	8892962,657	80	210SP3	7,25	627203,647	8895743,517	125	431SP16	7,75
627990,308	8896350,588	36	95SP9	11	631222,417	8892958,955	81	210SP4	10,25	627165,794	8895728,446	126	431SP17	9,75
628059,060	8896399,137	37	95SP10	14	631208,635	8892960,189	82	210SP5	7	627219,069	8895719,684	127	431SP18	7,25
628132,938	8896416,325	38	95SP11	4	628649,916	8896575,675	83	225SP1	6,75	627178,061	8895683,583	128	431SP19	7
628195,659	8896428,387	39	95SP12	8,75	628637,706	8896591,128	84	225SP2	7,5	627131,479	8895696,017	129	431SP22	7
628253,253	8896425,371	40	95SP13	5	631715,952	8896336,286	85	277SP1	8					
628318,990	8896418,134	41	95SP14	6	631709,226	8896354,355	86	277SP2	10,75					
628375,077	8896418,737	42	95SP15	5,5	631692,525	8896364,635	87	277SP3	10					
628441,803	8896413,799	43	95SP16	4,25	631704,148	8896395,574	88	277SP4	10					
628503,477	8896435,094	44	95SP17	6,5	631721,106	8896404,746	89	277SP5	11,5					
628687,112	8896538,333	45	95SP18	2	631738,565	8896398,187	90	277SP6	9,75					