

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E  
PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

Jaqueline Leite Ribeiro do Vale

**SELEÇÃO DE SOLOS TROPICAIS PARA PRODUÇÃO DE ADOBE:  
A UTILIZAÇÃO DO ENSAIO DE AZUL DE METILENO**

Belo Horizonte  
2020

Jaqueline Leite Ribeiro do Vale

**SELEÇÃO DE SOLOS TROPICAIS PARA PRODUÇÃO DE ADOBE:  
A UTILIZAÇÃO DO ENSAIO DE AZUL DE METILENO**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Linha de Pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Penido de Rezende

Belo Horizonte

2020

### FICHA CATALOGRÁFICA

V111s

Vale, Jaqueline Leite Ribeiro do.

Seleção de solo tropicais para produção de adobe [manuscrito] : a utilização do ensaio de azul de metileno / Jaqueline Leite Ribeiro do Vale. - 2021.

286f. : il.

Orientador: Marco Antônio Penido de Rezende.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Construção de adobe - Teses. 2. Solos tropicais - Teses. 3. Arquitetura sustentável - Teses. 4. Habitação popular - Teses. I. Rezende, Marco Antônio Penido de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 693.22

**JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE**

*"Seleção de solos tropicais para produção de adobe: a utilização do ensaio de azul de metileno"*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Marco Antônio Penido de Rezende (PACPS/UFMG - orientador)



Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri (EESC/ USP)



Prof(a). Dr(a). Judy Norka Rodo de Mantilla (FUMEC)



Prof(a). Dr(a). Paulina Faria (Universidade NOVA de Lisboa)



Prof. Dr. Roberto Lopes Ferraz (DEC/ UFV)

Belo Horizonte, 18 de dezembro de 2020



Dedico este trabalho aos meus pais Sônia e Francisco, aos meus irmãos Juliana e Marcelo e às minhas avós Tita e Edna, fontes de amor e incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a ajuda, o apoio e o incentivo de diversas pessoas e entidades. Nesse sentido, expresso o meu sincero agradecimento a todos aqueles que tornaram possível sua realização.

Inicialmente, agradeço à minha família: meus pais Sônia e Francisco, pelo apoio e amor incondicional durante toda a minha vida; aos meus irmãos Juliana e Marcelo, por terem estado sempre ao meu lado, torcendo e comemorando cada etapa conquistada; às minhas avós Tita e Edna, pelas preces diárias e por serem meus melhores exemplos de força e persistência. Agradeço a Deus pela benção de ter vocês como família.

Ao meu Orientador Professor Marco Antônio, pelo apoio, pela disponibilidade e pela amizade cultivada durante todos esses anos.

Aos Professores Glauco Fabbri, Roberto Ferraz, Maurício Fontes, José Ivo e Judy Mantilla, por terem acreditado nesta pesquisa e me ajudado em sua realização.

Aos meus amigos, por terem, direta ou indiretamente, participado da minha formação. A Raquel, Renato e Nilo, por terem estado sempre ao meu lado; ao Chris, por ter-me acompanhado em todas as coletas de solo, sendo um grande amigo durante esta jornada; ao Zé, por, mesmo de longe, ter-me ajudado tanto. Esta caminhada ficou mais leve com vocês ao meu lado.

A todos os bolsistas e voluntários do Projeto de Iniciação Científica da Newton durante esses três anos: Chris, Hyago, Matheus, Francisco, Bruna, Karol, Rafael, Willian, Athannan, Kerem, Mateus, Juliana e Vitória... Eu não teria conseguido sem vocês!

Aos técnicos dos laboratórios da UFV e do Centro Universitário Newton Paiva, pela dedicação e ajuda.

À Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pela oportunidade de realizar esta tese; e ao Centro Universitário Newton Paiva, por acreditar em mim como docente e pelos três anos de apoio nesta pesquisa, por meio do Programa de Iniciação Científica.

Não foi uma jornada fácil, mas teria sido impossível sem a ajuda de todos vocês.

*A verdadeira generosidade para com o futuro consiste em dar  
tudo ao presente.*

(Albert Camus)

## RESUMO

A utilização da terra como material de construção é uma das mais antigas técnicas utilizadas pelo homem. Ainda hoje, em diversas regiões do globo terrestre, a terra crua, como o adobe, é usada na construção de habitações, traduzindo a identidade, a história, a cultura e a forma de vida de várias populações. O conhecimento das propriedades dos materiais geotécnicos envolvidos nas técnicas construtivas de terra é imprescindível, assim como analisar a atividade das argilas é aspecto fundamental na caracterização do solo para a produção de adobe. Este trabalho tem como objetivo estudar as potencialidades do ensaio de adsorção de azul de metileno como indicador do grau de atividade das partes finas dos solos tropicais, buscando elaborar uma metodologia para seu uso no processo de decisão sobre o tipo de solo a utilizar em construções históricas e contemporâneas de adobe. Com base nos resultados das análises da pesquisa, os adobes produzidos com certos tipos de solos tropicais com granulometrias fora dos padrões indicados por normas e referências de adobe apresentaram boa resistência à compressão. Por fim, diante dos resultados das análises das Equações de Regressão Linear Múltipla, conclui-se que o ensaio de adsorção de metileno é importante ferramenta a ser adotada como ensaio complementar para a escolha do solo para a produção de adobe com resistência adequada à compressão – segundo parâmetros de normas e documentos.

**Palavras-chave:** Arquitetura de terra. Adobe. Caracterização do solo. Ensaio de azul de metileno.

## **ABSTRACT**

The use of earth as a building material is one of the oldest techniques used by man. Even today, in various regions of the globe, earth materials, such as adobe, is used in the construction of housing, translating the identity, history, culture and way of life of various populations. Knowledge of the properties of the geotechnical materials involved in earth building techniques is essential and analyzing the activity of clays is a fundamental aspect in the characterization of the soil for the production of adobe. The present work aims to study the potential of the methylene blue adsorption test as an indicator of the degree of activity of the fine parts of tropical soils, seeking to develop a methodology for its use in the decision process on the type of soil to be used in historic and contemporary adobe constructions. Based on the analyzes carried out, the research results indicated that adobes produced with certain types of tropical soils, with grain sizes outside the standards indicated by adobe standards and references, presented good resistance to compression. Finally, through the results obtained through the analysis of the Multiple Linear Regression equations, it is concluded that the methylene adsorption test is an important tool to be adopted as a complementary test for choosing soil for the production of adobe with compression resistance appropriate - according to standards and documents parameters.

**Keywords:** Earth architecture. Adobe. Soil characterization. Methylene blue test.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa com regiões com construções e patrimônios históricos mundiais de terra .....	30
Figura 2 – Formas de adobe confeccionadas com madeira e metal .....	31
Figura 3 – Tipo de formas para adobe. ....	31
Figura 4 – Preparação da mistura com enxada e os pés .....	32
Figura 5 – Exemplo de pipa de tração animal usada para preparação da massa do adobe .....	32
Figura 6 – Exemplo de local de secagem dos adobes .....	33
Figura 7 – Exemplo de moldagem do adobe com forma de seis blocos .....	33
Figura 8 – Exemplo de bancada para produção de adobe.....	34
Figura 9 – Nomograma granulométrico mostrando áreas recomendáveis da distribuição de partículas no solo para produção de adobe .....	42
Figura 10 – Nomograma de plasticidade mostrando as áreas recomendadas para IP e LL de solos para produção de adobe .....	43
Figura 11 – Tetraedros $ZO_4$ (em que $Z = Si, Al$ ) unidos por compartilhamento de oxigênios basais em anel hexagonal, dando origem à lâmina tetraedra .....	49
Figura 12 – Octaedros $YO_6$ (em que $Y = Al, Fe$ e $Mg$ ; e $O = O, OH$ ) unidos por compartilhamento de arestas formando a lâmina octaedral .....	49
Figura 13 – Guia para grupamento de classes de textura.....	52
Figura 14 – Comportamento dos solos com a variação do teor de água .....	56
Figura 15 – Sequência das gotas da solução em papel-filtro com identificação do ponto de viragem.....	64
Figura 16 – Calibração do azul de metileno versus permanganato de potássio e exemplos de titulação do excesso de azul de metileno pelo permanganato de potássio para dois solos .....	66
Figura 17 – Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno – Trecho não linear na presença de grandes quantidades de excesso de azul de metileno .....	66
Figura 18 – Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno – Trecho com comportamento linear .....	67
Figura 19 – Mapa de solos da região adotada .....	69
Figura 20 – Coleta de solo em Bichinho.....	72
Figura 21 – Solo amostra B1.....	73
Figura 22 – Solo amostra B2.....	73
Figura 23 – Solo amostra B3.....	74
Figura 24 – Solo amostra B4.....	74
Figura 25 – Amostra solo L1 .....	74

Figura 26 – Amostra solo M1 .....	74
Figura 27 – Construção com adobe aparente em Bichinho .....	75
Figura 28 – Produtor de adobe em Bichinho .....	76
Figura 29 – Parede de adobe exposta em Lapinha da Serra .....	76
Figura 30 – Demonstração da retenção de azul de metileno pelo filtro de papel .....	81
Figura 31 – Calibração de azul de metileno x permanganato de potássio .....	82
Figura 32 – Preparação do solo: (a) solo seco ao ar, (b) destorroamento do solo e (c) peneiramento da amostra na peneira n° 200 .....	83
Figura 33 – Ensaio de adsorção de azul de metileno por oxirredução: (a) Solução-padrão de azul de metileno 1 g/L; (b) Preparo da solução-padrão de permanganato de potássio 0,5 g/L; (c) Amostra de solo passante na peneira n° 200; (d) Adição de aproximadamente 100 g de água; (e) Adição da solução de azul de metileno à mistura de solo + água; (f) Agitação da suspensão de solo + água + azul de metileno; (g) Filtragem da suspensão; (h) Sobrenadante diluído e adicionado de ácido fosfórico; e (i) Ponto de viragem da suspensão .....	85
Figura 34 – Amostra das soluções: (a) Suspensão filtrada e diluída, (b) Suspensão filtrada e (c) Suspensão contendo solo + água + azul de metileno .....	87
Figura 35 – Exemplo de curva de permanganato versus azul de metileno .....	88
Figura 36 – Curva de calibração de azul de metileno x absorbância (comprimento de onda de 665 nm) .....	90
Figura 37 – Ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis: (a) amostra de solo; (b) adição de 100 ml de água à amostra de solo; (c) adição de solução de azul de metileno; (d) agitação da mistura; (e) filtragem da mistura; (f) espectrofotômetro; e (g) amostras analisadas .....	93
Figura 38 – Exemplo de curva da quantidade de azul de metileno adicionada ao ensaio versus quantidade de azul de metileno no sobrenadante .....	96
Figura 39 – Alunos do Centro Universitário Newton Paiva ajudando na produção do adobe .....	97
Figura 40 – Local de secagem dos adobes.....	99
Figura 41 – Adobes trincados após secagem direta ao sol.....	99
Figura 42 – Medidas da largura dos adobes .....	100
Figura 43 – Medidas do comprimento dos adobes.....	101
Figura 44 – Adobes imersos.....	103
Figura 45 – Adobe sendo pesado após a imersão .....	103
Figura 46 – Medidas para corte dos corpos de prova .....	105
Figura 47 – Gabarito de madeira para corte e corpos de prova cortados .....	105
Figura 48 – Corpos de prova capeados .....	106
Figura 49 – Medidas dos corpos de prova .....	107
Figura 50 – Realização do ensaio de resistência à compressão.....	108

Figura 51 – Equação de Regressão Linear Múltipla.....	110
Figura 52 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros da ABNT NBR 16814 (2020).....	155
Figura 53 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros da NTE E 080 (2000) .....	156
Figura 54 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros da HB 195 (2002) .....	157
Figura 55 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros de Houben e Guillaud (1994).....	158
Figura 56 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra B1. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita .....	226
Figura 57 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra B2. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita .....	227
Figura 58 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra B3. Il – Ilita, Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita.....	228
Figura 59 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra B4. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita .....	229
Figura 60 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra L1. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita e Gt – Goethita .....	230
Figura 61 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra L2. Ct – Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita e Il – Ilita.....	231
Figura 62 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra M1. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita .....	232
Figura 63 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra M2. Cc – Calcita, Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, Hm – Hematita e Il – Ilita .....	233
Figura 64 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra S1. Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita e Il – Ilita.....	234
Figura 65 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra S2. Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita .....	235
Figura 66 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra SC. Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita, 2:1 = Vermiculita, Montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidróxi entre camadas.....	236
Figura 67 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra LN. Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, Il – Ilita, VHE – Vermiculita com hidróxi entre camadas, 2:1 = Vermiculita, montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidróxi entre camadas .....	237



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação granulométrica dos constituintes do solo.....	23
Quadro 2 – Lista de normas e regulamentos de adobe .....	38
Quadro 3 – Lista de documentos normativos de adobe .....	38
Quadro 4 – Lista de documentos técnicos de adobe .....	39
Quadro 5 – Recomendações em relação à seleção de solo para construção com terra .....	40
Quadro 6 – Avaliações físicas do adobe .....	41
Quadro 7 – Composição granulométrica do solo indicada por diferentes normas e autores para fabricação de adobe .....	42
Quadro 8 – Classificação dos filossilicatos. Em negrito, os argilominerais identificados em solos brasileiros.....	51
Quadro 9 – Classificação dos solos dos locais escolhidos .....	70
Quadro 10 – Nomenclatura dos solos coletados.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de Azul ( $V_a$ ) e Coeficientes de Atividade (CA), em função da superfície específica medida pelo azul de metileno. Valores retirados Lan (1980 apud FABBRI, 1994) .....	61
Tabela 2 – Modelo de planilha usado para o processamento dos dados do ensaio de espectrofotômetro .....	94
Tabela 3 – Resultado do ensaio de massa específica das amostras .....	115
Tabela 4 – Resumo dos resultados granulométricos das amostras de solo .....	115
Tabela 5 – Limites de consistência das amostras de solo analisadas .....	117
Tabela 6 – Argilominerais identificados pelo ensaio de difração de raios X .....	118
Tabela 7 – Adsorção de azul de metileno pelo método de oxirredução .....	119
Tabela 8 – Adsorção de azul de metileno pelo método UV-Vis.....	120
Tabela 9 – Resistência à compressão do solo B1 .....	123
Tabela 10 – Resistência à compressão do solo B2.....	124
Tabela 11 – Resistência à compressão do solo B3.....	124
Tabela 12 – Resistência à compressão do solo B4.....	125
Tabela 13 – Resistência à compressão do solo L1 .....	126
Tabela 14 – Resultado do ensaio de resistência à compressão do solo L2 .....	126
Tabela 15 – Resistência à compressão do solo M1 .....	127
Tabela 16 – Resistência à compressão do solo M2 .....	128
Tabela 17 – Resistência à compressão do solo S1.....	128
Tabela 18 – Resistência à compressão do solo S2.....	129
Tabela 19 – Resistência à compressão do solo SC .....	129
Tabela 20 – Resistência à compressão do solo LN .....	130
Tabela 21 – Absorção de água pelos adobes .....	131
Tabela 22 – Retração relativa dos adobes .....	131
Tabela 23 – Resumos dos resultados .....	132
Tabela 24 – Resumos dos resultados .....	133
Tabela 25 – Tabela resumo da Análise de Regressão Múltipla 1 .....	160
Tabela 26 – Comparação entre a resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto e a resistência à compressão obtida pela aplicação da Equação de Regressão 1 .....	161
Tabela 27 – Tabela de comparação entre a absorção de água realizada pelo ensaio proposto e a absorção de água obtida pela aplicação da Equação de Regressão 1 .....	161

Tabela 28 – Tabela de comparação entre a retração relativa realizada pelo ensaio proposto e a retração relativa obtida pela aplicação da Equação de Regressão 1 .	162
Tabela 29 – Tabela-resumo da Regressão 2 .....	163
Tabela 30 – Tabela de comparação entre a resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto e a resistência à compressão obtida pela aplicação da Equação de Regressão 2 .....	164
Tabela 31 – Tabela de comparação entre a absorção de água realizada pelo ensaio proposto e a absorção de água obtida pela aplicação da Equação de Regressão 2 .....	165
Tabela 32 – Tabela de comparação entre a retração relativa realizada pelo ensaio proposto e a retração relativa obtida pela aplicação da Equação de Regressão 2 .	166
Tabela 33 – Tabela de regressão das propriedades físicas dos adobes com os resultados dos ensaios de caracterização de solo incluindo o ensaio de azul de metileno pelo método de UV-Vis .....	166
Tabela 34 – Tabela de comparação entre a resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto e a resistência à compressão obtida pela aplicação da Equação de Regressão 3 .....	167
Tabela 35 – Tabela de comparação entre a retração relativa realizada pelo ensaio proposto e a retração relativa obtida pela aplicação da Equação de Regressão 3 .	168

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama com guia para grupamento de classes de textura dos solos coletados.....	116
Gráfico 2 – Gráfico de dispersão com regressão entre teor de argila no solo e Limite de Liquidez (LL).....	117
Gráfico 3 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus teor de argila .....	135
Gráfico 4 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus teor de silte .....	136
Gráfico 5 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus teor de areia .....	136
Gráfico 6 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus Limite de Liquidez (LL) .....	137
Gráfico 7 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus Índice de Plasticidade (IP).....	138
Gráfico 8 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus teor de argila .....	139
Gráfico 9 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus teor de silte .....	140
Gráfico 10 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus teor de areia.....	140
Gráfico 11 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus o limite de liquidez .....	141
Gráfico 12 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus o índice de plasticidade .....	142
Gráfico 13 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o teor de argila .....	143
Gráfico 14 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o teor de silte .....	144
Gráfico 15 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o teor de areia.....	144
Gráfico 16 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o Limite de Liquidez (LL).....	145
Gráfico 17 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o índice de plasticidade .....	145
Gráfico 18 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação do teor de argila versus o $V_a$ pelo método de oxirredução .....	146
Gráfico 19 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação do teor de argila versus o $V_a$ pelo método de UV-Vis.....	147

Gráfico 20 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus o $V_a$ pelo método de oxirredução.....	148
Gráfico 21 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus o $V_a$ pelo método de UV-Vis .....	148
Gráfico 22 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus o CA pelo método de oxirredução .....	149
Gráfico 23 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão versus o CA pelo método de UV-Vis.....	149
Gráfico 24 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus o $V_a$ pelo método de oxirredução .....	150
Gráfico 25 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus o $V_a$ pelo método de UV-Vis.....	151
Gráfico 26 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus o CA pelo método de oxirredução .....	151
Gráfico 27 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água versus o CA pelo método de UV-Vis .....	152
Gráfico 28 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o $V_a$ pelo método de oxirredução .....	153
Gráfico 29 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o $V_a$ pelo método de UV-Vis.....	153
Gráfico 30 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o CA pelo método de oxirredução .....	154
Gráfico 31– Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa versus o CA pelo método de UV-Vis .....	154
Gráfico 32 – Gráfico de dispersão de limite de liquidez versus índice de plasticidade com os parâmetros indicados por Houben e Guillaud (1994) .....	158

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b>	19
1.1.	<b>A terra como material de construção</b>	20
1.2.	<b>Objetivos</b>	26
1.2.1.	<b>Objetivo geral</b>	26
1.2.2.	<b>Objetivos específicos</b>	26
1.3.	<b>Justificativas</b>	26
2.	<b>REVISÃO TEÓRICA</b>	29
2.1.	<b>O adobe como material de construção</b>	29
2.2.	<b>Formação e Peculiaridades dos Solos Tropicais</b>	43
2.3.	<b>Mineralogia dos Solos Brasileiros</b>	47
2.4.	<b>Limitações da aplicação das classificações geotécnicas tradicionais na identificação dos solos tropicais</b>	52
	<b>Teor de água</b>	56
2.5.	<b>Ensaio de Adsorção do Azul de Metileno</b>	58
2.5.1.	<b>Ensaio de azul de metileno pelo método da mancha</b>	63
2.5.2.	<b>Método por oxirredução</b>	65
3.	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	68
	<b>Local da amostra</b>	71
	<b>Classificação do solo de acordo com a SiBCS (2018)</b>	71
	<b>Critério envolvido na conceituação e definição da classe (SiBCS, 2018)</b>	71
3.2.	<b>Coleta de Amostras</b>	72
3.3.	<b>Ensaio de Caracterização do Solo</b>	78
3.3.1.	<b>Análise granulométrica e massa específica dos grãos</b>	79
3.3.1.1.	<b>Preparação das amostras de solo</b>	79
3.3.1.2.	<b>Análise granulométrica</b>	79
3.3.1.3.	<b>Massa específica</b>	79
3.3.2.	<b>Limites de consistência</b>	79
3.3.2.1.	<b>Limite de Liquidez (LL)</b>	79
3.3.2.2.	<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>	80
3.3.3.	<b>Difração de raios X</b>	80
3.4.	<b>Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno</b>	80
3.4.1.	<b>Ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método de oxirredução</b>	81
3.5.	<b>Produção dos Adobes</b>	97
3.6.	<b>Caracterização Física e Mecânica dos Adobes</b>	100
3.6.1.	<b>Determinação da massa específica aparente e retração relativa dos adobes</b>	100

3.6.2. Ensaio de determinação da absorção de água e teor de umidade higroscópica dos adobes .....	102
3.6.3. Preparação dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão .....	104
3.6.4. Ensaio de resistência à compressão .....	105
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	114
4.1. Caracterização e Classificação dos Solos .....	114
4.1.1. Análise granulométrica .....	114
4.1.2. Limites de consistência .....	116
4.1.3. Difração de raios X .....	118
4.1.4. Ensaio de adsorção de azul de metileno .....	119
4.2. Produção e Ensaio dos Adobes .....	121
4.2.2. Ensaio de resistência à compressão .....	122
4.2.3. Absorção de água.....	130
4.2.4. Retração relativa.....	131
4.3. Resumo dos Resultados.....	131
4.4. Análise dos Gráficos de Dispersão entre as Variáveis.....	132
4.4.1. Resistência à compressão versus os ensaios tradicionais de caracterização do solo.....	132
4.4.2. Absorção de água versus os ensaios tradicionais de caracterização do solo.....	136
4.4.3. Retração relativa versus os ensaios tradicionais de caracterização do solo.....	140
4.5. Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno.....	144
4.6. Comparação dos Resultados com os Parâmetros Normativos.....	153
4.7. Análise de Regressão Linear Múltipla.....	157
5. CONCLUSÃO.....	170
REFERÊNCIAS.....	172
APÊNDICE A – PESO ESPECÍFICO.....	178
APÊNDICE B – GRANULOMETRIA .....	190
APÊNDICE C – LIMITES DE CONSISTÊNCIA .....	214
APÊNDICE D – DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	226
APÊNDICE E – ENSAIO AZUL DE METILENO POR OXIRREDUÇÃO .....	238
APÊNDICE F – ENSAIO AZUL DE METILENO POR UV-VIS .....	250
APÊNDICE G – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	262
APÊNDICE H – ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	274
APÊNDICE I – RETRAÇÃO RELATIVA.....	277

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização da terra como material de construção é uma das mais antigas técnicas utilizadas pelo homem. Ainda hoje, em diversas regiões do globo terrestre, a terra é usada na construção das habitações, traduzindo a identidade, a história e a cultura de várias populações.

Arquitetura, ou técnica construtiva de **terra**<sup>1</sup>, é a designação genérica que se dá aos materiais de construção produzidos com a terra sem passar pelo processo de queima (OLIVEIRA, 2005), que é uma dessas técnicas para produção de adobe.

O adobe é uma das técnicas de construção mais primitivas e, ainda assim, até hoje utilizada em várias partes do mundo. Em geral, os adobes são fabricados pelo molde de um bloco à base de uma massa plástica, com o preenchimento manual de formas, geralmente de madeira, e em seguida desmoldados em uma superfície plana e secos ao tempo (NEVES; FARIA, 2011).

Existem dois tipos de adobes, os não estabilizados – objeto de estudo desta pesquisa –, que utilizam somente a mistura de terra e água para fabricação dos blocos; e os estabilizados, cuja mistura de terra e água carece de aglomerantes, como cal, cimento, asfalto natural e palhas.

Apesar de suas vantagens ambientais e econômicas, a utilização do adobe – assim como das outras técnicas de terra, como a taipa de pilão e o pau a pique – foi reduzida, nas últimas décadas, devido ao surgimento de técnicas que tornam o processo construtivo mais rápido em razão dos avanços no processo de industrialização, como o bloco cerâmico e o bloco de concreto. No entanto, essas novas técnicas possuem impacto ambiental muito maior quando comparadas com a arquitetura de terra, uma vez que esta não passa pelo processo de queima, que diminui a energia necessária para sua produção e possibilita o fácil reaproveitamento.

Outros motivos para a redução de seu uso são os preconceitos acerca das técnicas construtivas de terra, o que faz que essas técnicas sejam rejeitadas por parte da população brasileira. Tais julgamentos precipitados são baseados em diversos

---

<sup>1</sup> Neste trabalho, ao se tratar de arquitetura e construção com terra, os vocábulos utilizados serão “**terra**”, quando se tratar do material aplicado na construção; e “**solo**”, quando envolver classificações e caracterizações.



fatores, entre eles estão o mau exemplo de aplicação e o desconhecimento a respeito das técnicas construtivas (SILVA, 2000). Uma forma de quebrar tais preconceitos é a reprodução da técnica bem aplicada e com qualidade.

O conhecimento das propriedades geotécnicas dos materiais envolvidos nas técnicas construtivas de terra é imprescindível, já que o solo é a principal matéria-prima, representando de 80% a 100% (dependendo de suas características) do peso da estrutura construída.

As argilas possuem papel fundamental na composição do solo devido às suas diversas características, como a elevada estabilidade, as propriedades de superfícies que podem ser modificadas por tratamentos adequados e a sua capacidade como adsorvente (SOUZA; CARVALHO, 2015), que consiste na troca catiônica de compostos orgânicos com a superfície das argilas (NEUMANN *et al.*, 2000). Entre os compostos orgânicos adsorvidos pelas argilas estão os corantes, como o azul de metileno.

A quantidade de argila no solo, obtida através do ensaio de granulometria, é importante, mas as características físico-químicas, ou seja, a qualidade dessas argilas, podem ser determinantes no comportamento do solo. Diante das incompatibilidades entre os resultados obtidos pelas classificações tradicionais dos solos e o seu comportamento geotécnico nas construções com terra, surge a necessidade de se aprofundar em ensaios poucos utilizados, como é o caso do ensaio de adsorção de azul de metileno, como complementação no processo de seleção do solo para fabricação de adobe.

### **1.1. A terra como material de construção**

A terra é um material de fácil acesso e quando misturada com água e, em alguns casos, com algum estabilizante, para uma consistência adequada, torna-se fácil de trabalhar e moldar (OLIVER, 1997).

Construções com o uso de terra como matéria-prima constituem uma das técnicas mais antigas do mundo, sendo empregada até a atualidade em grande parte do planeta, principalmente em lugares de climas quentes, áridos ou temperados, traduzindo a história e cultura de várias populações.

As primeiras construções com terra são datadas de cerca de nove mil anos, surgidas na região do Médio-Oriente. No Turquistão foram descobertas casas que datam do período 6000/8000 a.C. Povos da Mesopotâmia, do antigo Egito, junto ao rio Nilo, os fenícios (na Costa Ocidental do Mar Mediterrâneo), as civilizações gregas e romanas, os povos da América Andina e das Américas Central e Latina são alguns exemplos de civilizações que utilizaram a terra como material de construção ao longo de milênios (MINKE, 2015). Todas as culturas antigas usaram a terra como material de construção de residências e também de fortalezas e obras religiosas, como as ruínas do templo mortuário de Ramsés II em Gurna, Egito, construído com adobe há mais de três mil anos (MINKE, 2015).

Segundo Minke (2015), atualmente um terço da população ainda habita casas de terra. Em países em desenvolvimento, esse número pode atingir mais do que a metade das construções.

Existem diversas técnicas de construção com terra no mundo, sendo, no Brasil, as mais utilizadas o adobe, o pau a pique, a taipa de pilão e o Bloco de Terra Comprimida (BTC), esta última uma técnica mais recente. A utilização da terra nessas técnicas ocorre, resumidamente, de duas maneiras: o solo com maior quantidade de água, formando uma massa plástica, que é o barro, como o pau a pique e o adobe; ou uma mistura úmida, tendendo a quase seca, que pode ser prensada ou compactada, que são o BTC e a taipa de pilão. Dentro desses dois modos de utilização, existem diferentes propriedades mecânicas e de impermeabilidade que, no segundo caso, é consideravelmente maior (NEVES *et al.*, 2005).

Entre as vantagens da construção com terra em relação às convencionais está o baixo consumo de energia – associado ao quase nulo nível de poluição –, o que proporciona eficácia no que diz respeito à saúde humana, além de promover conforto vinculado às questões térmicas (TORGAL; JALALI, 2009).

Nas últimas décadas, muitas dessas técnicas, como o adobe e o pau a pique, vêm sendo utilizadas pela população mais carente, sobretudo na área rural. Entretanto, eventualmente, por falta de recursos financeiros e conhecimentos técnicos, a construção torna-se precária e sem acabamento adequado.

A falta de conhecimento para selecionar um solo adequado para a produção também pode gerar adobes de baixa resistência à compressão. Por esse motivo, a arquitetura

de terra é vista, muitas vezes, com preconceito, já que, para a maioria da população, o barro remete à precariedade e à fragilidade (SILVA, 2000). Apesar das avaliações equivocadas, muitos exemplos de utilização correta de técnicas de terra existem para quebrar esse paradigma, como é o caso de algumas cidades históricas que possuem construções antigas e bem conservadas (VALE, 2012).

Construções atuais empregando esse tipo de técnica também têm sido importantes para quebrar tais preconceitos, como em Tiradentes e no Distrito Vitoriano Veloso, conhecido como Bichinho, no Estado de Minas Gerais, que têm utilizado adobe como material de construção (VALE, 2012). Por meio de produção individual ou de comercialização com produtores locais, o uso do adobe vem sendo resgatado não só mantendo a tradição da arquitetura colonial local, mas também por meio de construções com estilo arquitetônico contemporâneo.

No Brasil, o futuro da utilização da terra para a construção acontece, primordialmente, pelo reconhecimento da relevância desta prática, ambicionando regulamentação própria que transmite uma espécie de adaptação do estudo das técnicas aos solos tropicais brasileiros. O primeiro passo para tal reconhecimento é o estudo e compreensão das características dos solos do Brasil para, então, aprofundar em suas caracterizações e aplicações.

Para a construção, o solo deve apresentar boa coesão, atribuída pela presença da argila, que tem a funcionalidade de um ligante natural. Existem variações no tipo e quantidade de argila, de acordo com o local onde o solo se encontra, o que torna necessário aferir constantemente a qualidade do material a ser utilizado e as suas características específicas (SANTIAGO, 2001).

São diversos os conceitos do termo “solo”, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS *et al.*, 2018):

É uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matérias vivas e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (p. 33).

Sua definição pode variar de acordo com as áreas de aplicação. Para um Engenheiro-Agrônomo, o solo pode ser o meio capaz de armazenar e fornecer água e nutrientes para o cultivo de plantas, já para um Engenheiro Civil pode ser um material com capacidade de suportar cargas, edificações e rodovias (KÄMPF; CURI, 2012).

Por consenso geral, o termo solo (do latim solum: suporte, superfície, base) refere-se à parte superior da crosta terrestre ou litosfera, mais precisamente à porção superior do regolito. Por regolito, entende-se o material solto, constituído por rocha alterada e solo, que ocorre acima da rocha consolidada. O solo é constituído por partículas sólidas, minerais e orgânicas, ordenadas espacialmente, formando a estrutura da *matriz do solo*, por vazios (poros) preenchidos com água e sais, formando a *solução do solo*, e por gases, constituindo o *ar do solo*. As proporções relativas dessas três fases no solo dependem das condições ambientais e da ação humana (KÄMPF; CURI, 2012, p. 2).

Em relação ao aspecto físico, o solo é formado por quatro tipos de frações granulométricas, classificados de acordo com a dimensão dos grãos (ABNT, 1995) em: pedregulho, areia, silte e argila (Quadro 1). Segundo Faria (2002), a quantidade predominante dessas frações em cada solo irá definir qual a melhor técnica de construção a ser empregada.

Quadro 1 – Classificação granulométrica dos constituintes do solo

Dimensão dos grãos (mm)	Classificação das partículas	Característica principal
$2 \leq d \leq 60$	Pedregulho	Elemento inerte e resistente
$0,06 \leq d < 2$	Areia	Elemento inerte, sem coesão
$0,002 \leq d < 0,06$	Silte	Sem coesão
$d < 0,002$	Argila	Geralmente possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença da água e apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo a sua origem.

Fonte: NBR 6502 (ABNT, 1995), adaptado pela autora (2020).

É sabido que as propriedades físicas e químicas do solo utilizado na arquitetura e construção com terra possuem relação direta com a sua qualidade final. Existem diversas pesquisas sobre essas características e a qualidade das técnicas de terra aplicadas, mas pouco tem se falado sobre os comportamentos e peculiaridades dos solos tropicais aplicados à arquitetura de terra, principalmente em relação à realização dos ensaios de caracterização dos solos.

As classificações geotécnicas tradicionais aplicadas na construção civil e na arquitetura de terra são essencialmente baseadas nas propriedades índices (limites de consistência) e na granulometria dos solos e ensaios desenvolvidos em países de

clima temperado (SANTOS, 2006). A utilização desses índices para classificar os solos tropicais se torna divergente, uma vez que seus resultados e classificações podem não corresponder ao real desempenho nas obras devido às peculiaridades dos solos tropicais.

Na arquitetura de terra é usual a determinação de padrões de granulometria e limites de consistência (Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade) para determinação da adequabilidade do solo à técnica. Entretanto, pesquisas com adobes de boa resistência, composição granulométrica e limites de consistência fora dos indicados pelas bibliografias contradizem tais índices e a qualidade e resistência à compressão dos adobes (REZENDE *et al.*, 2014).

Uma das explicações possíveis para tais divergências pode ocorrer devido às limitações e deficiências na utilização das classificações tradicionais para solos tropicais, principalmente quando se trata da argila, o que torna os ensaios de granulometria e limites de consistência (LL e LP) insuficientes para determinação das características das argilas no solo (SANTOS, 2006).

De acordo com Santos (2006), a fração fina dos solos lateríticos, devido ao processo de laterização, é constituída essencialmente de argilominerais do grupo das caulinitas e com a presença de óxido e hidróxidos hidratados de ferro e, ou, alumínio que, combinados, se tornam responsáveis pela formação de agregações estáveis na presença de água. Essa agregação acontece por conta do recobrimento dos argilominerais pelos óxidos e hidróxidos hidratados, que, “além de reduzirem a capacidade de absorção de água pelos argilominerais, atuam como agentes cimentantes naturais entre as partículas” (SANTOS, 2006, p. 20).

Solos tropicais são aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamento em relação aos solos não tropicais, em decorrência da atuação de processos geológicos – que ocorrem utilizando energia proveniente do interior da Terra, formando e modificando a composição e estrutura da crosta – e, ou, pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Provavelmente, as variações mineralógicas constatadas nos solos tropicais são muito maiores que nos solos de outras regiões. Além disso, muito dos comportamentos peculiares dos solos tropicais podem ser explicados pela constituição mineralógica. Daí a importância de se considerar essa característica, no estudo geotécnico dos solos tropicais (NOGAMI; VILLIBOR, 1995, p.12).

Comumente, os países que abrigam esse tipo de solo estão situados na faixa intertropical, e isso não representa necessariamente uma regra, pois esse solo deverá apresentar propriedades peculiares quando comparado com os solos não tropicais (SANTOS, 2006).

De acordo com Nogami e Villibor (1995), uma das dificuldades em abordar as peculiaridades dos solos tropicais reside na ausência de terminologia consagrada, uma vez que elas foram desenvolvidas para solos e condições ambientais prevalentes em regiões de climas frios e temperados. Segundo esses autores, sempre que possível, os termos utilizados foram adotados pelas instituições brasileiras que mais tratam de solos para finalidades geotécnicas, como a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e a Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (SBCS).

Outras pesquisas, como as de Nogami e Villibor (1980, 1981, 1985), demonstram, experimentalmente, que solos lateríticos e não lateríticos, com propriedades geotécnicas completamente diferentes, podem ocupar as mesmas posições nas classificações tradicionais. Tais diferenças ocorrem nas microestruturas típicas desses solos, referindo-se à quantidade e às qualidades das matérias que compõem suas diversas frações granulométricas.

Diante das inconsistências entre os resultados obtidos utilizando as classificações tradicionais e o seu comportamento geotécnico nas construções com terra, advém a necessidade de se aprofundar em ensaios poucos empregados, como o de adsorção do corante de azul de metileno.

A adsorção é um fenômeno de transferência de massa em que certos sólidos, como os argilominerais, possuem a habilidade de concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos. Após essa interação, os componentes adsorvidos concentram-se sobre a superfície externa e, quanto maior a superfície externa, mais favorável a adsorção. A espécie acumulada na interface do material é normalmente denominada **adsorvato** (azul de metileno), e a superfície sólida em que o adsorvato se acumula é chamada de **adsorvente** (argilominerais) (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Estudos recentes mostram que o ensaio de adsorção de azul de metileno é alternativa bastante eficiente, rápida e econômica para ser utilizada em processo de

caracterização de solos. O azul de metileno é um composto orgânico iônico, em que o ânion é constituído pelo cloreto (Cl-) e o cátion, pela estrutura orgânica responsável pela coloração azul do sólido e da solução aquosa feita com esse corante. Trata-se de um corante catiônico, ou seja, que em solução aquosa se dissocia em ânions cloretos e cátions “azul de metileno”.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo estudar as potencialidades do ensaio de adsorção de azul de metileno como indicadores do grau de atividade das partes finas dos solos tropicais, buscando elaborar uma metodologia para seu uso no processo de decisão sobre o tipo de solo a ser utilizado em construções históricas e contemporâneas de adobe.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- Analisar, através de revisão da literatura, as peculiaridades dos solos tropicais, assim como os ensaios de caracterização de solo utilizados, e analisar também a sua aplicabilidade para a produção de adobe.
- Analisar as normas e documentos sobre o adobe e quais os índices e recomendações propostos em relação aos ensaios de caracterização do solo e de resistência à compressão, de absorção de água e de retração relativa.
- Comparar os ensaios elaborados com os índices e recomendações das normas e documentos pesquisados, verificando se tais indicações se aplicam aos solos tropicais.
- Analisar a relação entre as variáveis de caracterização do solo e as propriedades físicas dos adobes produzidos.

## **1.3. Justificativas**

A adequabilidade de métodos utilizados atualmente de caracterização do solo para produção do adobe, como o ensaio granulométrico e os limites de consistência, é constatada quando solos classificados como inadequados produzem adobes com reconhecida qualidade, a exemplo do estudo de caso dos adobes produzidos no distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho) (VALE *et al.*, 2014).

Muitas pesquisas já foram realizadas no Brasil sobre o ensaio de adsorção de azul de metileno nas classificações de solos, no entanto, em sua maioria, são pesquisas voltadas para as áreas de pavimentação, de cerâmica e algumas poucas de Bloco de Terra Comprimida (BTC). Com isso, torna-se necessária uma pesquisa mais aprofundada sobre as características da argila pelo ensaio de adsorção de azul de metileno, relacionando, assim, a qualidade da argila ao melhor resultado de ensaio de compressão dos adobes.

A importância deste trabalho se deve ao fato de que, além de se tratar de uma técnica sustentável, o conhecimento da técnica construtiva com adobe é fundamental para intervenções e restauros em edificações históricas e na aplicação como técnica para novas construções, o que vem demonstrando grande ascensão em alguns municípios. A sua qualidade está diretamente ligada à seleção do solo, sendo necessária, de acordo com estudos prévios, uma complementação dos métodos utilizados atualmente para caracterização do solo.

Aspecto fundamental na tecnologia da construção com terra é conseguir analisar a atividade das argilas, principalmente no caso de solos tropicais, de forma segura, barata e facilmente reproduzível. O Índice de Plasticidade (IP), um dos ensaios que qualificam a fração fina do solo, fornece leitura sujeita a várias limitações, dependendo do tipo de solo (SOUZA, 2011).

Por meio de uma ferramenta acessível e complementar de seleção do solo e de uma política de habitação social, é possível pensar no adobe como alternativa construtiva para cidades de pequeno porte e população rural, já que reduz os resíduos gerados, por ser material composto basicamente de terra e água e não necessitar de queima como o bloco cerâmico, além de não possuir cimento em sua composição. Por esse motivo, os custos são minimizados, o que torna o adobe alternativa para construção de habitação popular.

Este projeto terá impacto na área do patrimônio, arquitetura vernácula, sustentabilidade e habitação de baixo custo. Na área do patrimônio, permitirá maior agilidade e qualidade na recomposição de construções históricas com adobe. Para comunidades que conservam técnicas vernáculas, a pesquisa fornecerá base de baixo custo e segura para respaldar a utilização do adobe como material de construção, além de ajudar a compreender por que em algumas dessas comunidades os solos com características totalmente fora da referência tradicional usados na



arquitetura de terra têm apresentado boa resistência. Para novas habitações em arquitetura de terra, o protocolo gerado permitirá assegurar maior assertividade na escolha dos solos. Por fim, para habitações de baixo custo, por ser uma técnica que utiliza materiais e mão de obras locais.

Embora não esteja aqui propondo a substituição, mas, sim, a complementação dos ensaios tradicionais e suas propriedades índices, ressalta-se que a metodologia proposta deverá criar procedimentos mais fáceis de serem realizados e a um menor custo, tornando-se, assim, pesquisa de referência para restauração de antigas e futuras construções. O trabalho propõe inovação no processo atual de seleção do solo para fabricação do adobe, que poderá ser aplicado em outras técnicas que utilizam a terra como material de construção.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1. O adobe como material de construção

A relação entre a humanidade e o solo tem sido de estreita dependência desde os seus primórdios e foi um dos primeiros materiais utilizados para construção de abrigo, ao lado da madeira e da pedra, devido à sua disponibilidade e ao seu processo de construção simples (PAGLIOLICO *et al.*, 2010). Das técnicas construtivas de terra, o adobe foi a primeira delas, caracterizado por blocos rígidos aplicados na construção de muros e paredes (NEVES; FARIA, 2011).

O adobe é encontrado em todos os países de climas quente e seco, subtropicais, tropicais e temperados (MINKE, 2015). Encontram-se no norte do Egito estruturas monumentais de 3.200 anos de antiguidade, como as paredes de adobe da fortaleza de Midinet Habu e as abóbadas do templo mortuário de Ramsés II, em Gourná. O adobe também serviu como material de construção durante séculos para os índios do povo Taos, Novo México, e para a construção do Centro Histórico da Cidade de Shibam, Iêmen, com aproximadamente 20.000 m<sup>2</sup> (MINKE, 2015).

Arqueólogos descobriram exemplos de construção com adobe sobreviventes em muitos lugares do mundo (QUAGLIARINI *et al.*, 2010) e, em alguns países, continua a ser o principal processo de construção, traduzindo cultura e tradição locais (VEGA *et al.*, 2011). A Figura 1 mostra as regiões onde existe maior número de construção com terra e onde estão localizados os patrimônios mundiais de construção com terra.

O adobe possui aspectos favoráveis quando se discute a sustentabilidade relacionada às dimensões ambiental, social e econômica. Esta matéria-prima foi usada para edificar tanto pequenas construções quanto monumentos de grande importância militar e religiosa. De acordo com Oliveira (2005), entre as características principais do adobe, quando produzido em baixa escala, podem-se destacar: baixo consumo energético (SILVEIRA *et al.*, 2007); longevidade, por sua natureza, pois o material não entra em ciclo de degeneração, desde que utilizado adequadamente; ausência de toxicidade; regulador térmico; regulador higroscópico; permeabilidade ao vapor d'água das paredes externas; isolamento e correção acústicos; absorção de odores e dissolução de gorduras; e ausência de eletricidade estática.

Figura 1 – Mapa com regiões com construções e patrimônios históricos mundiais de terra



Fonte: UNESCO, adaptado por Daudon *et al.* (2014).

Em países menos desenvolvidos, a construção com terra nunca parou de ser utilizada, apesar de as pessoas preferirem, em sua maioria, técnicas convencionais de construção, como o bloco cerâmico e de concreto, devido ao fato de materiais de terra serem relacionados a pobreza (DELGADO; GUERRERO, 2007). Apesar disso, o interesse em construções de terra e com técnicas como o adobe tem sido renovado (MINKE, 2015).

Adobe são blocos produzidos pela moldagem do barro em formas usualmente de madeira – ou de metal – e secos ao ar livre (Figura 2). De acordo com Minke (2015), existem diversos tipos de formas com variados tamanhos, desde formas pequenas, com a possibilidade de produção individual de tijolo, até formas maiores, com a possibilidade de produção de até 16 unidades (Figura 3).

Para a escolha da forma, devem-se considerar, entre outros, a disponibilidade de mão de obra devido ao peso da forma com vários adobes e o nivelamento do terreno.

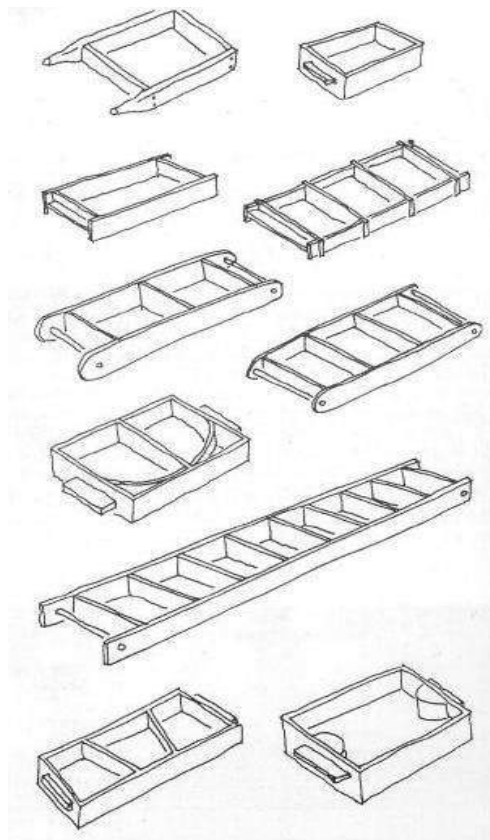
A homogeneização da mistura de solo e água pode ser realizada com enxadas ou com os pés (Figura 4). Também podem ser utilizados animais (Figura 5) ou misturadores mecânicos. Recomenda-se molhar o solo pelo menos 12 horas antes do amassamento (MINKE, 2005).

Figura 2 – Formas de adobe confeccionadas com madeira e metal



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 3 – Tipo de formas para adobe.



Fonte: Minke (2015, p. 74).

Figura 4 – Preparação da mistura com enxada e os pés



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 5 – Exemplo de pipa de tração animal usada para preparação da massa do adobe



Fonte: Acervo da autora (2020).

O espaço físico para a operação de manufatura dos tijolos de adobe deve ser bem planejado para evitar excesso de movimentação do material produzido (McHENRY, 1984), assim como planejar o local de produção é muito importante. Para facilitar o trabalho, é fundamental ter um ponto de água e a terra a ser utilizada próximos da pipa, o terreno bem nivelado para não deformar os blocos (Figura 6) e um local protegido das intempéries para armazenamento dos tijolos.



Figura 6 – Exemplo de local de secagem dos adobes



Fonte: Acervo da autora (2020).

A produção do adobe realiza-se com o preenchimento do molde de madeira com a massa de barro previamente umedecida, descansada e amassada (Figura 7). Existem duas formas de preenchimento da forma: colocando o barro em partes, uma com a massa de consistência mais pastosa e a outra lançando o barro menos pastoso na forma de uma só vez. A força com que é lançada a massa na forma determina a compactação do bloco e é um dos fatores que definem a sua resistência (MINKE, 2015). A construção de uma mesa de trabalho pode facilitar a modelagem dos adobes, favorecendo a postura do trabalhador.

Figura 7 – Exemplo de moldagem do adobe com forma de seis blocos



Fonte: HABIS, EESC e USP (2006).

A superfície é uniformizada com as mãos, utilizando um pedaço de tábua com um arame, um pedaço de madeira ou uma corda (Figura 8).

Figura 8 – Exemplo de bancada para produção de adobe



Fonte: Acervo da autora (2020).

De acordo com Minke (1994), uma pessoa pode elaborar, em média, 300 adobes por dia, incluindo a preparação da massa, o transporte e o corte do adobe.

Na primeira etapa de secagem, os adobes deverão estar perto da área de produção, tempo suficiente para que os tijolos percam o excesso de umidade, ganhem resistência e ocorram as primeiras retrações. Na segunda etapa, os blocos devem ser transportados para uma área protegida contra possíveis intempéries, para que não haja absorção de umidade – utilizando, por exemplo, suportes de madeira. Esta fase pode durar em torno de 30 dias para uma secagem completa, dependendo do tamanho do bloco, do clima e da umidade de cada local de produção (OLIVEIRA, 2005).

A qualidade do adobe está diretamente ligada ao tipo de solo usado na sua produção, principalmente quando o adobe não é estabilizado, ou seja, quando se utiliza apenas solo na mistura, sem a adição de outros materiais, como cal e cimento. Nem todos os solos são adequados para a fabricação de adobe; logo, é necessário contar com alguma forma de avaliação preliminar.

São diversos os fatores que influenciam na qualidade do adobe, além das características do solo. Dormohamadi e Rahimnia (2020) pesquisaram a relação da compactação do adobe ao ser produzido e a resistência à compressão, concluindo que a resistência está diretamente relacionada, entre outros fatores, à força de compressão da massa aplicada na forma. Analisaram também a relação entre a

quantidade de argila presente no solo e a resistência à compressão, concluindo que, quando a quantidade de argila no solo aumenta, a resistência à compressão também aumenta. As amostras com porcentagem próxima de 30% de argila apresentaram melhor resistência, confirmando-se, assim, a importância de analisar a mineralogia do solo para prever as características físicas dos adobes.

Heath *et al.* (2009) realizaram ensaios com adobes produzidos na Inglaterra, investigando propriedades que afetam a resistência à compressão de edificações, como a umidade. Modelos teóricos e experimentais demonstraram que a fração de argila no solo possui papel fundamental na resistência dos adobes e que a resistência diminui com o aumento da umidade, no entanto tais reduções são improváveis de causar problemas nas construções, mesmo com umidade relativa do ar elevada de 95%.

Em Portugal, a terra como material de construção foi utilizada principalmente na região sul e no litoral central, com maior utilização da taipa de pilão na região sul e o adobe com maior concentração no litoral central, especialmente no distrito de Aveiro<sup>2</sup> (SILVEIRA *et al.*, 2007), onde aproximadamente 40% das edificações possuem o adobe como material de construção, com alto valor cultural, social e arquitetônico (PARISI *et al.*, 2019). Diversas pesquisas foram realizadas acerca dessa técnica naquela região portuguesa.

Galhano *et al.* (1999) analisaram parâmetros químicos, de textura e mineralógico, mediante análise geoestatística de adobes da região de Aveiro. Diante dos resultados, subdividiram a região estudada em setores, de acordo com seu comportamento geotécnico. O conhecimento dessas características, segundo esses autores, permite a identificação de áreas problemáticas e a utilização de técnicas para conservação das construções da região. Foram analisados 21 tipos de argilas de diferentes locais pela difração de raios X, análise química, limites de consistência e ensaio de adsorção de azul de metileno. Os principais argilominerais encontrados foram a illita, a esmectita e a caulinita.

Fernandes (2013) cita que o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro vem desenvolvendo uma pesquisa desde 2005 na área de Caracterização e

---

<sup>2</sup> Aveiro é uma região de Portugal onde o adobe foi amplamente utilizado até meados do século XX (SILVEIRA *et al.*, 2013).



Comportamento de Adobes na região. Ensaio demonstraram que os adobes, em sua maioria estabilizados com cal e com granulometria mais fina, apresentavam valores para compressão e tensão superiores em relação aos de granulometria média.

Silveira *et al.* (2013) desenvolveram um estudo sobre a influência dos diferentes procedimentos de caracterização mecânica sobre o adobe. Foram coletados 30 desses tijolos de três casas diferentes na região de Aveiro e produzidos corpos de prova cilíndricos e cúbicos, que foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, cujos resultados de resistência obtidos com os corpos de prova cilíndricos foram muito próximos dos cúbicos.

Costa *et al.* (2013) realizaram ensaios de composição mineralógica, de granulometria, de capacidade de absorção de água e de resistência dos tijolos de duas localizações distintas de Aveiro (Anadia e Murtoza), comparando suas características. Esses ensaios foram realizados com 10 tipos de adobes de cada uma das regiões estudadas. Por meio de estudo da composição mineralógica e de propriedades físicas dos adobes, é possível obter uma base para o desenvolvimento de intervenções adequadas, preservando as características das edificações. De acordo com aqueles autores, essa caracterização é essencial para a reabilitação de edifícios históricos, o que possibilita melhor compatibilidade de materiais em ações de conservação e restauração.

Varum *et al.* (2015) realizaram uma pesquisa com os adobes da região de Aveiro, o que reforça a importância do estudo de caracterização do adobe para a conservação do patrimônio histórico. Para esses autores, a consolidação do conhecimento sobre esta técnica e sobre o comportamento mecânico da alvenaria de adobe é fundamental na preservação do patrimônio histórico mundial.

Costa *et al.* (2016) pesquisaram sobre a sustentabilidade da conservação do patrimônio material de terra em Aveiro. Concluíram que os estudos de caracterização do solo são necessários para compreender a composição e as propriedades específicas da construção com terra e seus mecanismos de degradação, reforçando que tais estudos são essenciais para a restauração de edificações históricas. Para a pesquisa de caracterização do solo dos adobes da região estudada, esses pesquisadores analisaram dois tipos de solos diferentes utilizados na fabricação dos adobes históricos, e entre os ensaios executados estão o de difração de raios X, o de composição química do solo, o de granulometria e o de adsorção de azul de metileno.

Também foram feitos ensaios de propriedades físicas e mecânicas dos adobes, cujos resultados servirão para futuras compatibilizações de materiais para a restauração dessas edificações.

É importante para este trabalho verificar as normas e documentos para verificar quais são os parâmetros indicados na seleção do solo para a produção do adobe. Muitas dessas normas são de países de clima temperado, razão por que é necessário conferir se tais parâmetros podem ser aplicados aos solos tropicais.

Niroumand *et al.* (2013) analisaram parâmetros de incentivos e obstáculos para a utilização da terra como material de construção, incluindo o papel das normativas nacionais. Sua pesquisa foi realizada em seis países com um total de 763 entrevistas *online* de arquitetos e pesquisadores do Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios (ICOMOS). Setenta e um por cento, em média, dos entrevistados responderam sentir falta de normas e códigos nacionais sobre as técnicas construtivas com terra.

Existem poucas normas relacionadas a construções com terra e adobe no mundo, podendo-se citar entre elas a Norma NMAC 14.7.4 (2015) dos Estados Unidos, a NZS.4297 (1998) da Nova Zelândia, a NTE.E.080 (2000) do Peru e a Norma Brasileira de Adobe ABNT NBR 16814 (2020) – Adobe: requisitos e métodos de ensaio. Além dessas normas, há documentos normativos e referenciais teóricos, como Regeln (1999), HB195 (2002), Middleton e Schneider (1992), Pérez (1971), Ottazzi *et al.* (1995), Houben e Guillaud (1994), Mchenry (1989), Smith e Austin (1996), OIA (1981) e Spence e Cook (1983). As abordagens em relação à seleção do solo das normas e referências referidas são demonstradas nos Quadros 2, 3 e 4. Muitas das recomendações em relação à seleção do solo dessas referências são relacionadas à textura, sendo a maioria não quantitativa (DELGADO; GUERRERO, 2007).

Quadro 2 – Lista de normas e regulamentos de adobe

<b>País</b>	<b>Norma ou regulamento</b>	<b>Abordagem em relação ao solo</b>
Brasil	ABNT NBR 16814 (2020)	Recomendações gerais sobre granulometria. Teste de unidades para resistência à compressão.
EUA	NMAC 14.7.4 (2015)	Pouca recomendação. Unidades de construção deverão ser testadas.
Nova Zelândia	NZS 4297 (1998)	Recomendações não quantitativas sobre o tipo de solo que não deve ser usado. Necessário teste de retração. Sistema para testes das unidades.

Fonte: Delgado e Guerrero (2007), modificado pela autora (2020).

Quadro 3 – Lista de documentos normativos de adobe

<b>País/Autor</b>	<b>Documento normativo</b>	<b>Abordagem em relação ao solo</b>
Peru	NTE E 080 (2017)	Poucas recomendações para a granulometria.
Alemanha	Lehmbau e Regeln (1999)	Ensaio essenciais de plasticidade e granulometria. Ensaio de laboratório e de campo enumerados e explicados, recomendações para alguns deles.
Austrália	HB 195 (2002)	Enumeração de testes de campo e ensaios de laboratório, com dados procedimentos para alguns deles. Recomendações granulométricas para técnicas de terra. Recomendações qualitativas para a granulometria. Observações sobre a performance de patrimônios. Recomendações não quantitativas sobre os solos que não devem ser usados.
Middleton e Schneider	(1992)	Recomendações gerais sobre granulometria. Recomendações de testes do adobe. Observações sobre a performance das edificações históricas.
Espanha	Pérez (1971)	Fornecimento de algumas condições gerais para o solo.
CYTED internacional	Ottazzi e Martins <i>et al.</i> (1995)	Nenhuma abordagem direta para a seleção do solo. Recomendações dependendo do ensaio de resistência das unidades.

Fonte: Delgado e Guerrero (2007), modificado pela autora (2020).

Quadro 4 – Lista de documentos técnicos de adobe

<b>País/ Autor</b>	<b>Documento técnico</b>	<b>Abordagem em relação ao solo</b>
Houben e Guillaud (1994)		Propriedades essenciais: granulometria, plasticidade, compatibilidade e coesão. Testes de campo e ensaios laboratoriais explicados. Nomogramas para granulometria, plasticidade e compactação.
McHenry (1989)		Mostra média de solos que demonstraram boa performance em edificações.
Smith e Austin (1996)		Não é dada muita importância à identificação e seleção do solo. Poucas recomendações. Testes do adobe é a melhor maneira.
OIA (1981)		Aptidão por meio do teste de campo com um gráfico de decisão. Identificação por intermédio de ensaios laboratoriais sem recomendações.
Spence e Cook (1983)		Propriedades e índices essenciais: granulometria, limites de consistência, sem recomendação de compactação e classificação do solo. Teste de unidades é essencial.

Fonte: Delgado e Guerrero (2007), modificado pela autora (2020).

Em relação aos tipos de ensaios propostos pelas normas e autores citados, Delgado e Guerrero (2007) comparam os recomendados para construção com terra, apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Recomendações em relação à seleção de solo para construção com terra

Norma/Documento/ Autor	Granulometria	Plasticidade	Sais	Matéria orgânica	Coesão	Retração	Compactação	Classificação	Teste do adobe
ABNT NBR 16814 (2020)	F								X
NMAC 14.7.4 (2015)	I		M						X
NZS 4297 (1998)									X
NTE E 080 (2000)	F, M			S					
Lehmbau Regeln (1999)				PO	P8				
HB 195 (2002)	I, F, M				PC				
Pérez (1971)								V	
Ottazzi e Martins <i>et al.</i> (1995)	PRS								
Houben e Guillaud (1994)	A	A			A		A		
McHenry (1989)	I, Fc								
Smith e Austin (1996)	I, Fc, T								X
OIA (1981)	I, T								X
Spence e Cook (1983)									X

### Legenda

A: nomogramas com áreas recomendadas. Na granulometria, a curva de granulometria; na plasticidade, o IP/ LL; na compressão, o máximo de densidade/água contido pelo ensaio de Proctor; e na coesão, máximo de força de coesão.

F: conteúdo das diferentes frações do solo.

Fc: conteúdo de diferentes frações do solo de acordo com valores demonstrados em edificações históricas com boa performance.

M: máximo: em granulometria, dimensões dos grãos. Conteúdo máximo de sais solúveis.

I: não quantitativo e recomendações imprecisas.

PO: não usar o solo dependendo do teste de odor.

P8: resultado mínimo de acordo com o chamado 8 teste (DIN 18952, p. 2 *apud* DELGADO; GUERRERO, 2007).

PC: tamanho de quebra do teste da fita é fornecido.

PRS: teste de resistência a seco, conforme interpretação.

S: não usar a camada superficial do solo.

T: tipos gerais de solos.

V: uso de uma tabela de “avaliação a uso do solo”, após a realização de testes simples.

X: possui ensaios para teste dos adobes.

Fonte: Delgado e Guerrero (2007), modificado pela autora (2019).

Algumas normas e autores propõem avaliações físicas dos adobes em relação à resistência à compressão, módulos de ruptura, durabilidade, inspeção visual das trincas, entre outros. Os métodos dos ensaios variam entre as normas e documentos, tornando inválida a comparação entre os valores. As recomendações são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Avaliações físicas do adobe

Norma/Documento/ Autor	Resistência à compressão (MPa)	Teste seco-molhado	Durabilidade	Teste queda do bloco	Inspeção visual de trincas
ABNT NBR 16814 (2020)	≥ 1.5				
NMAC 14.7.4 (2015)	≥ 2.1 (300 psi) ≥ 1.5 (200 psi) em 1 de 5 unidades				
NZS 4297 (1998)	≥1.3	De acordo com o Apêndice C	De acordo com o Apêndice D ou E	Apêndice H	
Middleton e Schneider (1992)			Sem erosão >1 mm/min. Teste de erosão (Apêndice D)		Sem trincas >75 mm de comprimento, >3 mm de largura, >10 mm de profundidade
Ottazzi e Martins <i>et al.</i> (1995)	≥1.2 em 80% das unidades				
OIA (1981)	≥1.7 (250 psi)				

Fonte: Delgado e Guerrero (2007), modificado pela autora (2019).

As indicações relacionadas às proporções adequadas de cada componente do solo (granulometria) para produção de adobe são divergentes, e alguns autores

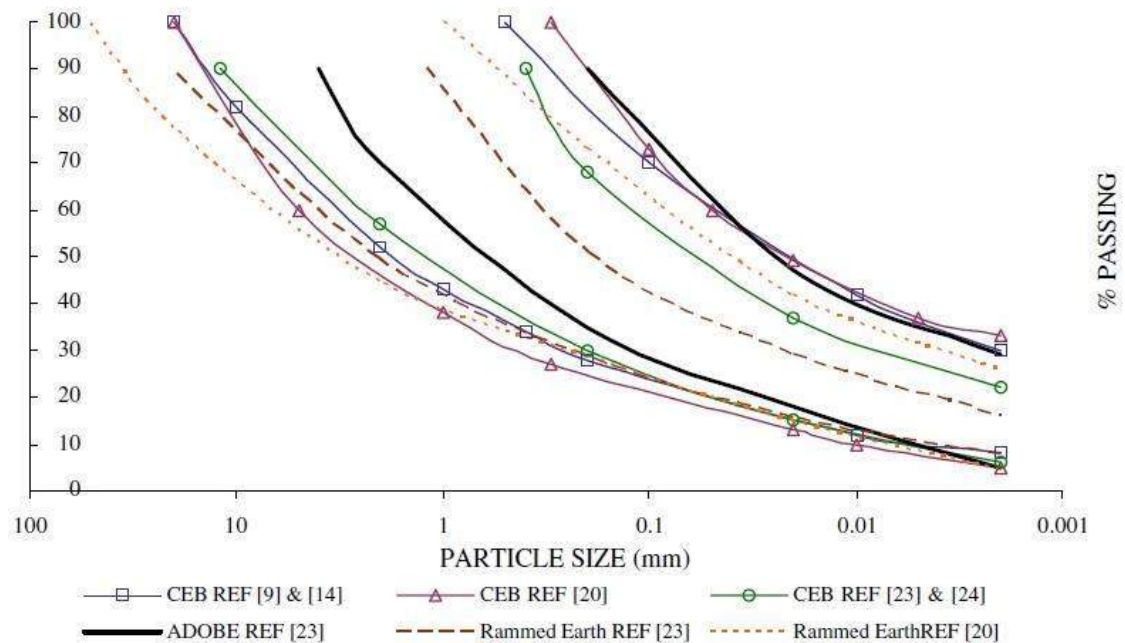
estabelecem um intervalo de porcentagens mínima e máxima somente da argila, enquanto outras normas estabelecem também porcentagens ideais de silte e areia, conforme relacionados no Quadro 7 e na Figura 9.

Quadro 7 – Composição granulométrica do solo indicada por diferentes normas e autores para fabricação de adobe

NORMA/ DOCUMENTO/ AUTOR	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
ABNT NBR 16814 (2020)	55-70	até 25	20-30
NTE E 080 (2000)	55-70	15-25	10-20
HB 195 (2002)	30-75 (areia e pedregulhos)	10-30	10-40
Houben e Guillaud (1994)			5-29

Fonte: Delgado e Guerrero (2007), modificado pela autora (2020).

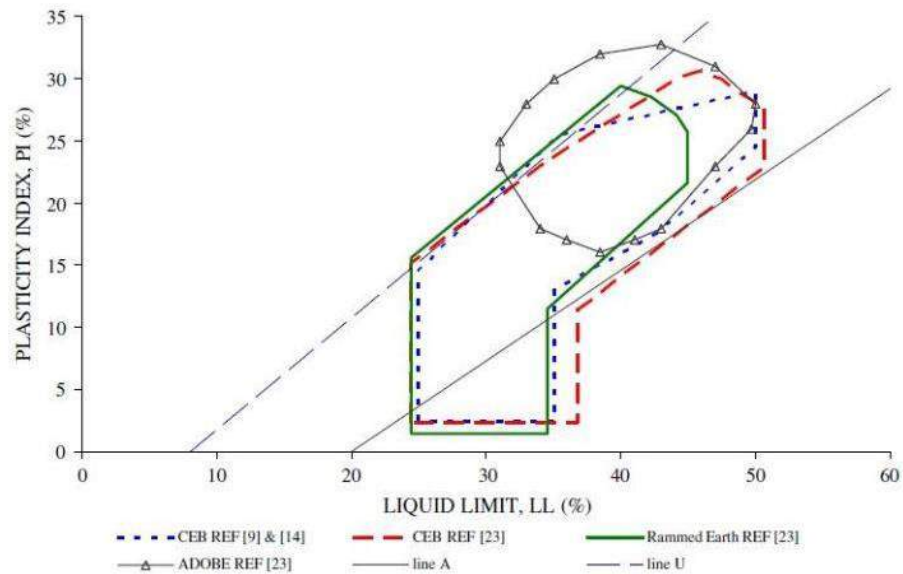
Figura 9 – Nomograma granulométrico mostrando áreas recomendáveis da distribuição de partículas no solo para produção de adobe



Fonte: Delgado e Guerrero (2007).

Em relação aos Limites de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade (IP) recomendados para o adobe, Houben e Guillaud (1994) estipulam um intervalo de porcentagem de 31-50 para o LL e 16-33 para o IP, conforme representado na Figura 10.

Figura 10 – Nomograma de plasticidade mostrando as áreas recomendadas para IP e LL de solos para produção de adobe



Fonte: Delgado e Guerrero (2007).

Dhandhukia *et al.* (2013) estudaram a relação entre diferentes parâmetros de solo (distribuição granulométrica e limites de consistência) e a resistência à compressão do adobe. Foram analisados nove tipos de solos de Gujarat, Índia, e classificados de acordo com a ASTM D3282. Diversas misturas com diferentes combinações de granulometria foram feitas para a produção dos adobes. Testes demonstraram que solos com porcentagem de areia de  $53\% \pm 3\%$ , silte + argila de  $48\% \pm 5\%$  e LP de 2 a 6 possuíam índices de resistência à compressão mais altos.

## 2.2. Formação e Peculiaridades dos Solos Tropicais

O solo foi reconhecido como “corpo natural organizado”, por meio da influência dos avanços da ciência, por Vailii Vasilevich Dokuchaev e colaboradores, na segunda metade do século XIX. Dukuchaev formulou, por intermédio dos seus estudos como geólogo, a concepção dos fatores de formação do solo como material de origem, clima, vegetação e relevo agindo ao longo do tempo. O conhecimento de tais combinações “permitiria prever quais os solos que ocorrem em cada local, ou seja, a mesma combinação de fatores corresponderia ao mesmo tipo de solo” (KRUPENIKOV, 1992 *apud* KÄMPF; CURI, 2012, p. 8).

A formação do solo é condicionada por um conjunto de processos que atuam ao longo do tempo produzindo mudanças em suas propriedades e representando, assim, a sua



**evolução.** Essa evolução é contínua, uma vez que não há ponto de equilíbrio com o ambiente (KÄMPF; CURI, 2012).

Todos os solos originam-se da decomposição das rochas que constituíam, inicialmente, a crosta terrestre. De acordo com Young (1978), existem oito fatores físicos principais responsáveis por essa formação: clima, material de origem, forma da superfície terrestre, águas superficiais, águas subterrâneas (drenagem), organismos (fauna e flora), tempo (idade do solo) e ações antrópicas.

A água no solo é considerada um dos principais agentes do intemperismo das rochas e da transformação dos minerais e atua na redistribuição, adição ou remoção de materiais no interior do perfil do solo. A velocidade do processo de formação é determinada pela disponibilidade e pelo fluxo de água no solo. O efeito dos fluxos de umidade é caracterizado como **regime de umidade** do sistema, que representa as mudanças nas reservas de umidade do solo e a quantidade de água disponível para a lixiviação e o intemperismo. Além da precipitação pluvial, a temperatura possui grande significância pedogenética, sendo representada pela média anual de temperatura do ar (KÄMPF; CURI, 2012).

Segundo Kämpf e Curi (2012), contemporaneamente com o trabalho desenvolvido por Dokuchaev e sua equipe, o geólogo americano Eugene Woldemar Hilgard relacionou as propriedades químicas dos solos aos fatores clima (1882) e material de origem (1906), sendo estes os principais elementos que alteram o tipo de argilomineral formado nos solos. Um dos motivos dessa influência é o acréscimo da precipitação anual que intensifica a lixiviação que causa mudanças na composição dos argilominerais, da esmectita e da caulinita.

De acordo com Velde (1992 *apud* SCAPIN, 2003), os argilominerais são os minerais mais abundantes da superfície da crosta terrestre, formados através do intemperismo de silicatos e constituindo parte importante de solos, rochas sedimentares e sedimentos de fundo oceânico. A classificação dos argilominerais está relacionada com a disposição dos átomos de silício em sua estrutura cristalina.

Grim (1962 *apud* MELLO *et al.*, 2011) afirma não ser possível descrever uma argila por pequeno número de suas propriedades, já que os fatores que as controlam são: a composição mineralógica dos argilominerais, qualitativa e quantitativa; a composição mineralógica dos não argilominerais; a distribuição granulométrica; e o teor de

eletrólitos, quer dos cátions trocáveis, quer de sais solúveis, qualitativa e quantitativamente.

O comportamento de determinado tipo de solo é decorrente da quantidade das partículas minerais em sua composição, além da quantidade de água presente não somente da água de lençóis freáticos, mas também das águas retidas nas vizinhanças dos pontos diretos de contato das partículas sólidas e da água adsorvida (TORGAL; JALALI, 2009).

Devido às diferenças climáticas e a outros fatores de evolução, os solos tropicais podem divergir e apresentar comportamentos distintos relacionados ao seu proceder hidráulico e mecânico, por meio do processo de laterização, que acontece em regiões tropicais úmidas, onde os cátions básicos são lixiviados, com concentração residual de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. Desse modo, devido a esses acontecimentos, a fração argila de solos lateríticos<sup>3</sup> é composta essencialmente por argilominerais do grupo das caulinitas e de óxidos e hidróxidos hidratados de ferro e, ou, alumínio. A associação desses elementos é responsável pela aglomeração estável em presença de água, que ocorre graças ao recobrimento dos argilominerais pelos grupos citados anteriormente, que são redutores da capacidade de adsorção de água (SANTOS, 2006).

Ao apresentar comportamento laterítico quando compactado em condições propícias, um solo adquire alta capacidade de suporte e baixa perda dessa competência quando imerso em água. Estima-se que esses solos ocupam aproximadamente 8,1% da superfície dos continentes e, no Brasil, se distribuem por quase todo o país (SANTOS, 2006).

Nogami e Villibor (1995) descrevem as principais peculiaridades dos solos lateríticos e saprolíticos<sup>4</sup> em relação aos tamanhos de suas partículas. Em relação às areias em solos lateríticos, para esses autores o quartzo é o mineral encontrado com maior frequência, assim como acontece também nos solos não tropicais. O quartzo

---

<sup>3</sup> Tem como característica uma série de propriedades que os levam a ser classificados como solo de comportamento laterítico na classificação MCT. Pedologicamente, o solo laterítico é uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

<sup>4</sup> Os solos saprolíticos (sapro, do grego: podre) são aqueles que resultam da decomposição e, ou, desagregação *in situ* da rocha matriz pela ação das intempéries (chuvas, insolação, geadas) e mantêm, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem.

proporciona aos solos elevada resistência à compressão, elevado módulo de elasticidade, alta dureza e estabilidade química. Outros minerais encontrados são a ilmenita e a magnetita, comumente concentrados no Centro-Sul do Brasil e Sul da Bahia. Nesses solos, a fração de areia possui massa específica maior.

Frequentemente são encontrados nas frações de areia dos solos lateríticos torrões ou agregados constituídos predominantemente de argila que não são totalmente separáveis pelos processos padronizados de desagregação laboratorial nos ensaios de granulometria (NOGAMI; VILLIBOR, 1995). Tais características podem gerar nesses solos comportamentos distintos daqueles previstos pela curva granulométrica gerada.

Nas frações de areia em solos saprolíticos é comum encontrar diversos minerais distintos do quartzo, como os feldspatos e as micas. Quando presente, a mica pode ser responsável por características marcantes do solo, como: elevação do limite de liquidez e diminuição do índice de plasticidade; elevação da expansibilidade por aumento de umidade; diminuição de massa específica aparente seca máxima quando compactado; elevação de umidade ótima de compactação; diminuição drástica da capacidade de suporte; e redução do módulo de resiliência (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

As frações de silte nos solos lateríticos são compostas essencialmente pelos mesmos minerais da fração areia, porém com dimensões menores, o que dificulta a identificação rigorosa e completa dessas frações. Assim como acontece na fração areia, é frequente a presença de torrões de argila não totalmente desagregáveis pelo processo de dispersão utilizado na separação dessa fração para determinação granulométrica, variando à sua porcentagem de acordo com a intensidade da dispersão mecânica e do defloculante utilizado.

Em solos saprolíticos, a presença de caulinita, mineral comum na fração argila dos solos, quando encontrada na fração silte pode imprimir propriedades e comportamento peculiares a muitos solos, contribuindo, de maneira diferente do quartzo, nos limites de consistência. Dessa forma, a presença de caulitina na fração de silte pode levar a um índice de plasticidade diferente de zero, o que contribui com a coesão e expansão do solo (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

A constituição da fração argila dos solos tropicais, sobretudo dos lateríticos, desempenha um papel decisivo no comportamento peculiar desses solos, quando comparados com aqueles similares granulometricamente, considerados na bibliográfica geotécnica de países situados em climas não tropicais (NOGAMI; VILLIBOR, 1995, p. 18).

Entre as peculiaridades dos argilominerais podem ser citados: grande superfície específica; cargas elétricas predominantemente negativas, que proporcionam a capacidade de troca catiônica quando em suspensão aquosa; quando umedecidos, tornam-se plásticos e resistentes; quando secos, possuem grandes variações volumétricas; e exibem o fenômeno da floculação (agregação de grãos) quando em suspensão aquosa e dispersão, cujo grau depende bastante da concentração e natureza das substâncias químicas em solução. Tais características se acentuam na seguinte ordem de argilominerais: caolinitas, illitas e montmorillonitas (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

A presença de óxidos de ferro e de alumínio hidratados desempenha papel importante na formação de agregados na fração argila dos solos lateríticos devido às suas propriedades cimentantes (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Percebe-se, portanto, que os solos tropicais têm características distintas dos de clima temperado, com comportamentos diferentes.

### **2.3. Mineralogia dos Solos Brasileiros**

Existem diferenças entre os argilominerais e os materiais argilosos. Os argilominerais, que são minerais constituintes e característicos das argilas, geralmente cristalinos, podem conter cátions e estruturalmente se apresentam em camadas e folhas ou em cadeias, sendo estas últimas mais raras. Já os materiais argilosos são materiais naturais de granulometria fina e de textura terrosa ou argilácea, independentemente do fato de os minerais argilosos serem ou não componentes essenciais; são considerados materiais argilosos desde que apresentem textura argilosa e composição rica em argila (SOUZA, 2011).

São muitas as definições do termo argila e variam de acordo com os pontos de vista científico, técnico e profissional de quem as interpreta. Para Souza (2011, p. 13), o conceito mais generalista do termo argila é

como sendo um produto natural, terroso, constituído por componentes de grão muito fino ( $\leq 2 \mu\text{m}$ ), entre os quais se destacam os minerais argilosos. Este material, quando umedecido, apresenta plasticidade, endurecendo à medida que vai secando naturalmente ou em estufa.

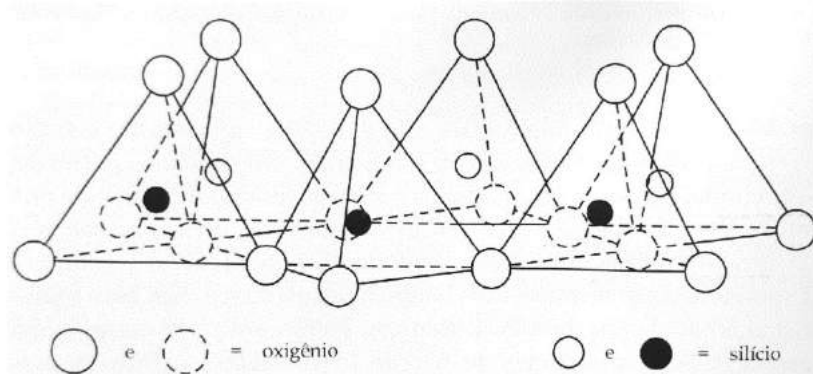
A constituição mineralógica das argilas, não somente pelo seu reduzido tamanho, faz que essas partículas tenham comportamentos extremamente diferenciados em relação aos dos grãos de areia e silte. Diferentes minerais na fração de argila podem proporcionar diversos comportamentos dessa fração. Tal diferença de comportamento entre solos com distintos argilominerais se dá pelas forças de superfícies, que são importantes no comportamento de partículas coloidais, e pela diferença de superfície específica (PINTO, 2006). Por esse motivo, solos com mesmos resultados granulométricos podem apresentar diferentes comportamentos de plasticidade.

De acordo com Mitchell e Soga (2005), a resistência à compressão de um solo não depende apenas da resistência da partícula nele presente, mas também da distribuição das forças de contato e do arranjo das partículas de tamanhos diferentes. Pode-se argumentar, portanto, que as partículas maiores, mesmo possuindo partículas com maior resistência, têm maior probabilidade de quebrar, porque as forças de contato normais entre elas aumentam com o tamanho da partícula. No entanto, se uma partícula maior tem contatos com as partículas vizinhas de maior força de superfície, como as presentes na argila, a carga sobre ela é distribuída e a probabilidade de fratura é menor do que para uma condição com poucos contatos.

O termo **argilomineral** refere-se, usualmente, aos minerais filossilicatos (macrocristais com aspecto laminar ou folhado) que ocorrem predominantemente na fração de argila (KÄMPF; CURI, 2012).

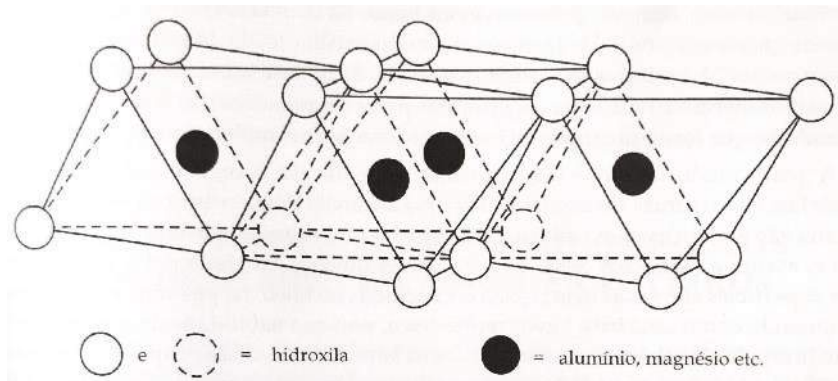
A estrutura dos argilominerais é constituída por lâminas tetraedrais ajustadas, cujas lâminas individuais de tetraedros são ligadas entre si pelo compartilhamento de três oxigênios basais (Figura 11) e a lâminas octaedrais, cujas lâminas de octaedros são unidas por compartilhamento de arestas octaedrais (Figura 12), formando, dessa forma, camadas.

Figura 11 – Tetraedros  $ZO_4$  (em que  $Z = Si, Al$ ) unidos por compartilhamento de oxigênios basais em anel hexagonal, dando origem à lâmina tetraedra



Fonte: Kämpf e Curi (2012).

Figura 12 – Octaedros  $YO_6$  (em que  $Y = Al, Fe$  e  $Mg$ ; e  $O = O, OH$ ) unidos por compartilhamento de arestas formando a lâmina octaedral



Fonte: Kämpf e Curi (2012).

Alguns argilominerais, como a caulinita, são formados por uma camada tetraédrica e outra octaédrica, denominada estrutura de camada 1:1. Dessa forma, as camadas estão firmemente unidas por ligações de hidrogênio, impedindo sua separação. Em outros minerais, como as esmectitas e as ilitas, o arranjo octaédrico encontra-se entre duas estruturas de arranjo tetraédrico, denominadas camada 2:1 (PINTO, 2006).

Nos minerais 2:1, as ligações entre as camadas ocorrem por íons  $O^{2-}$  e  $O^{2+}$  dos arranjos tetraédricos, as quais são mais fracas do que as ligações entre as camadas de caulinitas, em que o  $OH^-$  da estrutura octaédrica se liga aos íons  $O^{2+}$  da estrutura tetraédrica (PINTO, 2006).

Devido à sua peculiaridade e à sua significativa contribuição com as propriedades físicas e químicas do solo, decorrentes do seu pequeno tamanho de partículas

(propriedades coloidais), elevada área superficial e reatividade de superfície, os argilominerais são de grande importância no solo.

Kämpf *et al.* (2012), em pesquisa com 46 amostras de horizontes B latossólicos, solos de grande representatividade no Brasil, evidenciaram uma fração argila constituída, em média, por 730 g/kg de argilominerais, sendo a caulinita a mais encontrada, seguida de 145 g/kg de óxidos de ferro (goethita e hematita) e 125 g/kg de óxidos de alumínio (gibbsita), entre outros silicatos. Tal pesquisa mostra que, mesmo em solos com alta concentração de óxidos, existe o predomínio dos argilominerais da fração argila.

A presença de diferentes minerais no solo é condicionada pelo material de origem, pelo intemperismo e pela pedogênese, incluindo etapas de estabilidade, transformações e neofomações minerais, formando, assim, diferentes espécies. No Quadro 8 são listados os minerais mais presentes nos solos brasileiros (KÄMPF *et al.*, 2012).

A seguir são apresentados os principais argilominerais encontrados nos solos brasileiros e as marcantes características de alguns deles.

A **caulinita**, cuja fórmula é  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , confere ao solo as características de carga variável, garantindo a ele a possibilidade de retenção de ânions em pH ácido e de cátions em pH elevado. A Área Superficial Específica (ASE) das caulinitas, em decorrência do seu pequeno tamanho, varia de 100 a 260  $\text{m}^2/\text{g}$  de argila, contribuindo significativamente para a sorção de ânions.

Em comparação com as esmectitas, a caulinita tende a conferir maior estabilidade física (menor plasticidade e capacidade de retenção de água) e menor erodibilidade ao solo, pelo fato de não apresentar capacidade de expansão e de contração com a variação do grau de umidade do solo. Quando associada ao óxido de ferro, a sorção da caulinita aumenta (KÄMPF *et al.*, 2012).

Os **óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos de ferro** compreendem vários minerais que têm sua formação influenciada pelas condições do ambiente. Sua concentração, que está relacionada com o material de origem, grau de intemperização e seu processo pedogênico de acumulação ou remoção, pode variar de  $<1$  a  $>5.000$   $\text{g kg}^{-1}$ . As cores podem oscilar conforme os tipos de óxidos de ferro, imprimindo características aos solos, mesmo quando presentes em pequenas quantidades (KÄMPF *et al.*, 2012).

Quadro 8 – Classificação dos filossilicatos. Em negrito, os argilominerais identificados em solos brasileiros

Tipo de camada	Entre camada	Grupo <sup>(1)</sup>	Subgrupo <sup>(2)</sup>	Exemplo de espécies minerais
1:1	Nenhum ou só H <sub>2</sub> O	Caulim serpentina x~0	Caulim (D) <b>serpentina (T)</b>	<b>Caulinita, haloisita</b> , crisotila, antigorita, lizardita
		Mica x~1	Mica (T) Mica (D)	Flogopita, <b>biotita</b> , lepidolita, <b>muscovita</b> , paragonita, <b>ilita</b>
2:1	Cátions trocáveis hidratados	Vermiculita x~0,6-0,9	Vermiculita (T) Vermiculita (D)	Vermiculita Trioctaedral <b>Vermiculita</b> <b>Dioctaedral</b>
		Esmectita x~0,2-0,6	Esmectita (T) Esmectita (D)	Saponita, hectorita, sauconita, <b>montmorilonita, beidelita</b> , nontronita

(1) x = carga da camada por unidade de fórmula estrutural baseada em meia cela unitária.

(2) D = dioctaedral e T = trioctaedral.

(1) X = carga da camada por unidade de fórmula estrutural baseada em meia cela unitária.

(2) D = dioctaedral e T = trioctaedral.

Fonte: Kämpf e Curi (2012), adaptado pela autora (2020).

Entre os oxi-hidróxidos está a **goethita** e no grupo dos óxidos, a **hematita**, ambas consideradas minerais provenientes de fatores ambientais e da atividade da água e da temperatura. Os óxidos de ferro, na maioria das vezes, estão uniformemente distribuídos, resultando na coloração homogênea dos solos; basicamente, as cores avermelhadas se devem à presença de hematita e maghemita, enquanto a cor amarela é decorrente da goethita (SEGALEN, 1971).

Dos seis óxidos de alumínio, apenas a **gibbsita** é comumente encontrada, principalmente em latossolos do Brasil Central e Sudeste, e possui como características a baixa cristalinidade e a alta reatividade. Quando em maiores concentrações, a gibbsita dificulta o ajuste face a face das placas de caulinita, o que

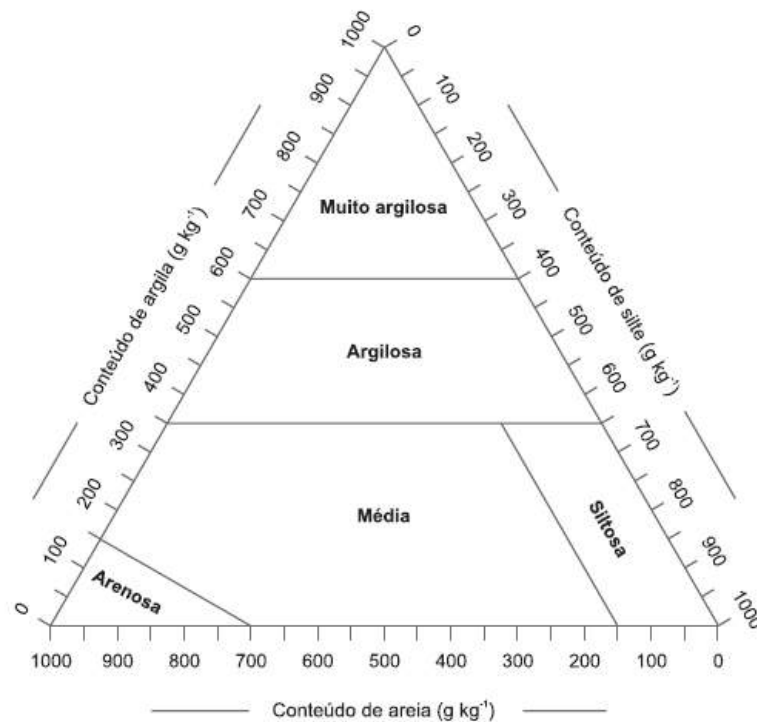


ocasiona maior infiltração de água, maior porosidade e menor densidade do solo, suplantando, assim, o efeito da textura no comportamento físico desses solos (KÄMPF *et al.*, 2012).

#### **2.4. Limitações da aplicação das classificações geotécnicas tradicionais na identificação dos solos tropicais**

Os solos podem ser classificados a partir de análises e avaliação de dados físicos, mineralógicos, químicos e morfológicos do perfil que os representam. Além disso, existem fatores que podem influenciar na utilização desses mecanismos de especificações, bem como aspectos ambientais do local do perfil, a exemplo do clima, da vegetação, do relevo, das condições hídricas e do material originário (EMBRAPA, 2018).

Entre as classificações que se conhecem, os solos podem ser agrupados de acordo com a sua composição granulométrica, como demonstrado na Figura 13 (EMBRAPA, 2018).



Fonte: Embrapa (2018).

O principal objetivo da caracterização do solo, seja no campo, seja no laboratório, é o entendimento do objeto de estudo por meio de suas características morfológicas, físicas, químicas, biológicas e, ou, mineralógicas.

A constituição dos grãos ou partículas sólidas dos solos é de grande importância em suas propriedades e comportamento, mas, de acordo com Nogami e Villibor (1995), é um aspecto pouco considerado na maioria dos livros tradicionais de mecânica dos solos.

De acordo com Santos (2006), a aplicação das classificações tradicionais aos solos tropicais pode se tornar restrita por não corresponder ao real desempenho nas obras. Esse autor cita que há uma série de deficiências ao utilizar a classificação unificada (limites de consistência) para caracterizar a plasticidade dos solos tropicais. Para Nogami e Villibor (1995), entre as deficiências estão:

- Os valores dos índices nos solos lateríticos variam com a destruição dos torrões ou agregados, não tendo fixado se o mais apropriado seria a destruição total ou parcial dos agregados. Assim, um solo laterítico, como o Latossolo Roxo, pode variar significativamente os valores das suas propriedades conforme o grau de destruição dos agregados, comprometendo a classificação desse solo, já que depende dos valores do Limite de Liquidez (LL) e do Limite de Plasticidade (LP).

- O gráfico de plasticidade não distingue os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico, portanto os mesmos valores de LL e IP podem agrupar solos de comportamentos completamente distintos.

Na arquitetura de terra é comum a utilização dos ensaios de granulometria e limites de consistência como propriedades quanto à caracterização e escolha do solo. Entretanto, Nogami e Villibor (1995) citam, em estudos com as mesmas amostras enviadas para os mais conceituados laboratórios do Brasil para realização dos limites de consistência, resultados dos limites de liquidez variando de 62% a 97% e índice de plasticidade de 24% a 55%. Tais condições tornam inviáveis limites rigorosos para esses índices, uma vez que sua determinação sofre considerável influência do operador.

A aplicação da mecânica dos solos tem se intensificado no Brasil ao longo dos anos, desde a década de 1990, principalmente na busca da solução de problemas que estão vinculados às construções rodoviárias, pelo fato de que foram encontradas várias discrepâncias entre as previsões efetuadas de acordo com os princípios desenvolvidos por essas especificidades e o real comportamento dos solos nessas obras. Tais desconformidades têm sido atribuídas, em geral, às peculiaridades dos solos e ao ambiente tropical onde estão inseridos. Para que essas divergências possam ser devidamente consideradas, é necessário que sejam caracterizadas apropriadamente (SANTOS, 2006).

Em decorrência de diversas incompatibilidades encontradas ao longo dos anos entre as análises que se deram através das classificações tradicionais em solos de países de clima tropical e o comportamento geotécnico apresentado por eles em campo, surgiu a necessidade de uma especificação desenvolvida exclusivamente para solos tropicais. Dessa maneira, Nogami e Villibor (1995) propõem alguns métodos para identificação de solos tropicais, destacando-se entre eles o ensaio de classificação MCT ("Miniaturas de corpos de prova compactados mediante o método das pastilhas") (NOGAMI; VILLIBOR, 1994b *apud* SANTOS, 2006; GODOY; BERNUCCI, 2002 *apud* SANTOS, 2006). Apesar dessas propostas e da frequente aplicação de tais ensaios em outras áreas, principalmente em pavimentações, pouco tem sido aplicado e pesquisado na arquitetura com terra.

De acordo com Pinto (2006), a primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas – que são compostas pela fração grossa, ou grosseira, do solo, caracterizadas pelo conjunto de areia e pedregulho – e a fração de finos do solo – compostos pelo conjunto de silte e argila. De acordo com Ribeiro et al. (2012), a textura do solo está relacionada à proporção relativa das diversas frações granulométricas que o compõem. Segundo esses autores,

a subdivisão das partículas do solo em diversas frações foi feita, procurando-se relacioná-las com o comportamento físico-químico que as partículas apresentam, especialmente, com relação aos seus efeitos de superfície livre (p. 61).

Os ensaios referentes à análise granulométrica realizados nos laboratórios de mecânica do solo são feitos de acordo com as prescrições apresentadas pela Norma NBR7181 (ABNT, 2016), que prescreve o método para análise granulométrica de solos pelo peneiramento ou pela combinação de sedimentação e peneiramento. A partir desses ensaios, busca-se quantificar os diversos tamanhos apresentados pelas partículas presentes em uma amostra de solo.

Apesar de o método descrito ser o mais utilizado nos Laboratórios de Mecânica do Solo, existem outros para análise granulométrica, como o proposto pela Embrapa (CLAESSEN, 1997), conhecido como método da pipeta, que é baseado na velocidade de queda das partículas que compõem o solo.

De acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997, p. 27),

fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que seca em estufa é pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. É obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.

É sabido que a argila no solo para produção de adobe é fundamental, uma vez que ela proporciona plasticidade e coesão, características essenciais para modelar o adobe em formas. Entretanto, de acordo com Vargas (1977), um solo pode adquirir comportamento argiloso mesmo não possuindo quantidade predominante de argila, já que esta pode ser suficientemente ativa para lhe emprestar plasticidade e coesão típicas daqueles solos com maior fração de argila.

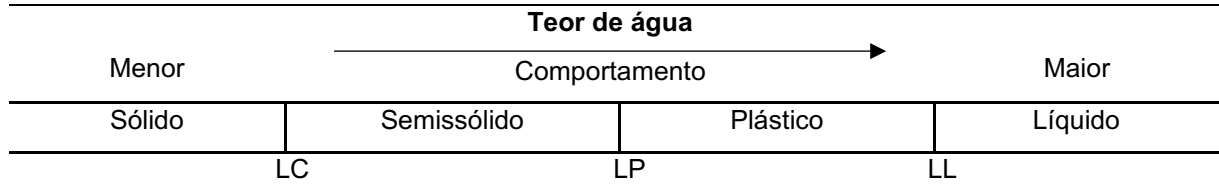
Há consenso na Engenharia Geotécnica de que o condicionamento de formação do solo (origem mineralógica), mais especificamente das argilas, é fundamental na

determinação de suas características, embora não seja possível uma previsão ou compreensão de suas propriedades somente pela análise granulométrica.

Portanto, fica claro que, para melhor entender a qualidade das argilas no solo e suas implicações, precisa haver a compilação de ensaios e não somente a granulometria e limites de sua consistência, conforme relatam alguns autores. O ensaio de azul de metileno pode ser um complemento fundamental na caracterização do solo para fabricação de adobe.

De acordo com Souza (2011), em solos com altas porcentagens de silte e argila, o teor de água é parâmetro fundamental para prever seu comportamento, uma vez que seus diferentes estados físicos têm diversas características. As mudanças de estado do solo pelo acréscimo de água ocorrem progressivamente, portanto o teor de água para medir essa transição da fase sólida para a fase líquida varia entre os diferentes tipos de solos (Figura 14).

Figura 14 – Comportamento dos solos com a variação do teor de água



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação aos limites de consistência, os solos são divididos em quatro tipos de comportamento, a saber (SOUZA, 2011):

- a) Limite de Liquidez (LL) – É o teor de água estabelecido empiricamente no limite em que o solo passa da condição de estado líquido para o estado plástico. De acordo com Teixeira *et al.* (2017), o LL pode ser obtido por dois métodos: o Método de Casagrande, usado por vários anos como base para a classificação e correlação de propriedades do solo ligadas à engenharia, apresenta efeitos dinâmicos e é mais suscetível a discrepâncias entre os operadores; e o Método do Cone de Penetração, que é essencialmente um teste estático de acordo com a força de cisalhamento do solo, apresentando, por isso, menor influência do operador.

- b) Limite de Plasticidade (LP) – Definido pelo teor de água que determina a fronteira entre o comportamento moldável e o friável. O LP é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade em que o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar com ele um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento (CAPUTO, 1981).
- c) Limite de Contração (LC) – É o teor de umidade a partir do qual o solo não mais se contrai, não obstante continue perdendo peso. Isso ocorre tendo em vista que o índice de vazios da amostra é o mesmo, quer quando ela ainda esteja saturada (no momento em que cessa a contração), quer esteja completamente seca (CAPUTO, 1981).
- d) Índice de Plasticidade (IP) – Constitui a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade.

Apesar da importância e ampla utilização dos limites de consistência como parâmetro de caracterização do solo, Souza (2011) ressalta em sua pesquisa diversas limitações dos ensaios para determinação desses limites. Entre essas limitações, esse autor cita a sensibilidade dos solos à baixa plasticidade, aos aspectos físicos do mecanismo de Casagrande e à técnica do operador.

Por esses motivos, a caracterização do solo somente pela granulometria e pelos limites de consistência pode ser ineficiente, sobretudo quando aplicados aos solos tropicais, que possuem peculiaridades quando comparados com solos formados em climas temperados.

Nogami e Villibor (1995, p. 5) citam em sua pesquisa que

desde que se introduziu, no Brasil, no fim da década de 30, o uso da mecânica dos solos na solução de problemas ligados à construção rodoviária, foram encontradas várias discrepâncias entre as previsões efetuadas com a aplicação dos princípios desenvolvidos por essa especialidade e o real comportamento dos solos nas obras. Essas discrepâncias têm sido atribuídas, em grande parte, às peculiaridades dos solos e do ambiente tropical.

De acordo com Faria (2002), os principais ensaios laboratoriais para análise do solo visando à fabricação de adobe são: (a) ensaios de determinação do teor de umidade natural do solo e da sua massa específica aparente em estado solto; (b) determinação da concentração de nutrientes e metais no solo; (c) definição da distribuição granulométrica; (d) identificação do limite de liquidez e limite de plasticidade ou

ensaios de consistência; (e) determinação do limite de contração; e (f) ensaio de adsorção do azul de metileno.

É exatamente sobre o ensaio de adsorção do azul de metileno que se aborda a seguir, pois, ao que tudo indica, para compreender o comportamento dos solos tropicais são necessárias mais informações do que somente a determinação da distribuição granulométrica e o ensaio de consistência podem oferecer. Nesse sentido, ganha destaque o ensaio de adsorção do azul de metileno, conforme analisado subsequentemente.

## **2.5. Ensaio de Adsorção do Azul de Metileno**

Os primeiros trabalhos tratando dos sistemas argila–corantes foram publicados a partir da primeira metade do século XX, verificando-se grande afinidade entre os corantes e as argilas. Esses corantes catiônicos funcionam como sonda nas superfícies das argilas, permitindo a avaliação do ambiente onde se encontram (GIESEKING; JENNY, 1936).

O corante no ensaio de adsorção de Azul de Metileno (AM) trata-se de um corante catiônico que, em solução aquosa, se dissocia em ânions cloreto e cátions “azul de metileno” que, quando adsorvidos pelo solo, formam uma camada monomolecular quase completa sobre a superfície dos argilominerais. Essa adsorção permite, uma vez conhecidas as dimensões da sua molécula, determinar a Superfície Específica (SE) dos argilominerais que compõem um solo e, conseqüentemente, a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do material ensaiado (HANG; BRINDLEY, 1970). O conhecimento da superfície específica das argilas é importante para a caracterização do seu poder de coesão, plasticidade e retração.

O corante de AM tem sido usado para determinação da SE de diversos materiais há décadas, sendo, em estado aquoso, um corante catiônico,  $C_{16}H_{18}N_3S^+$ , que pode ser adsorvido por argilominerais com superfície carregada negativamente (YUKSELEN; KAYA, 2008).

As argilas possuem diversas características, sendo uma delas a capacidade de adsorção de moléculas de água na superfície das camadas; quando contêm água suficiente, provocam expansão e dispersão dessas moléculas. Entretanto, essa dispersão não é total, já que na suspensão ainda permanecem algumas partículas associadas face a face, chamadas de tactoides. A dimensão desses tactoides está

diretamente relacionada com a quantidade de cargas negativas que a argila possui, entre outros fatores (SARTORI *et al.*, 2011).

Segundo Sartori *et al.* (2011), os corantes catiônicos, como o AM, constituem boas sondas para avaliações de sistemas chamados de micro-heterogêneos, como são as argilas em suspensões aquosas. No momento em que o azul de metileno é adicionado na mistura de argila+água ocorre, primeiramente, uma adsorção preferencial nas superfícies externas dos tactoides em suspensão. Devido à proximidade das moléculas nesse sítio, acontece rapidamente um equilíbrio de agregação no referido ambiente e, com o tempo, as moléculas se reordenam nas superfícies externas, levando à formação de monômeros no corante que migram para os espaços internos (SARTORI *et al.*, 2011).

No ensaio de AM é possível quantificar a capacidade de troca catiônica pela medição da quantidade de AM necessária para cobrir a superfície total das partículas de argilas contidas no solo. Esse ensaio é baseado em uma reação química provocada pelo excesso de cargas negativas nas partículas das argilas e, ou, na troca catiônica entre a argila e o corante de AM em meio aquoso (CHIAPPONE *et al.*, 2004).

Fabbri (1994, p. 46) cita em sua pesquisa que a superfície específica

é capaz de refletir a atividade dos argilominerais contidos na fração fina dos solos e que, a partir dessa atividade, pode-se, tanto inferir os tipos de argilominerais presentes, como prever, de maneira grosseira, sua influência no comportamento desses solos.

Segundo Fabbri (1994), quanto maior a superfície específica, maior a atividade dos argilominerais presentes no solo. Conforme esse autor, tal relação foi pesquisada por Lan (1977, 1980, 1981 *apud* FABBRI, 1994), utilizando a adsorção de corante pelos solos, ou seja, a fixação de moléculas de corante de AM na superfície deles.

Kämpf e Curi (2012) explicam que a reatividade da superfície dos argilominerais condicionada pela estrutura dos minerais, mediante sítios ativos na superfície das partículas que interagem com outras substâncias ou com componentes dos solos, controla a maioria dos processos químicos e físicos que ocorrem nos solos.

Existem duas normas internacionais sobre o ensaio de adsorção de azul de metileno, uma da Associação Francesa de Normalização (AFNOR, 1993) e outra da American Society for Testing and Materials International (ASTM, 2014), ambas utilizando o método da mancha, explicado no subitem 2.5.1.



Chiappone *et al.* (2004) pesquisaram a aplicação e diferença de resultados dessas duas normas. Em relação ao método do ensaio, a principal diferença entre elas está na quantidade de material a ser analisado, na concentração da solução de azul de metileno e no fato de que, no ensaio descrito pela ASTM International, o procedimento é realizado com o controle do pH do meio ácido. Os estudos indicaram que o valor de azul de metileno obtido pela AFNOR foi maior do que o obtido pela ASTM. Após a análise desses resultados, os autores concluíram que o método da ASTM é mais adequado para amostras heterogêneas de tamanhos de partículas de solo ou amostras completas, já o método proposto pela AFNOR é mais adequado para amostras mais homogêneas com maior quantidade de fração fina.

Lan (1981 *apud* FABBRI, 1994, p. 31) conclui que

a utilização do ensaio de mancha de azul de metileno, como critério para identificação e classificação de solos, traz simplicidade e assegura mais rigor ao processo, pois não se trata de um ensaio empírico, tendo um significado bastante preciso.

Esse autor acrescenta ainda que a interpretação dos resultados seria facilitada pelas correlações deles com os dos ensaios tradicionais.

Fabbri (1994) pesquisou a utilização do ensaio de AM como ferramenta de um processo simples, econômico e rápido para caracterizar solos para fins de aplicação em obras viárias que levasse em consideração as peculiaridades dos solos tropicais. Foram estudadas 297 amostras e realizados os ensaios do AM pelo método da mancha, além de ensaios tradicionais de caracterização do solo, como a classificação MCT e a determinação da distribuição granulométrica e da massa específica dos sólidos no solo, além de alguns ensaios complementares, como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e difração de raios X, utilizados para esclarecer dúvidas quanto aos resultados incongruentes ou duvidosos. Os resultados dos ensaios de AM, expressos em Valores de Azul ( $V_a$ ) e Coeficientes de Atividade (CA), foram confrontados com os obtidos da classificação MCT para análise da relação entre o comportamento do solo previsto pela classificação MCT e a atividade dos argilominerais.

O  $V_a$  é a quantidade de corante de AM expressa em mililitro de solução-padrão, ou em  $10^{-3}$  g de azul de metileno, consumida por 1,0 g de amostra integral de solo. Por meio do volume de solução-padrão de azul de metileno adicionado à suspensão ( $V$ ),

do teor de umidade da fração do solo ensaiada ( $w$ ) e da porcentagem que o solo possui na #200 ( $P_{200}$ ), calcula-se o  $V_a$  para a amostra integral, conforme a fórmula a seguir (FABBRI, 1994):

$$V_a = V \times \frac{P_{200}}{100} \times \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

O coeficiente de atividade é definido como a razão entre o volume de AM consumido por 1 g de solo seco ( $V_a$ ) e a porcentagem que o solo contém dessa fração ( $P_F$ ), ou seja (FABBRI, 1994):

$$CA = \frac{V_a}{P_F}$$

De acordo com esse autor, o CA é determinado para a fração considerada mais ativa do solo, correspondendo à fração argila (fração menos que 0,005 ou 0,002 mm). Conforme os dados apresentados na Tabela 1, podem-se definir três graus de atividade para os grupos de argilominerais, segundo seus coeficientes de atividade, ou seja: muito ativos ( $CA > 80$ ), ativos ( $11 < CA < 80$ ) e pouco ativos ( $CA < 11$ ).

Tabela 1 – Valores de Azul ( $V_a$ ) e Coeficientes de Atividade (CA), em função da superfície específica medida pelo azul de metileno. Valores retirados Lan (1980 *apud* FABBRI, 1994)

Grupo de argilominerais	Superfície específica (m <sup>2</sup> /g)	CA (10-3 g/g%)	Va <sup>1</sup> (10-3 g/g)	Grau de atividade
<b>Esmectita</b>	860	350	350	Muito ativo
<b>Vermiculitas<sup>2</sup></b>	200	82	82	
<b>Ilitas</b>	74	30	30	Ativo
<b>Caulinitas</b>	48	20	20	Pouco ativo
<b>Laterizados<sup>3</sup></b>	27	11	11	

1- Valores de azul para 1 grama de fração argila. 2- Superfície específica segundo LCPC (1979 *apud* FABBRI, 1994). 3- Superfície específica para CA = 11.

Fonte: Fabbri (1994).

Em sua pesquisa, Fabbri (1994) concluiu que o ensaio de AM pode ser considerado promissor para fins de caracterização e classificação de solos. O autor justifica essa afirmação por meio de três asserções: a adsorção de azul de metileno pelos principais argilominerais se dá na seguinte ordem: caulinita, ilita, vermiculita e montmorilonita; solos com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio adsorvem menor quantidade de corante; solos lateríticos e solos com comportamentos lateríticos, segundo a

classificação MCT, têm como principal argilomineral constituinte a caulinita revestida por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Fabri concluiu também que o ensaio de

adsorção de azul de metileno, pelo método da mancha produz resultados tão bons, ou até melhores, que os obtidos da classificação MCT, quanto à capacidade de identificar o tipo de argilomineral presente na fração fina dos solos (FRABBRI, 1994, p. 81).

Kahr e Madsen (1995) determinaram a capacidade de troca catiônica e superfície específica de bentonita, illita e caulinita pela adsorção de azul de metileno. Concluíram que é necessário trabalhar com pH constante e uma quantidade de AM inicial, a fim de obter resultados reprodutíveis, mas que com essas suposições o ensaio pode ser utilizado para o controle da qualidade de argila.

Santos (2006) realizou uma pesquisa comparativa de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais, entre eles o sistema de classificação MCT, o método expedito das pastilhas, a microscopia eletrônica de varredura, a difração de raios X e o ensaio de adsorção de azul de metileno de 29 solos do estado de São Paulo. Entre os resultados dos ensaios de adsorção de AM e a previsão do comportamento do solo (laterítico e não laterítico) determinado pela classificação MCT, foi observada uma boa concordância (92,1%).

Yukselen e Kaya (2008) realizaram uma pesquisa utilizando o AM por dois métodos, ambos seguindo as normas da ASTM International, em que no primeiro foram usadas medidas espectrofotométricas de AM. O primeiro método empregado no ensaio foi o da mancha e o segundo, o método de adsorção por nitrogênio (N<sub>2</sub>), em que a área foi determinada usando o dispositivo Quantachrome Monosorb®. Foram coletados diversos solos na Turquia, determinando-se, assim, a SE e CTC de cada método de ensaio. Os resultados indicaram que os métodos de adsorção por AM e por N<sub>2</sub> demonstraram significativa diferença de resultados em SE, mas entre os dois métodos do AM os resultados apresentaram pouca diferença, sendo o método da mancha mais fácil e rápido de executar, apesar de possuir precisão menor.

Bonini (2005) pesquisou os diferentes métodos de ensaio e AM. Essa autora aponta a dificuldade de observação do ponto de viragem utilizando o método da mancha, ou seja, quando há excesso de corante não adsorvido pelo solo. Essa pesquisa propôs uma técnica alternativa para determinação do volume de AM adsorvido por um solo. Esse método consiste na adição, em excesso, de azul de metileno à amostra e na titulação de oxidorredução volumétrica (redox), utilizando o permanganato de potássio

como agente oxidante do AM, que não é adsorvido pelo solo. Para avaliação do método, foram ensaiadas 85 amostras de solos e, a partir dos resultados, estabelecidos seus graus de atividades, que foram correlacionados com a previsão do comportamento dos solos dada pela MCT. Benini concluiu que o ensaio proposto é simples e de fácil identificação do ponto de viragem, além de apresentar boa concordância com os resultados fornecidos pela classificação MCT (89,7%).

Batista (2006) analisou as interações entre o corante catiônico AM com partículas de argilas em suspensão aquosa, visando detectar processos de migração de moléculas de corante entre partículas de argila por meio de medidas espectrofotométricas. Os resultados apontaram que as amostras e a referência apresentam comportamento espectral distinto, o que pode ser atribuído à migração de moléculas de corante entre partículas de argila.

Sartori *et al.* (2011) realizaram uma pesquisa sobre as influências dos tamanhos das partículas de argilominerais nos mecanismos de adsorção de moléculas de corante em meio aquoso, por meio do estudo das bandas de absorção eletrônica do AM em argilas com diferentes quantidades de carga lamelar. As argilas utilizadas na pesquisa foram obtidas da Source Clays, da Universidade do Missouri, EUA, sendo a hectorita originária da Laporte Industries, do Reino Unido. Esses autores concluíram que o uso de AM como sonda para investigação de sítios de adsorção é possível devido ao seu comportamento espectral característico e que o tamanho das partículas das argilas estudadas é importante na forma como o AM pode ser adsorvido e na função da quantidade de carga das argilas.

Abayazeed e El-Hinnawi (2011) caracterizaram argila esmectita egípcia por adsorção de AM, utilizando o método da mancha. Como resultado, eles concluíram que o ensaio de AM pode ser empregado como método rápido e confiável para caracterização de solo com esmectita.

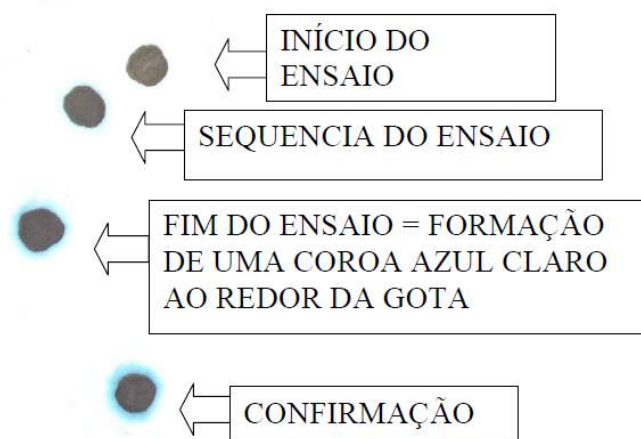
### **2.5.1. Ensaio de azul de metileno pelo método da mancha**

O ensaio pelo método da mancha (FABBRI, 1994) consiste, basicamente, da titulação com o uso de uma bureta graduada de 1,0 g de uma suspensão de água destilada mais solo (passado na peneira de 0,074 mm) com a solução-padrão de azul de metileno (concentração de 1,00 g de azul de metileno anidro por litro de solução), em meio intensamente agitado. Após a adição de certa quantidade de corante, retira-se

uma amostra da mistura, que é pingada em papel-filtro circular, com diâmetro entre 120 e 150 mm, para microcristais. Se a mancha formada pela difusão da gota no papel apresentar aura azulada ou esverdeada, significa que há excesso de corante e que, portanto, foi alcançado o ponto de viragem da titulação; caso contrário, adiciona-se mais corante à mistura e repete-se o teste da mancha até atingir o ponto em que se observa o excesso, ou seja, a aura na mancha, chamada de ponto de viragem (Figura 15).

A dificuldade desse método, segundo Bonini (2005), encontra-se na percepção e identificação visual do ponto de viragem, ou seja, quando a solução de AM já excedeu o adsorvido pelo solo e, conseqüentemente, forma uma mancha circular com núcleo mais escuro e bordas com cor mais clara. De acordo com essa autora, existem solos em que a percepção do ponto de viragem não é tão clara e a sua não identificação pode alterar o resultado final do ensaio, pois o operador pode adicionar quantidades superiores à necessária.

Figura 15 – Sequência das gotas da solução em papel-filtro com identificação do ponto de viragem



Fonte: ARTERIS (2015).

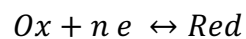
### 2.5.2. Método por oxirredução

Devido às dificuldades de aplicação do método da mancha apresentadas por alguns solos, Bonini (2005) pesquisou um método alternativo capaz de tornar o ensaio mais preciso e menos subjetivo para o ensaio de adsorção de AM para caracterização da fração fina dos solos, chamado de método por oxirredução.

Diferente do método da mancha, em que é adicionada a solução de AM aos poucos até a identificação do ponto de viragem, no método por oxirredução é adicionado o AM em excesso, depois a solução é filtrada e feita a titulação com solução oxidante. Bonina (2005) pesquisou três procedimentos de filtragem para identificação do melhor método.

O procedimento detalhado deste ensaio é descrito no subitem 3.4 do próximo capítulo. Por meio do conhecimento da quantidade de AM adicionada no início do ensaio e a quantidade consumida de oxidante até o ponto de viragem, determina-se a quantidade de azul de metileno adsorvida pelo solo.

As reações de oxirredução envolvem transferência de elétrons de uma espécie para outra e podem ser expressas pela reação genérica a seguir:



em que:

Ox = agente oxidante;

n e = número de elétrons; e

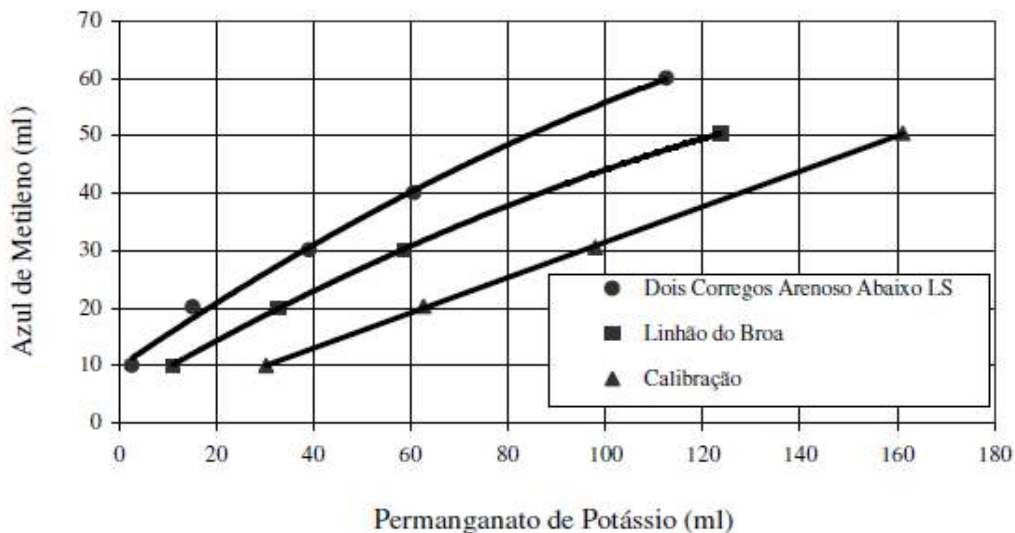
Red = agente redutor.

No ensaio proposto por Bonini (2005), a reação de oxirredução tem o íon de azul de metileno como agente redutor e o permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) como agente oxidante.

A ação oxidante do permanganato depende da acidez do meio racional, razão por que se deve adicionar ácido fosfórico à solução sobrenadante, transformando a solução do condicionante em um meio fortemente ácido. A escolha do ácido fosfórico se deve à melhor definição da cor do permanganato, especialmente em titulações envolvendo íons  $\text{Fe}^{2+}$  (BONINI, 2005).

O primeiro passo do ensaio é a realização de uma curva de calibração do permanganato de potássio *versus* o azul de metileno sem a adição da porção de solo, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Calibração do azul de metileno *versus* permanganato de potássio e exemplos de titulação do excesso de azul de metileno pelo permanganato de potássio para dois solos

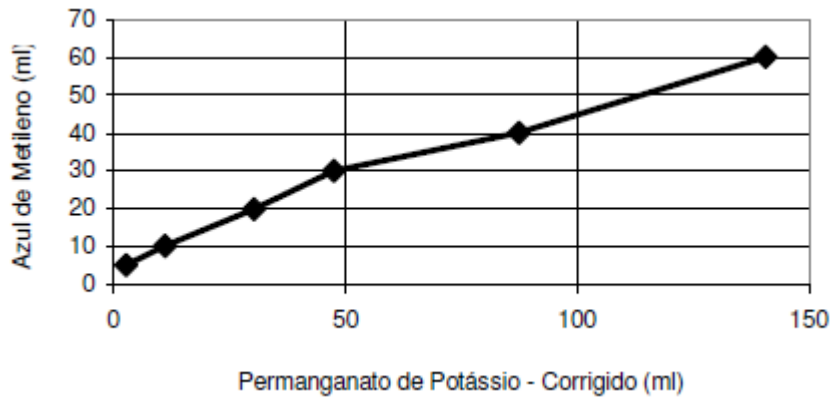


Fonte: Bonini (2005).

Bonini (2005) cita que quando a quantidade de solução de AM é muito grande a relação entre a quantidade de permanganato de potássio consumido e o valor de azul de metileno não adsorvido pelo solo deixa de ser linear, ocorrendo o consumo de permanganato superior ao esperado. De acordo com essa autora, existe a hipótese também de consumo de permanganato de potássio por pequenas quantidades de solo que passa pelo filtro, mas esse consumo é pequeno e considerado desprezível.

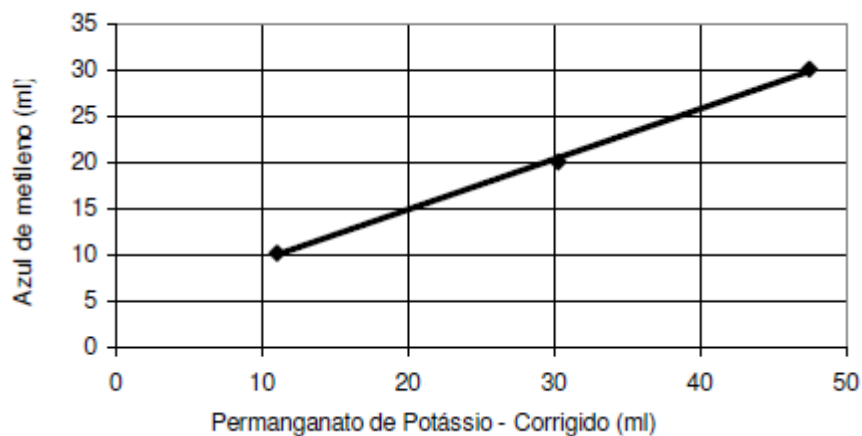
Como solução para manter certa linearidade, aquela autora sugere utilizar os pontos em que o consumo de permanganato de potássio fique entre 2 e 10 ml, conforme mostrado nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Curva de permanganato de potássio *versus* azul de metileno – Trecho não linear na presença de grandes quantidades de excesso de azul de metileno



Fonte: Bonini (2005).

Figura 18 – Curva de permanganato de potássio *versus* azul de metileno – Trecho com comportamento linear



Fonte: Bonini (2005).

### 2.5.3. Método colorimétrico

O ensaio de azul de metileno pelo método colorimétrico fundamenta-se no princípio de que a intensidade de coloração de uma solução de azul de metileno é proporcional à sua concentração. Dessa forma, após o contato do azul de metileno com o solo em solução aquosa e filtrada, é possível determinar a quantidade de corante adsorvida pelo material ensaiado por meio da comparação da densidade óptica do material com uma curva de calibração.

Hang e Brindley (1970), utilizando o método de colorimétrico para análise de duas caulinitas, sendo uma illita e outra montmorilonita, concluíram que o ensaio é um



método simples e de fácil aplicabilidade e pode ser usado para obter a medida da superfície específica e a capacidade de adsorção dos argilominerais.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Escolha dos Solos**

Na impossibilidade da utilização de solos de todas as regiões do estado de Minas Gerais, optou-se por uso de amostras de solos de regiões significativas com relação à existência de arquitetura vernácula de terra e, ou, de edificações históricas significativas de adobe.

Foi coletado um total de 12 tipos de solos em Minas Gerais, sendo quatro do distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho), dois da Lapinha da Serra, um da Serra do Cipó, um de Lavras Novas, dois de Mariana, um de Sabará e um de Lagoa Santa.

Como critério de seleção do solo, além da escolha de locais com cultura e tradição com construção de adobe, procurou-se escolher aquelas localidades com classificações diferentes de solos, utilizando como base o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos<sup>5</sup> (SiBCS).

Conforme se pode observar na Figura 19, os locais escolhidos encontram-se em regiões com diferentes classificações pedológicas de solos. A classificação e a breve descrição das características dos solos são apresentadas no Quadro 9.

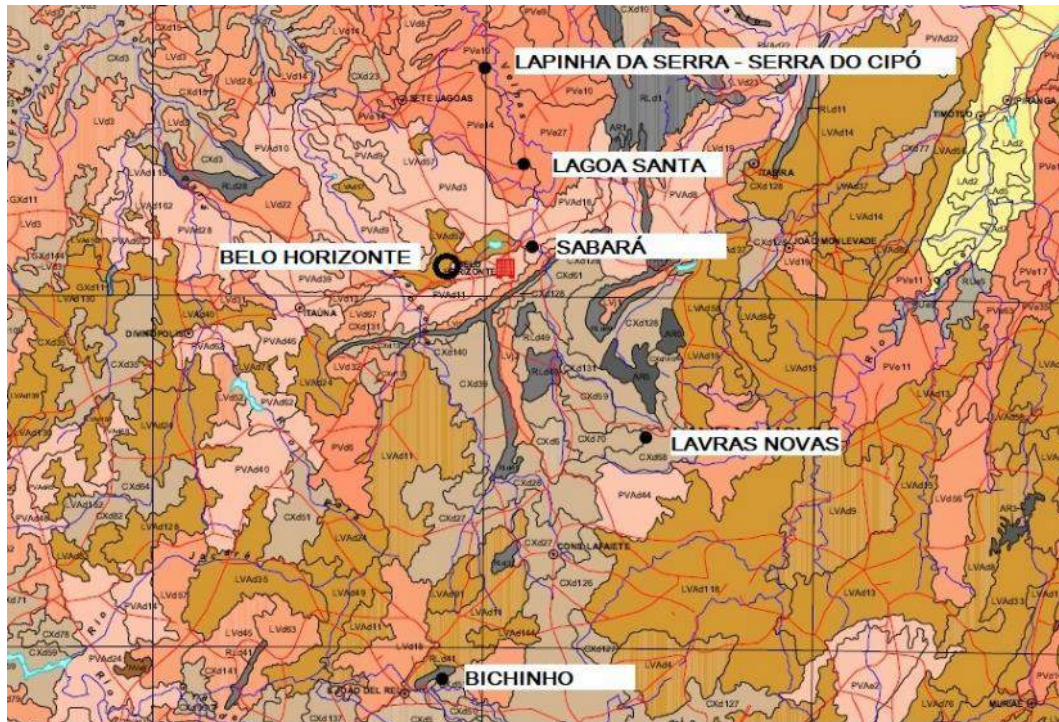
Uma vez selecionadas as localidades para as coletas dos solos para análise de caracterização e fabricação dos adobes, foram coletados os solos seguindo a metodologia proposta pela Associação Brasileira de Cimento Portland (*apud* FARIA, 2002). Os locais escolhidos para a coleta foram definidos de acordo com a diversidade de solos encontrados nas localidades.

A seguir é descrita, detalhadamente, cada uma das etapas da pesquisa, para as quais se buscou sempre utilizar as normas nacionais ou, no caso da inexistência destas, internacionais e referenciais teóricos sobre o tema.

Figura 19 – Mapa de solos da região adotada

---

<sup>5</sup> SiBCS é uma obra desenvolvida pela Embrapa Solos, unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), como resultado da experiência coletiva em solos brasileiros envolvendo colaboradores de diversas instituições nacionais de pesquisa e ensino, com o objetivo de discutir a respeito das áreas de gênese, morfologia e classificação de solos (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/Humberto Gonçalves dos Santos ... [*et al.*], 2018).



**LEGENDA**  
Primeiro elemento da associação

Água	Corpos d'água
AR	Afloramento rochoso
AU	Área urbanizada
CXbd	Cambissolo háplico Tb distrófico
CXbdf	Cambissolo háplico Tb distroférico
CXbe	Cambissolo háplico Tb eutrófico
CHd	Cambissolo húmico distrófico
CYbe	Cambissolo flúvico Tb eutrófico
FTd	Plintossolo argilúvico distrófico
GMd	Gleissolo melânico Tb distrófico
GXbd	Gleissolo háplico Tb distrófico

**LEGENDA**  
Primeiro elemento da associação

LAd	Latossolo amarelo distrófico
LVAAd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico
LVd	Latossolo vermelho distrófico
LVdf	Latossolo vermelho distroférico
LVe	Latossolo vermelho eutrófico
LVef	Latossolo vermelho eutroférico
NVe	Nitossolo vermelho eutrófico
NVef	Nitossolo vermelho eutroférico
NXd	Nitossolo háplico distrófico
PVAd	Argissolo vermelho-amarelo distrófico
PVAe	Argissolo vermelho-amarelo eutrófico

**LEGENDA**  
Primeiro elemento da associação

PVd	Argissolo vermelho distrófico
PVe	Argissolo vermelho eutrófico
RLd	Neossolo litólico distrófico
RLdh	Neossolo litólico distro-úmbrico
RLe	Neossolo litólico eutrófico
RLh	Neossolo litólico húmico
RQg	Neossolo quartzarênico hidromórfico
RQo	Neossolo quartzarênico órtico
RUbd	Neossolo flúvico Tb distrófico
SXe	Planossolo háplico eutrófico
TCo	Luvissolo crômico órtico

Fonte: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/1061> (Acesso em: 25 jun. 2019).

Quadro 9 – Classificação dos solos dos locais escolhidos

Local da amostra	Classificação do solo de acordo com a SiBCS (2018)	Critério envolvido na conceituação e definição da classe (SiBCS, 2018)
<i>Bichinho</i>	Neossolo lítólico distrófico/Cambissolo háplico distrófico	Solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura de solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos horizontes dentro de 50 cm a partir da sua superfície.
<i>Lapinha da Serra – Serra do Curral – Lagoa Santa</i>	Argissolo Vermelho eutrófico	Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixas ou com caráter aluminico na maior parte do horizonte B. Solos com saturação por bases $\geq 50\%$ e teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (pelo $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de $180 \text{ g kg}^{-1}$ a $< 360 \text{ g kg}^{-1}$ de solo, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
<i>Lavras Novas</i>	Cambissolo háplico eutrófico	Cambissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte. Solos com argila da atividade alta e saturação por bases $\geq 50\%$ e teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (pelo $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de $180 \text{ g kg}^{-1}$ a $< 360 \text{ g kg}^{-1}$ de solo, todos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
<i>Sabará</i>	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	Grupamento de solos com argila de atividade baixa ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico. Solos com argila de atividade alta e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

Fonte: SiBCS (2018), modificado pela autora.

Uma vez selecionadas as localidades para as coletas dos solos para análise de caracterização e fabricação dos adobes, foram coletados os solos seguindo a metodologia proposta pela Associação Brasileira de Cimento Portland (*apud* FARIA, 2002). Os locais escolhidos para a coleta foram definidos de acordo com a diversidade de solos encontrados nas localidades.

A seguir é descrita, detalhadamente, cada uma das etapas da pesquisa, para as quais se buscou sempre utilizar as normas nacionais ou, no caso da inexistência destas, internacionais e referenciais teóricos sobre o tema.

### 3.2. Coleta de Amostras

Para a coleta dos solos, primeiramente foi necessário identificar quais solos locais são, hipoteticamente, apropriados para a produção de adobe e quais não o são, com o objetivo de obter material com diferentes resultados na pesquisa.

Para identificação do solo de boa referência foram realizadas consultas com os produtores locais ou coletados os solos que eram utilizados por eles para a produção do adobe; na ausência de produtores locais, realizou-se uma análise visual e de textura dos solos.

Após a escolha do local, o solo foi coletado, quando possível, em pelo menos quatro pontos específicos, para que não ocorresse o registro de alguma anomalia caso o solo ali coletado possuísse alguma característica especial, como a presença de raízes ou constituição diferente da apresentada naquele local específico.

Foram coletados, em média, 150 kg de solo por amostra e armazenados em pelo menos 10 sacos de ráfia (média de 15 kg por saco) devido ao peso e às limitações na coleta (Figura 20). O objetivo era produzir pelo menos 20 adobes e fornecer material para os ensaios de caracterização do solo.

Figura 20 – Coleta de solo em Bichinho



Fonte: Acervo da autora (2020).



Cada tipo de solo foi identificado por uma ou duas letras iniciais do local e numerados com a quantidade coletada na região, conforme mostrado no Quadro 10. Por exemplo, no distrito de Bichinho foram coletados quatro tipos de solo, identificados como B1 (Figura 21), B2 (Figura 22), B3 (Figura 23) e B4 (Figura 24); em Lapinha da Serra, o L1 (Figura 25) e o L2; e em Mariana, o M1 (Figura 26) e o M2.

Quadro 10 – Nomenclatura dos solos coletados

Local de coleta	Nomenclatura usada para identificação da amostra
<i>Bichinho (Vitoriano Veloso)</i>	B1
	B2
	B3
	B4
<i>Lapinha da Serra</i>	L1
	L1
<i>Mariana</i>	M1
	M2
<i>Sabará</i>	S1
	S2
<i>Serra do Cipó</i>	SC
<i>Lavras Novas</i>	LN

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 21 – Solo amostra B1



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 22 – Solo amostra B1

Figura 23 – Solo amostra B2



Fonte: Acervo da autora (2020).



Figura 24 – Solo amostra B3



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 25 – Solo amostra B4



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 26 – Amostra solo L1



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 27 – Amostra solo M1



Fonte: Acervo da autora (2020).

Apresenta-se, a seguir, a contextualização de cada local onde foram realizadas as coletas.

A cidade de Vitoriano Veloso, ou Bichinho como é popularmente chamada, está localizada entre as cidades históricas de Prados e Tiradentes, na região dos Campos das Vertentes. De acordo com Inventário de Proteção do Acervo Cultural de Vitoriano Veloso, o povoado surgiu no início do século XVIII, pertencendo à então Vila de São José Del Rei. Inicialmente, formou-se como um arraial em função das produtivas lavras auríferas do Gritador, cujo nome seria uma corruptela, da expressão Greta d'ouro (VALE, 2012).

Bichinho possui vasta presença de casas que utilizam o adobe como técnica de construção principal (Figura 28) e cresceu principalmente depois do fortalecimento do artesanato e do turismo, uma das principais fontes de renda do distrito. Existem três produtores locais de adobe, dois deles localizados no centro do distrito e um na zona rural (Figura 29).

Lapinha da Serra é um distrito da cidade de Santana do Riacho, faz parte do circuito da Estrada Real, abrangida pela área de proteção ambiental Morro da Pedreira, e se encontra na base do grande maciço do Breu, componente da Serra do Espinhaço meridional, na bacia do rio das Velhas. Existe grande número de casas construídas com adobe (Figura 29), sendo algumas antigas e outras edificadas há pouco tempo. Muitos moradores de Lapinha da Serra dominam as técnicas de produção e construção com adobe, e alguns as utilizam como fonte principal de renda (KLIMKIEVICZ; REZENDE, 2019).

Figura 28 – Construção com adobe aparente em Bichinho





Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 29 – Produtor de adobe em Bichinho



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 30 – Parede de adobe exposta em Lapinha da Serra



Fonte: Acervo da autora (2020).

A cidade de Mariana faz parte do conjunto de cidades históricas de Minas Gerais que, juntamente com Ouro Preto, Congonhas, São João del Rei, Tiradentes e Catas Altas da Noruega, Diamantina, Serro, entre outras, compõem um importante patrimônio arquitetônico colonial-barroco do país. Sua população é de aproximadamente 58 mil habitantes. Igrejas e construções marcam a história de uma cidade que nasceu por causa da busca pelo ouro. Sendo a primeira capital do Estado de Minas Gerais, Mariana foi considerada Monumento Nacional por Getúlio Vargas. Devido à grande quantidade de minas de ouro na região, tornou-se Vila do Estado de Minas do Ouro. Mas somente em 1711 foi elevada à cidade e nomeada Mariana, por ordem do rei português D. João V, em homenagem à sua esposa, a rainha Maria Ana D'Áustria (CAMARGO, 2018).

Em 2015, com o rompimento da barragem da SAMARCO, muitos desses patrimônios foram danificados, como a Igreja de São Bento, padroeiro do lugarejo, que foi arrasada pela lama. Como já era costume construir casas com adobe, com essa tragédia o Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA) começou a estudar a possibilidade de transformar os rejeitos em adobe para

fabricação de tijolos sustentáveis como forma de amenizar os impactos causados na região, provando cada vez mais a eficácia de seu uso (SOUZA, 2019).

Sabará é um município de Minas Gerais situado na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Sua origem é vinculada ao Ciclo do Ouro, período no qual alguns povoados se formaram ao longo do rio das Velhas e construíram moradias em suas margens. Em 1711, Sabará recebeu a categoria de município – é fato que no período era um dos maiores contribuintes para envio de ouro para a Coroa Portuguesa. Sua população atual é de 137.125 mil habitantes (IBGE, 2020).

Seu patrimônio cultural envolve construções que trazem identidade ao município – em especial as igrejas, contempladas com detalhes riquíssimos em ouro e com técnicas construtivas como o adobe. A Igreja Nossa Sra. do Ó é um exemplo desse tipo de construção, sua alvenaria é composta de madeira e tijolos de adobe. Há também entre as ruas da República e Comendador Viana – até a Praça Santa Rita e a Rua Cassiano – edificações que constituem o conjunto. Ademais, destacam-se os sobrados também de alvenaria de adobe e cunhais de madeira (CARVALHO, 2003).

Lavras Novas é um dos 12 distritos de Ouro Preto localizado no quadrilátero ferrífero, no centro-sul da Serra do Espinhaço. Tornou-se distrito somente em 2009. Lavras Novas é marcada pelas expedições dos bandeirantes em busca de ouro no século XVIII. Seu afastamento geográfico e o esgotamento das jazidas locais contribuíram com grande parte de suas características urbanas originais até meados do século XX. A partir de então, esse distrito sofreu uma reconfiguração territorial e começou a ter visibilidade devido às suas paisagens naturais e aspectos culturais preservados (MOSS, 2014).

O uso da terra para construção foi empregado tradicionalmente nas técnicas de taipa e tijolos de adobe, por serem técnicas econômicas e já empreendidas há décadas. A arquitetura vernacular de Lavras Novas é bem peculiar, o que permite a promoção do turismo, uma das principais atividades econômicas da região (MOSS, 2014).

### **3.3. Ensaios de Caracterização do Solo**

Os ensaios de granulometria, massa específica, Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) foram realizados no Departamento de Engenharia Civil e os ensaios de difração de raios X, no Departamento de Solos, ambos da Universidade Federal

de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. Todos esses ensaios foram devidamente alinhados às normas técnicas brasileiras, conforme descrito nos subitens subsequentes.

### **3.3.1. Análise granulométrica e massa específica dos grãos**

#### **3.3.1.1. Preparação das amostras de solo**

As amostras foram preparadas de acordo com a NBR 6457 /2016 – Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Esta norma prescreve o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na peneira de 4,8 mm) (NBR 6457/2016).

#### **3.3.1.2. Análise granulométrica**

Os ensaios referentes à análise granulométrica foram executados de acordo com as prescrições apresentadas pela Norma NBR 7181/2016 – Solo: análise granulométrica. “Esta norma prescreve o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento” (NBR 7181/2016). A partir desses ensaios, buscou-se quantificar os diversos tamanhos apresentados pelas partículas presentes em uma amostra de solo.

#### **3.3.1.3. Massa específica**

Os ensaios referentes à determinação da massa específica dos grãos foram realizados segundo a Norma NBR 6458 /2016 – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura de 4,8 mm: determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

Esta Norma especifica o método para determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm, por meio da realização de pelo menos dois ensaios (NBR 6458/2016).

### **3.3.2. Limites de consistência**

#### **3.3.2.1. Limite de Liquidez (LL)**

O limite de liquidez da amostra foi determinado de acordo com a Norma NBR 6459/2016 – Solo: determinação do limite de liquidez. Este ensaio consiste em adicionar água destilada, em pequenas quantidades, a uma amostra de solo,

amassando-o com o auxílio de uma espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, conforme a norma supracitada. Após a preparação da massa, recolocar, cuidadosamente, a concha no aparelho e golpeá-la contra a base, deixando-a cair em queda livre e girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Anotar o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente. Transferir uma pequena quantidade do material das bordas que se uniram para um recipiente adequado, para determinação da umidade (ABNT, 2016).

### **3.3.2.2. Limite de Plasticidade (LP)**

O limite de plasticidade da amostra foi determinado de acordo com a Norma NBR 7180/2016 – Solo: determinação do limite de plasticidade. O ensaio consiste em adicionar água destilada, em pequenas quantidades, a uma amostra de solo, amassando-o com uma espátula, de forma a obter uma pasta homogênea com consistência plástica, de acordo com essa norma. Tomar cerca de 10 g da amostra preparada e formar uma pequena bola, que deve ser rolada sobre uma placa de vidro com a palma da mão até atingir forma cilíndrica. Esse procedimento deve ser repetido até que o cilindro se fragmente em pedaços com as dimensões do gabarito (diâmetro de 3 mm e comprimento de 100 mm), após o que se devem transferir essas partes para um recipiente adequado, para determinação da umidade (ABNT, 2016).

### **3.3.3. Difração de raios X**

Os procedimentos utilizados são os adotados pela Embrapa Solos, descritos em Teixeira *et al.* (2017), utilizando equipamento de raios X. A amostra de argila, em estado pastoso ou em suspensão, foi colocada em uma lâmina de vidro de superfície plana, sob a forma de uma fina película e submetida à irradiação por raios X em uma faixa ampla de ângulos de incidência (intervalo de 2° a 45°, por exemplo). A intensidade de difração dos raios emitidos, determinada pelos diversos planos cristalinos dos minerais, é representada em um difratograma.

## **3.4. Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno**

Os ensaios de adsorção de azul de metileno foram realizados no Laboratório de Química do Centro Universitário Newton Paiva, de acordo com o método de

oxirredução (redox) e de análise colorimétrica, proposto pelo trabalho de Bonini (2005).

### 3.4.1. Ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método de oxirredução

Adotando a metodologia proposta por Bonini (2005), foi realizado o método de oxirredução para determinação da quantidade de azul de metileno adsorvido pelas amostras de solo.

Inicialmente, realizou-se o ensaio de titulação redox sem a adição da parcela de solo para confeccionar uma curva de calibração do azul de metileno *versus* permanganato de potássio. Para a elaboração da curva de calibração, a solução de água + solução de azul de metileno foi filtrada no filtro de papel, pois se verificou nele significativa retenção de azul de metileno. Na Figura 31 é ilustrada a quantidade de azul de metileno retida pelo filtro. A curva de calibração foi realizada para verificar o comportamento linear da reação de oxirredução.

Figura 31 – Demonstração da retenção de azul de metileno pelo filtro de papel

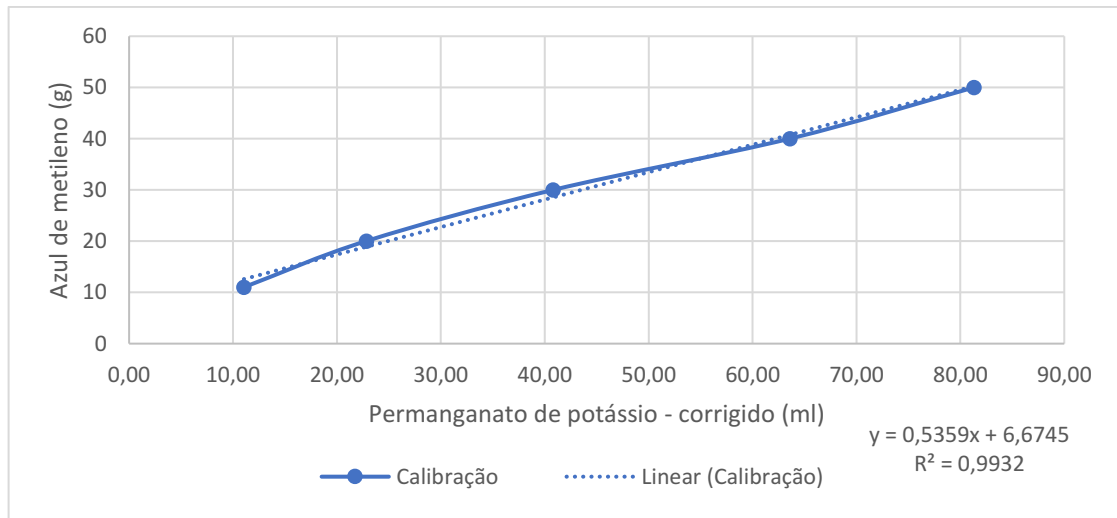


Fonte: Acervo da autora (2020).

Na Figura 32 é ilustrada a curva de calibração de permanganato de potássio *versus* azul de metileno, bem como o seu comportamento linear.



Figura 32 – Calibração de azul de metileno x permanganato de potássio



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### Aparelhagem e material

Para a realização do método de oxirredução utilizando o azul de metileno são necessários os seguintes materiais e aparelhos:

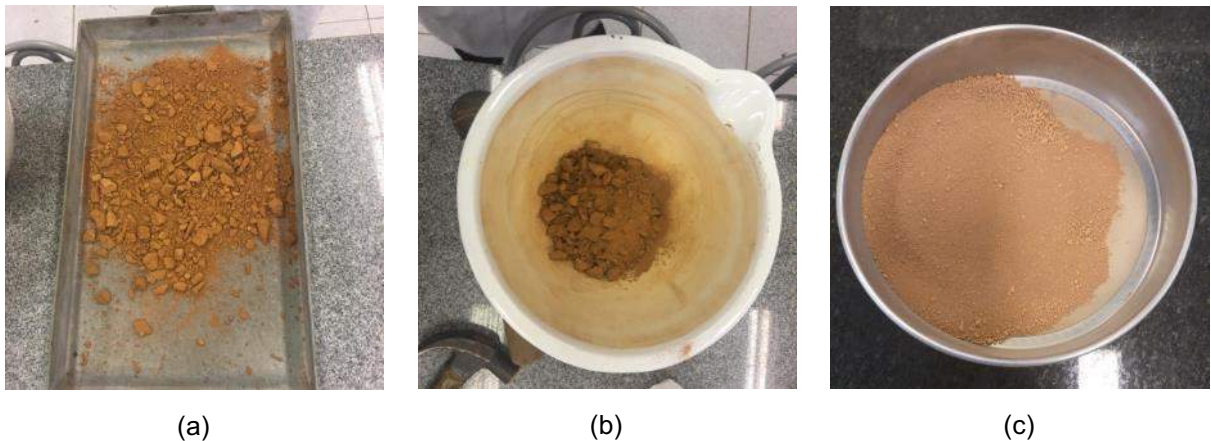
- Agitador magnético (marca Fisatom, modelo 752A).
- Água destilada.
- Azul de metileno P.A.
- Balança semianalítica (marca Shimadzu, modelo BL3200H).
- Balão volumétrico de 1,0 L.
- Barra de agitação magnética.
- Béquer de 150 mL.
- Bureta de vidro de 25 mL.
- Equipamento para destorroamento de solos.
- Espátula.
- Funil de vidro simples.
- Papel-filtro quantitativo – filtragem média – Unifil faixa branca.
- Peneira de malha de 0,074 mm (n° 200).
- Permanganato de potássio P.A.
- Proveta de vidro de 100 mL.

- Solução-padrão de ácido fosfórico P.A.
- Suporte para bureta.
- Suporte para funil de vidro.

### Preparação das Amostras

As amostras de solo utilizadas no ensaio foram secas ao ar livre, destorroadas e peneiradas a seco na peneira n° 200 (0,074 mm), conforme Figura 33. Após a realização do peneiramento, foi separada uma quantidade de amostra para determinar o teor de umidade (w) da fração passante na peneira. O método titulométrico de oxirredução para o ensaio da adsorção de azul de metileno foi executado com a fração de solo passante na peneira n° 200 e seca ao ar livre.

Figura 33 – Preparação do solo: (a) solo seco ao ar, (b) destorroamento do solo e (c) peneiramento da amostra na peneira n° 200



Fonte: Acervo da autora (2020).

### Execução do Ensaio

O ensaio de azul de metileno pelo método de titulação redox foi realizado conforme os seguintes passos:



- 1) Preparar a solução aquosa padrão de azul de metileno com a concentração de 1,0 g do sal por litro de solução. A solução deve ser utilizada, no máximo, até dois dias após o seu preparo.
- 2) Preparar a solução aquosa padrão de permanganato de potássio com concentração de 0,5 g do sal por litro de solução. A solução deve ser utilizada, no máximo, até sete dias após o seu preparo.
- 3) Pesar 1,0 g da fração de solo passante na peneira n° 200 e colocar em um béquer de 150 mL.
- 4) Adicionar aproximadamente 100 g de água destilada ao béquer e anotar a massa (g) adicionada.
- 5) Adicionar aproximadamente 20 g da solução-padrão de azul de metileno ao mesmo béquer e anotar a massa (g) adicionada.
- 6) Colocar o béquer contendo o solo + água + solução de azul de metileno no agitador e ligá-lo.
- 7) Deixar a suspensão em agitação durante 10 minutos.
- 8) Filtrar a suspensão no funil previamente montado com papel-filtro e recolher a solução filtrada (sobrenadante) em um béquer. Esperar filtrar pelo menos 50 mL do sobrenadante.
- 9) Colocar aproximadamente 50 mL de sobrenadante em um béquer de 150 mL e anotar a massa (g) do sobrenadante.
- 10) Elevar o volume para 100 mL adicionando água destilada e anotar a massa (g) de água acrescentada.
- 11) Adicionar 10 mL de solução de ácido fosfórico à solução de sobrenadante + água, para garantir que o pH do meio seja inferior ou igual a 1,0.
- 12) Colocar o béquer contendo sobrenadante + água + ácido no agitador.
- 13) Realizar a titulação com o permanganato de potássio. O ponto de viragem é atingido quando a solução adquire a coloração rosa-púrpura.
- 14) Ao atingir a cor rosa-púrpura, anotar o volume de permanganato de potássio consumido.

Nas Figura 33 e 34 é apresentado o ensaio realizado de azul de metileno, conforme os passos de 1 a 14 mencionados anteriormente.

Repete-se o procedimento total por pelo menos mais duas vezes, variando a quantidade de solução de azul de metileno de tal forma que a quantidade de permanganato de potássio consumida seja inferior a 10 ml. Para a escolha das alíquotas de solução de azul de metileno a serem adicionadas à suspensão de solo + água, sugere-se variar a quantidade de solução em 5,0 g. Com essa variação de solução de azul de metileno é possível manter o volume de permanganato de potássio consumido dentro dos limites indicados.

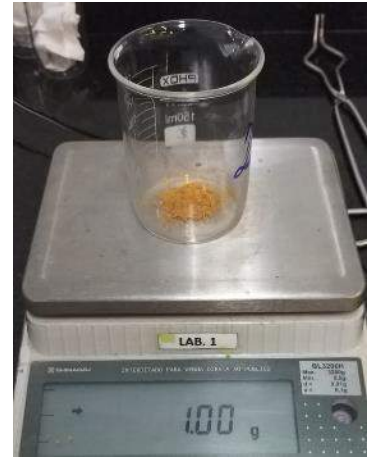
Figura 34 – Ensaio de adsorção de azul de metileno por oxirredução: (a) Solução-padrão de azul de metileno 1 g/L; (b) Preparo da solução-padrão de permanganato de potássio 0,5 g/L; (c) Amostra de solo passante na peneira n° 200; (d) Adição de aproximadamente 100 g de água; (e) Adição da solução de azul de metileno à mistura de solo + água; (f) Agitação da suspensão de solo + água + azul de metileno; (g) Filtragem da suspensão; (h) Sobrenadante diluído e adicionado de ácido fosfórico; e (i) Ponto de viragem da suspensão



(a)



(b)



(c)



(d)



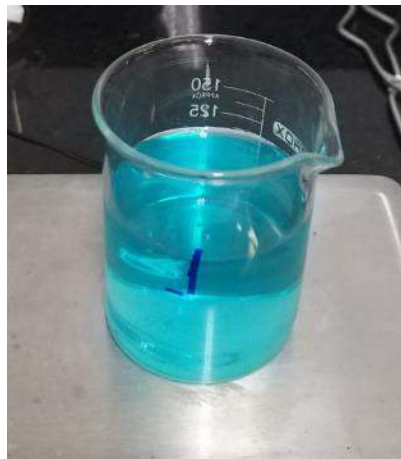
(e)



(f)



(g)



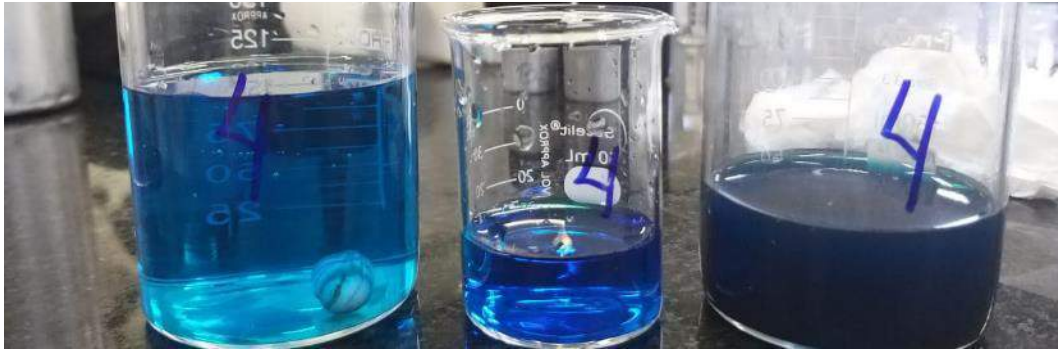
(h)



(i)

Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 35 – Amostra das soluções: (a) Suspensão filtrada e diluída, (b) Suspensão filtrada e (c) Suspensão contendo solo + água + azul de metileno



Fonte: Acervo da autora (2020).

### Cálculo dos Resultados

Para determinação do teor de adsorção de azul de metileno que um solo consome é necessária a construção de um gráfico de permanganato de potássio *versus* azul de metileno adicionado à suspensão. A interceptação dessa curva com o eixo das ordenadas, o qual representa o local do gráfico onde não há o consumo de permanganato, estabelece a quantidade de azul de metileno adsorvida pelo solo.

A construção desse gráfico foi realizada utilizando três ou quatro pontos, os quais representam a quantidade de azul de metileno adicionada ao solo + água *versus* a quantidade de permanganato consumida na titulação de oxirredução. O eixo das ordenadas representa as massas de azul de metileno adicionadas à solução. O eixo das abscissas refere-se ao volume de permanganato corrigido, ou seja, representa o volume de permanganato necessário para consumir o restante da quantidade de azul de metileno não adsorvida pelo solo. Para a realização do ensaio são retirados cerca de 50 mL de sobrenadante, utilizando apenas parte da quantidade restante de azul de metileno não adsorvido pelo solo para reagir com o permanganato de potássio. Para determinar o valor do permanganato corrigido é feito o seguinte cálculo:

$$V_{pc} = V_p \times \frac{(M_a + M_{am})}{M_{sob}}$$

em que:

$V_{pc}$  = volume de permanganato de potássio corrigido (ml);

$V_p$  = volume de permanganato consumido durante a titulação;

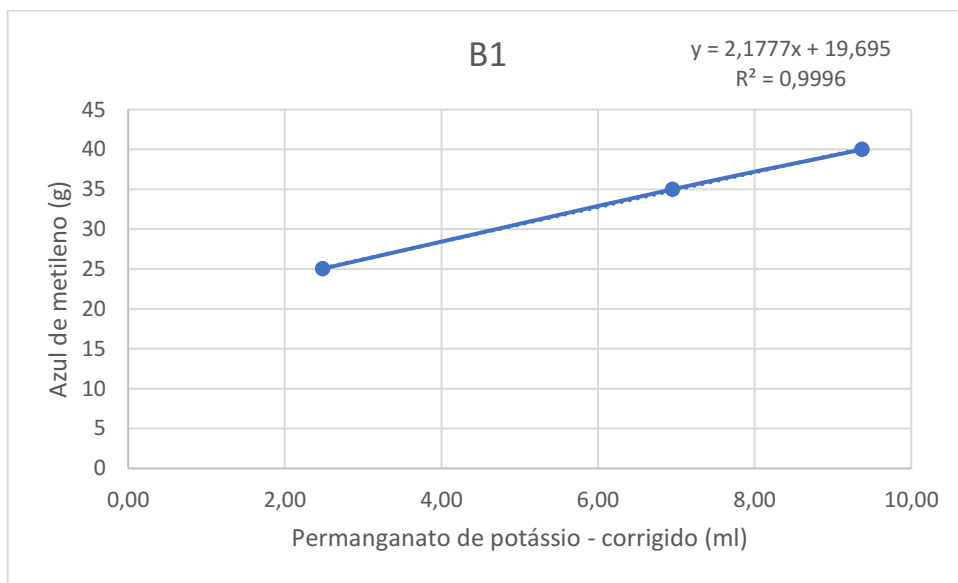
Ma = massa de água adicionada ao solo no início do ensaio (g);

Mam = massa de azul de metileno adicionada à solução de solo + água (g); e

Msob = massa de sobrenadante retirada após a filtração da suspensão (g).

A Figura 36 ilustra um modelo de gráfico com exemplo da curva de permanganato de potássio *versus* azul de metileno, em que o intercepto com o eixo das ordenadas, ou seja, o coeficiente linear da reta, determina a quantidade de sal adsorvida pelo solo.

Figura 36 – Exemplo de curva de permanganato *versus* azul de metileno



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

No cálculo do volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra do solo (Var) é levada em conta a fração passante na peneira de abertura de 0,074 mm. Também é considerada a fração que o solo apresenta nessa peneira, bem como o teor de umidade que ele mostra no momento do ensaio. Esse cálculo é feito conforme a equação

$$Var = b \times \frac{\%0,074}{100} \times \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

em que:

Var = volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral (ml);

b = volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio, obtido pela interseção da curva com o eixo das ordenadas (coeficiente linear da reta) (ml);

% 0,074 = porcentagem de solo na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm; e

w = teor de umidade do solo.

O Coeficiente de Atividade (CAr) para avaliação da atividade dos argilominerais presentes no solo é calculado conforme a equação

$$CAr = \frac{100 \times Var}{\%0,005}$$

em que:

CAr = coeficiente de atividade ( $10^{-3}$  g/g%);

% 0,005 = porcentagem, em massa, de solo na fração de 0,005 mm; e

Var = volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral (ml).

#### **3.4.2. Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno pelo Método de UV-Vis**

O método do ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método de UV-Vis utilizado identifica a quantidade de azul de metileno não adsorvida pelo solo através da coloração. Este ensaio consiste em adicionar à suspensão de água e solo uma quantidade, em excesso, de azul de metileno, agitar por 10 minutos para que o corante seja adsorvido pelo solo, filtrar a solução (solo + água + azul de metileno), recolher o material filtrado (parte de azul de metileno que não foi adsorvido pelo solo) e, com a utilização do espectrofotômetro, medir a densidade óptica da amostra.

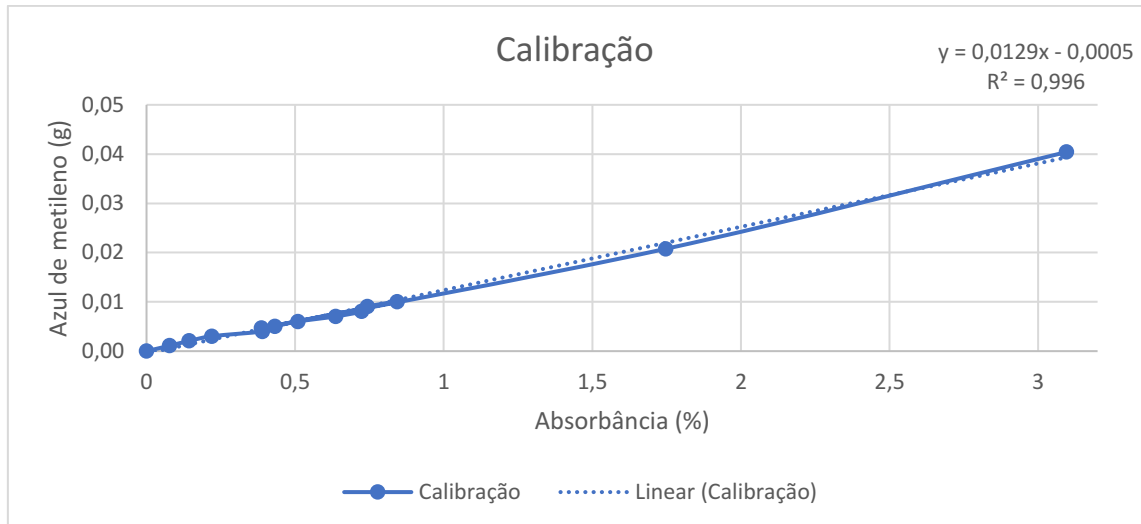
A espectrofotometria é uma técnica analítica que utiliza a luz para medir a concentração de espécies químicas. Baseia-se na interação (absorção e, ou, emissão) da matéria com a energia radiante, ou seja, radiação eletromagnética, quando os elétrons se movimentam entre níveis energéticos. Uma vez que diferentes substâncias têm distintos padrões de absorção, a espectrofotometria permite, por exemplo, identificar substâncias com base no seu espectro. Permite também quantificá-las, uma vez que a quantidade de luz absorvida está relacionada com a concentração da substância.

Para determinação da concentração de soluto em uma amostra por espectrofotometria, tem-se a comparação da absorbância da amostra com uma solução-padrão em que já é conhecida a concentração do soluto. Em geral, é utilizada uma solução-padrão com diferentes concentrações que têm sua absorbância determinada. Tais padrões são preparados diluindo-se essa solução na proporção necessária para a obtenção das concentrações desejadas.

Foi utilizado o espectrofotômetro da Balança Analítica, modelo 80.7000-11, presente no Laboratório de Química do Centro Universitário Newton Paiva. Foi adotado o comprimento de onda de 665 nm para fazer a leitura da coloração do sobrenadante nos ensaios de adsorção de azul de metileno por absorbância. A absorbância máxima de uma solução de azul de metileno ocorre em comprimento de onda máximo de 665 nm (SANTOS, 2010).

Para o preparo das soluções com diferentes concentrações de azul de metileno foram geradas duas soluções consideradas 100%, tomando-se 10,00 ml e 40,00 ml da solução-padrão de azul de metileno e completando o volume de 100 mL com água destilada. Foram obtidas novas soluções de azul de metileno com concentrações iguais a 0,1000 g/L e 0,40052 g/L. As demais concentrações foram obtidas com a dissolução dessas soluções. Por exemplo, para obtenção de uma solução com concentração igual a 0,04041 g/L, foram colocados em um balão volumétrico 10,0897 g de solução com concentração de 0,40052 g/L e elevou-se o volume para 100 ml com a adição de água destilada. Foi preparado um total de 14 soluções com concentrações diferentes, para a confecção da curva de calibração.

Antes de realizar as medições com o espectrofotômetro é necessário calibrar o equipamento. Para isso, faz-se o ajuste da escala para 100% de absorbância, usando uma cubeta com apenas água destilada. Após essa calibração, procede-se à leitura das amostras com concentrações diferentes. Os valores foram lançados no gráfico e, mediante o ajuste linear, obteve-se a curva de calibração do equipamento (Figura 37).



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

### **Aparelhagem e Material**

Para a execução do método de espectrofotometria UV-Vis utilizando o azul de metileno são necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Agitador magnético (marca Fisatom, modelo 752A).
- Água destilada.
- Azul de metileno P.A.
- Balança semianalítica (marca Shimadzu, modelo BL3200H).
- Balão volumétrico de 1,0 l.
- Balão volumétrico de 100,0 ml.
- Barra de agitação magnética.
- Béquer de 150 ml.
- Cubeta de vidro.
- Equipamento para destorroamento de solo.
- Espátula.
- Espectrofotômetro marca Analítica, modelo 80.7000-11.
- Funil de vidro simples.
- Papel-filtro quantitativo – filtragem média – Unifil faixa branca.



- Peneira de malha de 0,074 mm (n° 200).
- Suporte para funil de vidro.

### **Preparação da Amostra**

A amostra de solo a ser ensaiada deve ser preparada da mesma maneira que a utilizada para o processo de oxirredução.

### **Execução do Ensaio**

A execução do ensaio de azul de metileno, pelo método de espectrofotometria de UV-Vis, é realizada seguindo os seguintes passos:

- 1) Pesar 1,0 g da fração de solo passante na peneira n° 200 e colocar em um béquer de 150 ml.
- 2) Adicionar aproximadamente 100 g de água destilada ao béquer e anotar a massa (g) adicionada.
- 3) Adicionar aproximadamente 10 g da solução-padrão de azul de metileno ao mesmo béquer e anotar a massa (g) adicionada.
- 4) Colocar o béquer contendo o solo + água + solução de azul de metileno no agitador e ligá-lo.
- 5) Deixar a suspensão por agitação durante 10 minutos.
- 6) Filtrar a suspensão no funil previamente montado com papel-filtro e recolher a solução filtrada (sobrenadante) em um béquer.
- 7) Transferir a solução filtrada para a cubeta de vidro do espectrofotômetro.
- 8) Fazer a leitura da absorbância.

Repete-se esse procedimento total por pelo menos mais duas vezes, variando a quantidade de solução de azul de metileno adicionada à solução no item (3) para 5 g. Com essa variação na quantidade de azul de metileno é possível, na maioria dos solos, obter uma leitura de absorbância no espectrofotômetro. A Figura 38 ilustra os procedimentos descritos anteriormente.

Figura 38 – Ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis: (a) amostra de solo; (b) adição de 100 ml de água à amostra de solo; (c) adição de solução de azul de metileno; (d) agitação da mistura; (e) filtragem da mistura; (f) espectrofotômetro; e (g) amostras analisadas



(a)



(b)



(c)



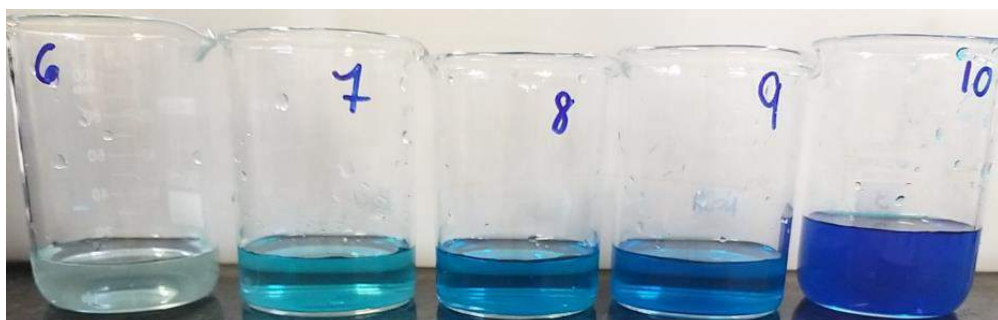
(d)



(e)



(f)



(g)

Fonte: Acervo da autora (2020).

### Cálculo dos Resultados

Para determinação do teor de adsorção de azul de metileno que um solo consome, tomam-se os dados do ensaio, ou seja, a quantidade de água e de solução-padrão de azul de metileno adicionada a 1 g de solo e o valor da absorbância da solução sobrenadante (água + azul de metileno não adsorvido pela amostra).

A Tabela 2 elucida a planilha utilizada durante o experimento e processamento dos resultados. Em seguida, explica-se como são realizados os cálculos necessários para seu preenchimento, ou seja, como determinar a quantidade de azul de metileno adsorvida pelo solo durante o ensaio.

Tabela 2 – Modelo de planilha usado para o processamento dos dados do ensaio de espectrofotômetro

Nome da amostra: B3					Data do ensaio: 10/12/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074 mm:				75,4	Teor de umidade: 0,836		
% de solo que passa na abertura de 0,005 mm:				44			
Data do azul: 10/12/19							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Sol. AM (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr. (g)
1	1,0	101,60	11,68	0,1031	0,235	0,0030	0,3434
2	1,0	101,27	15,15	0,1301	0,476	0,0061	0,7149
3	1,0	100,40	20,40	0,1689	1,427	0,0184	2,2237
4	1,0	100,15	25,48	0,2028	2,490	0,0321	4,0354
5	1,0	100,48	30,27	0,2315	3,327	0,0429	5,6116

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Para encontrar a concentração de azul de metileno na solução ensaiada (depois de adicionar água ao ensaio), faz-se o seguinte cálculo:

$$C_{AM} = \left( \frac{Sol. AM}{Sol. AM + \acute{A}gua} \right)$$

em que:

C AM = concentração de azul de metileno no ensaio depois de acrescentar água destilada (g/L);

Sol. AM = quantidade de solução-padrão de azul de metileno adicionada ao ensaio (g); e

Água = quantidade de água adicionada ao ensaio (g).

A partir da calibração do espectrofotômetro utilizado nesta pesquisa, obteve-se a seguinte equação da curva:  $y = 0,0129x$ , em que  $y$  é a concentração de azul de metileno e  $x$  é a absorbância. Nessa equação, faz-se a substituição do valor da absorbância lido durante a realização do ensaio na incógnita  $x$  e obtém-se a concentração de azul de metileno da solução sobrenadante (C AM sobr.).

Para encontrar a quantidade de solução-padrão de azul de metileno presente no sobrenadante (Sol. AM sobr), faz-se o seguinte cálculo:

$$\text{Sol. AM sobr} = \text{Sol. AM} \times \frac{C \text{ AM sobr}}{C \text{ AM}}$$

em que:

Sol. AM = quantidade de solução-padrão de azul de metileno adicionada ao ensaio (g);

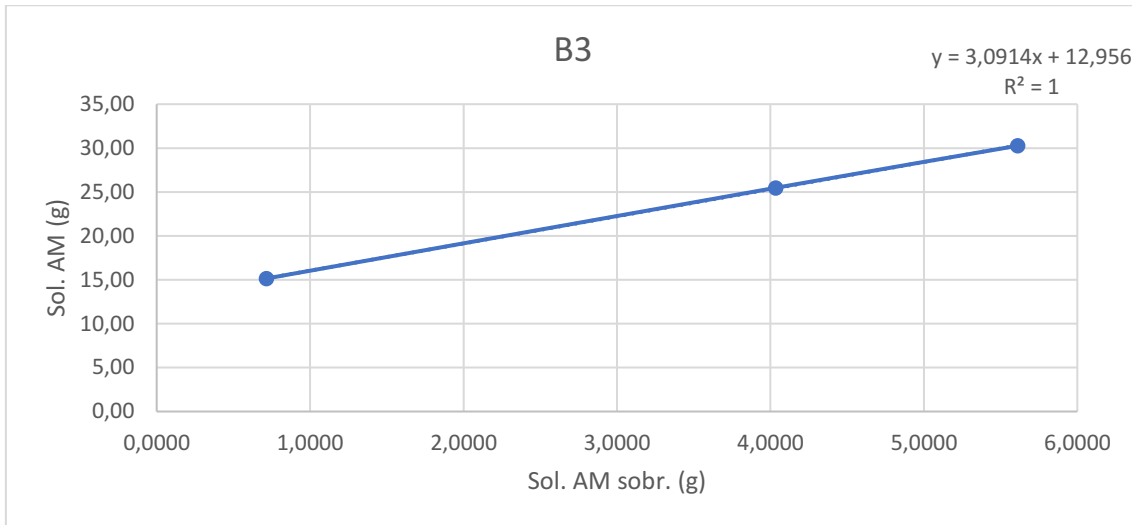
C AM sobr = concentração de azul de metileno presente no sobrenadante (g/L); e

C AM = concentração de azul de metileno no ensaio depois de acrescentar água destilada (g/L).

Para determinação da quantidade de azul de metileno adsorvida pelo solo (Vespec), é necessário construir o gráfico que representa a curva de quantidade de solução-padrão de azul de metileno adicionada ao ensaio *versus* a quantidade de solução de azul de metileno presente no sobrenadante. O intercepto dessa curva com o eixo das ordenadas, ou seja, quando não há azul de metileno no sobrenadante, define a quantidade de corante adsorvida pelo solo.

A construção do gráfico é realizada utilizando três ou quatro pontos, os quais representam a quantidade de azul de metileno adicionada ao solo + água *versus* a quantidade do sal não adsorvido. O eixo das ordenadas representa as massas de azul de metileno adicionadas à solução. O eixo das abscissas mostra as quantidades de azul de metileno no sobrenadante. Na Figura 39 é apresentado o gráfico com um exemplo de curva obtida com os resultados do ensaio.

Figura 39 – Exemplo de curva da quantidade de azul de metileno adicionada ao ensaio *versus* quantidade de azul de metileno no sobrenadante



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Como o ensaio é executado com a fração de solo passante na peneira de abertura de 0,074 mm, para o cálculo do volume total de azul de metileno consumido por 1,0 g de solo (*Va espec*) levam-se em consideração a porcentagem que o solo tem nessa peneira e o teor de umidade que possui no momento do ensaio. Esse cálculo é realizado de acordo com a seguinte equação:

$$Va\ espec = Vespec \times \frac{\%0,074}{100} \times \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

em que:

*Va espec* = volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral (ml):

*Vespec* = quantidade de solução-padrão de azul de metileno consumida pelo solo durante o ensaio (ml);

%0,074 = porcentagem do solo na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm; e

*w* = teor de umidade do solo (%).

O coeficiente de atividade (*CAespec*) para avaliação da “atividade” dos argilominerais presentes nos solos é calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$CAespec = \frac{100 \times Va\ espec}{\%0,005}$$

em que:

CA espec = coeficiente de atividade ( $10^{-3}$  g/g%);

% 0,005 = porcentagem, em peso, que o solo contém da fração de 0,005 mm; e

Va espec = volume total de solução de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral seco (ml), com concentração de 1 g de sal anidro por litro de solução.

### 3.5. Produção dos Adobes

Os adobes foram produzidos seguindo-se as recomendações da Norma ABNT NBR 16814 (ABNT, 2020).

As formas utilizadas para a pesquisa foram feitas de madeira angelim com as dimensões de 7,5x15x30 cm (AxLxP). Essas dimensões facilitam na hora do corte para a produção dos corpos de provas do ensaio de resistência à compressão.

Os adobes da pesquisa foram produzidos no Campus Buritis, do Centro Universitário Newton Paiva, em Belo Horizonte, com a ajuda dos alunos dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Engenharia Civil, bolsistas e voluntários do projeto de Iniciação Científica da instituição (Figura 39). O local possui um cômodo de aproximadamente 2,5x2 m coberto com telha a 1,75 m de altura e serve para estocagem do material utilizado na produção dos adobes, assim como a área de secagem dos adobes.

Figura 40 – Alunos do Centro Universitário Newton Paiva ajudando na produção do adobe



Fonte: Acervo da autora (2020).

O solo utilizado para a produção de adobe foi passado em uma peneira de tela de arame galvanizado (abertura de 5 mm) para separação da areia e depositado em uma masseira, em que se acrescentou água e, em seguida, deu-se início à mistura com os pés – e com uma pá ou enxada – até que alcançasse a consistência ideal para ser moldada. Apesar de autores como MINKE (2015) citarem que é importante umedecer o solo e deixá-lo “descansando” por pelo menos 24 h antes de amassar com os pés e produzir os adobes, optou-se por não seguir essa recomendação, portanto a água só foi adicionada no momento da produção.

Em pesquisa de campo e entrevistas com produtores de adobes dos distritos de Bichinho e Lapinha da Serra, identificou-se que esse não é um procedimento comum entre eles, que costumam umedecer e amassar o barro no mesmo dia da produção. Devido ao fato de a pesquisa utilizar solos com diversas granulometrias – incluindo solos com alto teor de argila e alto índice de retração –, optou-se em não adicionar água com antecedência, evitando, assim, trincas nos adobes.

No dia da produção, as formas de madeira foram molhadas e “untadas” com areia para facilitar a desmoldagem do adobe.

Alcançado o ponto correto, a mistura foi lançada, de uma só vez, na forma, sendo necessário acomodá-la manualmente até o seu preenchimento total. Para manter um padrão de produção e evitar diferentes forças de compactação, apenas a autora desta tese moldou os adobes.

Após o preenchimento, o excesso foi retirado com um pedaço de linha de pedreiro. Eliminado o excesso, o adobe foi desenformado sobre uma superfície lisa e coberta por uma fina camada de areia, para evitar a aderência do adobe ao secar (Figura 40).

Os adobes foram secos em local coberto com apenas um vão de abertura, sem fechamento. Esse local foi definido em virtude da ocorrência de trincas nos adobes secados ao sol, devido ao rápido processo de evaporação da água e retração, conforme ilustrado na Figura 41.



Figura 41 – Local de secagem dos adobes



Fonte: Acervo da autora (2020).

Figura 42 – Adobes trincados após secagem direta ao sol



Fonte: Acervo da autora (2020).

Assim que ganharam certa resistência ao manuseio (aproximadamente uma semana), os adobes foram virados de modo a expor os lados mais úmidos, permitindo, assim, uma secagem mais rápida e uniforme do bloco. O tempo de secagem foi de três ou quatro semanas, variando com as condições climáticas do local. Após esse período, os adobes foram armazenados em pilhas, com espaçamento entre eles para manter o processo de secagem e não ultrapassando a altura de 1,5 m.



### 3.6. Caracterização Física e Mecânica dos Adobes

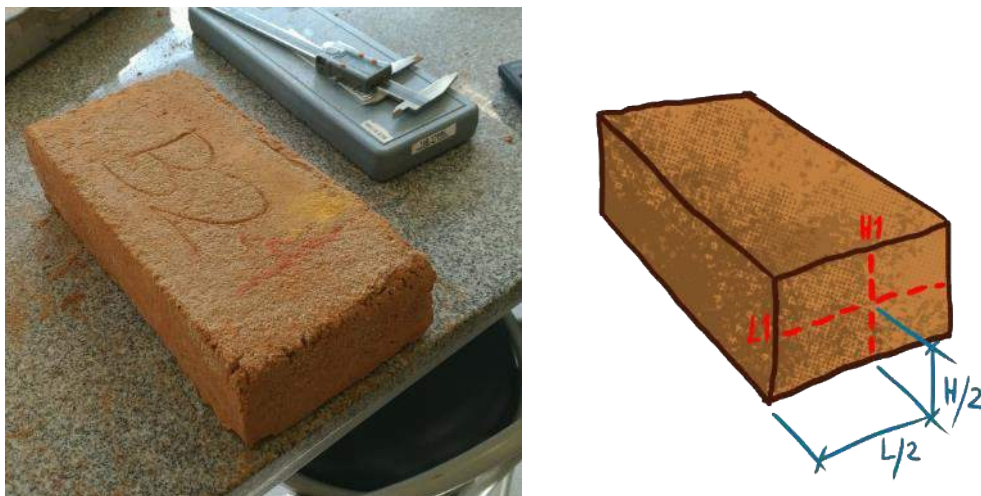
Foram adotadas as metodologias propostas por Faria (2002), Neves e Faria (2008) e Faria *et al.* (2015) como parâmetros para os ensaios de cálculo de massa específica, retração relativa, umidade higroscópica e absorção de água. Para o ensaio de resistência à compressão, foi utilizada a Norma ABNT NBR 16814 (ABNT, 2020). Os ensaios de caracterização física dos adobes foram realizados no Centro Universitário Newton Paiva.

Para o ensaio de massa específica aparente dos adobes, foram selecionados 13 tijolos de cada tipo de solo coletado e, em seguida, numerados aleatoriamente. Para o ensaio de resistência à compressão, utilizaram-se os mesmos 13 adobes do ensaio anterior, os quais foram cortados para obtenção dos corpos de provas. Já para o ensaio de absorção de água e de umidade higroscópica, usaram-se mais três adobes – os mesmos para os dois ensaios e numerados de 1 a 3, quantidade recomendada por Faria (2002).

#### 3.6.1. Determinação da massa específica aparente e retração relativa dos adobes

Para o ensaio de massa específica, primeiro é necessário encontrar o centro do adobe, medindo a largura ( $L$ ) e dividindo por 2. No centro da largura se mede a altura ( $H$ ), marcando o centro do adobe, e isso se repete nos dois lados opostos (Figura 43), tirando  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $H_1$  e  $H_2$ . Essas medidas são tomadas com o uso de um paquímetro.

Figura 43 – Medidas da largura dos adobes



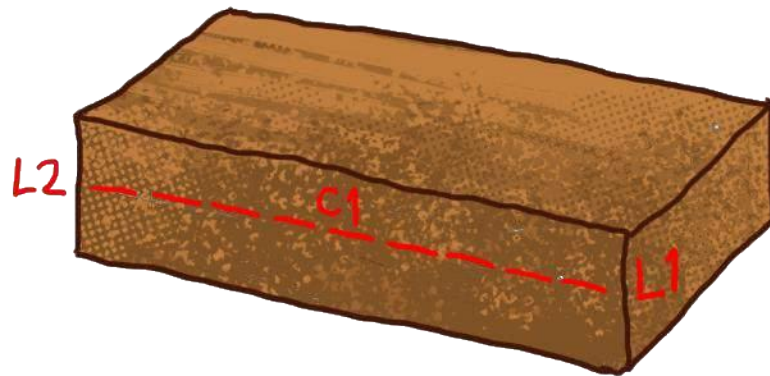
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Com os dois lados riscados é possível obter as duas metades do comprimento e, então, são tirados o C1 e C2, completando os quatro lados do adobe (Figura 44). Esses lados foram medidos com uma régua metálica de 30 cm, por falta de paquímetro maior.

Todos os adobes também tiveram suas massas determinadas com o uso de uma balança eletrônica.

Os dados coletados foram lançados em uma tabela formulada para evitar erros na hora do ensaio.

Figura 44 – Medidas do comprimento dos adobes



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A fórmula para o cálculo da massa específica aparente é demonstrada na equação a seguir:

$$\rho_{apT} = \frac{M_{TUh}}{V_T}$$

em que:

$\rho_{apT}$  = massa específica aparente do tijolo a  $U_hT$  ( $g/cm^3$ );

$M_{TUh}$  = massa do tijolo a  $U_hT$  (g);

$V_T$  =  $cm \times L_m \times H_m$  : volume do tijolo ( $cm^3$ );

$C_m$  = média aritmética das duas medidas do comprimento;

Lm = média aritmética das duas medidas da largura; e

Hm = média aritmética das duas medidas da altura.

A retração relativa dos adobes em cada direção (RRc, RRL e RRh), que segue como referência a tese de FARIA (2002), é calculada pela seguinte fórmula:

$$RR_x = \left( \frac{D_{ix} - D_{fx}}{D_{ix}} \right) \times 100\%$$

em que:

RRx = retração relativa na direção x (comprimento, largura ou altura) (%);

Dix = dimensão inicial do tijolo recém-desmoldado (= dimensão da forma), na direção x (mm); e

Dfx = dimensão final do tijolo após a secagem e umidade higroscópica na direção x (mm).

### **3.6.2. Ensaio de determinação da absorção de água e teor de umidade higroscópica dos adobes**

O ensaio de absorção de água foi realizado seguindo as recomendações feitas por Faria (2002) com três adobes de cada tipo de solo, escolhidos aleatoriamente e numerados de 1 a 3. Para a execução desse ensaio foram seguidos os seguintes passos:

- a) Primeiramente, os adobes foram pesados em balança eletrônica para determinação de sua massa.
- b) Os adobes ficaram em estufa a 60 °C por 24 horas ou até a constância da massa.
- c) Em seguida foram pesados na mesma balança anterior, para obter a massa seca (**MT0**).
- d) Depois do resfriamento dos adobes, eles foram imersos em um recipiente com água por 24 horas (Figura 45).

Figura 45 – Adobes imersos



Fonte: Acervo da autora (2020).

e) Após a retirada dos adobes, a água em excesso foi removida com papel absorvente e os adobes foram pesados na mesma balança, obtendo, assim, a massa saturada (MTsat) (Figura 46).

Figura 46 – Adobe sendo pesado após a imersão



Fonte: Acervo da autora (2020).

O Teor de Umidade ( $U_{hT}$ ) e a Absorção de Água (AA) foram calculados pelas equações a seguir:

$$U_{hT} = \frac{(MTU_h - M_{TO})}{M_{TO}}$$

em que:

$M_{TO}$  = massa do tijolo seco em estufa (g) até a constância da massa;

$U_h T$  = teor de umidade higroscópica do tijolo (%);

$MTU_h$  = massa do tijolo à umidade higroscópica (g) – antes de ir para a estufa.

$$AA = \frac{(MT_{sat} - M_{TO})}{M_{TO}}$$

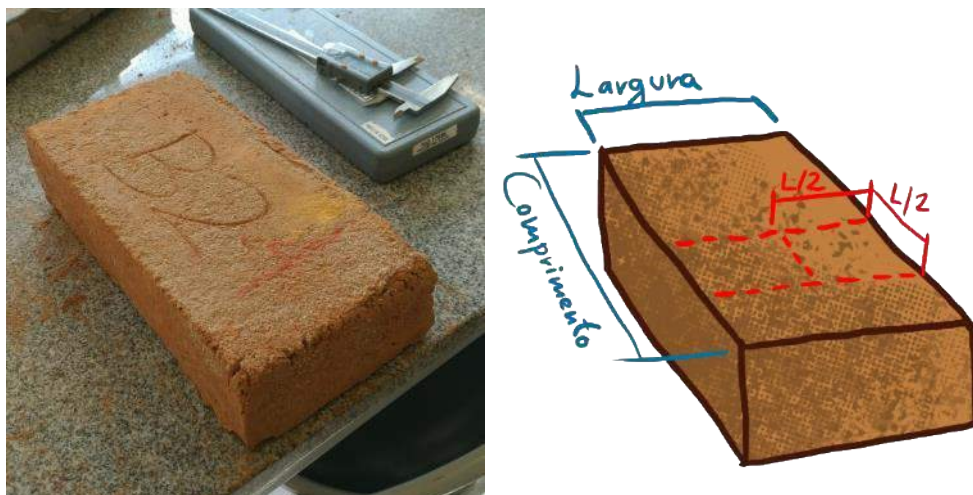
em que AA = absorção de água (%).

### **3.6.3. Preparação dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão**

A preparação dos corpos de prova segue as recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 16814 (ABNT, 2020) – Adobe: requisitos e métodos de ensaio. Os corpos de prova preparados foram numerados de 1 a 14, seguindo os seguintes procedimentos:

- a) A medição para corte é feita com o desenho de prismas cúbicos, medindo o comprimento do adobe e dividindo no meio com o uso de um dispositivo de corte e um serrote para alvenaria, sendo necessário guardar uma das metades.
- b) Com a outra metade é medida a largura (onde o serrote cortou), e a metade dessa medida é utilizada para formar dois quadrados de área na metade do bloco (Figura 47).

Figura 47 – Medidas para corte dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

- c) Depois de demarcar as áreas, corta-se, utilizando o serrote e um gabarito de madeira, até a obtenção de dois cubos (Figura 48).

Figura 48 – Gabarito de madeira para corte e corpos de prova cortados



Fonte: Acervo da autora (2020).

#### 3.6.4. Ensaio de resistência à compressão

Para a realização do ensaio são seguidas as recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 16814 (ABNT, 2020) – Adobe: requisitos e métodos de ensaio, sendo,



antes, necessário regularizar a superfície e calcular a área de seção de ruptura, de acordo com os passos a seguir:

- a) Fazer uma pasta homogênea de cimento e água, em que se pode utilizar uma argamassadeira. Distribuir em porções individuais, com dimensões próximas às dos corpos de prova, sobre uma bancada totalmente plana e recoberta por óleo lubrificante.
- b) Umidificar a face superior do corpo de prova com água, utilizando uma trincha. Colocar o corpo de prova sobre a pasta de cimento com sua face umedecida voltada para a pasta.
- c) Dispor o nível sobre o corpo de prova e, com leves movimentos manuais, nivelar o cubo e diminuir a espessura do capeamento, no máximo 3 mm (Figura 48).

Figura 49 – Corpos de prova capeados

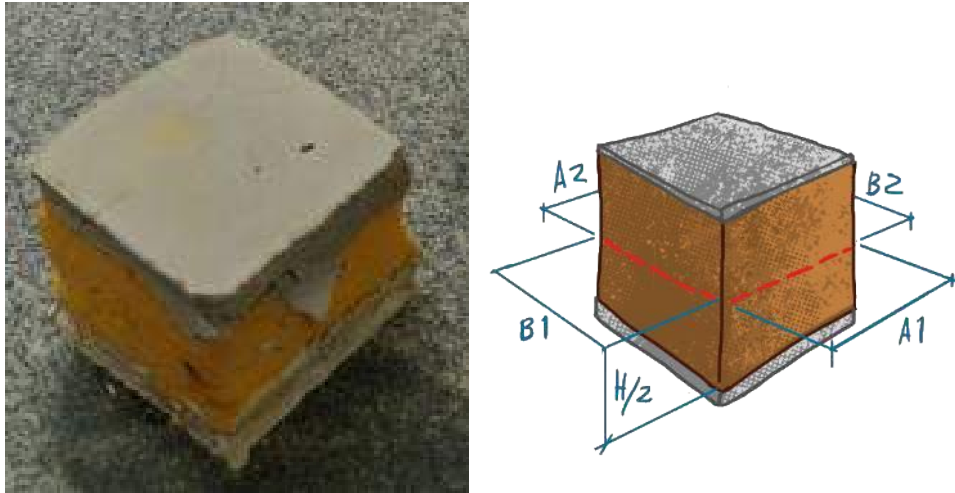


Fonte: Acervo da autora (2020).

- d) Retirar o excesso da pasta de cimento das laterais do corpo de prova utilizando uma espátula. Deixar secar por 24 horas.
- e) Após as 24 horas, repetir todo o processo na face oposta/paralela à face já capeada.

- f) Medir e anotar as dimensões do corpo de prova à meia altura, para obter  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  e  $b_2$  (Figura 50).

Figura 50 – Medidas dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

- g) Efetuar o cálculo da área da seção de ruptura ( $A_{rup}$ ).
- h) Registrar os valores das áreas de ruptura (em  $\text{mm}^2$ ) de cada corpo de prova, de forma clara e ordenada.
- i) Colocar o centro geométrico/gravitacional do corpo de prova alinhado com o eixo de aplicação de força da prensa.
- j) Abrir o Software Pavitest Concreto conforme os passos a seguir:
1. Clicar em Sair.
  2. Clicar em Utilitários>Configuração do Ensaio.
  3. Ir a escalas do gráfico e conferir se está em quilograma-força (kgf).
  4. Alterar o valor da escala 1 para 2000 se estiver em outro valor.
  5. Clicar em Aplicar e dar OK.
  6. Para iniciar o ensaio, deve-se ir a Ensaio>Ensaio Axial Rápido.
  7. Colocar um diâmetro qualquer (geralmente 10), pois o corpo de prova em questão não possui diâmetro.



- k) Quando o ensaio estiver pronto para começar, deve-se tentar iniciar a máquina e o programa ao mesmo tempo com a menor diferença possível, para facilitar a visualização do gráfico (Figura 51).

Figura 51 – Realização do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Acervo da autora (2020).

- l) Durante o ensaio, a velocidade de aplicação da carga na máquina deve ser elevada progressivamente para que ela fique entre 0,3 e 0,6 MPa/min, porém, geralmente, os corpos de prova não conseguem alcançar tais valores.
- m) Anotar o valor em kgf da força de ruptura de cada corpo de prova.
- n) É necessário transformar o kgf em Newton e, em seguida, calcular a resistência em MPa.

Para a realização do cálculo do ensaio, foram utilizadas as equações a seguir:

$$A = a_{\text{médio}} \times b_{\text{médio}}$$

$$f_c = \frac{f_{rup}}{9,80665 \cdot A}$$

em que:

$f_c$  = resistência à compressão (MPa);

$F_{Rup}$  = carga de ruptura do corpo de prova (kgf); e

$A$  = área média da seção de ruptura ( $cm^2$ ).

### 3.7. Análise Estatística

A partir da pesquisa teórica realizada, pode-se comprovar a influência das propriedades do solo nas propriedades físicas dos adobes. Por meio dos ensaios de caracterização dos solos e ensaios das propriedades físicas dos adobes, têm-se as **variáveis dependentes**, que são as variáveis respostas em que o valor assumido por elas depende da variação de outras, que são chamadas de **variáveis independentes**. Estas variáveis são fixas e também conhecidas como variáveis explicativas, e as variáveis dependentes são aleatórias às respostas obtidas dos experimentos.

As variáveis dependentes dessa pesquisa são os resultados de resistência à compressão, a absorção de água e a retração relativa. Já as variáveis explicativas são a porcentagem de areia, silte e argila, LL e IP e os resultados de VA e CA, obtidos pelos dois métodos do ensaio de adsorção de azul de metileno. A fração de pedregulho não entrou na análise de regressão, pois o solo para a produção do adobe foi peneirado para retirar essa fração.

Para melhor compreensão da relação entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes, foram elaborados os gráficos de dispersão para cada relação.

A análise de relação de dependência entre as variáveis foi feita através de uma **Regressão Linear Múltipla**, utilizando-se o programa de análise estatístico Minitab.

A análise de regressão gera uma equação para descrever a relação estatística entre uma ou mais variáveis preditoras independentes (valores obtidos dos ensaios de granulometria, limites de consistência e adsorção de azul de metileno) e a variável resposta (resistência à compressão, absorção de água ou retração relativa). Essa análise determina o impacto de cada uma dessas variáveis entre uma variável dependente.

Para compreender a relação das influências dos resultados dos ensaios de caracterização do solo sobre as propriedades físicas dos adobes e conferir se o ensaio

de azul de metileno pode ser ferramenta complementar, foram analisados três modelos: (1) Relação dos ensaios tradicionais (granulometria e limites de consistência) com os resultados de caracterização física dos adobes; (2) Adição do ensaio de azul de metileno, pelo método de oxirredução, como ferramenta complementar para seleção do solo em relação aos resultados de caracterização física dos adobes; e (3) Adição do ensaio de azul de metileno, pelo método UV-Vis, como ferramenta complementar para seleção do solo em relação aos resultados de caracterização física dos adobes.

Para essa análise, foi utilizado um intervalo de confiança de 90%, ou seja, o teste t (valor-P) menor que 0,1. Nos três modelos propostos, foi feita a Regressão Linear Múltipla com as variáveis preditoras e a variável resposta, eliminando-se da análise as variáveis com menor influência (valor-p > que 0,10) e executando novamente a regressão múltipla. Tal procedimento foi realizado até chegar às variáveis preditoras de maior influência na variável de resposta analisada.

Na Equação da Regressão Linear Múltipla existem múltiplos coeficientes “b” que determinam a inclinação da reta. A seguir, mostra-se como é montada essa equação, e abaixo de cada termo estão os respectivos significados.

Figura 52 – Equação de Regressão Linear Múltipla

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \chi_{1i} + \beta_2 \chi_{2i} + \dots + \beta_k \chi_{ki} + u_i$$

O diagrama ilustra a equação  $Y = \beta_0 + \beta_1 \chi_{1i} + \beta_2 \chi_{2i} + \dots + \beta_k \chi_{ki} + u_i$  com as seguintes legendas:

- Variável dependente:** Indica o termo  $Y$ .
- Constante:** Indica o termo  $\beta_0$ .
- Variáveis independentes:** Indica os termos  $\chi_{1i}, \chi_{2i}, \dots, \chi_{ki}$ .
- Coefficientes das variáveis independentes:** Indica os termos  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ .
- erro:** Indica o termo  $u_i$ .

Fonte: PEREIRA *et al.* (2019).

em que:

$Y$  = valor previsto da variável dependente que será obtido por meio do modelo estimado;

$\beta_0$  = representa a constante ou coeficiente linear; quando todos os  $\chi$  forem iguais a 0, é o valor de  $\beta_0$  que corresponde a  $Y$ . A constante é o ponto em que a reta se inicia no eixo  $Y$  do gráfico;

$\beta_n$  = o coeficiente de cada variável independente ou coeficientes angulares. Este valor indica quanto a variável dependente ( $Y$ ) vai variar com a mudança de uma unidade de  $\chi$  quando todas as outras variáveis forem constantes. No gráfico, elas representam a inclinação da reta;

$X_n$  = a descrição (nome) de cada variável independente;

$u$  = termo de erro ou resíduo, o qual equivale à diferença entre o valor real de  $Y$  e o valor previsto de  $Y$ . Se o erro for muito alto, significa que outras variáveis, além das variáveis  $\chi$  que foram incluídas na equação, afetam  $Y$ ; e

$i$  = representa cada uma das variáveis da amostra ( $i = 1, 2, 3...n$ , em que  $n$  é o tamanho da amostra).

### 3.7.1. Regressão múltipla com os ensaios tradicionais

Para estudar os efeitos das variáveis independentes  $X_{1ARG}$ ,  $X_{2SIL}$ ,  $X_{3ARE}$ ,  $X_{4LL}$  e  $X_{5IP}$  sobre as características analisadas  $Y_{1RC}$ ,  $Y_{2AA}$  e  $Y_{3RR}$ , separadamente, foi estabelecido o seguinte modelo de regressão linear múltipla, descrito pela equação a seguir. Os intervalos dos valores de  $X$  são os valores mínimos e máximos dos resultados das amostras desta pesquisa. Portanto, tal equação só é aplicável a solos com valores dentro dos intervalos descritos a seguir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_{1ARG} + \beta_2 X_{2SEL} + \beta_3 X_{3ARE} + \beta_4 X_{4LL} + \beta_5 X_{5IP} + \varepsilon$$

em que:

$Y$  = valor observado de  $Y_{1RC}$ ,  $Y_{2AA}$  ou de  $Y_{3RR}$ ;

$X_{1ARG}$  = porcentagem de argila no solo, para  $9 \leq X_{1arg} \leq 57$ ;

$X_{2SIL}$  = porcentagem de silte no solo, para  $17,5 \leq X_{2SIL} \leq 65,3$ ;

$X_{3ARE}$  = porcentagem de areia, para  $16,4 \leq X_{3are} \leq 66,2$ ;

$X_{4LL}$  = Limite de Liquidez, para  $0 \leq X_{4LL} \leq 64$ ;

$X_{5IP}$  = Índice de Plasticidade, para  $0 \leq X_{5IP} \leq 28$ ;

$\beta_0$  = constante da regressão;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  = coeficientes da regressão; e

$\varepsilon \sim N = (0, \sigma^2)$ .

Durante a fase de escolha dos três melhores modelos foi retirado, caso houvesse pelo menos um coeficiente não significativo, um de cada vez, começando com o que possuía o maior p-valor, de acordo com o teste t de Student a 10% de significância.

### 3.7.2. Regressão múltipla incluindo o ensaio de adsorção do azul de metileno

Para verificar se o ensaio de azul de metileno pode ser utilizado como ensaio complementar na caracterização do solo para predizer as características físicas dos adobes, foram realizadas duas análises de regressão, uma com os dados obtidos pelo método de oxirredução e outra com os resultados conseguidos com o método de UV-Vis.

Nesse caso, a metodologia para estudar os efeitos das variáveis independentes  $X_{1ARG}$ ,  $X_{2SIL}$ ,  $X_{3ARE}$ ,  $X_{4LL}$ ,  $X_{5IP}$ ,  $X_{6VA}$  e  $X_{7CA}$  sobre as características avaliadas  $Y_{1RC}$ ,  $Y_{2AA}$  e  $Y_{3RR}$ , separadamente, foi a mesma. Então, estabeleceu-se o seguinte modelo de regressão linear múltipla, representado pela equação a seguir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_{1ARG} + \beta_2 X_{2SIL} + \beta_3 X_{3ARE} + \beta_4 X_{4LL} + \beta_5 X_{5IP} + \beta_6 X_{6VA} + \beta_7 X_{7CA} + \varepsilon$$

em que:

$Y$  = valor observado de  $Y_{1RC}$ , de  $Y_{2AA}$  ou de  $Y_{3RR}$ ;

$X_{1ARG}$  = porcentagem de argila no solo, para  $9 \leq X_{1arg} \leq 57$ ;

$X_{2SIL}$  = porcentagem de silte no solo, para  $17,5 \leq X_{2SIL} \leq 65,3$ ;

$X_{3ARE}$  = porcentagem de areia, para  $16,4 \leq X_{3are} \leq 66,2$ ;

$X_{4LL}$  = Limite de Liquidez, para  $0 \leq X_{4LL} \leq 64$ ;

$X_{5IP}$  = Índice de Plasticidade, para  $0 \leq X_{5IP} \leq 28$ ;

$X_{6VA}$  = valor de azul de metileno, para  $3,52 \leq X_{6va} \leq 19,78$  pelo método por oxirredução e  $1,23 \leq X_{6va} \leq 10,93$  pelo método UV-Vis;

$X_{7CA}$  = coeficiente de atividade, para  $18,39 \leq X_{7ca} \leq 67,96$  pelo método por oxirredução e  $15,14 \leq X_{6va} \leq 45,79$  pelo método UV-Vis;

$\beta_0$  = constante da regressão;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  e  $\beta_6$  = coeficientes da regressão; e

$\varepsilon \sim N = (0, \sigma^2)$ .

### **3.7.3. Apresentação dos resultados**

Os resultados das Análises de Regressões Lineares Múltiplas são apresentados por meio de uma tabela com a equação de regressão final, ou seja, pela eliminação das variáveis com valor-P maior que 0,05, e o  $R^2$  (coeficiente de determinação), que explica a relação entre as variáveis independentes com a variável dependente.

Para verificar a equação gerada, ela foi aplicada a cada tipo de solo e comparada com os resultados dos ensaios propostos.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Na primeira parte são apresentados todos os resultados dos ensaios de caracterização dos solos tradicionais, seguidos pelos resultados dos dois métodos de azul de metileno propostos na pesquisa, além dos resultados dos ensaios dos adobes.

Em seguida é apresentada uma análise dos resultados em comparação com as normas e documentos levantados na pesquisa bibliográfica. Seu objetivo é verificar se os parâmetros apontados são adequados para aplicação na produção de adobes com solos brasileiros.

Na última parte da análise são apresentados os resultados de caracterização do solo e dos ensaios dos adobes, mostrando o grau de associação entre eles em gráficos de dispersão. Seu objetivo é verificar quais variáveis da caracterização do solo estão relacionadas aos resultados de resistência à compressão, de absorção de água e de retração relativa dos adobes. Foram analisados, também, os resultados do ensaio de azul de metileno pelos métodos de oxirredução e UV-Vis, a fim de conferir suas relações com os resultados das propriedades físicas dos adobes. Para finalizar, apresenta-se a análise de Regressão Linear Múltipla com suas equações e aplicações.

Os resultados completos dos ensaios encontram-se no Apêndice e, para melhor apresentação, foram agrupados por ensaios: peso específico (Apêndice A), granulometria (Apêndice B), limites de consistência (Apêndice C), difração de raios X (Apêndice D), ensaio de azul de metileno por oxirredução (Apêndice E), ensaio de azul de metileno por UV-Vis (Apêndice F), resistência à compressão (Apêndice G), absorção de água (Apêndice H) e retração relativa (Apêndice I).

### **4.1. Caracterização e Classificação dos Solos**

#### **4.1.1. Análise granulométrica**

As curvas médias de distribuição granulométrica, em porcentagem, das partículas dos solos quanto às suas dimensões, o que (pelo critério da ABNT NBR 6502) indica a porcentagem de argila ( $\emptyset < 0,002$  mm), silte ( $0,002 < \emptyset < 0,06$  mm) e areia ( $0,06 < \emptyset < 2$  mm), e quanto aos 12 solos são apresentadas subsequentemente.

Para esse ensaio foi necessário proceder à determinação da massa específica dos grãos, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado do ensaio de massa específica das amostras

<b>Amostra</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>B1</b>	2,766
<b>B2</b>	2,788
<b>B3</b>	2,765
<b>B4</b>	2,858
<b>L1</b>	2,72
<b>L2</b>	2,694
<b>M1</b>	2,76
<b>M2</b>	3,064
<b>S1</b>	2,752
<b>S2</b>	3,239
<b>SC</b>	2,742
<b>LN</b>	2,809

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Tabela 4 é um resumo dos resultados do ensaio de granulometria das amostras coletadas.

Tabela 4 – Resumo dos resultados granulométricos das amostras de solo

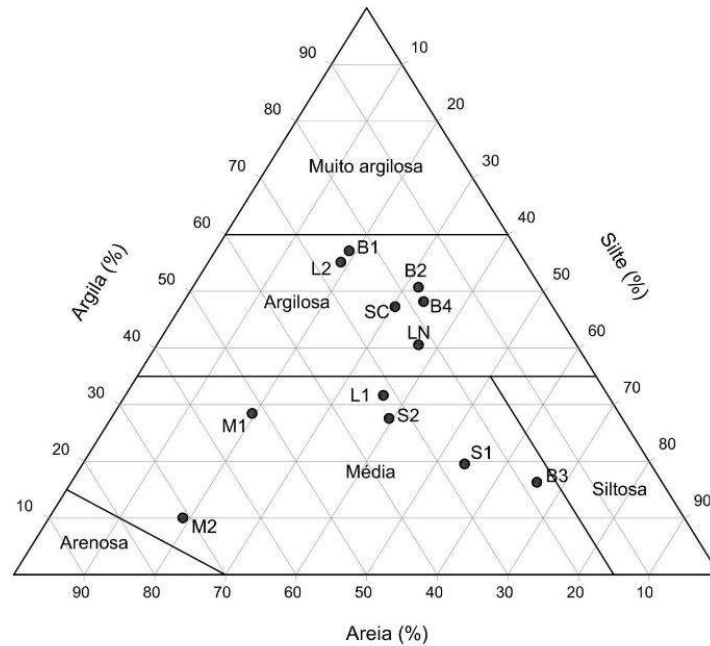
<b>Amostra</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Pedregulho (%)</b>
B1	57	19	23,6	0,4
B2	49	31,1	16,8	3,1
B3	16	65,3	17,8	0,9
B4	44	31,4	16,4	8,2
L1	31	36,3	31,4	1,3
L2	55	19	26	0
M1	28	19,3	51,1	1,6
M2	9	17,5	66,2	27,6
S1	17	51,2	24,7	7,3
S2	27	38,1	32,5	2,4
SC	47	30,7	22,3	0
LN	40	37	22,1	0,9

Fonte: Elaborado pela autora (2020).



Pelo Gráfico 1, pode-se observar que, dos 12 solos coletados, seis possuem textura argilosa (B1, B2, B4, L2, SC, LN) e seis, textura média (M1, M2, L1, S2, S1 e B3).

Gráfico 1 – Diagrama com guia para grupamento de classes de textura dos solos coletados



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A determinação da curva granulométrica do solo é fundamental para conhecimento do seu comportamento, conforme já afirmado anteriormente, sobretudo o conhecimento quantitativo da fração de argila. A relação entre os resultados e as características físicas dos adobes é discutida nos próximos capítulos.

#### 4.1.2. Limites de consistência

Os resultados de limites de consistência (LL, LP e IP) são apresentados na Tabela 5, cujo relatório é mostrado no Apêndice C.

No Gráfico 2, pode-se verificar a relação entre o teor de argila no solo e o Limite de Liquidez (LL), mostrando correlação positiva entre essas variáveis, pois, quanto maior o teor de argila, maior o LL. No entanto, podem ser observadas algumas exceções, como o solo B3, que possui baixo teor de argila, porém um LL maior do que o L2. Uma possível explicação para essas divergências pode ser o argilomineral encontrado nos solos.

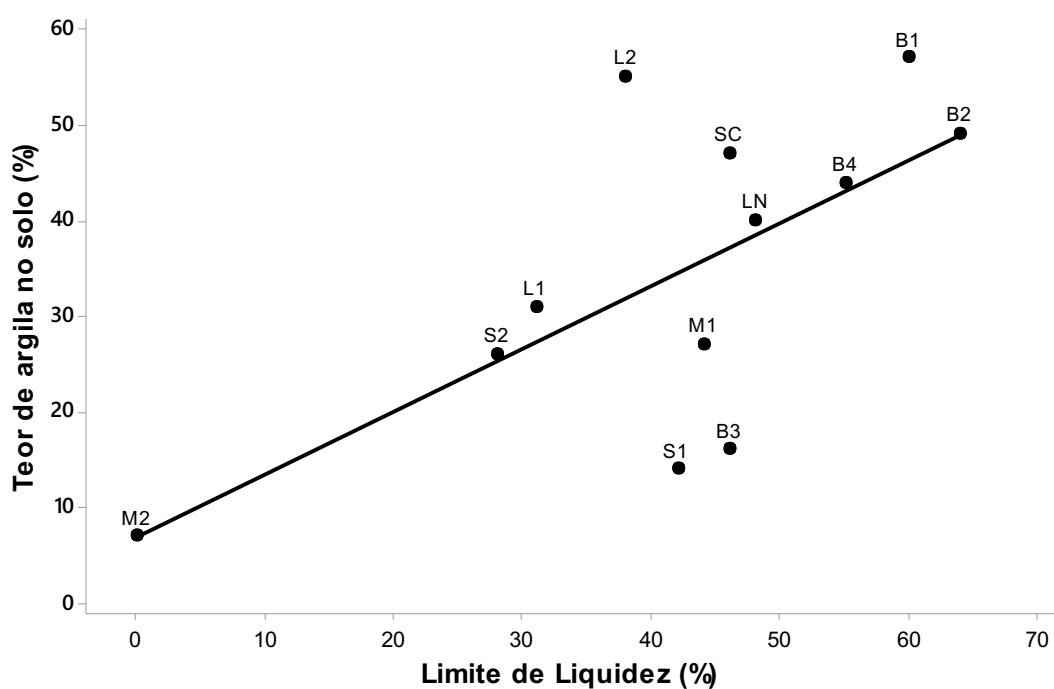
Tabela 5 – Limites de consistência das amostras de solo analisadas

Amostra	Limite de Liquidez (LL) (%)	Limite de Plasticidade (IP) (%)	Índice de Plasticidade (IP) (%)
B1	60	35	25
B2	64	38	26
B3	46	27	19
B4	55	27	28
L1	31	23	8
L2	38	29	9
M1	44	27	17
M2	NL	NP*	NP*
S1	42	20	22
S2	28	22	6
SC	46	29	17
LN	48	30	18

\* Amostra considerada como não apresentando limite de liquidez (NL), conforme critério da Norma ABNT NBR 6459 (2016) – Solo: determinação do limite de liquidez (Critério: Não é possível conseguir a abertura da ranhura ou seu fechamento com mais de 25 golpes).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 2 – Gráfico de dispersão com regressão entre teor de argila no solo e Limite de Liquidez (LL)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

### 4.1.3. Difração de raios X

Um resumo dos argilominerais encontrados nas amostras é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Argilominerais identificados pelo ensaio de difração de raios X

<b>Amostra</b>	<b>Argilominerais</b>
B1	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita
B2	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita
B3	Il – Ilita, Ct – Caulinita – Gb – Gibbissita – Gt – Goethita – Hm Hematita
B4	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita
L1	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita
L2	Ct – Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita
M1	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita
M2	Cc - Calcita, Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita
S1	Ct – Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita
S2	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita
SC	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita, 2:1 = Vermiculita, Montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidróxi entre camadas
LN	Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita, Il – Ilita, VHE –Vermiculita com hidróxi entre camadas, 2:1 = Vermiculita, Montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidróxi entre camadas

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Analisando os argilominerais encontrados nos solos coletados, chega-se à conclusão de que a caulinita, a gibbissita, a goethita e a hematita são comuns e encontradas em quase todos os solos.

A caulinita, devido à sua menor plasticidade e capacidade de retenção de água, é um argilomineral que pode ser favorável para a fabricação do adobe, uma vez que, mesmo com alto teor de argila, a retração será menor em comparação com outros argilominerais, como a esmectita.

A goethita, presente na maioria dos solos analisados, do grupo dos óxido-hidróxidos e a hematita, do grupo dos óxidos, possuem influência nas características do solo, mesmo em pequenas quantidades, sendo uma das influências a sua coloração, explicando a tonalidade amarelada e avermelhada, respectivamente. Assim, o solo B3, com tonalidade amarela, pode ser explicada pela presença desse argilomineral em maior quantidade.

A gibbsita, presente na maioria dos solos, tem como característica sua alta reatividade e, em alta concentração, pode aumentar a infiltração de água no solo.

#### 4.1.4. Ensaio de adsorção de azul de metileno

São apresentados a seguir os resultados do ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método de oxirredução e pelo método UV-Vis.

A seguir são abordados o volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral ( $V_a$ ); o Coeficiente de Atividade (CA), utilizando o método de oxirredução (Tabela 7) e o método UV-Vis (Tabela 22); e a sua atividade, de acordo com Fabbri (1994), sendo muito ativos ( $CA > 80$ ), ativos ( $11 < CA < 80$ ) e pouco ativos ( $CA < 11$ ).

Tabela 7 – Adsorção de azul de metileno pelo método de oxirredução

Amostra	$V_a$ (ml)	CA (10 <sup>-3</sup> g/g%)	Grau de atividade
B1	10,48	18,39	Ativo
B2	19,78	31,15	Ativo
B3	10,87	67,96	Ativo
B4	12,34	28,03	Ativo
L1	9,91	31,97	Ativo
L2	12,81	23,29	Ativo
M1	5,69	21,07	Ativo
M2	3,52	50,36	Ativo
S1	3,71	26,51	Ativo
S2	8,56	61,15	Ativo
SC	9,56	20,35	Ativo
LN	14,82	37,05	Ativo

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 8 – Adsorção de azul de metileno pelo método UV-Vis

<b>Amostra</b>	<b>Va (ml)</b>	<b>CA (10<sup>-3</sup> g/g%)</b>	<b>Grau de atividade</b>
<b>B1</b>	9,85	17,28	Ativo
<b>B2</b>	7,42	15,14	Ativo
<b>B3</b>	7,03	43,92	Ativo
<b>B4</b>	9,35	21,25	Ativo
<b>L1</b>	7,21	23,26	Ativo
<b>L2</b>	10,53	19,14	Ativo
<b>M1</b>	6,99	25,88	Ativo
<b>M2</b>	1,23	17,59	Ativo
<b>S1</b>	6,41	45,79	Ativo
<b>S2</b>	2,69	19,24	Ativo
<b>SC</b>	10,93	23,25	Ativo
<b>/LN</b>	8,91	22,28	Ativo

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Comparando os resultados do azul de metileno com a tabela de identificação dos argilominerais, elaborada por Fabbri (1994) e apresentada no subitem 2.5, em que os coeficientes de atividade (CA) dos argilominerais das ilitas e caulinitas, ambos encontrados nos solos ensaiados, variam entre 20 e 30, pressupõe-se que o ensaio de azul de metileno possa ser um ensaio promissor para identificar o grau de atividade dos argilominerais presentes no solo.

A dificuldade encontrada para se proceder à análise do ensaio por meio do método de oxirredução é devida à detecção do ponto de viragem da reação do permanganato de potássio com o azul de metileno. Em solos que adsorveram maior quantidade do corante, a solução apresenta aspecto translúcido, facilitando a visualização do ponto. Já nas amostras em que a adsorção do solo não é expressiva a reação ocorre em um meio turvo e escuro, dificultando a visualização do fim da reação. Outro fator limitante da titulação é que, por se tratar de um método manual, há chances de ocorrerem erros tanto na parte de identificação do ponto de viragem quanto no gasto maior ou menor de permanganato de potássio. Tais subjetividades podem interferir significativamente na precisão dos resultados, bem como explicar a diferença entre os resultados dos ensaios.

Em comparação com a metodologia adotada por Bonini (2005), nesta pesquisa foi alterada a forma de realização da titulação. Na execução feita por Bonini (2005), a solução de permanganato era acrescentada de 1,0 ml em 1,0 ml e aguardava-se um minuto para observar o ponto de viragem. Já na metodologia apresentada neste trabalho foi executado um gotejamento contínuo da solução reagente, uma vez que a reação do permanganato de potássio e do azul de metileno apresenta descoloração contínua.

Em relação ao método de UV-Vis, o inconveniente do uso do espectrofotômetro é que em concentrações elevadas de azul de metileno não é possível realizar a leitura da absorção do comprimento de luz da amostra. Inicialmente, a dificuldade apresentada na metodologia do UV-Visível foi a de terminações dos padrões para a construção da curva de calibração. Isso porque soluções muito concentradas de azul de metileno não são adequadas para a leitura do equipamento.

Os limites de detecção do UV-Vis são da escala de  $10^{-4}$  a  $10^{-7}$  mol/L, fato esse que justifica a boa exatidão desse método. Outro fator que colabora para a exatidão do método é o fato de as incertezas típicas do ensaio serem da ordem de 1% a 3% (JULIANO, 2017).

Outra vantagem do UV-Vis é tratar-se de um equipamento eletrônico que apresenta resultados mais precisos e menos subjetivos, uma vez que não depende da observação do operador.

A metodologia do UV-vis utiliza apenas água, solo e azul de metileno, não sendo necessário nenhum tipo de outro reagente. Vantagem: pouco volume de material a ser analisado, pois precisa apenas de 3,5 ml para análise. Já para a realização da titulação pelo método de oxirredução é necessário obter uma solução filtrada com no mínimo 50 ml para ser posteriormente titulado com permanganato. Isso faz que este método leve mais tempo para ser executado.

## **4.2. Produção e Ensaio dos Adobes**

### **4.2.1. Produção dos adobes**

A produção do adobe necessita de planejamento e organização para que os blocos sejam produzidos com qualidade.

É importante ter ponto de água próximo, um local adequado para a preparação da massa e um lugar planejado para a secagem dos adobes.

Como a presença da fração argila no solo é fator importante para a qualidade dos adobes, isso significa também que a retração é uma característica do processo de secagem, principalmente quando não estabilizado. Portanto, é fundamental que o local de secagem seja protegido da insolação solar direta para que os adobes sequem com velocidade menor e com a retração acontecendo de forma gradual, diminuindo as chances de trincas. Observou-se também que é importante colocar areia no local onde o adobe é desmoldado para evitar que “grude” em contato com o piso, ficando solto para poder retrair sem trincar.

O modo de preencher a forma, conforme citado anteriormente, pode ter influência na resistência à compressão dos adobes. Por esse motivo, é importante fazer esse preenchimento de uma só vez ao invés de fazê-lo aos poucos, mas, para isso, o solo precisa ter boa coesão e plasticidade, adquiridas com a presença da argila.

Os solos com alto teor de silte como o solo B3 e alto teor de areia como os solos M1 e M2 são de difícil manejo devido à falta de coesão e plasticidade, tornando inviável o preenchimento da forma de uma só vez.

#### **4.2.2. Ensaio de resistência à compressão**

A seguir são apresentados os resultados de resistência à compressão dos adobes produzidos com os solos coletados.

As normas e autores citados no subitem 2.1 desta pesquisa indicam índices mínimos exigidos em relação à resistência à compressão, sendo eles: 1,5 MPa (14.7.4, 2015); 1,3 MPa (NZS 4297, 1998); 1,2 MPa (OTTAZZI *et al.*, 1995); e 1,7 MPa (OIA, 1981).

A Tabela 9 contém os resultados do ensaio do solo B1 que, apesar de estar fora dos padrões granulométricos e do limite de liquidez, conforme apresentado anteriormente, possui boa resistência à compressão, com média de 2,46 MPa, sendo esse resultado superior ao mínimo exigido por todas as normas e autores citados.

Tabela 9 – Resistência à compressão do solo B1

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4937,9	1150	2,33
2	4804,1	1160	2,41
3	4869,5	1390	2,85
4	4625,1	1090	2,36
5	5277,6	1250	2,37
6	4672,7	1220	2,61
7	4513,4	1110	2,46
8	5010,4	1360	2,71
9	5075	1030	2,03
10	5130,3	1290	2,51
11	4828,8	1000	2,07
12	5123,6	1420	2,77
13	4526,9	1240	2,74
14	4808	1050	2,18
<b>MÉDIA</b>		<b>2,46</b>	
Desvio-padrão		0,26	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os resultados do ensaio de resistência à compressão do solo B2 são apresentados na Tabela 10 e, apesar de ter resistência consideravelmente menor do que o solo B1, com média de 1,77 MPa, ainda assim possui resistência dentro dos parâmetros mínimos indicados.

O B3 demonstrou ser o solo com menor resistência, com uma média de 1,02 MPa, sendo esse resultado abaixo do preconizado em todas as normas e referências citadas (Tabela 11). Durante o manuseio dos adobes produzidos com esse solo para realização dos ensaios, percebeu-se possuir baixa coesão, desprendendo material com muita facilidade dos adobes.

Nas quatro amostras de solo analisadas de Bichinho, o B4 foi o que apresentou melhor resistência à compressão, com média de 2,60 MPa (Tabela 12), sendo esse resultado consideravelmente superior aos explicitados nas normas e recomendados pelos autores citados.



Tabela 10 – Resistência à compressão do solo B2

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4909,5	880	1,79
2	5089,7	840	1,65
3	5175,1	790	1,53
4	4990,4	890	1,78
5	4804,1	900	1,87
6	5446,4	910	1,67
7	4595,2	880	1,92
8	4690,9	1000	2,13
9	5626,2	920	1,64
10	5142,2	770	1,5
11	4670,5	860	1,84
12	4975,4	970	1,95
13	4907,1	900	1,83
14	4638,7	760	1,64
<b>MÉDIA</b>		<b>1,77</b>	
Desvio-padrão		0,17	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 11 – Resistência à compressão do solo B3

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	<b>4935,1</b>	<b>580</b>	<b>1,18</b>
2	5373,8	670	1,25
3	4788,2	200	0,42
4	5311,5	470	0,88
5	5326,6	530	1
6	4413,8	510	1,16
7	5264,1	580	1,1
8	5289,2	600	1,13
9	5119,4	490	0,96
10	5240,5	490	0,94
11	5211,5	530	1,02
12	5710,5	690	1,21
13	5743	710	1,24
14	5607,9	490	0,87
<b>MÉDIA</b>		<b>1,02</b>	
Desvio-padrão		0,22	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 12 – Resistência à compressão do solo B4

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4435,4	1160	2,62
2	4738,7	800	1,69
3	4678,5	1070	2,29
4	4445,3	1250	2,81
5	4995,8	1230	2,46
6	4484,5	1320	2,94
7	4500,7	1330	2,96
8	4715,9	1430	3,03
9	4823,1	1340	2,78
10	4135,6	1200	2,9
11	4243,6	1060	2,5
12	4449,1	960	2,16
13	4522,1	1190	2,63
14	4538,3	1190	2,62
<b>MÉDIA</b>		<b>2,60</b>	
Desvio-padrão		0,37	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os resultados do ensaio de resistência à compressão do solo L1 são apresentados na Tabela 10, demonstrando resistência maior do que os adobes produzidos com o solo de Bichinho; o solo 1 da Lapinha da Serra mostrou resistência média de 2,70 MPa.

Os adobes produzidos com o solo L2 apresentaram maior resistência à compressão entre os dos 12 solos coletados, com média de 4,01 MPa, sendo essa resistência considerada muito elevada quando comparada com a dos outros solos coletados e os valores encontrados na literatura.

Os adobes produzidos com o solo M1, da cidade de Mariana-MG, apresentaram média de 1,94 MPa, valor esse acima do padrão exigido pelas normas e documentos citados nesta pesquisa (Tabela 15).

Tabela 13 – Resistência à compressão do solo L1

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	5517,18	1540	2,79
2	5331,65	1420	2,66
3	4908,87	1120	2,28
4	4882,33	1310	2,68
5	5145,86	1190	2,31
6	4856,88	1520	3,13
7	4863,23	1210	2,49
8	5394,62	1350	2,50
9	4716,47	1310	2,78
10	4898,36	1380	2,82
11	4712,95	1420	3,01
12	4883,44	1290	2,64
13	4531,83	1260	2,78
14	4992,63	1470	2,94
<b>Média</b>		<b>2,70</b>	
Desvio-padrão		0,25	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 14 – Resultado do ensaio de resistência à compressão do solo L2

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4919,4	1800	3,66
2	5408,1	1830	3,38
3	5200,8	1680	3,23
4	4974,4	2040	4,10
5	4822,6	1850	3,84
6	5048,2	2110	4,18
7	4970,2	2260	4,55
8	4783	2160	4,52
9	5010	2060	4,11
10	4874,6	1720	3,53
11	4930,5	2330	4,73
12	5413,8	2180	4,03
13	4623	1860	4,02
14	4581,6	1970	4,30
<b>Média</b>		<b>4,01</b>	
Desvio-padrão		0,44	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 15 – Resistência à compressão do solo M1

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4697,2	930	1,98
2	5247,8	950	1,81
3	4748,0	860	1,81
4	5372,1	1140	2,12
5	5371,4	1020	1,90
6	4583,1	760	1,66
7	4809,3	1150	2,39
8	4691,5	790	1,68
9	4920,4	880	1,79
10	5135,8	1080	2,10
11	4888,3	980	2,00
12	4512,1	790	1,75
13	5026,3	1030	2,05
14	5413,0	1110	2,05
<b>Média</b>		<b>1,94</b>	
Desvio-padrão		0,20	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O solo M2, também coletado em Mariana, apresentou resistência um pouco mais baixa que o M1, mas ainda assim acima da média exigida para a sua utilização, com média de 1,68 MPa, conforme apresentado na Tabela 16.

O solo S1, de Sabará, apresentou média de 1,78 MPa, conforme mostrado na Tabela 17.

O solo S2 de Sabará mostrou resistência maior do que a do S1, com média de 2,77 MPa (Tabela 18), evidenciando que solos da mesma região podem ter características diferentes.

A segunda maior resistência dos adobes encontrada nesses ensaios foi do solo da Serra do Cipó (SC), com média de 3,45 MPa (Tabela 19).

Os adobes produzidos pelo solo coletado em Lavras Novas (LN) apresentaram boa resistência à compressão, com média de 2,92 MPa, conforme demonstrado na Tabela 20.

Tabela 16 – Resistência à compressão do solo M2

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	5778,6	850	1,47
2	6276,6	1100	1,75
3	6510,6	1150	1,77
4	5961,0	930	1,56
5	6518,1	1030	1,58
6	5956,6	730	1,23
7	6109,8	1110	1,82
8	5896,5	1200	2,04
9	6603,0	1240	1,88
10	7230,7	1120	1,55
11	5691,3	920	1,62
12	6690,7	1260	1,88
13	7086,5	1130	1,59
14	6309,9	1150	1,82
<b>Média</b>		<b>1,68</b>	
Desvio-padrão		0,21	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 17 – Resistência à compressão do solo S1

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	5085,2	1030	2,03
2	5315,4	1060	1,99
3	5450,0	830	1,52
4	4675,5	850	1,82
5	5109,9	880	1,72
6	4865,1	870	1,79
7	5126,2	930	1,81
8	4432,4	870	1,96
9	4443,2	840	1,89
10	5915,5	900	1,52
11	5371,9	920	1,71
12	4961,9	880	1,77
13	4949,3	900	1,82
14	4573,8	740	1,62
<b>Média</b>		<b>1,78</b>	
Desvio-padrão		0,16	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 18 – Resistência à compressão do solo S2

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4420,0	1133	2,56
2	4321,5	1323	3,06
3	4722,6	1551	3,28
4	4112,0	1247	3,03
5	4404,9	1036	2,35
6	4606,9	1347	2,92
7	4539,0	1413	3,11
8	4372,5	1142	2,61
9	4880,6	1420	2,91
10	4623,8	1237	2,68
11	4415,5	1192	2,70
12	4435,8	1045	2,36
13	4635,4	1199	2,59
14	4450,5	1177	2,64
<b>Média</b>		<b>2,77</b>	
Desvio-padrão		0,29	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 19 – Resistência à compressão do solo SC

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4908,4	1970	4,01
2	4563,8	1300	2,85
3	4477,1	1710	3,82
4	4342,2	1350	3,11
5	4498,7	1510	3,36
6	5023,3	1650	3,28
7	4632,8	1750	3,78
8	4738,9	1670	3,52
9	5054,5	1530	3,03
10	4312,0	1440	3,34
11	4543,0	1600	3,52
12	4822,9	1860	3,86
13	5354,5	1680	3,14
14	5152,9	1870	3,63
<b>Média</b>		<b>3,45</b>	
Desvio-padrão		0,35	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 20 – Resistência à compressão do solo LN

<b>CP Nº</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
1	4494,8	940	2,09
2	4928,8	1510	3,06
3	5125,2	1100	2,15
4	4832,7	1640	3,39
5	4793,6	1840	3,84
6	4404,6	1240	2,82
7	4761,9	1360	2,86
8	4950,4	1560	3,15
9	4403,4	1110	2,52
10	4205,2	1270	3,02
11	4887,4	1510	3,09
12	4645,5	1280	2,76
13	4690,4	1340	2,86
14	4626,5	1520	3,29
<b>Média</b>			<b>2,92</b>
Desvio-padrão			0,46

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.2.3. Absorção de água

Na Tabela 21 são apresentados os resultados do ensaio de absorção de água realizado com os adobes. Dos tijolos produzidos com o solo de Bichinho (B1, B2, B3 e B4), apenas os do solo B1 resistiram ao ensaio proposto de 24 horas imersos em tanque de água, apresentando um resultado de 28,10% de Absorção de Água (AA). Dos solos da Lapinha da Serra (L1 e L2), o L2 resistiu ao ensaio, apresentando absorção de água de 21,1%. Ambos os solos de Mariana resistiram ao ensaio, apresentando absorção de água de 23% para o solo M1 e de 12,8% para o M2, sendo os adobes desses solos os que apresentaram menor absorção de água entre os 12 ensaiados. Os adobes produzidos com o solo S1, da região de Sabará, não resistiram ao ensaio, já o S2 teve uma porcentagem de absorção de água de 14,7. Os adobes do solo da Serra do Cipó (SC) e de Lavras Novas (LN) também resistiram ao ensaio, absorvendo 18,2% e 25,7% de água, respectivamente.

Tabela 21 – Absorção de água pelos adobes

<b>Amostra</b>	<b>Absorção de água (%)</b>
B1	28,1
B2	-
B3	-
B4	-
L1	-
L2	21,1
M1	23,0
M2	12,8
S1	-
S2	14,7
SC	18,2
LN	25,7

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.2.4. Retração relativa

A seguir são apresentados os resultados do ensaio de retração relativa (RR) dos adobes (Tabela 22).

Tabela 22 – Retração relativa dos adobes

<b>Amostra</b>	<b>Retração relativa (%)</b>
B1	6,59
B2	8,35
B3	6,52
B4	7,64
L1	6,14
L2	5,51
M1	7,27
M2	0,45
S1	4,71
S2	4,60
SC	6,99
LN	8,07

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.3. Resumo dos Resultados

Na Tabela 23 são apresentados os resultados de todos os ensaios apresentados.



Tabela 23 – Resumos dos resultados

Amostra	% Argila	% Silte	% Areia	% Pedregulho	LL	LP	IP	Difratometria de raios X	Va - OX	CA - OX	Va - UV	CA - UV	Resistência à compressão	Absorção de água	Retração relativa
B1	57	19	23,6	0,4	60	35	25	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita	10,48	18,39	9,85	17,28	2,46	28,1	6,59
B2	49	31,1	16,8	3,1	64	38	26	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita	19,78	31,15	7,42	15,14	1,77	-	8,35
B3	16	65,3	17,8	0,9	46	27	19	Il – Ilita, Ct –Caulinita – Gb – Gibbisita – Gt – Goethita – Hm Hematita	10,87	67,96	7,03	43,92	1,02	-	6,52
B4	44	31,4	16,4	8,2	55	27	28	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita	12,34	28,03	9,35	21,25	2,6	-	7,64
L1	31	36,3	31,4	1,3	31	23	8	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita	9,91	31,97	7,21	23,26	2,7	-	6,14
L2	55	19	26	0	38	29	9	Ct – Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita	12,81	23,29	10,53	19,14	4,01	21,08	5,51

Tabela 24 – Resumos dos resultados

Amostra	% Argila	% Silte	% Areia	% Pedregulho	LL	LP	IP	Difratometria de raios X	Va - OX	CA - OX	Va - UV	CA - UV	Resistência à compressão	Absorção de água	Retração relativa
M1	28	19,3	51,1	4,6	44	27	17	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita	5,69	21,07	6,99	25,88	1,94	22,96	7,27
M2	9	17,5	66,2	27,6	0	0	0	Cc – Calcita, Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita	3,52	50,36	1,23	17,59	1,68	12,75	0,45
S1	17	51,2	24,7	27	42	20	22	Ct – Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita	3,71	26,51	6,41	45,79	1,78	-	4,71
S2	27	38,1	32,5	4,7	28	22	6	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita	10,16	39,07	4,46	17,16	2,77	14,68	4,60
SC	47	30,7	22,3	0	46	29	17	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita, 2:1 = Vermiculita, Montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidróxi entre camadas	9,56	20,35	10,93	23,25	3,45	18,18	6,99
LN	40	37	22,1	0,9	48	30	18	Ct – Caulinita, Gb – Gibbisita, Gt – Goethita, Il – Ilita, Vermiculita com hidróxi entre camadas (2:1)	14,82	37,05	8,91	22,28	2,92	25,68	8,07

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### **4.4. Análise dos Gráficos de Dispersão entre as Variáveis**

A seguir são apresentadas uma análise por meio de gráficos de dispersão e outra de correlação das variações de respostas, sendo elas resistência à compressão, absorção de água e retração relativa dos adobes ensaiados com cada variável de caracterização do solo dos ensaios tradicionais (teores de areia, silte e argila e LL e IP). O principal objetivo das análises foi verificar o grau de relação entre essas variáveis.

Na análise de correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) para conferir a intensidade e direção da relação linear entre as variáveis. O coeficiente de correlação pode variar em valor de  $-1$  a  $+1$ . Quanto maior for o valor absoluto do coeficiente, mais forte será a relação entre as variáveis. O sinal de cada coeficiente indica a direção da relação. Se ambas as variáveis tendem a aumentar em conjunto, o coeficiente é positivo e a linha que representa a correlação inclina para cima. Se uma variável tende a aumentar à medida que a outra diminui, o coeficiente é negativo e a linha que representa a correlação inclina para baixo.

Os gráficos de dispersão ilustram essa correlação e, quanto maior a correlação, mais perto os pontos ficam próximos da linha.

##### **4.4.1. Resistência à compressão versus os ensaios tradicionais de caracterização do solo**

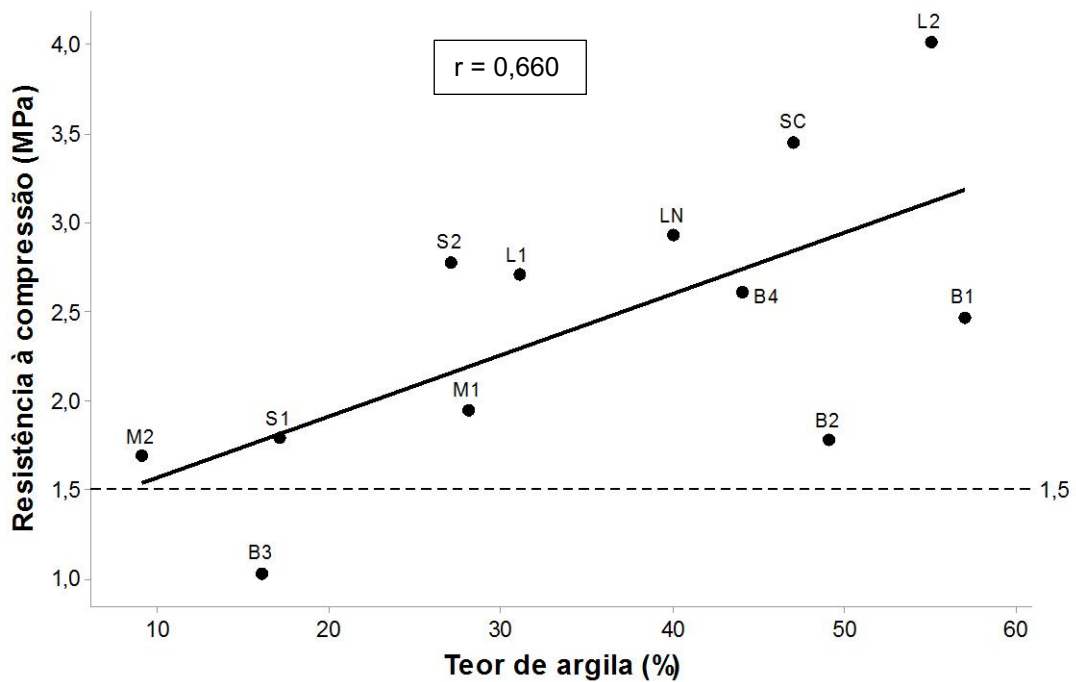
O adobe pode ser utilizado como vedação, com estrutura independente de madeira, concreto ou estrutura metálica, ou como estrutural, tornando a resistência à compressão o principal ensaio de caracterização física a ser realizado para garantir qualidade e durabilidade da construção.

Para análise da relação entre os resultados do ensaio de resistência à compressão e os dos ensaios tradicionais, foi utilizada como base a resistência à compressão mínima de 1,5 MPa sugerida pela NBR 16814 (ABNT, 2020). Os parâmetros propostos servem apenas para solos dentro da faixa de parâmetros dos solos utilizados nesta pesquisa.

Analisando apenas a resistência à compressão (Gráfico 3), apenas o solo B3 ficou abaixo do mínimo exigido pela Norma Brasileira de Adobe. Quando relacionado à resistência apenas ao teor de argila, verifica-se que o coeficiente é positivo e significativo, com o coeficiente  $r$  de 0,660, ou seja, quanto maior a porcentagem de

argila no solo, maior a resistência à compressão. Apesar da alta relação entre as variáveis, ao determinar um intervalo de 7% - 59%, sendo esses o mínimo e o máximo dos solos ensaiados, verifica-se que isso não é suficiente, uma vez que o solo B3, que possui teor de argila de 16%, apresentou resistência abaixo de 1,5 MPa.

Gráfico 3 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* teor de argila

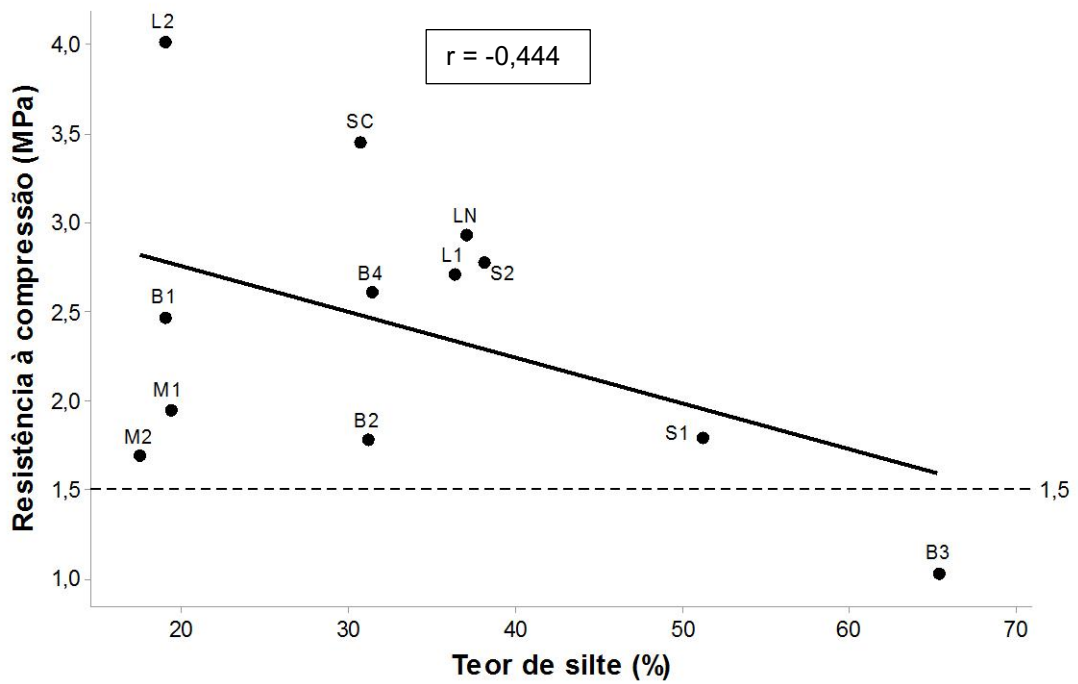


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No gráfico de dispersão da resistência à compressão *versus* o teor de silte (Gráfigura 4), observa-se que, apesar de a relação entre os resultados não ser significativa, com coeficiente  $r = -0,44$ , ela mostra uma associação negativa, ou seja, quanto maior o valor de silte, menor a resistência à compressão.

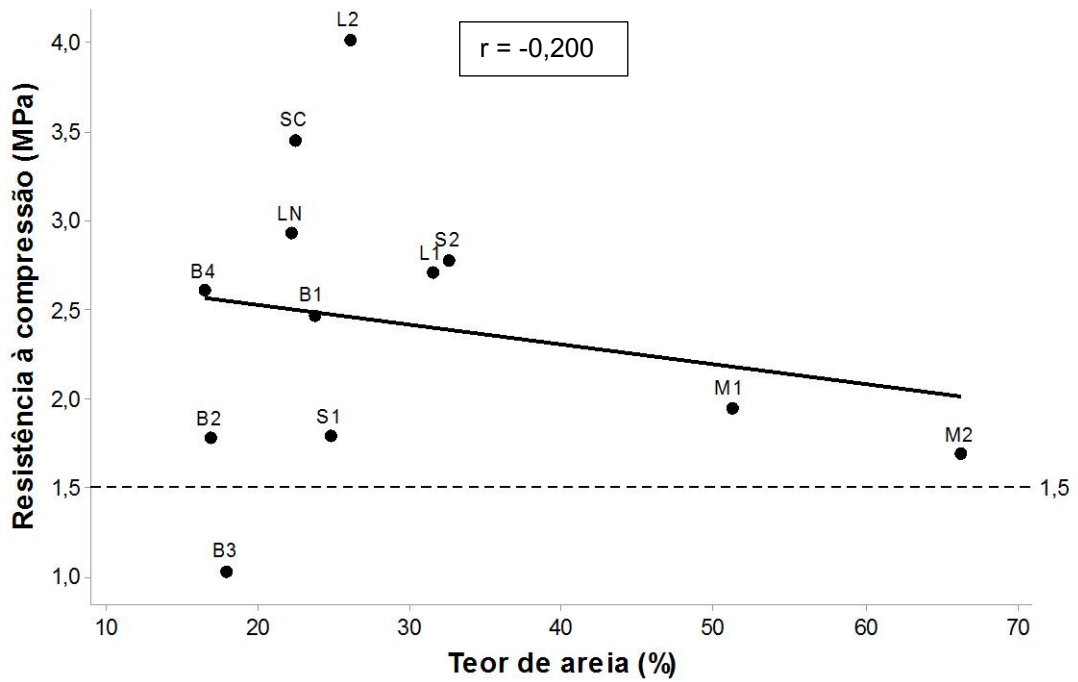
O gráfico de dispersão da resistência à compressão *versus* o teor de areia (Gráfico 5) demonstra que a relação entre as variáveis não é significativa, apresentando coeficiente de correlação  $r = -0,2$ . Apesar de as partículas de areia possuírem alta resistência à compressão, observou-se que no adobe o papel da argila como aglomerante dessas partículas é fundamental.

Gráfico 4 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* teor de silte



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

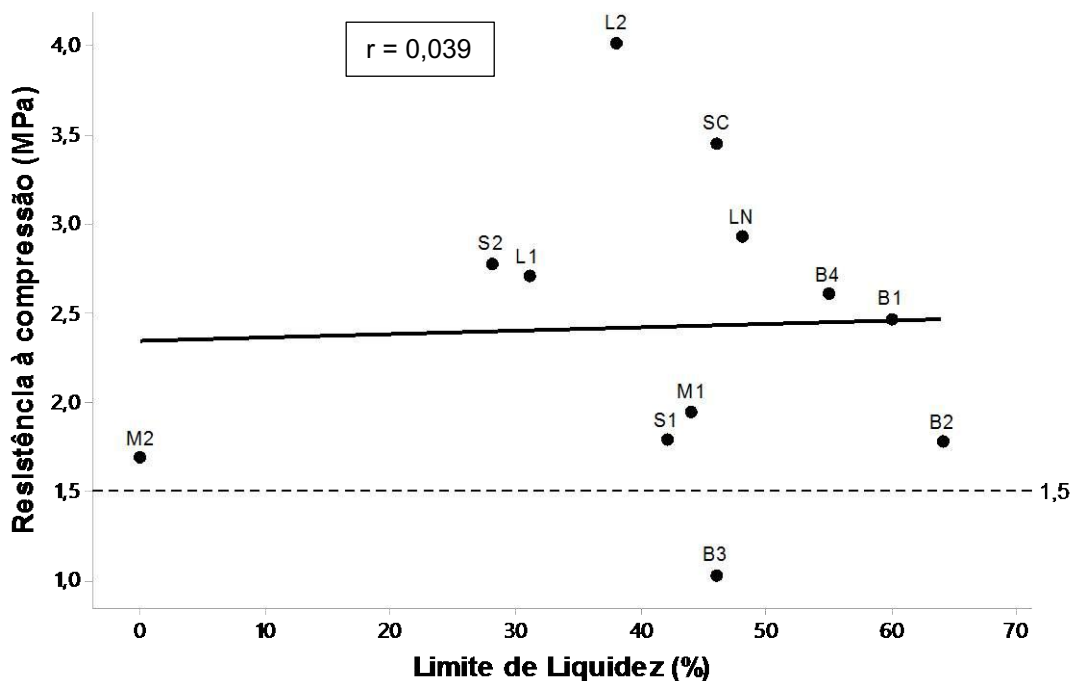
Gráfico 5 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* teor de areia



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Apesar do baixo coeficiente de correlação ( $r = 0,039$ ), não significativo, o gráfico de dispersão da resistência à compressão *versus* o limite de liquidez (Gráfico 6) demonstra que a correlação é positiva, apresentando tendência ao aumento da resistência com o  $LL \leq 38\%$ . Após esse limite, verificou-se decréscimo da resistência, tornando o LL inversamente proporcional à compressão. Isso mostra também que a análise de correlação linear de Pearson não se mostrou adequada para explicar a relação entre essas duas variáveis.

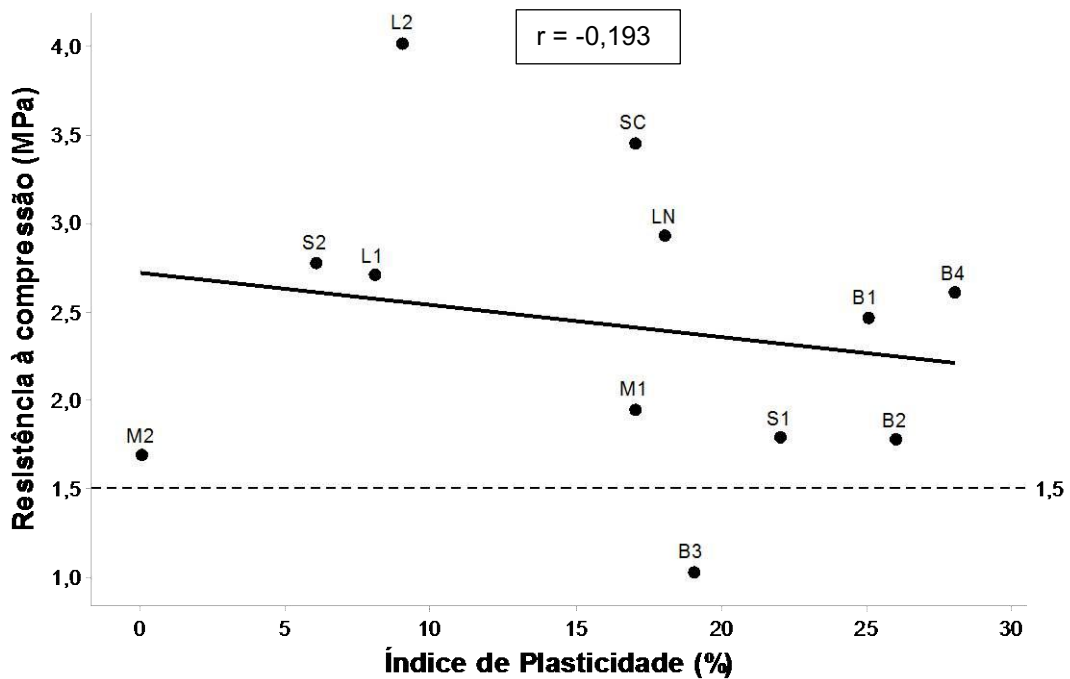
Gráfico 6 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* Limite de Liquidez (LL)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Analisando a resistência à compressão *versus* o Índice de Plasticidade (Gráfico 7), verifica-se que a relação entre as variáveis não é significativa, com o coeficiente de  $r = -0,19$  mostrando baixo grau de associação entre essas duas variáveis.

Gráfico 7 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* Índice de Plasticidade (IP)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

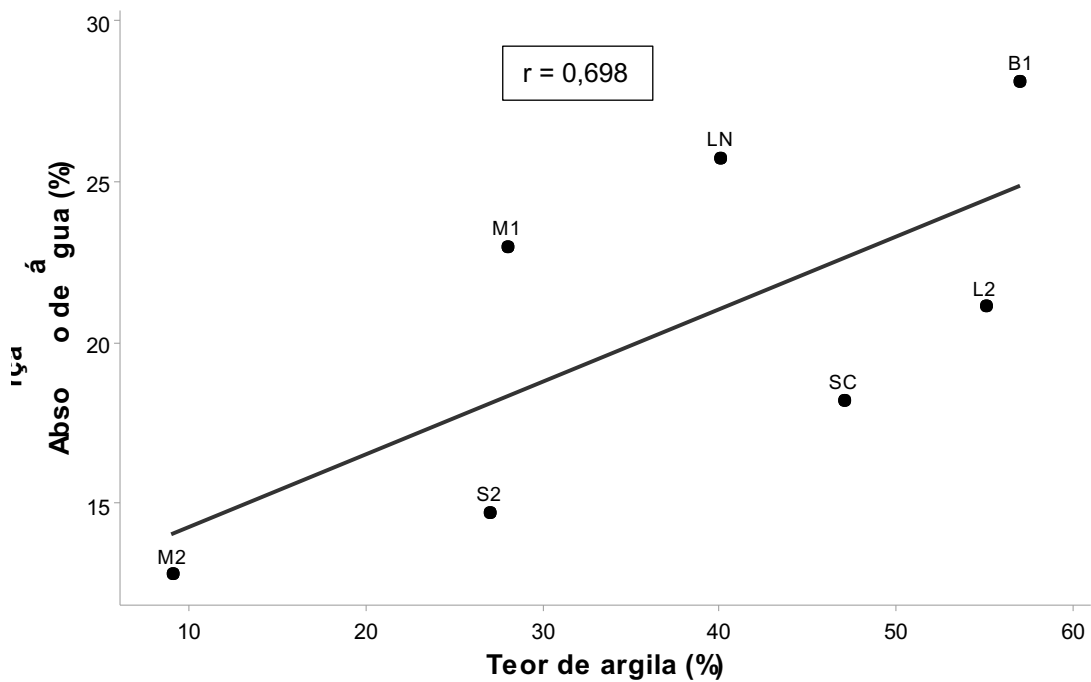
Ao analisar os resultados dos gráficos de dispersão da resistência à compressão *versus* os resultados da caracterização tradicional do solo, pode-se verificar maior relação entre os resultados de teor de argila e teor de silte, justificada pelo aumento da força de superfície presente na fração de argila.

#### 4.4.2. Absorção de água *versus* os ensaios tradicionais de caracterização do solo

O ensaio de absorção de água, conforme descrito em Material e Métodos, tem como objetivo quantificar a porcentagem de água absorvida pelo adobe ao ser imerso em água durante 24 horas. Não foi possível estimar nenhum parâmetro mínimo nesse ensaio, uma vez que é recomendado que as construções de adobe fiquem protegidas do contato direto com a água. Apesar disso, esse parâmetro poderia servir de base para um adobe mais resistente às intempéries, uma vez que muitas construções utilizam os adobes aparentes, sem reboco ou pintura. Os resultados dos tijolos que não resistiram ao ensaio de absorção de água e se desmancharam durante o processo foram desconsiderados.

Pelo Gráfico 8, pode-se verificar alto grau de associação positiva entre o resultado de absorção de água e o teor de argila do solo, pois, quanto maior a quantidade de argila no solo, maior a absorção de água pelo adobe, com um coeficiente  $r = 0,70$  significativo.

Gráfico 8 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* teor de argila



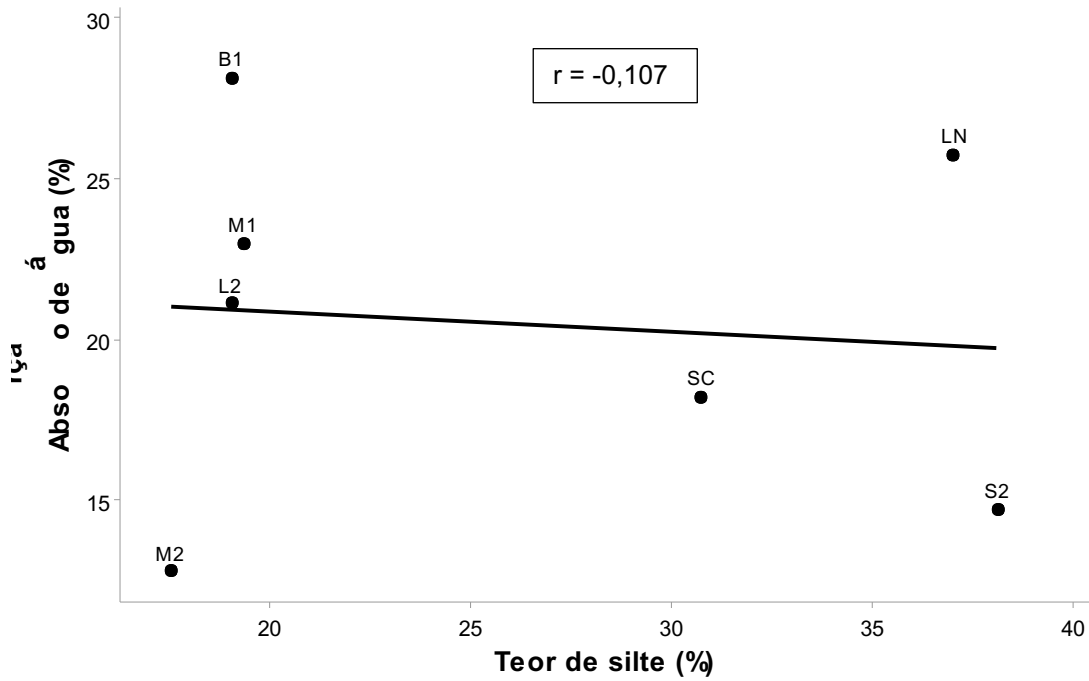
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Pelo Gráfico 9, verifica-se que a absorção de água pelo adobe e o teor de silte presente no solo possuem baixo coeficiente de correlação ( $r = -0,107$ ), não significativo.

Pelo gráfico de dispersão com absorção de água *versus* teor de areia (Gráfico 10), pode-se observar que a relação é negativa, porém não significativa, entre o teor de areia e a absorção de água, com um coeficiente  $r = -0,545$ .

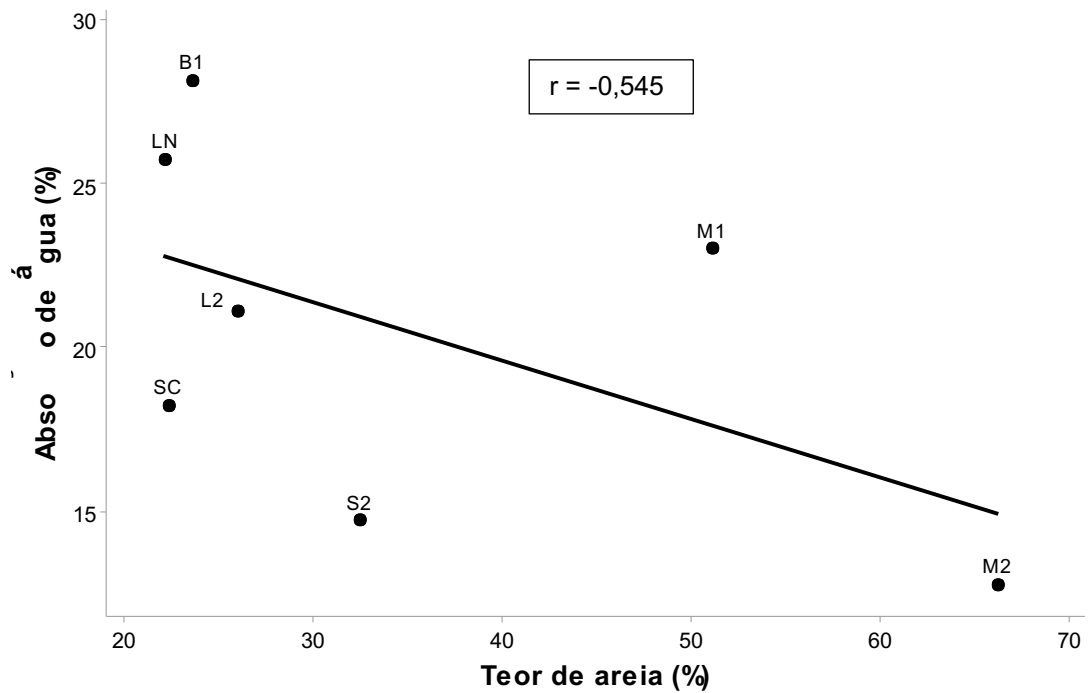


Gráfico 9 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* teor de silte



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

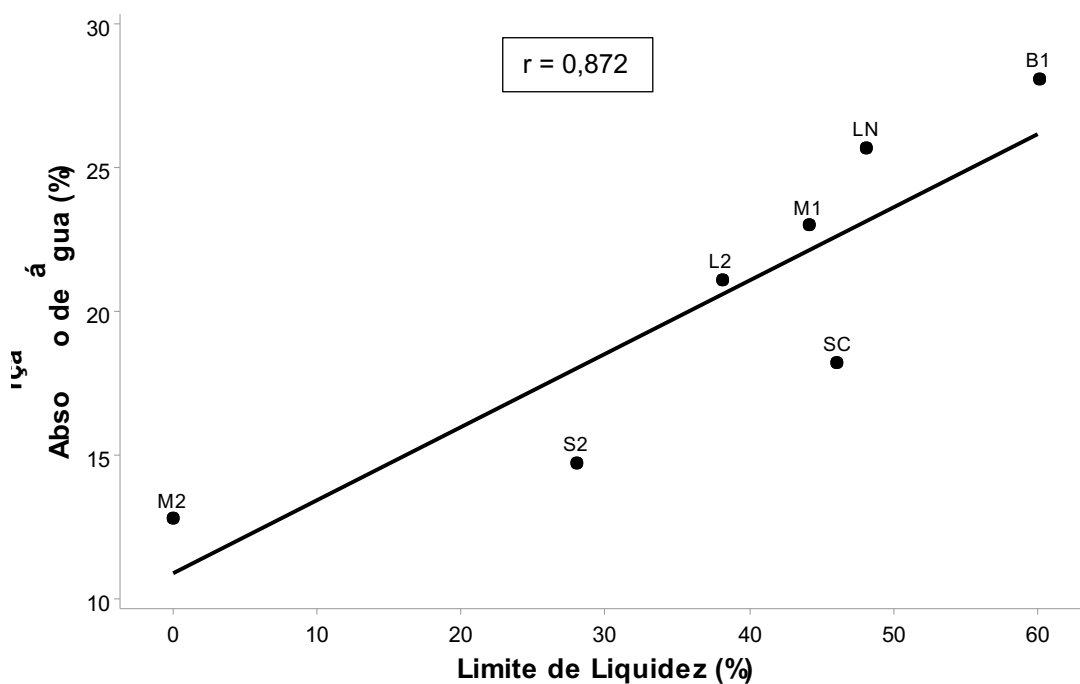
Gráfico 10 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* teor de areia



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao analisar o resultado de absorção de água com o LL (Gráfico 11), pode-se verificar relação positiva e significativa entre as duas grandezas, com coeficiente  $r = 0,872$ .

Gráfico 11 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* o limite de liquidez

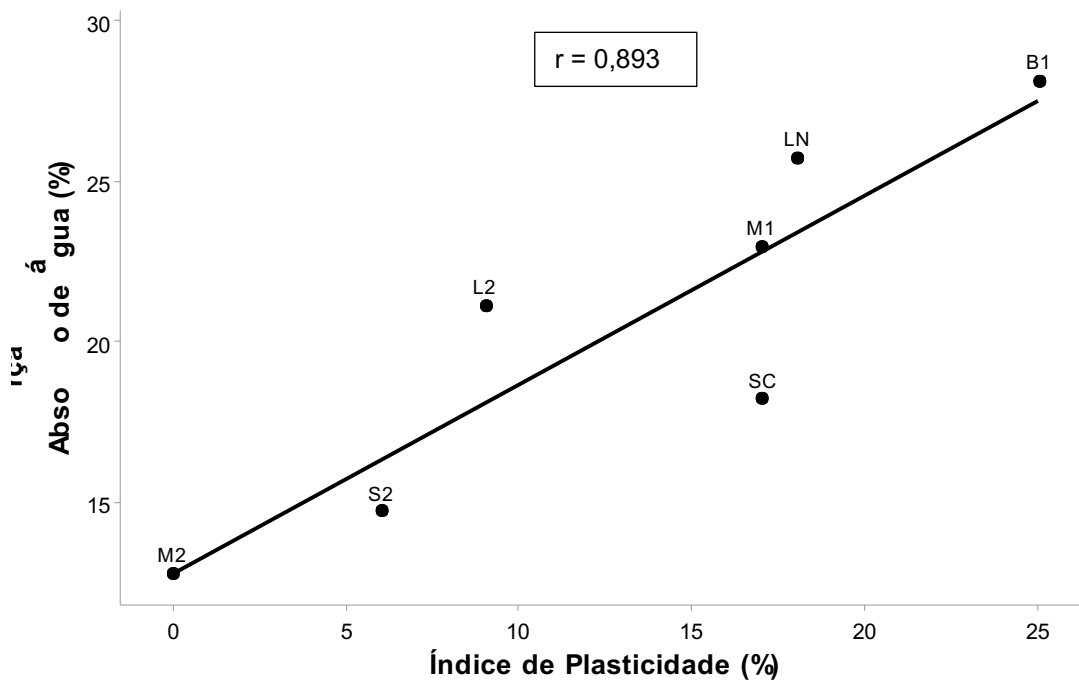


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Como a relação entre absorção de água e IP foi positiva e significativa (coeficiente de correlação igual a 0,89), conforme apresentado no Gráfico 12, isso demonstra que os limites de consistência são importantes para prever o comportamento do adobe quanto à absorção de água.

Analisando os resultados dos gráficos de dispersão da absorção de água *versus* os resultados da caracterização tradicional do solo, observa-se a importância do ensaio de limites de consistência para compreender o comportamento do adobe em relação à sua absorção de água, pois, quanto maiores o LL e o IP, maior também a sua absorção de água.

Gráfico 12 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* o índice de plasticidade



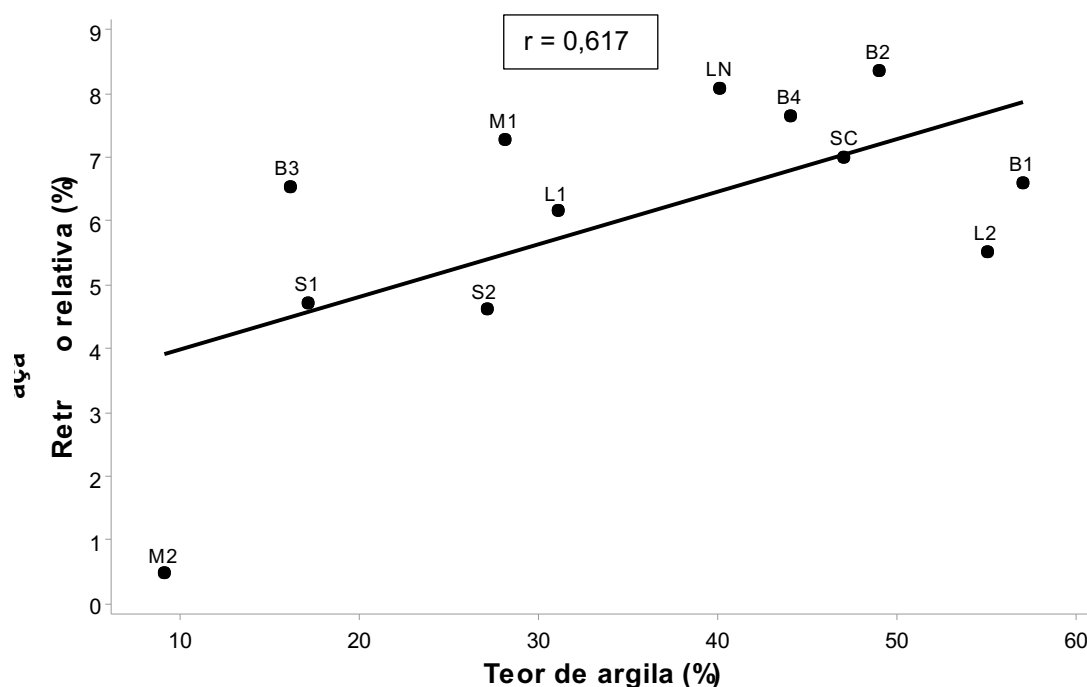
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.4.3. Retração relativa *versus* os ensaios tradicionais de caracterização do solo

Apesar de não existir parâmetro de retração máxima para o adobe, esse é um fator que deve ser levado em conta na sua fabricação, uma vez que, quanto maior a retração ao secar, maior a chance de o adobe trincar durante esse processo. Nos solos com alto índice de retração pode ser necessário o acréscimo de estabilizantes para diminuir as trincas no processo de secagem do tijolo. A Norma Brasileira de Adobe recomenda essa estabilização para solos com teor de argila acima de 30%, mas é importante analisar a relação com as outras variáveis, como as atividades dos argilominerais presentes no solo e a quantidade de areia.

Observa-se no Gráfico 13, de dispersão, que a porcentagem de retração relativa do adobe está diretamente relacionada ao teor de argila no solo, o que é explicado pela presença dos argilominerais. A relação entre as variáveis não é significativa, com coeficiente  $r = 0,617$ . A diversidade dos solos com maiores porcentagens de argila e menor retração pode ser explicada pela baixa atividade de alguns argilominerais presentes no solo.

Gráfico 13 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o teor de argila



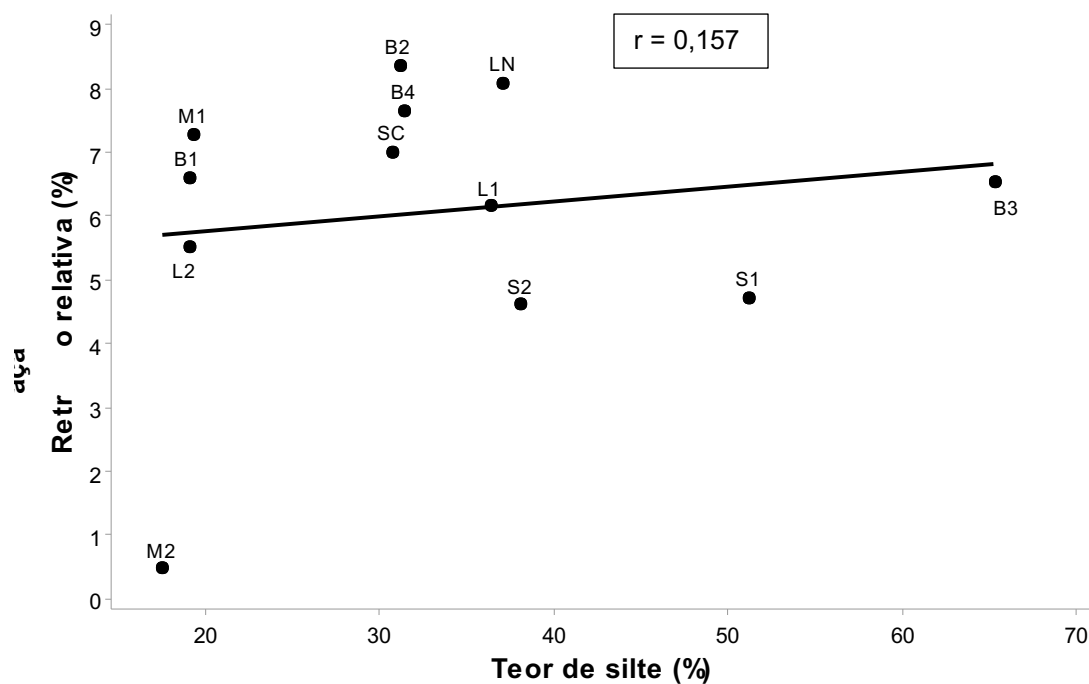
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A relação entre a retração relativa e o teor de silte não foi significativa, conforme demonstrado no Gráfico 14, com coeficiente de correlação  $r = 0,157$ .

Pelo Gráfico 15, pode-se verificar que a relação entre a retração relativa do adobe e o teor de areia no solo é negativa, o que é explicado pela propriedade de estabilidade volumétrica das partículas em questão. A relação entre as variáveis é significativa, com coeficiente de correlação  $r = -0,724$ , demonstrando que não é apenas a fração de argila responsável pela explicação da retração relativa do adobe.

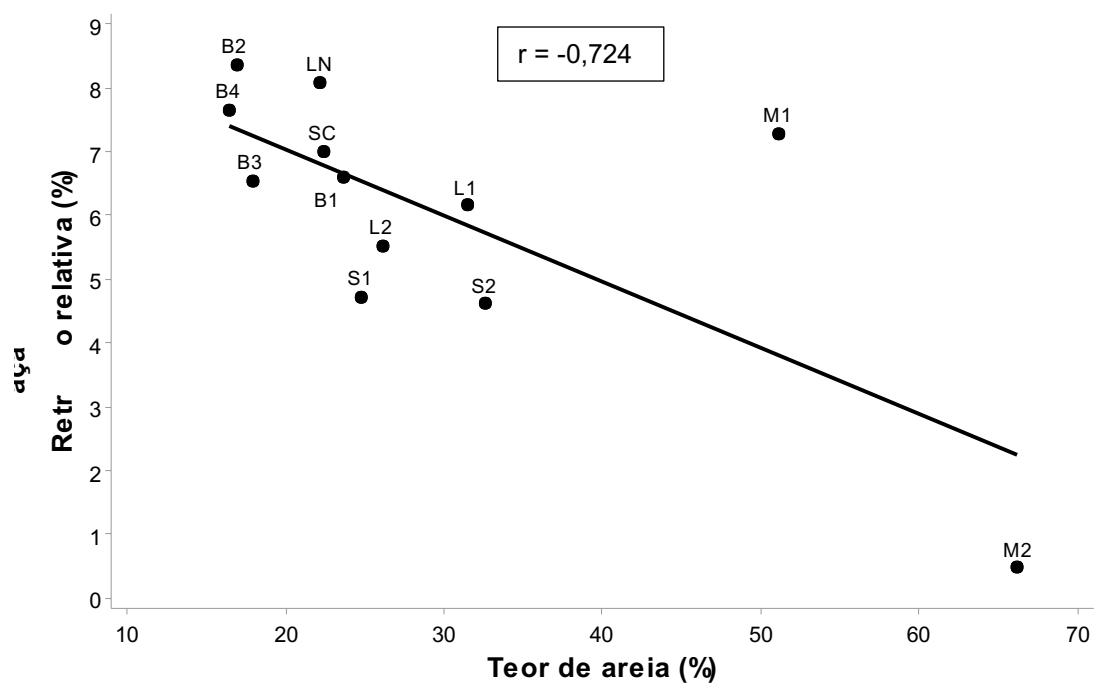
Os Gráficos 16 e 17 representam a relação da retração relativa *versus* o limite de liquidez e o índice de plasticidade, respectivamente. Ambos os resultados apresentam relação positiva e significativa. Tal retração pode ser explicada pela relação dos limites de consistência com a porcentagem de argila presente no solo.

Gráfico 14 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o teor de silte



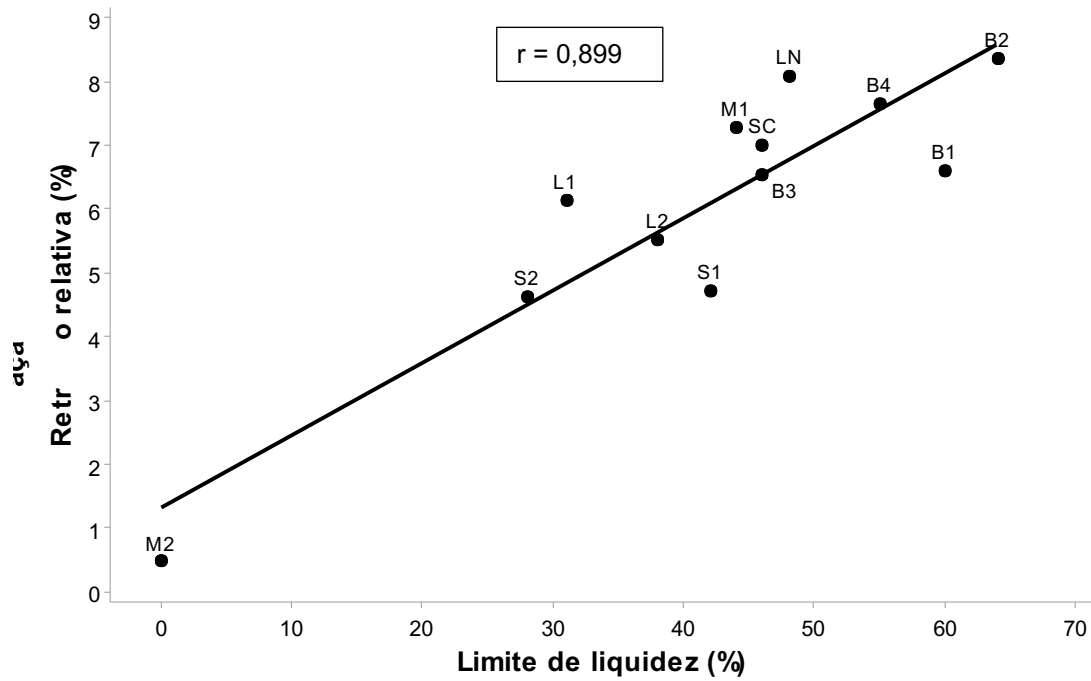
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 15 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o teor de areia



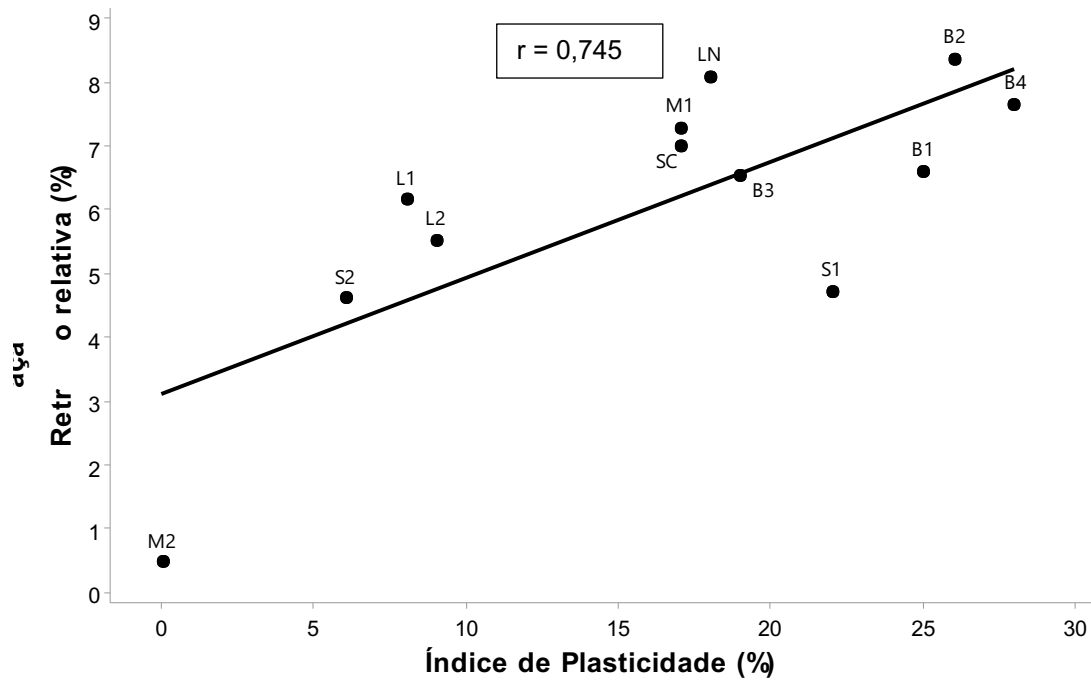
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 16 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o Limite de Liquidez (LL)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 17 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o índice de plasticidade



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

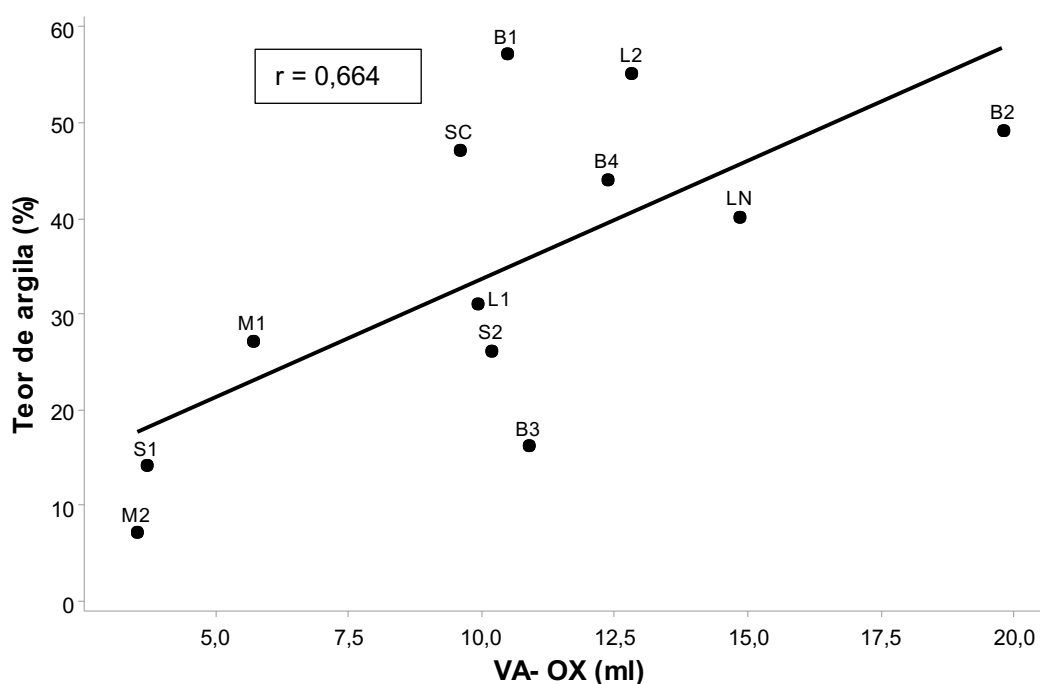
Ao analisar os gráficos de dispersão da retração relativa em relação aos índices produzidos pelos ensaios tradicionais de caracterização do solo, conclui-se que a porcentagem de argila e de areia no solo está diretamente relacionada à propriedade física do adobe em questão, apresentando correlação positiva e significativa. Devido à falta de parâmetros de retração máxima, não é possível determinar uma faixa ideal de valores mínimos e máximos de argila e areia, mas por meio desse resultado se pode prever o uso de estabilizantes, como a fibra vegetal, quando a retração for elevada.

#### 4.5. Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno

Ao comparar os resultados do ensaio de azul de metileno pelo método de oxirredução (OX) e pelo método UV-Vis (UV), verifica-se que há divergências entre os resultados. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que o ponto de viragem do ensaio por oxirredução depende da observação do operador.

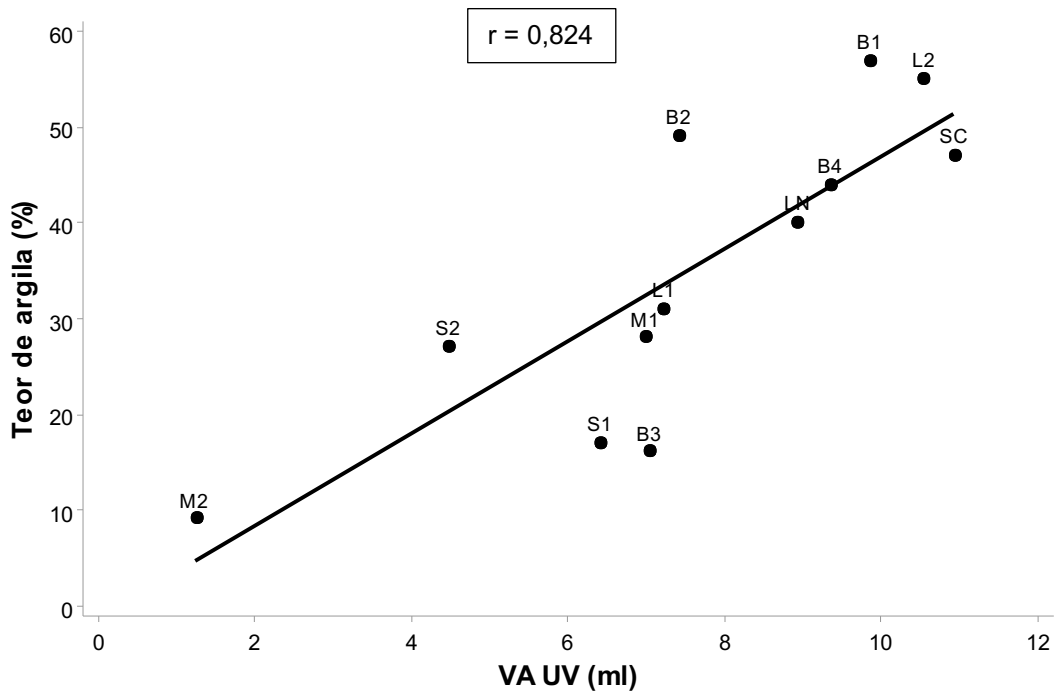
Pelos Gráfico 18 e Gráfico 19, pode-se verificar que existe relação positiva significativa entre a porcentagem de argila contida no solo e o volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo ( $V_a$ ), o que valida o ensaio tanto pelo método de oxirredução quanto pelo UV-Vis.

Gráfico 18 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação do teor de argila *versus* o  $V_a$  pelo método de oxirredução



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 19 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação do teor de argila *versus* o Va pelo método de UV-Vis



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

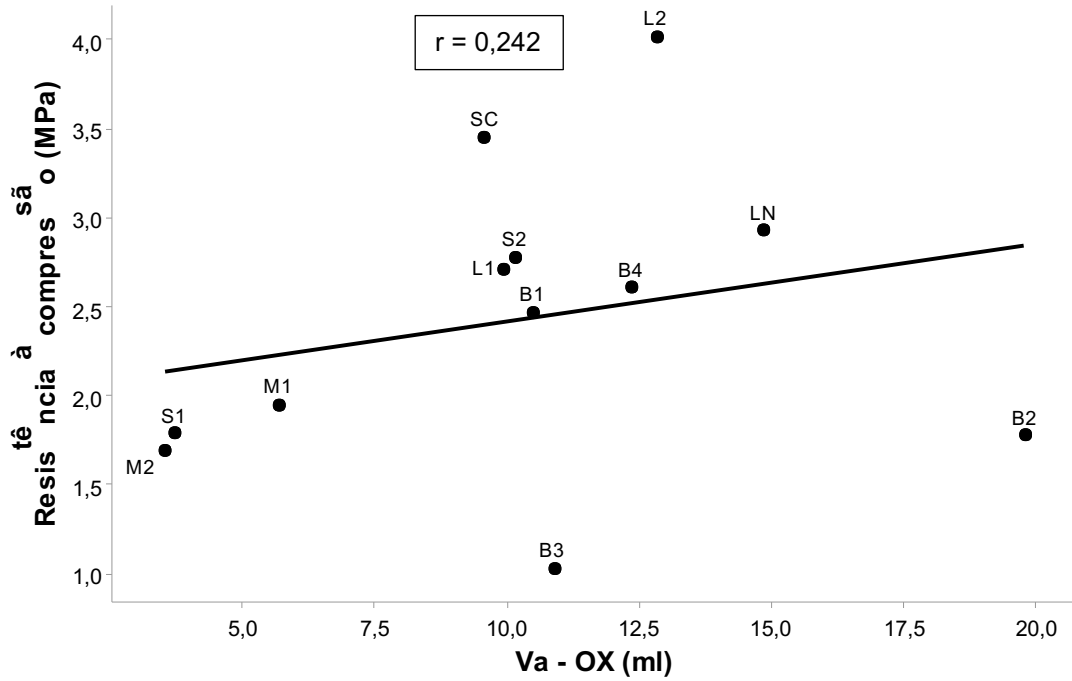
A seguir é analisada, nos gráficos de dispersão simples, a relação dos ensaios das propriedades físicas dos adobes *versus* os resultados de volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral (Va) e o Coeficiente de Atividade (CA), gerados por ambos os métodos do ensaio de azul de metileno.

Ao analisar o Gráfico 20, que ilustra a relação entre o resultado da resistência à compressão dos adobes produzidos e os resultados do Va – Ox, observa-se relação positiva não significativa, com coeficiente de correlação  $r = 0,242$ . Pelo método de UV-Vis (Gráfico 21), os resultados de Va também apresentam relação não significativa ( $r = 0,532$ ) da resistência à compressão. Apesar de haver alguns pontos fora do padrão, tornando a relação baixa, a relação positiva é explicada pela influência da argila na resistência, conforme comentado anteriormente.

Ao analisar a relação entre os valores da resistência à compressão e os valores de CA gerados pelo método de oxirredução (Gráfico 22) e pelo método UV-Vis (Gráfico 23), observou-se relação negativa não significativa, verificando, porém, que, quanto maior a atividade dessa relação, menor a resistência do adobe à compressão.

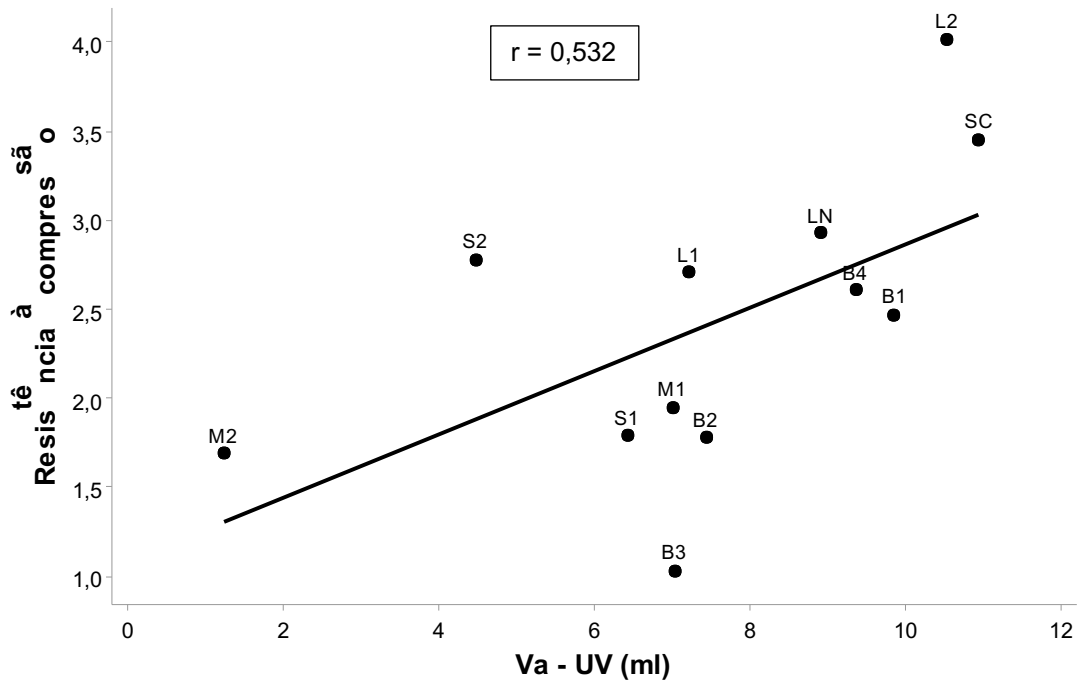


Gráfico 20 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* o Va pelo método de oxirredução



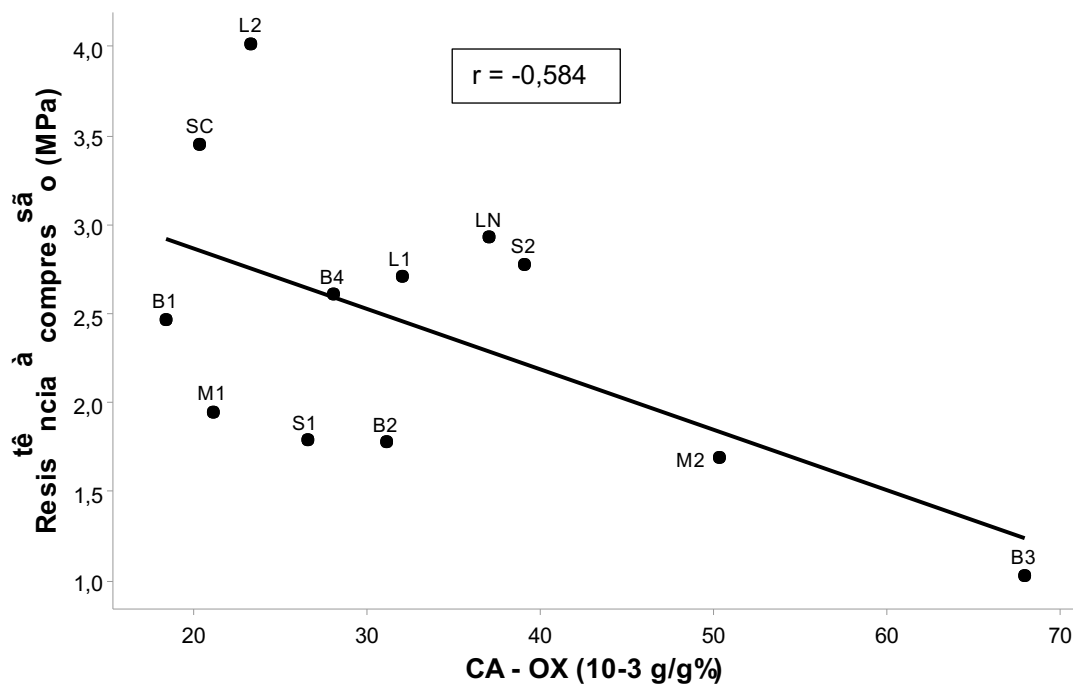
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 21 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* o Va pelo método de UV-Vis



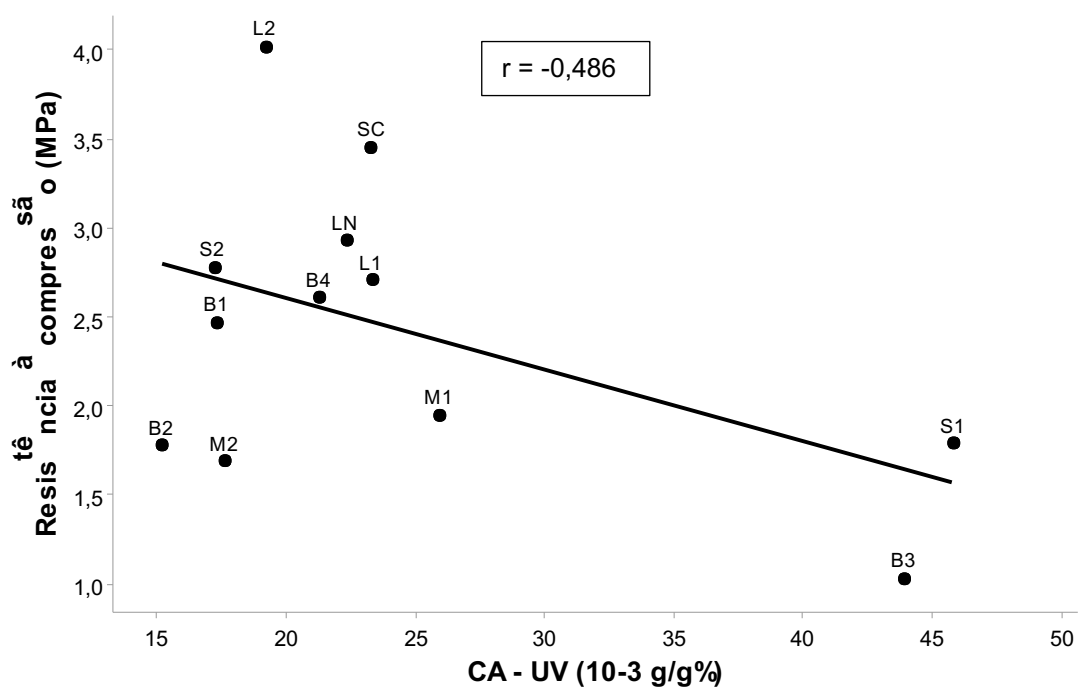
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 22 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* o CA pelo método de oxirredução



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 23 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da resistência à compressão *versus* o CA pelo método de UV-Vis

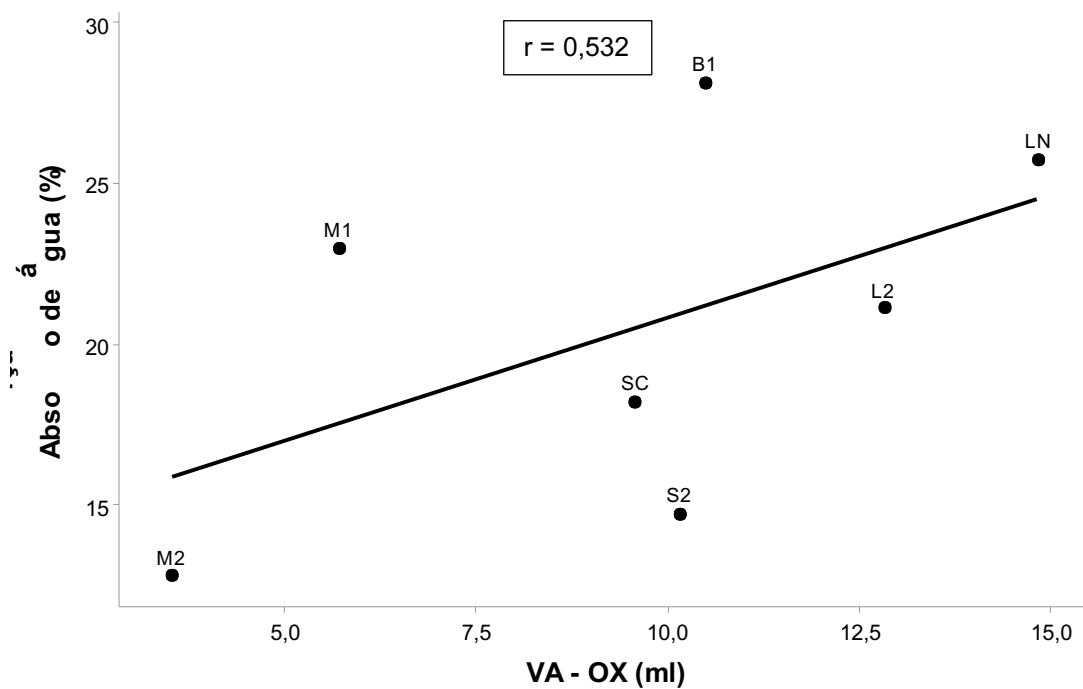


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Pelos gráficos de dispersão analisados anteriormente, verifica-se que solos com altos teores de argilas e baixo coeficiente de atividade tendem a ter maior resistência à compressão.

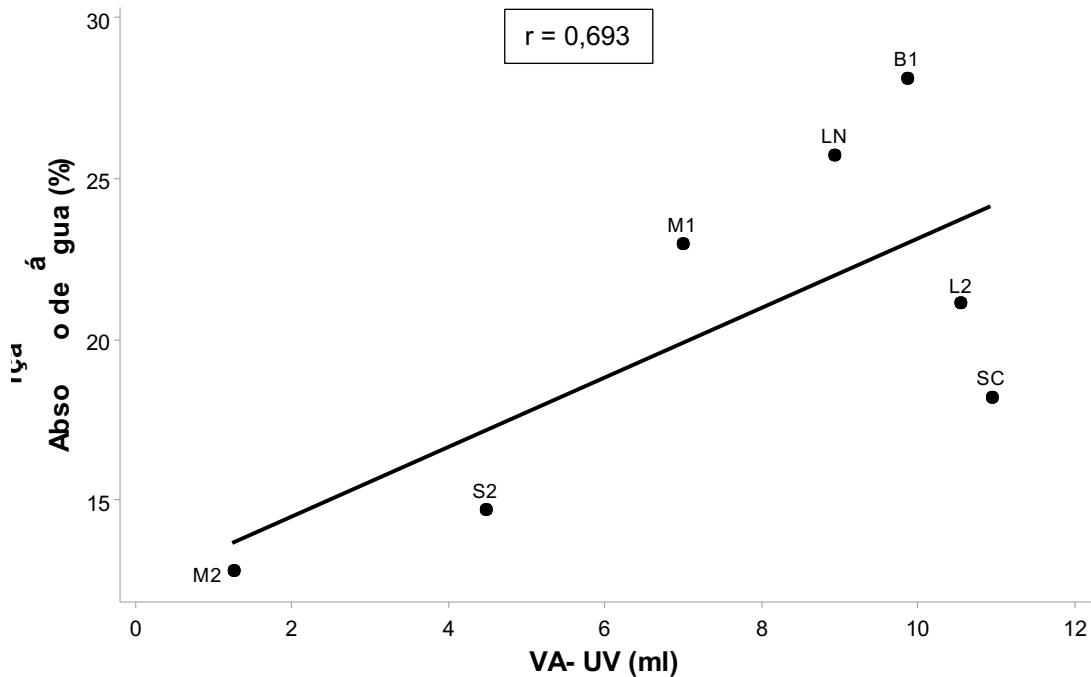
Analisando os Gráfico 24 e 25, os coeficientes de relação entre os resultados dos ensaios de absorção de água e os valores de  $V_a$ , pelos métodos utilizados, verifica-se relação direta e não significativa compatível com o resultado apresentado na análise de relação entre a absorção de água e o teor de argila.

Gráfico 24 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* o  $V_a$  pelo método de oxirredução



Fonte: Elaboração da autora (2020).

Gráfico 25 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* o Va pelo método de UV-Vis



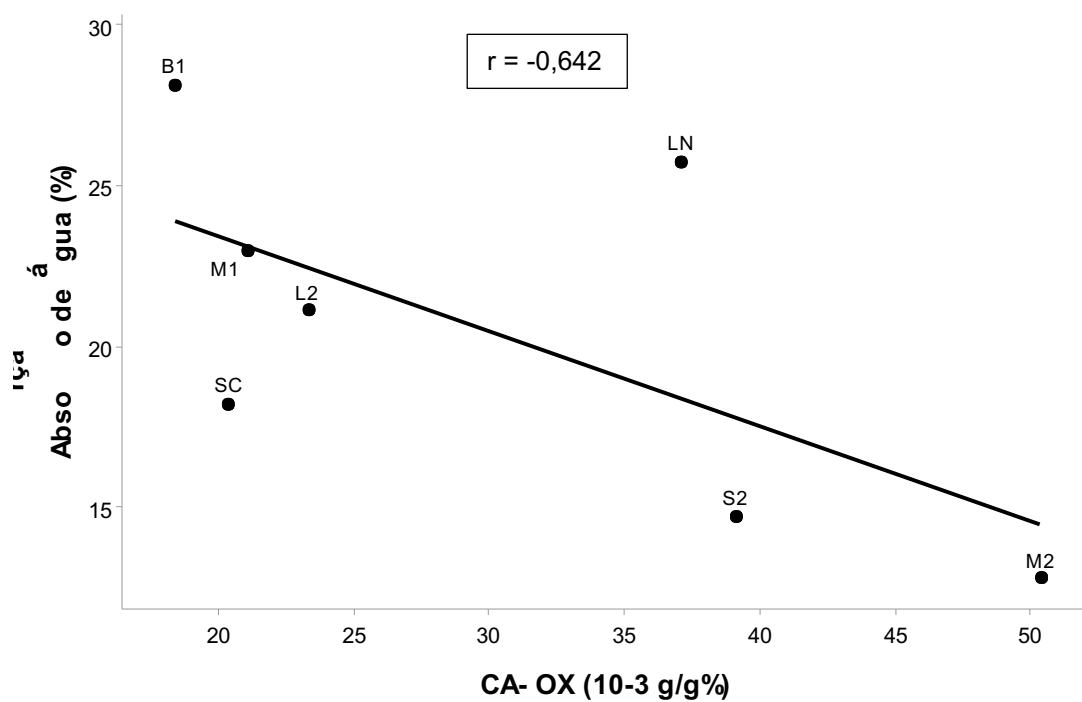
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nos Gráficos 26 e 27, observa-se discrepância entre os resultados dos dois métodos, sendo uma relação negativa significativa entre a absorção de água e o CA pelo método de oxirredução, com coeficiente  $r$  de  $-0,642$ ; e uma relação positiva não significativa pelo método de UV-Vis, com um coeficiente  $r = 0,281$ .

Ao correlacionar a retração relativa *versus* o volume total de azul de metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral (Va) pelos métodos de oxirredução (Gráfico 28) e UV-Vis (Gráfico 29), verifica-se que essas variáveis possuem relação direta significativa. Essa relação é explicada pela influência da argila na retração, como mostrado anteriormente, e o Va está diretamente ligado à quantidade de partículas de argila presente no solo.

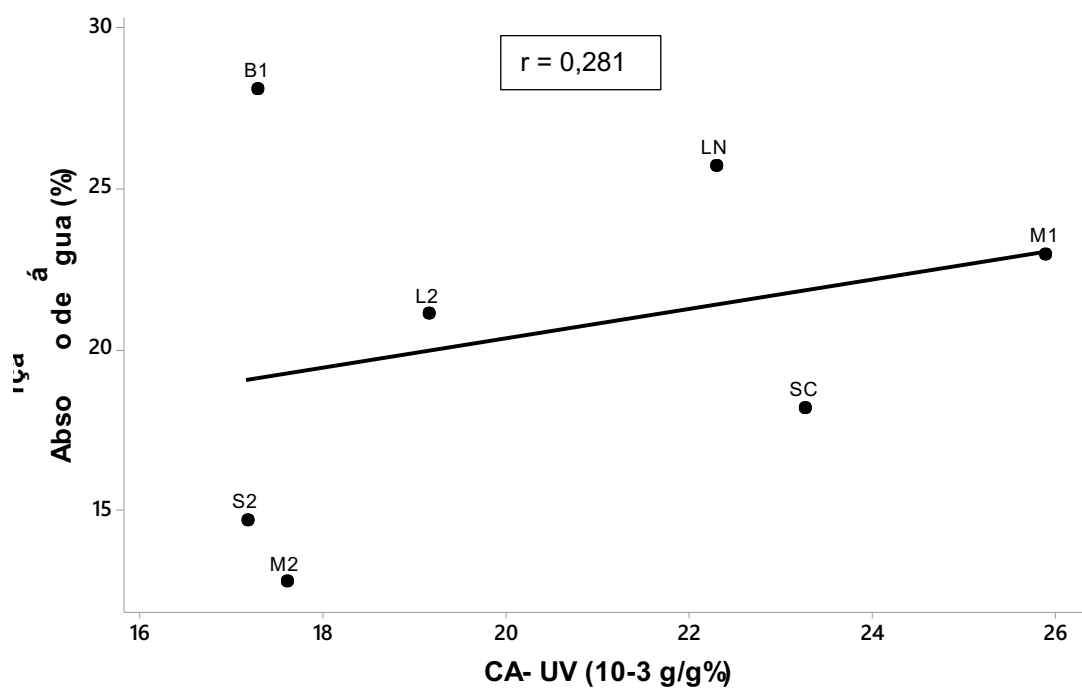
Ao analisar a relação entre a retração relativa e o CA obtido pelo ensaio de azul de metileno, verifica-se relação negativa não significativa quando utilizado o método de oxirredução (Gráfico 30), bem como relação quase nula pelo método de UV-Vis (Gráfico 31).

Gráfico 26 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* o CA pelo método de oxirredução



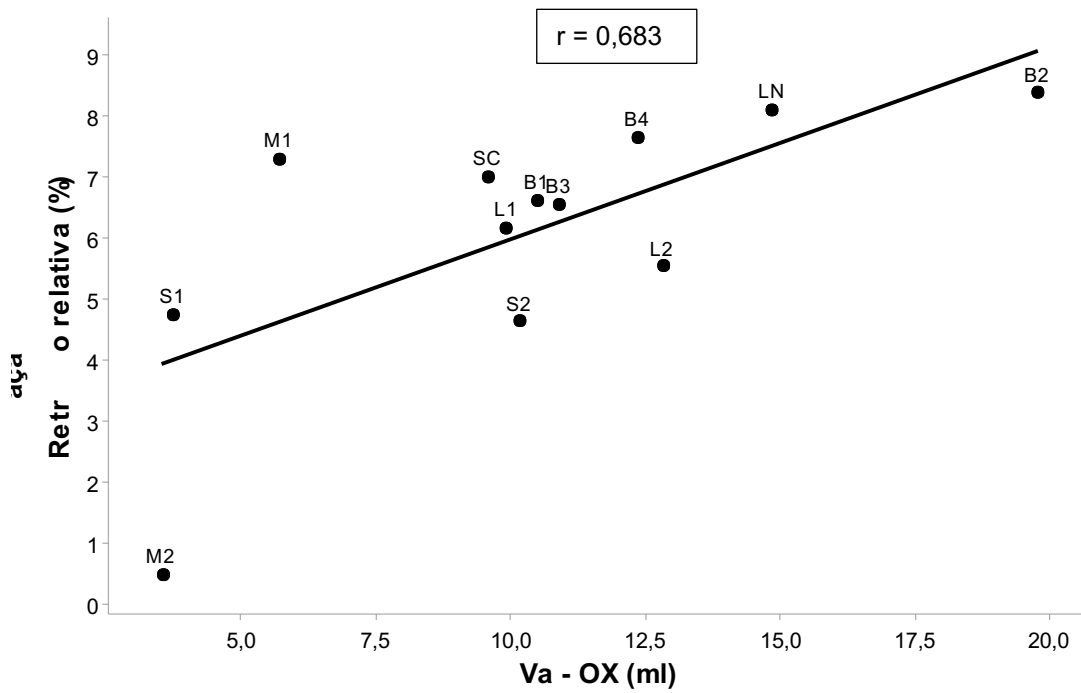
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 27 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da absorção de água *versus* o CA pelo método de UV-Vis



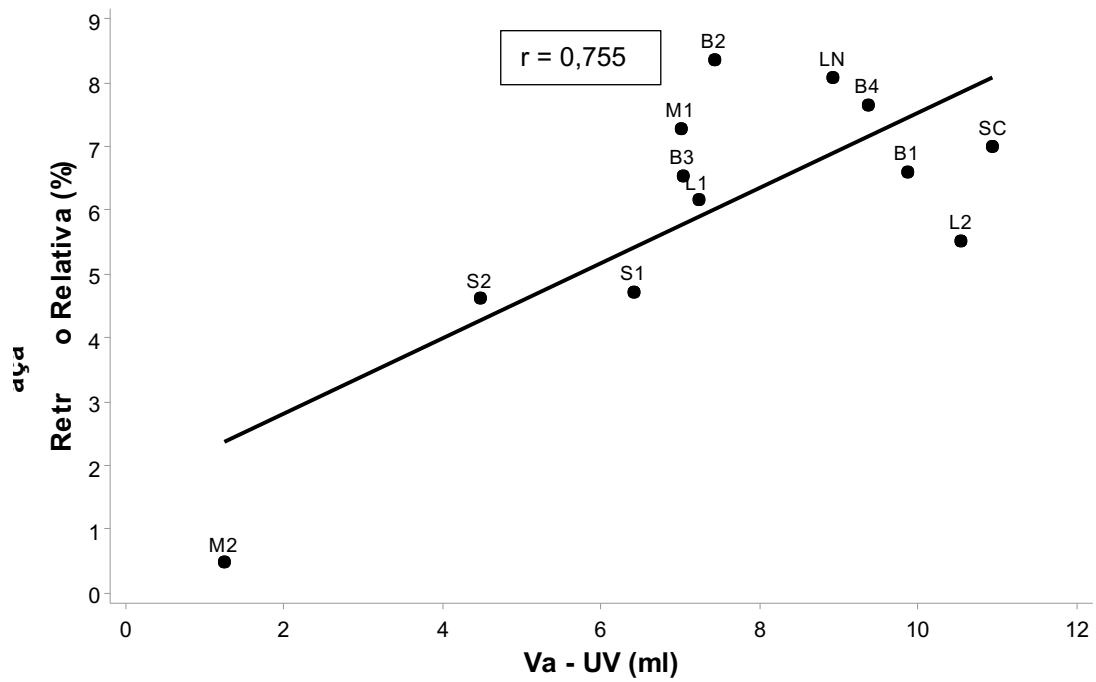
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 28 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o Va pelo método de oxirredução



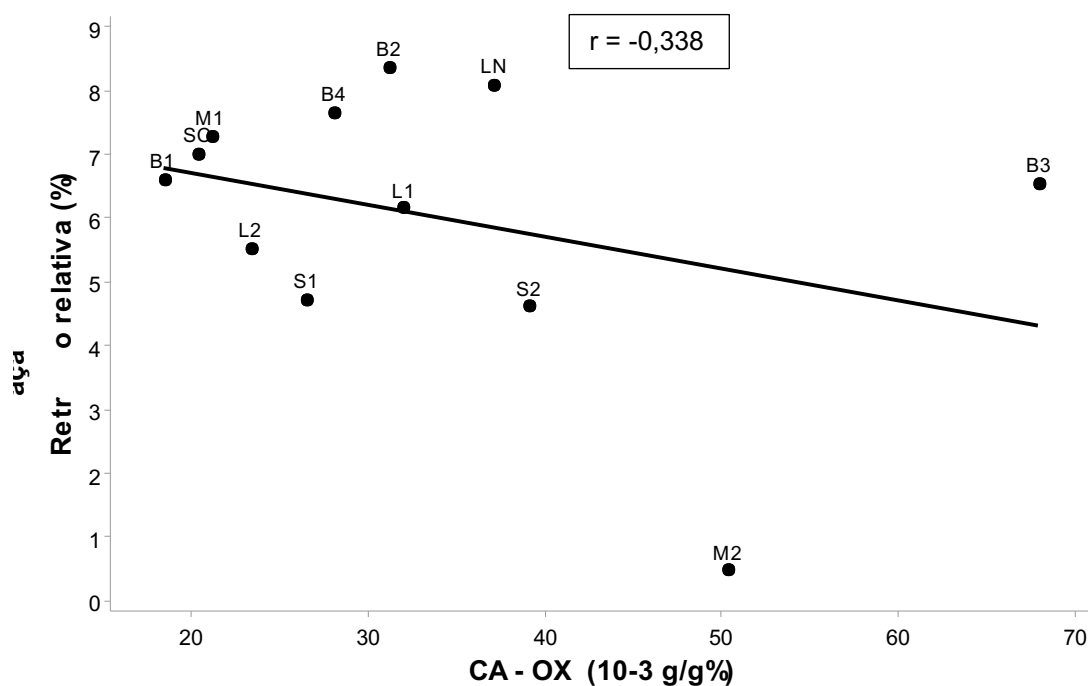
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 29 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o Va pelo método de UV-Vis



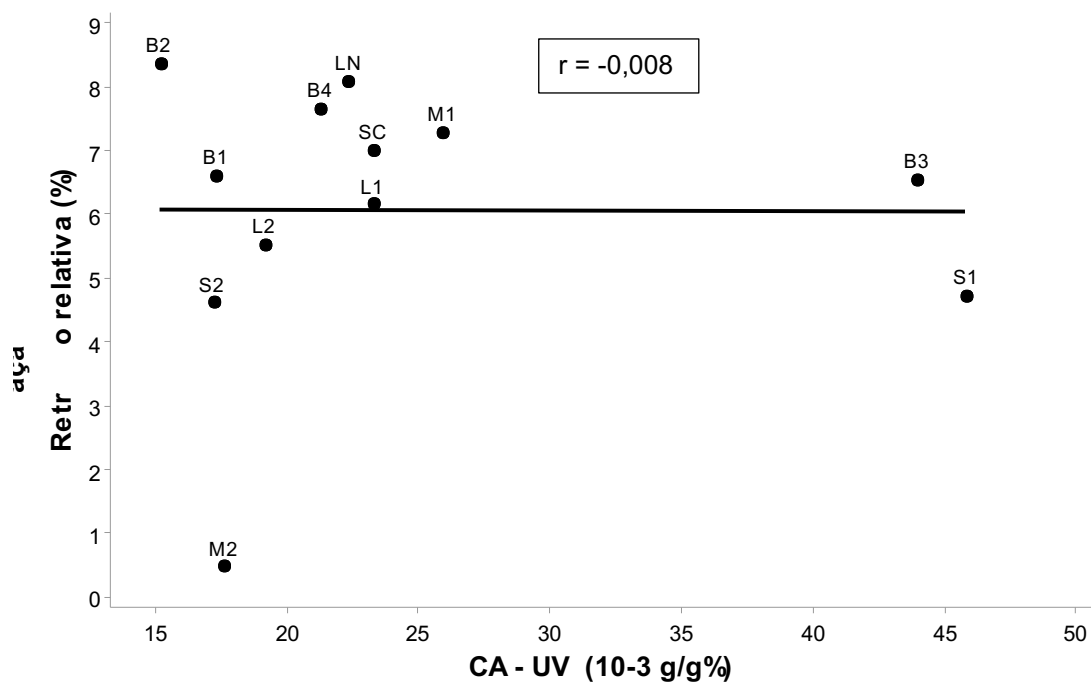
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 30 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o CA pelo método de oxirredução



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 31 – Gráfico de dispersão com coeficiente de correlação da retração relativa *versus* o CA pelo método de UV-Vis



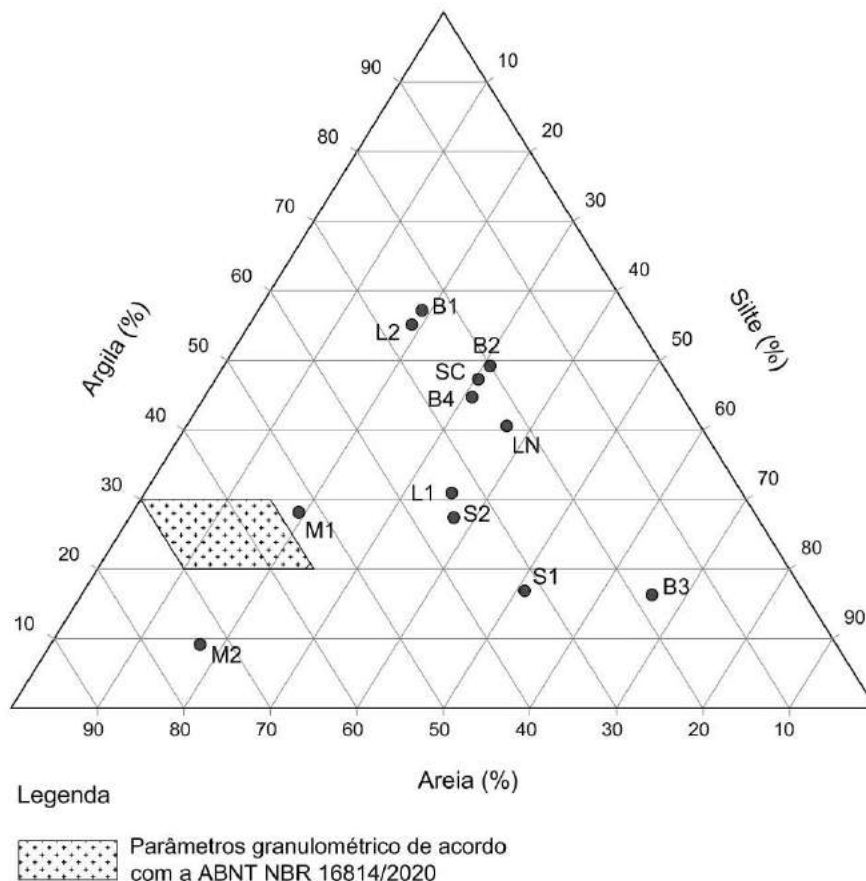
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.6. Comparação dos Resultados com os Parâmetros Normativos

Parâmetros em relação à composição granulométrica e limites de consistência são indicados por normas e autores, como apresentado anteriormente, com o objetivo de nortear a escolha do solo para a produção de adobe. No entanto, esses quesitos podem ser questionados quando aplicados aos adobes produzidos com os solos tropicais, uma vez que seu comportamento pode ser bem distinto do de solos de países temperados, conforme já demonstrado.

A Figura 53 apresenta, em diagrama triangular, a área gerada pelos parâmetros da ABNT NBR 16814 (ABNT, 2020): areia (55% - 70%), silte (até 25%) e argila (20% - 30%). Verifica-se que a área gerada utilizando tais parâmetros é muito pequena em relação à grande variedade de composição granulométrica. Dos 12 solos coletados, nenhum se encontra dentro da área delimitada pela Norma Brasileira do Adobe, mas os resultados das propriedades físicas dos tijolos produzidos indicam que, mesmo não atendendo a tais recomendações, diversos solos apresentam bons resultados.

Figura 53 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros da ABNT NBR 16814 (2020)

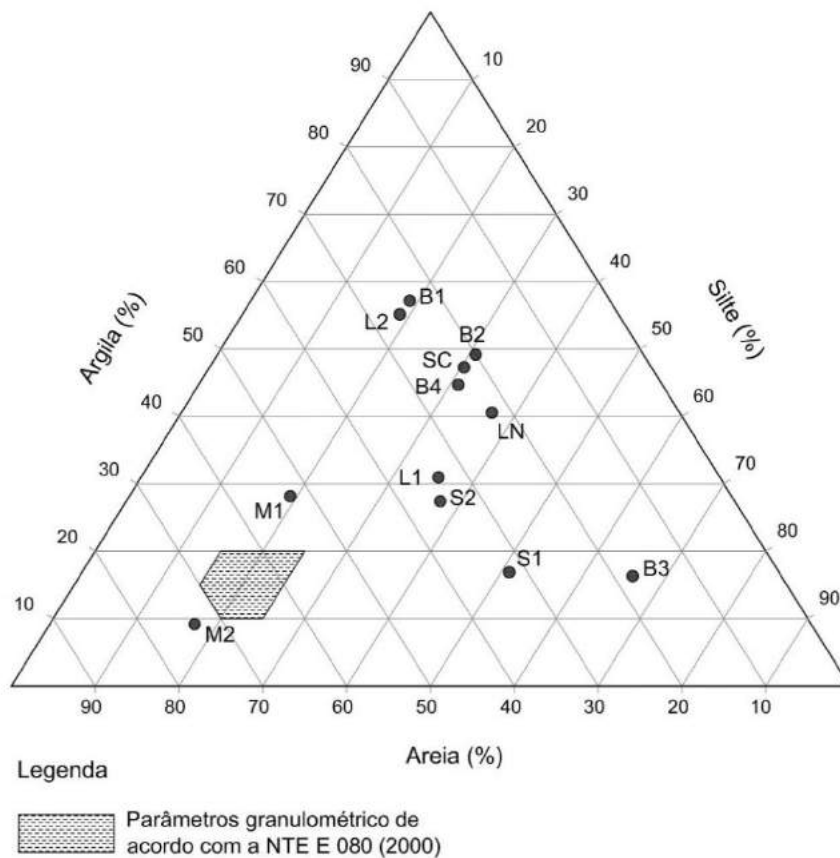


Fonte: Elaborado pela autora (2020).



A Norma Peruana de Adobe NTE E 080 (2000) também determina uma pequena área de recomendação em relação aos parâmetros dos teores granulométricos, sendo essa área próxima da preconizada pela Norma Brasileira NBR 16814 (ABNT, 2000). Os parâmetros sugeridos (Figura 54) são: areia (55% - 70%), silte (15% - 25%) e argila (10% - 20%). Nenhum solo coletado se encontra dentro dessa área, apesar de o solo M2 ter ficado próximo.

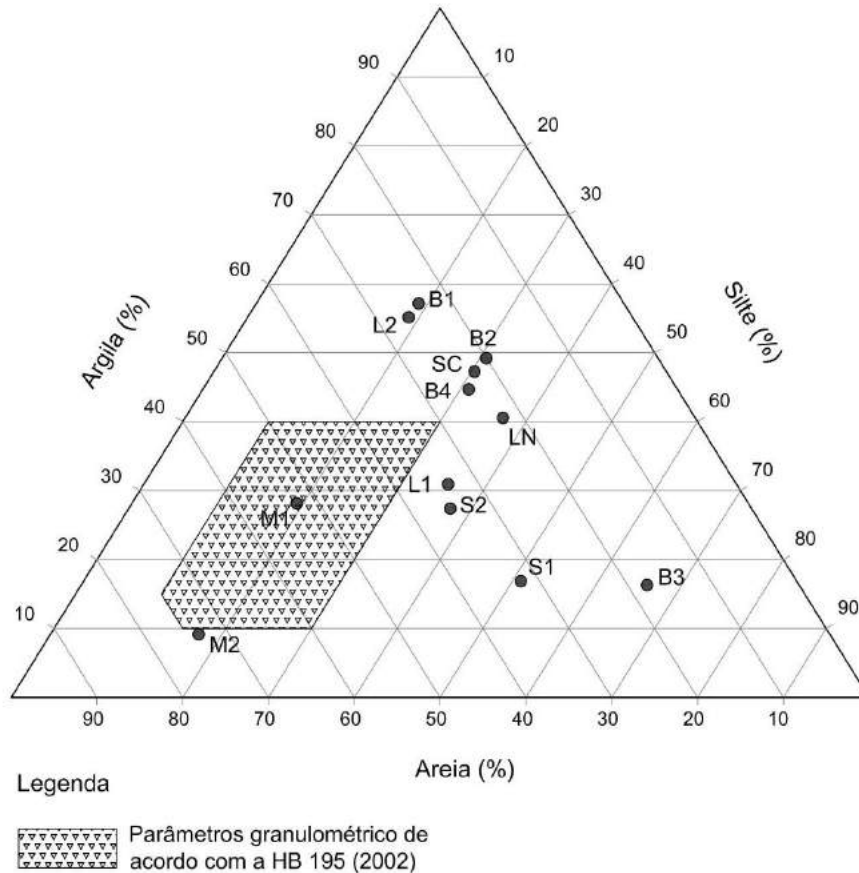
Figura 54 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros da NTE E 080 (2000)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Norma Australiana HB 195 (2002) já possui área maior em comparação com as Normas Peruana e Brasileira (Figura 55), por possuir intervalos maiores, ou seja: areia (30% - 75%), silte (10% - 30%) e argila (10% - 40%). Com intervalo maior da fração de areia, os solos M1 e M2 encontram-se dentro dessa área. Mesmo assim, solos que tiveram alta resistência à compressão e baixa absorção de água ainda se encontram fora do padrão sugerido.

Figura 55 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros da HB 195 (2002)

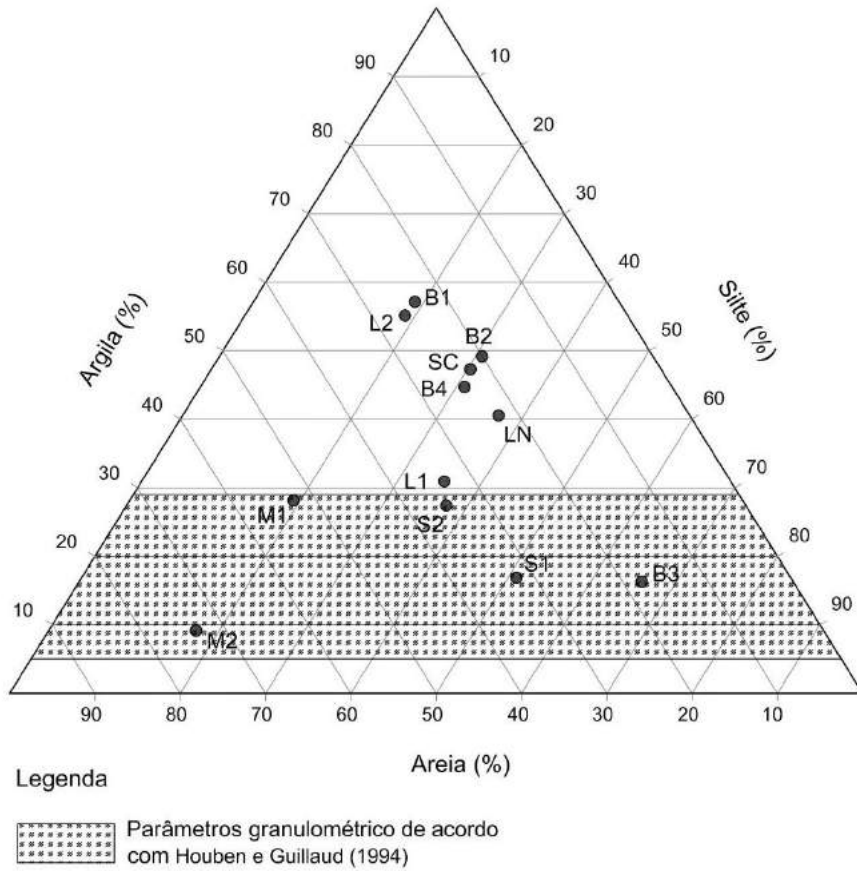


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Diferentemente das normas citadas, Houben e Guillaud (1994) indicam limites apenas para a fração da argila (5% - 29%), gerando uma faixa mais ampla para a seleção do solo. De acordo com esse parâmetro, os solos M1, M2, S1, S2 e S3 encontram-se dentro da faixa sugerida (**Erro! Autoreferência de indicador não válida.**). Apesar de terem englobado maior quantidade de amostras, solos com baixa resistência, como o B3, ficaram dentro do intervalo sugerido e solos com alta resistência, fora.

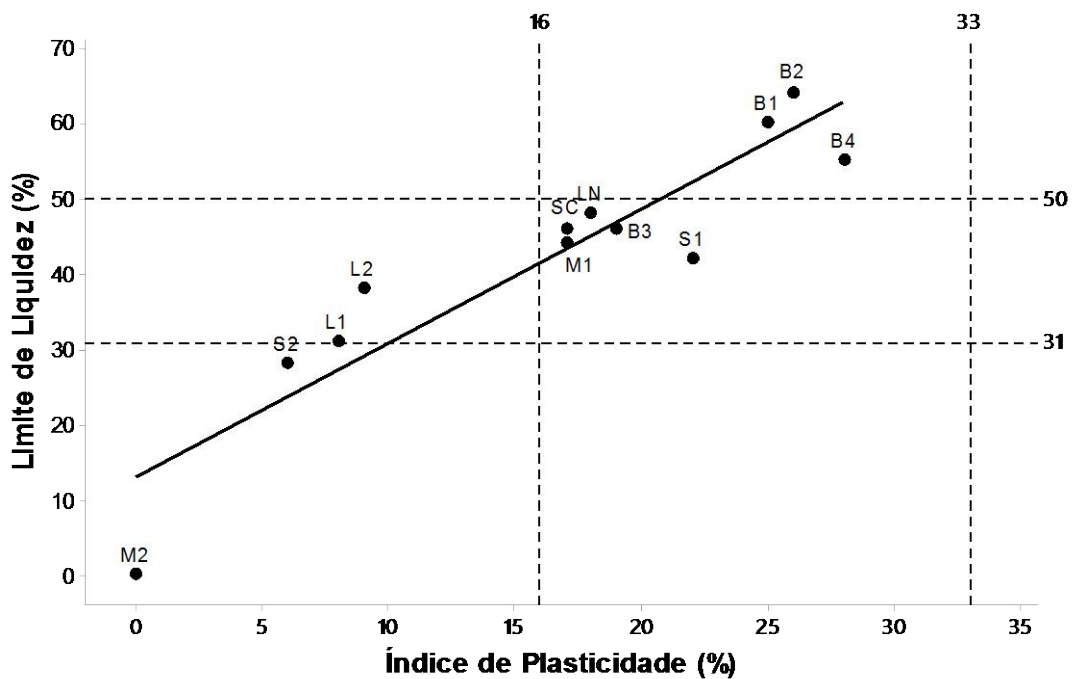
O Gráfico 32 é de dispersão do Limite de Liquidez (LL) *versus* o Índice de Plasticidade (IP), com as linhas de referências tracejadas dos parâmetros sugeridos por Houven e Guillaud (1994), com intervalo de porcentagem de 31-50 para o LL e 16-33 para o IP. Dos solos coletados, apenas as amostras M1, SC, LN, B3 e S1 ficaram dentro dos parâmetros exigidos, e o solo B3, apesar de estar dentro dos parâmetros, apresentou baixa resistência à compressão e teve 100% de absorção de água.

Figura 56 – Diagrama triangular granulométrico com parâmetros de Houben e Guillaud (1994)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Gráfico 32 – Gráfico de dispersão de limite de liquidez *versus* índice de plasticidade com os parâmetros indicados por Houben e Guillaud (1994)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao analisar os diagramas com os parâmetros das normas e referências e comparar resultados da caracterização dos solos e propriedades físicas dos adobes testados, conclui-se que não são adequados quando aplicados a solos tropicais. A seguir são analisados e sugeridos parâmetros de acordo com as amostras coletas.

#### **4.7. Análise de Regressão Linear Múltipla**

A Análise de Regressão Linear Múltipla foi realizada em três etapas, a primeira utilizando apenas os resultados de caracterização tradicional do solo (teor de areia, silte e argila e LL e IP) como variáveis independentes e os dados de propriedades físicas dos adobes (resistência à compressão, absorção de água e retração relativa) como variáveis dependentes (Regressão 1). Na segunda e na terceira etapa foram incluídos os resultados do ensaio de azul de metileno pelo método de oxirredução (Regressão 2) e pelo método UV-Vis (Regressão 3).

O objetivo dessa análise de regressão foi eliminar variáveis com baixos índices de significância (valor –  $P > 0,1$ ), chegando a uma Equação de Regressão significativa para cada variável dependente. A relação entre as variáveis da equação gerada pode ser forte ou fraca, representada pelo  $R^2$  (Coeficiente de Determinação), e quanto mais perto de 1 for o resultado, mais forte será a relação. O coeficiente de determinação mostra o grau de ajustamento do modelo de regressão aos dados analisados.

Pela equação final da Regressão Múltipla é possível identificar quais os resultados de caracterização do solo são significantes para o resultado da propriedade física do adobe.

A Tabela 25 constitui um resumo das Equações de Regressão 1, em que não foram adicionados os resultados dos ensaios de azul de metileno, demonstrando a Equação de Regressão e o  $R^2$  para a Resistência à Compressão, Absorção de Água e Retração Relativa.

Analisando os resultados da Análise de Regressão Múltipla nº 1, observa-se que as variáveis independentes, com valor-P menor que 0,1 – que permaneceram na equação da resistência à compressão –, foram o teor de argila e o LL. Tal resultado é explicado pela influência da argila sobre a resistência à compressão, conforme citado anteriormente.

Tabela 25 – Tabela resumo da Análise de Regressão Múltipla 1

Variável de resposta (Y)	Equação de Regressão 1	R <sup>2</sup>
Resistência à compressão	$1,831 + 0,0590^* \text{ Argila} - 0,0351^* \text{ LL}$	71,95%
Absorção de água	$10,87 + 0,2550^* \text{ LL}$	76,06%
Retração relativa	$1,311 + 0,1138^* \text{ LL}$	80,88%

\* Significativo pelo teste T de Student ( $p < 0,10$ ).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No resultado da regressão da absorção de água e da retração relativa, somente o LL permaneceu na equação, demonstrando a importância desse ensaio para prever o comportamento do adobe em relação à retração.

A Tabela 26 apresenta uma comparação entre o resultado obtido pelo ensaio de resistência à compressão desta pesquisa e o resultado com a aplicação da Equação da Regressão 1 (Equação 1). Devido ao fato de essa relação não ser muito alta, verificou-se que os resultados se aproximam, mas em certos casos com algumas diferenças significativas para mais ou para menos.

Equação 1 – Equação de Regressão 1 para resultado de resistência à compressão sem o ensaio de azul de metileno no modelo

$$\text{Resistência à compressão} = 1,831 + (0,0590 \times \text{Argila}) - (0,0351 \times \text{LL})$$

$$R^2 = 71,95\%$$

em que:

Argila = teor de argila presente no solo; e

LL = Limite de Liquidez do solo.

Tabela 26 – Comparação entre a resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto e a resistência à compressão obtida pela aplicação da Equação de Regressão 1

<b>Amostra</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão (MPa) pela Equação de Regressão 1</b>
B1	2,46	3,09
B2	1,77	2,48
B3	1,02	1,16
B4	2,6	2,50
L1	2,7	2,57
L2	4,01	3,74
M1	1,94	1,94
M2	1,68	2,36
S1	1,78	1,36
S2	2,77	2,44
SC	3,45	2,99
LN	2,92	2,51

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Tabela 27 apresenta a comparação entre o resultado obtido pelo ensaio de absorção de água e o resultado aplicando a Equação da Regressão 1:

$$\text{Absorção de água} = 10,87 + (0,2550 \times \text{LL})$$

$$R^2 = 76,06\%$$

em que LL = Limite de Liquidez do solo.

Tabela 27 – Tabela de comparação entre a absorção de água realizada pelo ensaio proposto e a absorção de água obtida pela aplicação da Equação de Regressão 1

<b>Amostra</b>	<b>Absorção de água (100%)</b>	<b>Absorção de água pela Equação de Regressão 1</b>
B1	28,1	25,41
B2	-	-
B3	-	-
B4	-	-
L1	-	-
L2	21,08	24,90
M1	22,96	18,01
M2	12,75	13,17
S1	-	-
S2	14,68	17,76
SC	18,18	22,86
LN	25,69	21,07

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Tabela 28 apresenta uma comparação entre o resultado da retração relativa dos adobes obtidos pelo ensaio proposto e o resultado aplicando a Equação da Regressão 1. Verifica-se nessa tabela que, devido à alta relação entre as variáveis, o resultado ao aplicar a equação é significativo.

$$\text{Retração relativa} = 1,311 + (0,1138 \times \text{LL})$$

$$R^2 = 80,88\%$$

em que LL = Limite de Liquidez do solo.

Tabela 28 – Tabela de comparação entre a retração relativa realizada pelo ensaio proposto e a retração relativa obtida pela aplicação da Equação de Regressão 1

Amostra	Retração relativa (%)	Retração relativa (%) gerada pela Equação de Regressão 1
B1	6,59	8,14
B2	8,35	8,59
B3	6,52	6,55
B4	7,64	7,57
L1	6,14	4,84
L2	5,51	5,64
M1	7,27	6,32
M2	0,45	1,31
S1	4,71	6,09
S2	4,60	4,50
SC	6,99	6,55
LN	8,07	6,77

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Tabela 29 apresenta o resumo das Equações da Regressão 2 e o respectivo R<sup>2</sup>.

Tabela 29 – Tabela-resumo da Regressão 2

Variável de resposta	Equação de Regressão 2	R <sup>2</sup>
Resistência à compressão	1,980 + 0,0746 Argila + 0,0396 Silte - 0,0598 LL - 0,0295 CA OX	89,24%
Absorção de água	12,73 + 0,591 IP	79,70%
Retração relativa	1,682 + 0,1364 IP + 0,2109 VA OX	72,55%

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Analisando a regressão da resistência à compressão, os resultados de CA obtidos pela oxirredução entraram na equação. Isso significa que o CA contribui significativamente para prever a resistência à compressão do adobe.

No modelo incluindo os resultados de azul de metileno por oxirredução, as variáveis independentes que permaneceram na equação foram o IP e o Va. O modelo de regressão demonstra que o Va é importante para a compreensão da retração relativa do adobe.

Na Tabela 30 são apresentados os resultados do ensaio de resistência à compressão dos adobes produzidos e aqueles obtidos pela aplicação da equação a seguir, obtida pela Regressão 2. Os resultados evidenciam que a inclusão do ensaio de azul de metileno por oxirredução pode prever melhor o comportamento do solo para a produção de adobe, considerando sua propriedade de resistência à compressão.

$$\text{Resistência à compressão} = 1,98 + (0,0746 \times \text{Argila}) + (0,0396 \times \text{Silte}) - (0,0598 \times \text{LL}) - (0,0295 \times \text{CA OX})$$

$$R^2 = 89,24\%$$

em que:

Argila = teor de argila presente no solo;

Silte = teor de silte presente no solo;

LL = Limite de Liquidez do solo; e

CA OX = CA obtido pelo ensaio de azul de metileno pelo método de oxirredução.



Tabela 30 – Tabela de comparação entre a resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto e a resistência à compressão obtida pela aplicação da Equação de Regressão 2

Amostra	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa) pela Equação de Regressão 2
B1	2,46	2,85
B2	1,77	2,12
B3	1,02	1,00
B4	2,6	2,39
L1	2,7	2,93
L2	4,01	3,88
M1	1,94	1,58
M2	1,68	1,86
S1	1,78	1,98
S2	2,77	2,68
SC	3,45	3,35
LN	2,92	2,47

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A equação a seguir foi gerada pela Regressão 2 e, ao comparar seu resultado com os do ensaio realizado, verifica-se que, apenas o IP contribuiu para explicar a variável dependente de absorção de água.

$$\text{Absorção de água} = 12,73 + (0,591 \times \text{IP})$$

$$R^2 = 79,70\%$$

em que:

IP = Índice de Plasticidade do solo; e

VA OX = Va obtido pelo ensaio de azul de metileno pelo método de oxirredução.

Tabela 31 – Tabela de comparação entre a absorção de água realizada pelo ensaio proposto e a absorção de água obtida pela aplicação da Equação de Regressão 2

<b>Amostra</b>	<b>Absorção de água (100%)</b>	<b>Absorção de água pela Equação de Regressão 2</b>
B1	28,1	27,51
B2	-	-
B3	-	-
B4	-	-
L1	-	-
L2	21,08	18,05
M1	22,96	22,78
M2	12,75	12,73
S1	-	-
S2	14,68	16,28
SC	18,18	22,78
LN	25,69	23,37

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Analisando a Tabela 32, na qual foi comparado o resultado da retração relativa obtida pelo ensaio proposto na pesquisa com o resultado obtido pela aplicação da equação a seguir, obtida pela Regressão 2, verifica-se que os valores de  $V_a$ , obtidos pelo ensaio de azul de metileno por oxirredução, entraram como variável de influência. Através desse resultado, pode-se dizer que o ensaio de azul de metileno por oxirredução pode ser utilizado como ensaio complementar para prever a retração relativa dos adobes.

$$\text{Retração relativa} = 1,682 + (0,1364 \times \text{IP}) + (0,2109 \times \text{VA OX})$$

$$R^2 = 72,55\%$$

em que:

IP = Índice de Plasticidade do solo; e

$V_a$  OX = valor de azul de metileno absorvido pelo método de oxirredução.

Tabela 32 – Tabela de comparação entre a retração relativa realizada pelo ensaio proposto e a retração relativa obtida pela aplicação da Equação de Regressão 2

<b>Amostra</b>	<b>Retração relativa (%)</b>	<b>Retração relativa (%) gerada pela Equação de Regressão 2</b>
B1	6,59	7,30
B2	8,35	9,40
B3	6,52	6,57
B4	7,64	8,10
L1	6,14	4,86
L2	5,51	5,61
M1	7,27	5,20
M2	0,45	2,42
S1	4,71	5,47
S2	4,60	4,64
SC	6,99	6,02
LN	8,07	7,26

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 33 são apresentados os resultados da Regressão 3, incluindo Va e CA obtidos pelo ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis.

Tabela 33 – Tabela de regressão das propriedades físicas dos adobes com os resultados dos ensaios de caracterização de solo incluindo o ensaio de azul de metileno pelo método de UV-Vis

<b>Variável de resposta</b>	<b>Equação de Regressão 3</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Resistência à compressão	$1,261 - 0,0757 \text{ IP} + 0,3180 \text{ VA UV}$	76,22%
Absorção de água	$12,73 + 0,591 \text{ IP}$	79,70%
Retração relativa	$4,87 - 0,2341 \text{ Argila} + 0,2282 \text{ LL} - 0,1486 \text{ IP} + 0,909 \text{ VA UV} - 0,1882 \text{ CA UV}$	97,17%

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observa-se que na equação da resistência à compressão entrou a variável de Va, agora pelo método de UV-Vis. Seu resultado demonstra que, ao relacionar as variáveis no modelo proposto, essa relação entre elas é alta, sendo indicado o uso dessa equação para prever a resistência à com adobe no método do ensaio proposto.

A equação da absorção de água gerada pela Regressão 3 permaneceu a mesma na equação da Regressão 2, verificando assim que o ensaio de azul de metileno não colabora para predizer o comportamento do adobe em relação à esse ensaio.

Na equação gerada pela Regressão 3 para a retração relativa, além do teor de argila e do LL e IP, entraram os valores de Va e Ca, obtidos pelo ensaio de azul de metileno no método do UV-Vis, demonstrando ser significativo para o modelo.

Na Tabela 34, podem-se comparar os resultados da resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto com os resultados gerados pela análise da Regressão 3. Observa-se que, ao adicionar o Va pelo método UV-Vis, a relação entre as variáveis aumenta, em comparação com o resultado da Regressão 1, aproximando-se mais da resistência real dos adobes. A saída do teor de argila na equação pode ser justificada pelo fato de o valor de Va estar diretamente ligado a ela, servindo como substituto. Os resultados da aplicação da Equação da Regressão 3 para o resultado da resistência à compressão demonstra que o ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis pode servir como ferramenta complementar de seleção de solos para a produção de adobe.

$$\text{Resistência à compressão} = 1,261 - (0,0757 \times \text{IP}) + (0,3180 \times \text{VA UV})$$

$$R^2 = 76,22\%$$

em que:

IP = Índice de Plasticidade do solo; e

Va UV = valor de azul de metileno obtido pelo método UV-Vis.

Tabela 34 – Tabela de comparação entre a resistência à compressão realizada pelo ensaio proposto e a resistência à compressão obtida pela aplicação da Equação de Regressão 3

Amostra	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa) pela Equação de Regressão 3
B1	2,46	2,50
B2	1,77	1,65
B3	1,02	2,06
B4	2,6	2,11
L1	2,7	2,95
L2	4,01	3,93
M1	1,94	2,20
M2	1,68	1,65
S1	1,78	1,63
S2	2,77	2,23
SC	3,45	3,45
LN	2,92	2,73

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Analisando a Tabela 35, em que foram comparados os resultados da retração relativa obtida pelo ensaio realizado nesta pesquisa e os dados obtidos pela aplicação da equação a seguir, gerada pela Regressão 3, verifica-se que os valores de Va e CA obtidos no ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis entram como variáveis de influência. Mediante esse resultado, pode-se dizer que o ensaio de azul de metileno pelo método em questão pode ser utilizado como complementar para prever a retração relativa dos adobes.

$$\text{Retração relativa} = 4,87 - (0,2341 \times \text{Argila}) + (0,2282 \times \text{LL}) - (0,1486 \times \text{IP}) + (0,909 \times \text{VA UV}) - (0,1882 \times \text{CA UV})$$

$$R^2 = 97,17\%$$

em que:

Argila = teor de argila presente no solo;

LL = Limite de Liquidez do solo;

IP = Índice de Plasticidade do solo;

Va UV = Valor de azul de metileno absorvido pelo método UV-Vis; e

CA UV = CA obtido no ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis.

Tabela 35 – Tabela de comparação entre a retração relativa realizada pelo ensaio proposto e a retração relativa obtida pela aplicação da Equação de Regressão 3

Amostra	Retração relativa (%)	Retração relativa (%) gerada pela Equação de Regressão 3
B1	6,59	7,20
B2	8,35	8,04
B3	6,52	6,92
B4	7,64	7,46
L1	6,14	5,67
L2	5,51	5,30
M1	7,27	7,31
M2	0,45	0,57
S1	4,71	4,41
S2	4,60	4,87
SC	6,99	7,40
LN	8,07	7,69

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados das análises estatísticas de Regressão Linear Múltipla demonstraram que o ensaio de azul de metileno, seja pelo método de oxirredução, seja pelo método UV-Vis, contribuiu para complementar os resultados da seleção de solos tropicais para produção de adobe, exceto para prever os resultados de absorção de água. Os resultados de ambos os ensaios entraram na Equação de Regressão para prever os resultados de resistência à compressão e retração relativa do adobe.

## 5. CONCLUSÃO

O adobe, que possui aspectos favoráveis quando se discute a sustentabilidade, é utilizado há milhares de anos pela humanidade e até hoje em muitas comunidades, traduzindo sua identidade e cultura. Além do seu uso em novas construções, o conhecimento da técnica é necessário para conservação e restauração do patrimônio histórico, uma vez que existem muitas construções com essas técnicas do Período Colonial no Brasil.

A qualidade do adobe, principalmente quando não estabilizado, está diretamente ligada ao tipo de solo utilizado na sua produção, uma vez que nem todos os solos são adequados, como é o caso do adobe produzido pelo solo B3, cuja resistência à compressão é abaixo da exigida pela Norma Brasileira de Adobe.

Os ensaios de caracterização do solo são fundamentais para a compreensão do seu comportamento, que é decorrente, entre outros fatores, de sua composição mineralógica. O comportamento dos solos tropicais é distinto dos de clima temperado, portanto a aplicação das classificações e caracterizações tradicionais aos solos tropicais pode se tornar restrita por não corresponder ao seu real desempenho.

O ensaio de azul de metileno pelo método de oxirredução, assim como pelo método da mancha, demonstrou ser barato e de fácil execução, apesar de depender do operador para determinar o ponto de viragem. Seus resultados, em comparação com os apresentados na tabela de identificação dos argilominerais elaborada por Fabbri (1994) e com os resultados de difração de raios X, demonstraram que esse método é eficaz para prever a atividade dos argilominerais presentes no solo.

O ensaio de azul de metileno pelo método UV-Vis demonstrou ser mais preciso e menos subjetivo, mas exige equipamento eletrônico específico para a sua realização, o que torna a sua aplicabilidade menos acessível e econômica.

Ao analisar os gráficos de dispersão com regressão das propriedades físicas dos adobes, verifica-se que alguns resultados possuem correlação maior entre si. Para a resistência à compressão, verifica-se relação diretamente proporcional ao teor de argila e ao valor de azul de metileno ( $V_a$ ) e inversamente proporcional ao Limite de Liquidez (LL) e ao Coeficiente de Atividade (CA). Tal relação não exclui a influência

dos demais resultados, mas ajuda a compreender propriedades importantes para a análise de seleção do solo para produção do adobe.

São poucos, no mundo, as normas e documentos relacionados ao adobe que determinam parâmetros diversos para a seleção do solo, como intervalos para a composição granulométrica e limites de consistência. Ao comparar com os resultados das propriedades físicas dos adobes produzidos, os resultados sugerem que não é indicado determinar parâmetros de granulometria e de limites de consistência, mas, sim, parâmetros da qualidade final dos adobes para determinação da escolha do solo, sobretudo de solos tropicais, em que ainda há pouco conhecimento sobre os tipos utilizados na produção e a efetiva resistência dos adobes.

A análise de Regressão Linear Múltipla (RLM) demonstrou que, ao adicionar os resultados do ensaio de azul de metileno na equação para prever a resistência à compressão e a retração relativa dos adobes, o seu coeficiente de relação aumenta. O ensaio de absorção de água proposto nesta pesquisa indicou ser inadequado para aplicação ao adobe, uma vez que é inviável determinar sua absorção em solos que não resistem imersão por 24 horas.

As equações de regressões geradas pela RLM podem ser utilizadas para prever o comportamento dos adobes produzidos e, além disso, ferramenta importante para a seleção do solo, uma vez que os ensaios para determinação das propriedades físicas dos adobes são trabalhosos e demorados. Quando aplicadas a solos dentro do intervalo utilizado nesta pesquisa e empregando o ensaio de azul de metileno, podem-se prever os resultados de resistência à compressão e à retração relativa.

Assim, recomenda-se a aplicação desta metodologia a novas pesquisas com solos de diferentes granulometrias, limites de consistência, valores de azul de metileno e coeficiente de atividades, distintos dos diferentes tipos de solos utilizados nesta pesquisa para o aumento do intervalo dos dados nas equações de regressão.

Por fim, o azul de metileno demonstrou ser ensaio complementar eficiente para prever o comportamento do solo nas propriedades físicas do adobe.



## REFERÊNCIAS

- ABAYAZEED, S. D.; EL-HINNAWI, E. Characterization of Egyptian Smectitic Clay Deposits by Methylene Blue Adsorption. **American Journal of Applied Sciences**, v. 8, n. 12, p. 1282-1286, 2011. ISSN 1546-9239.
- ABNT. **NBR 6457** – Amostra de Solo: Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, RJ 2016a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6459** – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, RJ. 7 2016b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7180** – Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, RJ 2016c.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7181** – Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ 2016d.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16814** – Adobe: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ 2020.
- AFNOR. **Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse (NF 94-068)**. Paris, France: Association française de Normalization 1993.
- ANBT. **NBR 6502** – Rochas e solos. Rio de Janeiro, RJ 1995.
- ARTERIS. **Deteção qualitativa de argilas prejudiciais do grupo esmectita em agregados utilizando azul de metileno (ARTERIS T - 330-07)**: Centro de Desenvolvimento Tecnológico 2015.
- ASTM. **Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clay (C837 - 09)**. Philadelphia, Pa: Annual Book of ASTM Standards, sect. 15, v. 15.02 2014.
- BATISTA, T. **Estudo das interações entre o corante catiônico azul de metileno e partículas de argila em suspensão aquosa**. Processos de migração entre partículas. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- BONINI, A. D. O. **Proposta de um método de ensaio para determinação do volume de azul de metileno adsorvido pela fração fina de solos tropicais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Infra-Estrutura de Transporte) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- CAMARGO, C. O. S. F. D. A. **O município de Mariana: o circuito de cidades históricas de Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/01/17/o-municipio-de-mariana>, 2018. Acesso em: set./ag. 2018.
- CAMUS, A. **O homem revoltado**. Livros do Brasil, 2019. ISBN 978-989-711-054-2.
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. In: — (ed.). **Mecânica dos solos e suas aplicações**: LTC, 1981.
- CARVALHO, E. S. D. **Arquitetura rural na microrregião metropolitana de Belo Horizonte: investigação sobre tipologias arquitetônicas nos séculos XVIII e XIX**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- CHIAPPONE, A. *et al.* Clay mineral characterization through the methylene blue test: comparison with other experimental techniques and applications of the method. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 41, n. 6, p. 1168-1178, 2004. ISSN 0008-3674.
- CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. ISBN 85-85864-03-6.

COSTA, C. *et al.* **Influence of the mineralogical composition on the properties of adobe blocks from Aveiro**, Portugal. v. 48, n. 5, p. 749-758, 2013. ISSN 0009-8558.

COSTA, C.; ROCHA, F.; VELOSA, A. Sustainability in earthen heritage conservation. **Geological Society**, v. 416, n. 1, p. 91-100, 2016. ISSN 0305-8719.

DAUDON, D. *et al.* Adobe construction modeling by discrete element method: first methodological steps. **Procedia Economics and Finance**, v. 18, p. 247-254, 2014.

DELGADO, M. C. J.; GUERRERO, I. C. The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. **Construction and building materials**, v. 21, n. 2, p. 237-251, 2007. ISSN 0950-0618.

DHANDHUKIA, P. *et al.* **Soil property apotheosis to corral the finest compressive strength of unbaked adobe bricks**, v. 48, p. 948-953, 2013. ISSN 0950-0618.

DORMOHAMADI, M.; RAHIMNIA, R. Combined effect of compaction and clay content on the mechanical properties of adobe brick. **Case Studies in Construction Materials**, v. 13, 2020. ISSN 2214-5095.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos (SiBCS)**. Rio de Janeiro, RJ: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa 2018.

FABBRI, G. T. P. **Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno**. 1994. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994.

FARIA, O. B. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe**: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana-SP). 2002. Tese (Doutorado em Ciência da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

FARIA, O. B.; NEVES, C.; PINTO, C. D. S. Proposta de método de ensaio para determinação do módulo de deformação de adobes. In: EUROELECS 2015 – LATIN AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES: CONNECTINGG PEOPLE AND IDEASS. Guimarães-Pt. II: p. 759-768, 2015.

FERNANDES, M. D. C. L. A. **A cultura construtiva do adobe em Portugal**. 2013. Dissertação – Departamento de Arquitetura da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2013.

GALHANO, C.; ROCHA, F.; GOMES, C. Geostatistical analysis of the influence of textural, ineralogical and geochemical parameters on the geotechnical behaviour of the 'Argilas de Aveiro'formation (Portugal). **Clay Minerals**, v. 34, n. 1, p. 109-116, 1999. ISSN 0009-8558.

GIESEKING, J.; JENNY, H. Behavior of polyvalent cations in base exchange. **Soil Science**, v. 42, n. 4, p. 273-280, 1936. ISSN 0038-075X.

HANG, P. T.; BRINDLEY, G. W. Methylene blue absorption by clay minerals. Determination of surface areas and cation exchange capacities. **Clay and Clay Minerals**, v. 18, p. 203-212, 1970.

HB195. **Australian earth building handbook**. Sydney: Standards Australia, 2002.

HEATH, A. *et al.* Compressive strength of extruded unfired clay masonry units. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials**, v. 162, n. 3, p. 105-112, 2009. ISSN 1747-6518.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Earth construction**: a comprehensive guide. Intermediate Technology Publications, 1994. ISBN 185339193X.

IBGE. Panorama de Sabará. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sabara/panorama>, 2020. Acesso em: set.out. 2020.

KAHR, G.; MADSEN, F. T. Determination of the cation exchange capacity and the surface area of bentonite, illite and kaolinite by methylene blue adsorption. **Applied Clay Science**, v. 9, p. 327-336, 1995.

KÄMPF, N.; CURI, N. Conceito de solo e sua evolução histórica. In: SBCS (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG, 2012. p. 343. ISBN 978-85-86504-09-9.

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: — (ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 343.

KLIMKIEVICZ, M.; REZENDE, M. A. P. Transferência de Técnica Vernácula: tradição construtiva e gerações lapinhenses. In: SEMINÁRIO ARQUITETURA VERNÁCULA, 2., 2019, Belo Horizonte. [Anais...]. Belo Horizonte, 2019.

MCHENRY, P. G. **Adobe and rammed earth buildings**: design and construction. New York: University of Arizona Press, 1989. ISBN 0816511241.

MELLO, I. S. *et al.* Revisão sobre argilominerais e suas modificações estruturais em ênfase em aplicações tecnológicas e adsorção - uma pesquisa inovadora em universidades. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 9, p. 141-152, 2011.

MIDDLETON, G. F.; SCHNEIDER, L. M. **Earth-wall construction**. 4th ed., repr. with minor revision/revised by L.M. Schneider. orth Ryde, N.S.W. : CSIRO Division of Building, Construction and Engineering, 1992.

MINKE, G. Manual de construcción en tierra. **Editorial fin de siglo. Uruguai**, 2005.

\_\_\_\_\_. **Manual de Construção com Terra**: uma arquitetura sustentável. São Paulo: B4 Editoras, 2015.

MITCHELL, J. K.; SOGA, K. **Fundamentals of soil behavior**. New York: John Wiley & Sons, 2005.

MOSS, M. C. B. **A condição urbana do turismo: reflexões exploratórias sobre fenômeno urbano, seus desdobramentos e a formação de territórios turísticos na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço: os núcleos urbanos de Lavras Novas, Serra do Cipó e Milho Verde**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2014.

NASCIMENTO, R. F. D. *et al.* **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NEUMANN, M. G. *et al.* Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa. **Química Nova**, v. 23, n. 6, p. 818-824, 2000.

NEVES, C.; FARIA, O. B. Programa interlaboratorial PROTERRA: ensaios de adobe. TerraBrasil 2008. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, 7.; CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 2., 2008, São Luiz. [Anais...]. São Luiz: UEMA/PROTERRA, 2008. p. 1-10. CD-ROM.

\_\_\_\_\_. **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79 ISBN 978-85-64472-00-6.

NEVES, C. M. M. *et al.* **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – Práticas de campo**. Salvador: CYTED, 2005.

NIROUMAND, H. *et al.* A guideline for assessing of critical parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries. **Renew able and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 130-165, 2013. ISSN 1364-0321.

NMAC.14.7.4. Santa Fé: NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department 2015.

NOGAMI, J.; VILLIBOR, D. Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação: limitações do método tradicional, apresentação de uma nova sistemática. **Reunião Anual de Pavimentação**, v. 15, 1980.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1., 1981. [**Anais...**], 1981. p. 198; 30-41.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. **São Paulo**: Villibor, 1995. p. 213.

NTE.E.080. **Adobe del ININVI**: construcciones de adobe. Norma Técnica de Edificación: Adobe. Lima, Peru, 2000.

NZS.4297. **Engineering design of earth buildings**. Wellington: Standards New Zealand (SNZ), 1998.

OIA. **A handbook for building homes of earth**. Washington: Office of International Affairs, 1981.

OLIVEIRA, L. B. D. **Introdução ao estudo de adobe**: construção de alvenaria. Brasília: Projeto Cantoar/FAU, 2005.

OLIVER, P. **Encyclopedia of vernacular architecture of the world**. New York: Cambridge University Press, 1997. ISBN 0521564220.

OTTAZZI, P. *et al.* Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación de paredes de adobe, tapial, ladrillo y bloques suelo-cemento. **HABITERRA. CYTED**, La Paz, Bolivia, 1995.

PAGLIOLICO, S. *et al.* Physicochemical and mineralogical characterization of earth for building in North West Italy. **Applied clay science**, v. 50, n. 4, p. 439-454, 2010. ISSN 0169-1317.

PARISI, F. *et al.* **Nonlinear finite element model for traditional adobe masonry**, v. 223, p. 450-462, 2019. ISSN 0950-0618.

PEREIRA, A. D. S. *et al.* **Regressão Linear Múltipla como simplificar por meio do Excel e SPSS?** Passo Fundo, RS: Universidade de Passo Fundo, 2019. (Texto para Discussão N° 01/2019).

PÉREZ, F. C. **P.I.E.T. 70**: prescripciones del Instituto Eduardo Torroja. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 1971.

PINTO, C. D. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

QUAGLIARINI, E.; LENCI, S.; IORIO, M. Mechanical properties of adobe walls in a Roman Republican domus at Suasa. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n. 2, p. 130-137, 2010. ISSN 1296-2074.

REGELN, L. **Begriffe; Baustoffe; Bauteile**. Braunschweig/Wiesbaden. Germany: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1999.

REZENDE, M. A. P.; MENDONÇA, A. A.; VALE, J. L. R. Considerações sobre a influência do tipo de argila sobre as propriedades da terra como material de construção. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 5., 2014, Viçosa, MG. [**Resumos...**]. Viçosa, MG, 2014.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: (ed.). **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 48-55.

SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção**. 2. Salvador: EDUFBA, 2001. ISBN 85-232-0249-8.

SANTOS, A. D. **Argilas montmorilonitas naturais e modificadas com surfactantes aplicadas na adsorção do azul de metileno e p-nitrofenol em solução aquosa**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, SP, 2010.

SANTOS, E. F. D. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, H. G. D. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. ISBN 8570358172.

SARTORI, R. A. *et al.* Adsorção do corante azul de metileno em partícula de argilominerais: análise dos tamanhos das partículas. **Química Nova**, v. 34, n. 4, p. 585-588, 2011.

SCAPIN, M. A. **Aplicação da difração e fluorescência de raios-X (WDXRF): ensaios de argilominerais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2003.

SEGALEN, P. Metallic oxides and hydroxides in soils of the warm and humid areas of the world: formation, identification, evolution. In: UNESCO (ed.). **Soil and tropical weathering**. Paris, 1971. p. 25-28.

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

SILVA, C. G. T. D. **Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua**. 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, 2000.

SILVEIRA, D.; VARUM, H.; COSTA, A. Rehabilitation of an important cultural and architectural heritage: the traditional adobe constructions in Aveiro district. **WIT Transactions on Ecology the Environment**, v. 102, 2007. ISSN 1845641035.

SILVEIRA, D.; VARUM, H.; COSTA, A. Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 719-728, 2013. ISSN 0950-0618.

SMITH, E. W.; AUSTIN, G. S. **Adobe, pressed-earth and rammed earth industries in New Mexico**. New Mexico: Authority of State of New Mexico, 1996. (Bulletin, 159).

SOUZA, C. Pesquisa desenvolvida na UFLA transformará rejeitos do rompimento da Barragem do Fundão em tijolos de adobe. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/pesquisa/13252-pesquisa-desenvolvida-na-ufla-transformara-rejeitos-do-rompimento-da-barragem-do-fundao-em-tijolos-de-adobe>, 2019. Acesso em: 4 out. 2019.

SOUZA, P. M. L. P. D. **Limite de liquidez: correlações e comparações entre os métodos de fall cone e da concha de casagrande**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

SOUZA, R. C. O.; CARVALHO, S. M. L. Adsorção de azul de metileno por argila: influência da presença de matéria orgânica. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 6995-7002, 2015. ISSN 2359-1757.

SPENCE, R. J. S.; COOK, D. J. **Building materials in developing countries**. Wiley 1983.

TÉCNICAS, A. B. D. N. **NBR 6458** – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm: Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. ISBN 978-85-7035-771-7.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Conferência Engenharia** – Construção em terra: algumas considerações sobre seleção de solos. Corvilhã, Portugal, outubro de 2009.

VALE, J. L. R.; FLORES, D. F.; REZENDE, M. A. P. Estudo da caracterização física e mecânica dos adobes produzidos em Vitoriano Veloso (Bichinho) – Minas Gerais. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 5., 2014, Viçosa, MG. [Anais...]. Viçosa, MG, 2014.

VALE, J. L. R. D. **Técnicas vernaculares, preservação e sustentabilidade**: um estudo de caso da técnica de adobe no distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho), Prados, Minas Gerais. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São paulo: Mcgraw-Hill, Editora da Universidade de São Paulo, 1977.


VARUM, H. *et al.* Behaviour characterization and rehabilitation of adobe construction. **Procedia Engineering**, v. 114, p. 714-721, 2015.


VEGA, P. *et al.* Mechanical characterisation of traditional adobes from the north of Spain. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 7, p. 3020-3023, 2011. ISSN 0950-0618.

YOUNG, A. Tropical soils and soil survey. **Soil Science**, p. 393, 1978.


YUKSELEN, Y.; KAYA, A. Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils. **Engineering Geology**, v. 102, p. 38-45, 2008.


## APÊNDICE A – PESO ESPECÍFICO


	<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>	<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> Nº 001/2018																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Cliente</td> <td style="width: 55%;">JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE</td> <td style="width: 15%;">Data da amostragem</td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td>Procedência</td> <td>AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS</td> <td>Data do ensaio</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amostra</td> <td>Profundidade</td> <td>m</td> <td>Operador</td> </tr> <tr> <td>Sondagem</td> <td>AM 01 Bichinho - Luiz</td> <td>Coordenadas</td> <td>Paulo</td> </tr> </table>			Cliente	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem		Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Data do ensaio		Amostra	Profundidade	m	Operador	Sondagem	AM 01 Bichinho - Luiz	Coordenadas	Paulo
Cliente	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem																
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Data do ensaio																
Amostra	Profundidade	m	Operador															
Sondagem	AM 01 Bichinho - Luiz	Coordenadas	Paulo															
<b>RESULTADO</b>																		
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b></td> <td style="padding: 5px;"><b>27,13</b></td> <td style="padding: 5px;"><b>kN/m<sup>3</sup></b></td> </tr> </table>			<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>	<b>27,13</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>													
<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>	<b>27,13</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>																
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>																		
<b>TEOR DE UMIDADE</b>		Obs.:																
Determinação			1	2	3													
Massa bruta úmida	g		69,34	63,55	74,58													
Massa bruta seca	g		68,13	62,34	73,05													
Tara	g		30,85	25,53	28,73													
Teor de umidade	%		3,25	3,29	3,45													
Teor de umidade médio	%		3,33															
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>																		
			Antes	Depois														
Recipiente nº																		
Massa bruta seca	g																	
Tara do recipiente	g																	
Massa do solo úmido	g	75,00																
Teor de umidade médio	%	3,33																
Massa de solo seco	g	72,58																
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>																		
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Picnômetro nº</td> <td style="padding: 2px;">06</td> </tr> </table>					Picnômetro nº	06												
Picnômetro nº	06																	
Determinação		1	2	3	4	5												
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	754,58	754,27	753,88	753,10	752,59												
Temperatura	°C	12,0	17,0	22,0	28,5	32,0												
Massa do picnômetro + Massa da água	g	708,16	707,87	707,45	706,70	706,20												
Massa do solo seco	g	72,58	72,58	72,58	72,58	72,58												
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9995	0,9988	0,9978	0,9961	0,9951												
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,773	2,769	2,769	2,762	2,758												
Peso específico dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	<b>2,766</b>																
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	<b>27,13</b>																


 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> <b>Nº 002/2018</b>				
<b>Cliente</b>	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	<b>Data da amostragem</b>				
<b>Procedência</b>	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	<b>Data do ensaio</b>				
<b>Amostra</b>		<b>Profundidade</b>	m			
<b>Sondagem</b>	AM 02 Bichinho - AIPI	<b>Operador</b>	Paulo			
	<b>Coordenadas</b>					
<b>RESULTADO</b>						
<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>		27,34	kN/m <sup>3</sup>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>			Obs.:			
Determinação		1		2	3	
Massa bruta úmida	g	77,73		64,32	72,68	
Massa bruta seca	g	76,37		63,27	71,47	
Tara	g	32,41		29,48	34,31	
Teor de umidade	%	3,09		3,11	3,26	
Teor de umidade médio	%			3,15		
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes	Depois			
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	75,00				
Teor de umidade médio	%	3,15				
Massa de solo seco	g	72,71				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
<b>Picnômetro nº</b>		<b>11</b>				
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	737,14	736,96	736,52	735,55	734,99
Temperatura	°C	12,0	17,0	22,0	29,0	33,0
Massa do picnômetro + Massa da água	g	690,57	690,20	689,72	688,88	688,30
Massa do solo seco	g	72,71	72,71	72,71	72,71	72,71
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9995	0,9988	0,9978	0,9960	0,9947
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,781	2,799	2,800	2,782	2,780
Peso específico dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	<b>2,788</b>				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	<b>27,34</b>				




 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> <b>Nº 002/2020</b>				
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem				
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio				
Amostra	B3	Profundidade	m			
Operador	Anderson					
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas				
<b>RESULTADO</b>						
<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>		<b>27,65</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>						
Determinação		1	2	3		
Massa bruta úmida	g	69,14	75,46	72,01		
Massa bruta seca	g	68,67	74,97	71,53		
Tara	g	18,38	22,24	19,00		
Teor de umidade	%	0,93	0,93	0,91		
Teor de umidade médio	%		0,93			
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes	Depois			
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	75,00				
Teor de umidade médio	%	0,93				
Massa de solo seco	g	74,31				
Obs.:						
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
	Picnômetro nº	M9	M11	M13		
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	806,94	813,45	812,69		
Temperatura	°C	23,0	22,4	23,0		
Massa do picnômetro + Massa da água	g	758,93	765,47	764,61		
Massa do solo seco	g	74,31	74,31	74,31		
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9976	0,9977	0,9976		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,818	2,816	2,826		
Peso específico dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	<b>2,820</b>				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	<b>27,65</b>				

 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> <b>Nº 003/2018</b>				
<b>Cliente</b>	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	<b>Data da amostragem</b>				
<b>Procedência</b>	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	<b>Data do ensaio</b>				
<b>Amostra</b>		<b>Profundidade</b>	m			
<b>Sondagem</b>	AM 03 Bichinho - AITA	<b>Coordenadas</b>	Paulo			
<b>RESULTADO</b>						
<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>		27,74	kN/m <sup>3</sup>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>			Obs.:			
Determinação		1		2	3	
Massa bruta úmida	g	60,59		67,24	67,37	
Massa bruta seca	g	60,10		66,60	66,78	
Tara	g	25,65		22,69	26,88	
Teor de umidade	%	1,42		1,46	1,48	
Teor de umidade médio	%			1,45		
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes	Depois			
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	75,00				
Teor de umidade médio	%	1,45				
Massa de solo seco	g	73,93				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
<b>Picnômetro nº</b>		<b>14</b>				
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	742,51	742,00	741,68	740,84	739,64
Temperatura	°C	12,0	17,0	22,0	29,0	37,0
Massa do picnômetro + Massa da água	g	694,73	694,30	693,77	692,88	691,65
Massa do solo seco	g	73,93	73,93	73,93	73,93	73,93
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9995	0,9988	0,9978	0,9960	0,9934
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,826	2,816	2,835	2,835	2,831
Peso específico dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	<b>2,829</b>				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	<b>27,74</b>				


 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> <b>Nº 002/2019</b>				
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem				
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio				
Amostra	L - 01	Profundidade	m Operador Marcelo			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas				
<b>RESULTADO</b>						
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS		27,20	kN/m <sup>3</sup>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>						
Determinação		1	2	3		
Massa bruta úmida	g	89,13	89,90	80,15		
Massa bruta seca	g	87,82	88,50	79,03		
Tara	g	23,55	19,55	23,02		
Teor de umidade	%	2,04	2,03	2,00		
Teor de umidade médio	%		2,02			
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes	Depois			
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	70,00				
Teor de umidade médio	%	2,02				
Massa de solo seco	g	68,61				
Obs.:						
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
	Picnômetro nº	M1	M2	M3		
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	806,69	806,79	798,75		
Temperatura	°C	24,3	24,2	24,6		
Massa do picnômetro + Massa da água	g	762,79	762,76	754,84		
Massa do solo seco	g	68,61	68,61	68,61		
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9973	0,9973	0,9972		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,769	2,783	2,770		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,774				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,20				


 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> Nº 003/2019		
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem		
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio		
Amostra	L - 02	Profundidade	m	
Operador	Marcelo			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas		
<b>RESULTADO</b>				
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS		26,94	kN/m <sup>3</sup>	
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>				
<b>TEOR DE UMIDADE</b>				
Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	61,31	68,61	51,13
Massa bruta seca	g	60,13	67,28	50,15
Tara	g	17,69	14,36	14,13
Teor de umidade	%	2,78	2,51	2,72
Teor de umidade médio	%		2,67	
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>				
		Antes	Depois	
Recipiente nº				
Massa bruta seca	g			
Tara do recipiente	g			
Massa do solo úmido	g	70,00		
Teor de umidade médio	%	2,67		
Massa de solo seco	g	68,18		
Obs.:				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>				
	Picnômetro nº	M4	M5	M6
Determinação		1	2	3
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	790,81	794,72	812,29
Temperatura	° C	24,1	23,9	24,1
Massa do picnômetro + Massa da água	g	747,41	751,21	768,92
Massa do solo seco	g	68,18	68,18	68,18
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9973	0,9974	0,9973
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,744	2,756	2,740
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,747		
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	26,94		


UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA		PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS Nº 004/2019		
		Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745		
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem		
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio		
Amostra	M - 01	Profundidade	m	
		Operador	Marcelo	
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas		
<b>RESULTADO</b>				
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS		27,60	kN/m <sup>3</sup>	
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>				
<b>TEOR DE UMIDADE</b>				
Determinação		1	2	
Massa bruta úmida	g	97,86	96,02	
Massa bruta seca	g	92,22	90,34	
Tara	g	18,70	19,19	
Teor de umidade	%	7,67	7,98	
Teor de umidade médio	%		7,80	
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>				
		Antes	Depois	
Recipiente nº				
Massa bruta seca	g			
Tara do recipiente	g			
Massa do solo úmido	g	70,00		
Teor de umidade médio	%	7,80		
Massa de solo seco	g	64,94		
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>				
	Picnômetro nº	M4	M5	M6
Determinação		1	2	3
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	789,41	793,16	810,80
Temperatura	° C	23,9	23,9	24,0
Massa do picnômetro + Massa da água	g	747,45	751,21	768,94
Massa do solo seco	g	64,94	64,94	64,94
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9974	0,9974	0,9973
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,819	2,817	2,807
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,814		
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,60		

Obs.:





 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> Nº 005/2019				
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem				
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio				
Amostra	M - 02	Profundidade	m Operador Marcelo			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas				
<b>RESULTADO</b>						
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS		30,64	kN/m <sup>3</sup>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>			Obs.:			
Determinação		1		2	3	
Massa bruta úmida	g	113,83		108,60	100,32	
Massa bruta seca	g	110,59		105,69	97,71	
Tara	g	19,75		23,99	24,92	
Teor de umidade	%	3,57		3,56	3,59	
Teor de umidade médio	%			3,57		
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes		Depois		
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	70,00				
Teor de umidade médio	%	3,57				
Massa de solo seco	g	67,59				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
	Picnômetro nº	M4	M5	M6		
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	793,25	797,16	814,88		
Temperatura	°C	24,8	24,7	24,7		
Massa do picnômetro + Massa da água	g	747,30	751,09	768,84		
Massa do solo seco	g	67,59	67,59	67,59		
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9971	0,9972	0,9972		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	3,114	3,132	3,128		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	3,125				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	30,64				

 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> Nº 006/2019				
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem				
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio				
Amostra	S - 01	Profundidade	m			
		Operador	Marcelo			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas				
<b>RESULTADO</b>						
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS		27,52	kN/m <sup>3</sup>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>						
Determinação		1	2	3		
Massa bruta úmida	g	80,30	94,30	74,08		
Massa bruta seca	g	76,69	89,77	70,72		
Tara	g	18,38	17,47	15,62		
Teor de umidade	%	6,19	6,27	6,10		
Teor de umidade médio	%		6,18			
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes	Depois			
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	70,00				
Teor de umidade médio	%	6,18				
Massa de solo seco	g	65,92				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
	Picnômetro nº	M1	M2	M3		
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	805,43	805,26	797,44		
Temperatura	° C	23,7	23,8	23,9		
Massa do picnômetro + Massa da água	g	762,87	762,82	754,95		
Massa do solo seco	g	65,92	65,92	65,92		
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9974	0,9974	0,9974		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,814	2,800	2,806		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,807				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,52				


 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> <b>Nº 007/2019</b>				
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem				
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio				
Amostra	S - 02	Profundidade	m			
		Operador	Marcelo			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas				
<b>RESULTADO</b>						
<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>		<b>32,39</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>			Obs.:			
Determinação		1		2	3	
Massa bruta úmida	g	103,97		94,43	80,89	
Massa bruta seca	g	97,45		88,10	75,60	
Tara	g	22,77		13,93	14,95	
Teor de umidade	%	8,73		8,53	8,72	
Teor de umidade médio	%			8,66		
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes		Depois		
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	70,00				
Teor de umidade médio	%	8,66				
Massa de solo seco	g	64,42				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
	<b>Picnômetro nº</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>		
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	807,72	807,63	799,67		
Temperatura	°C	24,9	25,0	25,2		
Massa do picnômetro + Massa da água	g	762,71	762,64	754,75		
Massa do solo seco	g	64,42	64,42	64,42		
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9971	0,9971	0,9970		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	3,310	3,305	3,294		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	<b>3,303</b>				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	<b>32,39</b>				



 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> Nº 001/2020		
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem		
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio		
Amostra	LN	Profundidade	m	
Operador	Anderson			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas		
<b>RESULTADO</b>				
<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b>		<b>28,09</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>				
<b>TEOR DE UMIDADE</b>				
Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	69,42	78,53	78,75
Massa bruta seca	g	68,49	77,38	77,70
Tara	g	16,70	14,14	19,03
Teor de umidade	%	1,80	1,82	1,79
Teor de umidade médio	%		1,80	
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>				
		Antes	Depois	
Recipiente nº				
Massa bruta seca	g			
Tara do recipiente	g			
Massa do solo úmido	g	75,00		
Teor de umidade médio	%	1,80		
Massa de solo seco	g	73,67		
Obs.:				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>				
	Picnômetro nº	M1	M3	M6
Determinação		1	2	3
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	811,19	803,58	817,06
Temperatura	°C	21,0	19,6	23,2
Massa do picnômetro + Massa da água	g	763,23	755,55	769,05
Massa do solo seco	g	73,67	73,67	73,67
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9980	0,9983	0,9975
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,860	2,869	2,863
Peso específico dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	<b>2,864</b>		
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	<b>28,09</b>		

 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745</small>		<b>PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS</b> <b>Nº 001/2019</b>				
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem				
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio				
Amostra	SC - 01	Profundidade	m Operador Marcelo			
Tipo	Amostra deformada	Coordenadas				
<b>RESULTADO</b>						
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS		27,42	kN/m <sup>3</sup>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO</b>						
<b>TEOR DE UMIDADE</b>			Obs.:			
Determinação		1		2	3	
Massa bruta úmida	g	78,00		80,98	88,70	
Massa bruta seca	g	76,31		79,35	86,72	
Tara	g	20,26		22,67	20,46	
Teor de umidade	%	3,02		2,88	2,99	
Teor de umidade médio	%			2,96		
<b>MASSA DE SOLO SECO</b>						
		Antes		Depois		
Recipiente nº						
Massa bruta seca	g					
Tara do recipiente	g					
Massa do solo úmido	g	70,00				
Teor de umidade médio	%	2,96				
Massa de solo seco	g	67,99				
<b>DADOS DO ENSAIO - PESO ESPECÍFICO</b>						
	Picnômetro nº	M1	M2	M3		
Determinação		1	2	3	4	5
Massa do picnômetro + Massa do solo + Massa da água	g	806,50	806,65	798,68		
Temperatura	°C	23,9	23,7	24,0		
Massa do picnômetro + Massa da água	g	762,85	762,84	754,93		
Massa do solo seco	g	67,99	67,99	67,99		
Massa específica da água	g/cm <sup>3</sup>	0,9974	0,9974	0,9973		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,787	2,805	2,797		
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,796				
Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,42				

## APÊNDICE B – GRANULOMETRIA

 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745						<b>ANÁLISE GRANULOMETRIA CONJUNTA Nº 001/2018</b>																																																																																																																																																																														
Interessado <b>JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE</b>			Data da amostragem																																																																																																																																																																																	
Procedência <b>AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS</b>		Amostra <b>AM 01 Bichinho - Luiz</b>		Data do ensaio <b>04/09/2018</b>																																																																																																																																																																																
Coordenadas		Profundidade <b>m</b>		Operador <b>Paulo</b>																																																																																																																																																																																
<b>Teor de Umidade</b>																																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Determinação</th> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Massa bruta úmida</td> <td>g</td> <td>69,34</td> <td>63,55</td> <td>74,58</td> </tr> <tr> <td>Massa bruta seca</td> <td>g</td> <td>68,13</td> <td>62,34</td> <td>73,05</td> </tr> <tr> <td>Tara da cápsula</td> <td>g</td> <td>30,85</td> <td>25,53</td> <td>28,73</td> </tr> <tr> <td>Teor de umidade</td> <td>%</td> <td>3,25</td> <td>3,29</td> <td>3,45</td> </tr> <tr> <td>Teor de umidade médio</td> <td>%</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">3,33</td> </tr> </tbody> </table>						Determinação		1	2	3	Massa bruta úmida	g	69,34	63,55	74,58	Massa bruta seca	g	68,13	62,34	73,05	Tara da cápsula	g	30,85	25,53	28,73	Teor de umidade	%	3,25	3,29	3,45	Teor de umidade médio	%	3,33																																																																																																																																																			
Determinação		1	2	3																																																																																																																																																																																
Massa bruta úmida	g	69,34	63,55	74,58																																																																																																																																																																																
Massa bruta seca	g	68,13	62,34	73,05																																																																																																																																																																																
Tara da cápsula	g	30,85	25,53	28,73																																																																																																																																																																																
Teor de umidade	%	3,25	3,29	3,45																																																																																																																																																																																
Teor de umidade médio	%	3,33																																																																																																																																																																																		
Obs.: Ensaio de Peneiramento grosso : SIM <span style="float: right;">% que passa na peneira # 10 : 99,6 %</span>  Classificação: ABNT <span style="margin-left: 100px;">Correção do menisco : SIM</span>																																																																																																																																																																																				
<b>Sedimentação</b>																																																																																																																																																																																				
Dados da Amostra		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Provetta</th> <th>3</th> <th>Densímetro</th> <th>1</th> <th>Defloculante</th> <th colspan="5">Hexametáfosfato de Sódio</th> </tr> <tr> <th>Data</th> <th>Hora</th> <th>Tempo min</th> <th>Temp. °C</th> <th>Leitura</th> <th>Correção</th> <th>Leitura corrigida</th> <th>K</th> <th>Z (cm)</th> <th>φ</th> <th>% que passa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>04/09/18</td> <td>08:23:00</td> <td>0,25</td> <td>22,0</td> <td>1,0370</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0,5</td> <td>22,0</td> <td>1,0360</td> <td>0,00104</td> <td>1,0350</td> <td>0,01288</td> <td>9,271</td> <td>0,05548</td> <td>74,98</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>22,0</td> <td>1,0350</td> <td>0,00104</td> <td>1,0340</td> <td>0,01288</td> <td>9,397</td> <td>0,03949</td> <td>72,84</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>22,0</td> <td>1,0345</td> <td>0,00104</td> <td>1,0335</td> <td>0,01288</td> <td>9,459</td> <td>0,02802</td> <td>71,77</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td>22,0</td> <td>1,0335</td> <td>0,00104</td> <td>1,0325</td> <td>0,01288</td> <td>10,185</td> <td>0,02056</td> <td>69,62</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td>22,0</td> <td>1,0330</td> <td>0,00104</td> <td>1,0320</td> <td>0,01288</td> <td>10,248</td> <td>0,01458</td> <td>68,55</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>15</td> <td>22,0</td> <td>1,0325</td> <td>0,00104</td> <td>1,0315</td> <td>0,01288</td> <td>10,311</td> <td>0,01068</td> <td>67,48</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>30</td> <td>22,0</td> <td>1,0320</td> <td>0,00104</td> <td>1,0310</td> <td>0,01288</td> <td>10,373</td> <td>0,00758</td> <td>66,40</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>60</td> <td>22,5</td> <td>1,0300</td> <td>0,00095</td> <td>1,0290</td> <td>0,01281</td> <td>10,613</td> <td>0,00539</td> <td>62,31</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>120</td> <td>22,5</td> <td>1,0290</td> <td>0,00095</td> <td>1,0280</td> <td>0,01281</td> <td>10,739</td> <td>0,00383</td> <td>60,16</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>240</td> <td>23,0</td> <td>1,0280</td> <td>0,00086</td> <td>1,0271</td> <td>0,01273</td> <td>10,853</td> <td>0,00271</td> <td>58,22</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>480</td> <td>24,0</td> <td>1,0270</td> <td>0,00086</td> <td>1,0263</td> <td>0,01258</td> <td>10,954</td> <td>0,00190</td> <td>56,49</td> </tr> <tr> <td>05/09/18</td> <td></td> <td>1500</td> <td>20,0</td> <td>1,0250</td> <td>0,00137</td> <td>1,0236</td> <td>0,01320</td> <td>11,294</td> <td>0,00115</td> <td>50,68</td> </tr> <tr> <td>06/09/18</td> <td></td> <td>3000</td> <td>20,0</td> <td>1,0230</td> <td>0,00137</td> <td>1,0216</td> <td>0,01320</td> <td>11,545</td> <td>0,00082</td> <td>46,39</td> </tr> </tbody> </table>				Provetta	3	Densímetro	1	Defloculante	Hexametáfosfato de Sódio					Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa	04/09/18	08:23:00	0,25	22,0	1,0370									0,5	22,0	1,0360	0,00104	1,0350	0,01288	9,271	0,05548	74,98			1	22,0	1,0350	0,00104	1,0340	0,01288	9,397	0,03949	72,84			2	22,0	1,0345	0,00104	1,0335	0,01288	9,459	0,02802	71,77			4	22,0	1,0335	0,00104	1,0325	0,01288	10,185	0,02056	69,62			8	22,0	1,0330	0,00104	1,0320	0,01288	10,248	0,01458	68,55			15	22,0	1,0325	0,00104	1,0315	0,01288	10,311	0,01068	67,48			30	22,0	1,0320	0,00104	1,0310	0,01288	10,373	0,00758	66,40			60	22,5	1,0300	0,00095	1,0290	0,01281	10,613	0,00539	62,31			120	22,5	1,0290	0,00095	1,0280	0,01281	10,739	0,00383	60,16			240	23,0	1,0280	0,00086	1,0271	0,01273	10,853	0,00271	58,22			480	24,0	1,0270	0,00086	1,0263	0,01258	10,954	0,00190	56,49	05/09/18		1500	20,0	1,0250	0,00137	1,0236	0,01320	11,294	0,00115	50,68	06/09/18		3000	20,0	1,0230	0,00137	1,0216	0,01320	11,545	0,00082	46,39
Provetta	3	Densímetro	1	Defloculante	Hexametáfosfato de Sódio																																																																																																																																																																															
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa																																																																																																																																																																										
04/09/18	08:23:00	0,25	22,0	1,0370																																																																																																																																																																																
		0,5	22,0	1,0360	0,00104	1,0350	0,01288	9,271	0,05548	74,98																																																																																																																																																																										
		1	22,0	1,0350	0,00104	1,0340	0,01288	9,397	0,03949	72,84																																																																																																																																																																										
		2	22,0	1,0345	0,00104	1,0335	0,01288	9,459	0,02802	71,77																																																																																																																																																																										
		4	22,0	1,0335	0,00104	1,0325	0,01288	10,185	0,02056	69,62																																																																																																																																																																										
		8	22,0	1,0330	0,00104	1,0320	0,01288	10,248	0,01458	68,55																																																																																																																																																																										
		15	22,0	1,0325	0,00104	1,0315	0,01288	10,311	0,01068	67,48																																																																																																																																																																										
		30	22,0	1,0320	0,00104	1,0310	0,01288	10,373	0,00758	66,40																																																																																																																																																																										
		60	22,5	1,0300	0,00095	1,0290	0,01281	10,613	0,00539	62,31																																																																																																																																																																										
		120	22,5	1,0290	0,00095	1,0280	0,01281	10,739	0,00383	60,16																																																																																																																																																																										
		240	23,0	1,0280	0,00086	1,0271	0,01273	10,853	0,00271	58,22																																																																																																																																																																										
		480	24,0	1,0270	0,00086	1,0263	0,01258	10,954	0,00190	56,49																																																																																																																																																																										
05/09/18		1500	20,0	1,0250	0,00137	1,0236	0,01320	11,294	0,00115	50,68																																																																																																																																																																										
06/09/18		3000	20,0	1,0230	0,00137	1,0216	0,01320	11,545	0,00082	46,39																																																																																																																																																																										
Peneiramento do Solo Fino		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Peneiras</th> <th rowspan="2">φ (mm)</th> <th colspan="2">Material</th> <th rowspan="2">% que passa</th> </tr> <tr> <th>Retido</th> <th>Que passa</th> </tr> <tr> <th>#</th> <th>φ (mm)</th> <th>g</th> <th>g</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>2,000</td> <td>0,31</td> <td>967,49</td> <td>99,61</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>1,200</td> <td>0,18</td> <td>72,40</td> <td>99,36</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0,600</td> <td>1,22</td> <td>71,36</td> <td>97,93</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>0,420</td> <td>2,34</td> <td>70,24</td> <td>96,40</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0,250</td> <td>6,16</td> <td>66,42</td> <td>91,15</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0,150</td> <td>9,91</td> <td>62,67</td> <td>86,01</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0,074</td> <td>15,08</td> <td>57,50</td> <td>78,91</td> </tr> </tbody> </table>				Peneiras	φ (mm)	Material		% que passa	Retido	Que passa	#	φ (mm)	g	g		10	2,000	0,31	967,49	99,61	16	1,200	0,18	72,40	99,36	30	0,600	1,22	71,36	97,93	40	0,420	2,34	70,24	96,40	50	0,250	6,16	66,42	91,15	100	0,150	9,91	62,67	86,01	200	0,074	15,08	57,50	78,91																																																																																																																																
Peneiras	φ (mm)	Material		% que passa																																																																																																																																																																																
		Retido	Que passa																																																																																																																																																																																	
#	φ (mm)	g	g																																																																																																																																																																																	
10	2,000	0,31	967,49	99,61																																																																																																																																																																																
16	1,200	0,18	72,40	99,36																																																																																																																																																																																
30	0,600	1,22	71,36	97,93																																																																																																																																																																																
40	0,420	2,34	70,24	96,40																																																																																																																																																																																
50	0,250	6,16	66,42	91,15																																																																																																																																																																																
100	0,150	9,91	62,67	86,01																																																																																																																																																																																
200	0,074	15,08	57,50	78,91																																																																																																																																																																																



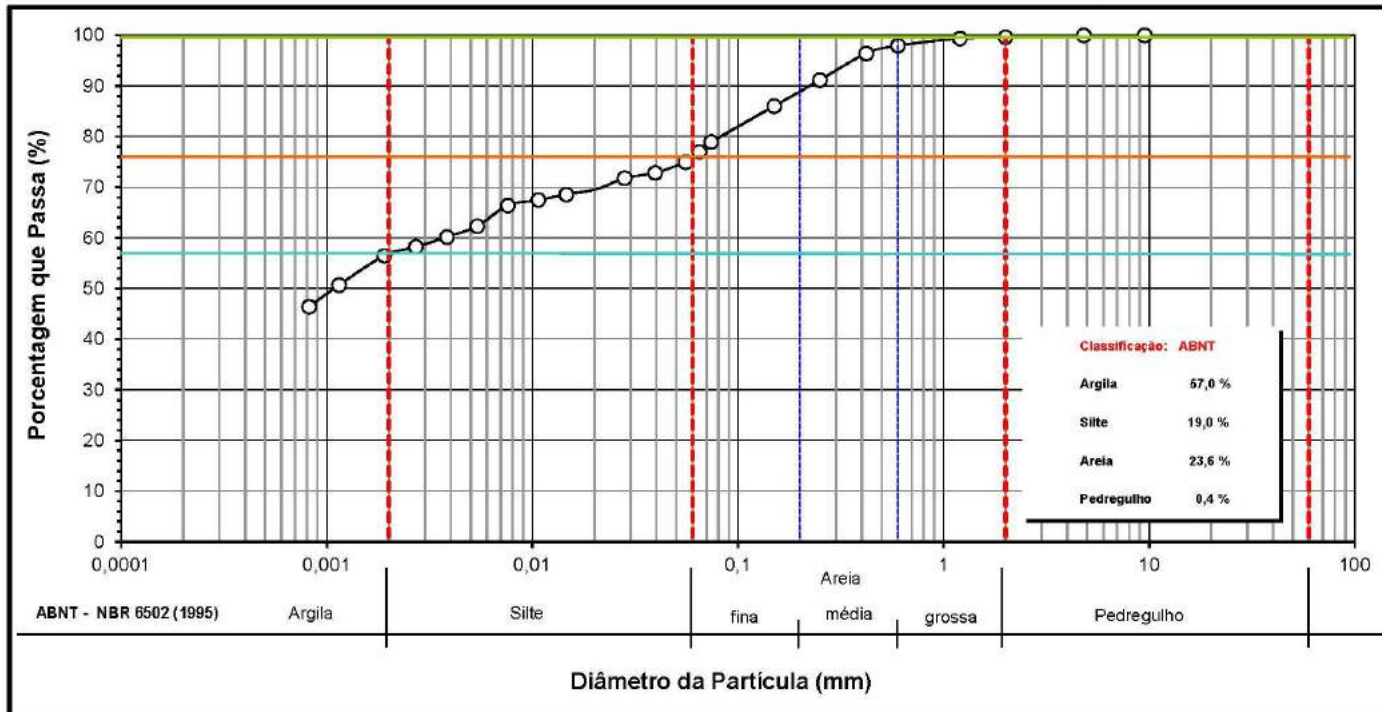
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2018

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Amostra	AM 01 Bichinho - Luiz
		Data do ensaio	04/09/2018
Coordenadas		Profundidade	m
		Operador	Paulo







UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2018

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem	
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Amostra	AM 02 Bichinho - AIPi	Data do ensaio	04/09/2018
Coordenadas		Profundidade	m	Operador	Paulo

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	77,73	64,32	72,68
Massa bruta seca	g	76,37	63,27	71,47
Tara da cápsula	g	32,41	29,48	34,31
Teor de umidade	%	3,09	3,11	3,26
Teor de umidade médio	%	3,15		

Obs.:

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 96,9 %  
Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,34
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	30,29
Massa úmida (Sedimentação)	g	75,00
Massa seca (Sedimentação)	g	72,71

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Material	Material		% que passa
		Retido	Que passa	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	30,29	940,07	96,88
16	1,200	0,63	72,08	96,04
30	0,600	1,46	71,25	94,93
40	0,420	2,01	70,70	94,20
50	0,250	3,66	69,05	92,00
100	0,150	5,68	67,03	89,31
200	0,074	10,31	62,40	83,14

Proveta		3-4		Densímetro		1		Defloculante Hexametáfosfato de Sódio			
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa	
04/09/18	08:27:00	0,25	22,0	1,0400							
		0,5	22,0	1,0390	0,00104	1,0380	0,01281	8,894	0,05401	78,71	
		1	22,0	1,0380	0,00104	1,0370	0,01281	9,020	0,03846	76,64	
		2	22,0	1,0370	0,00104	1,0360	0,01281	9,145	0,02738	74,57	
		4	22,0	1,0350	0,00104	1,0340	0,01281	9,997	0,02024	70,42	
		8	22,0	1,0340	0,00104	1,0330	0,01281	10,122	0,01440	68,34	
		15	22,0	1,0330	0,00104	1,0320	0,01281	10,248	0,01058	66,27	
		30	22,0	1,0310	0,00104	1,0300	0,01281	10,499	0,00758	62,12	
		60	22,5	1,0290	0,00095	1,0280	0,01273	10,739	0,00539	58,16	
		120	22,5	1,0270	0,00095	1,0260	0,01273	10,990	0,00385	54,02	
		240	23,0	1,0250	0,00086	1,0241	0,01266	11,230	0,00274	50,06	
		480	24,0	1,0240	0,00086	1,0233	0,01251	11,331	0,00192	48,39	
05/09/18		1500	20,0	1,0230	0,00137	1,0216	0,01312	11,545	0,00115	44,85	
06/09/18		3000	20,0	1,0210	0,00137	1,0196	0,01312	11,797	0,00082	40,70	



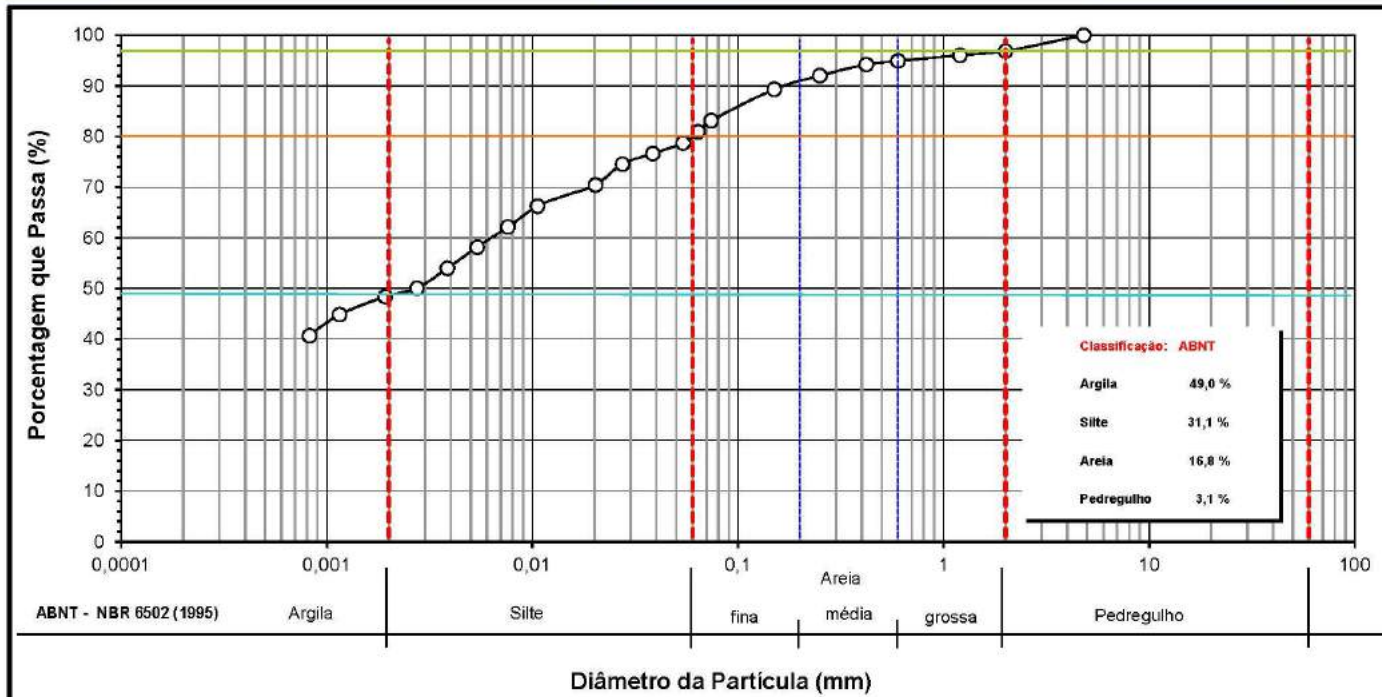
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2018

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Amostra	AM 02 Bichinho - AIFI
		Data do ensaio	04/09/2018
Coordenadas		Profundidade	m
		Operador	Paulo





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

**ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 002/2020**

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo
Amostra	B3	Profundidade	m	Operador Anderson

**Teor de Umidade**

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	69,14	75,46	72,01
Massa bruta seca	g	68,67	74,97	71,53
Tara da cápsula	g	18,38	22,24	19,00
Teor de umidade	%	0,93	0,93	0,91
Teor de umidade médio	%	0,93		

Obs.:

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 99,1 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

**Sedimentação**

**Dados da Amostra**

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,65
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	3,02
Massa úmida (Sedimentação)	g	75,00
Massa seca (Sedimentação)	g	74,31

**Peneiramento do Solo Fino**

Peneiras	Material	Material		% que passa
		Retido	Que passa	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	3,02	981,81	99,08
16	1,200	0,33	73,98	98,64
30	0,600	2,19	72,12	96,16
40	0,420	2,72	71,59	95,46
50	0,250	4,30	70,01	93,35
100	0,150	6,70	67,61	90,15
200	0,074	10,65	63,66	84,88

Provetas		47-1		Densímetro		43		Defloculante Hexametáfosfato de Sódio			
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa	
19/04/20	09:17:00	0,25									
		0,5	24,0	1,0420	0,00307	1,0389	0,01240	10,278	0,05622	80,28	
		1	24,0	1,0370	0,00307	1,0339	0,01240	11,166	0,04143	69,97	
		2	24,0	1,0320	0,00307	1,0289	0,01240	12,055	0,03044	59,66	
		4	24,0	1,0260	0,00307	1,0249	0,01240	12,009	0,02148	51,41	
		8	24,0	1,0250	0,00307	1,0219	0,01240	12,542	0,01553	45,23	
		15	24,0	1,0220	0,00307	1,0189	0,01240	13,075	0,01158	39,04	
		30	24,1	1,0195	0,00305	1,0165	0,01238	13,516	0,00831	33,93	
		60	24,3	1,0170	0,00301	1,0140	0,01236	13,953	0,00596	28,85	
		120	24,4	1,0140	0,00299	1,0110	0,01234	14,483	0,00429	22,70	
		240	24,2	1,0120	0,00303	1,0090	0,01237	14,845	0,00308	18,50	
		480	23,8	1,0110	0,00311	1,0079	0,01243	15,036	0,00220	16,28	
20/04/20		1500	22,9	1,0095	0,00328	1,0062	0,01256	15,334	0,00127	12,83	



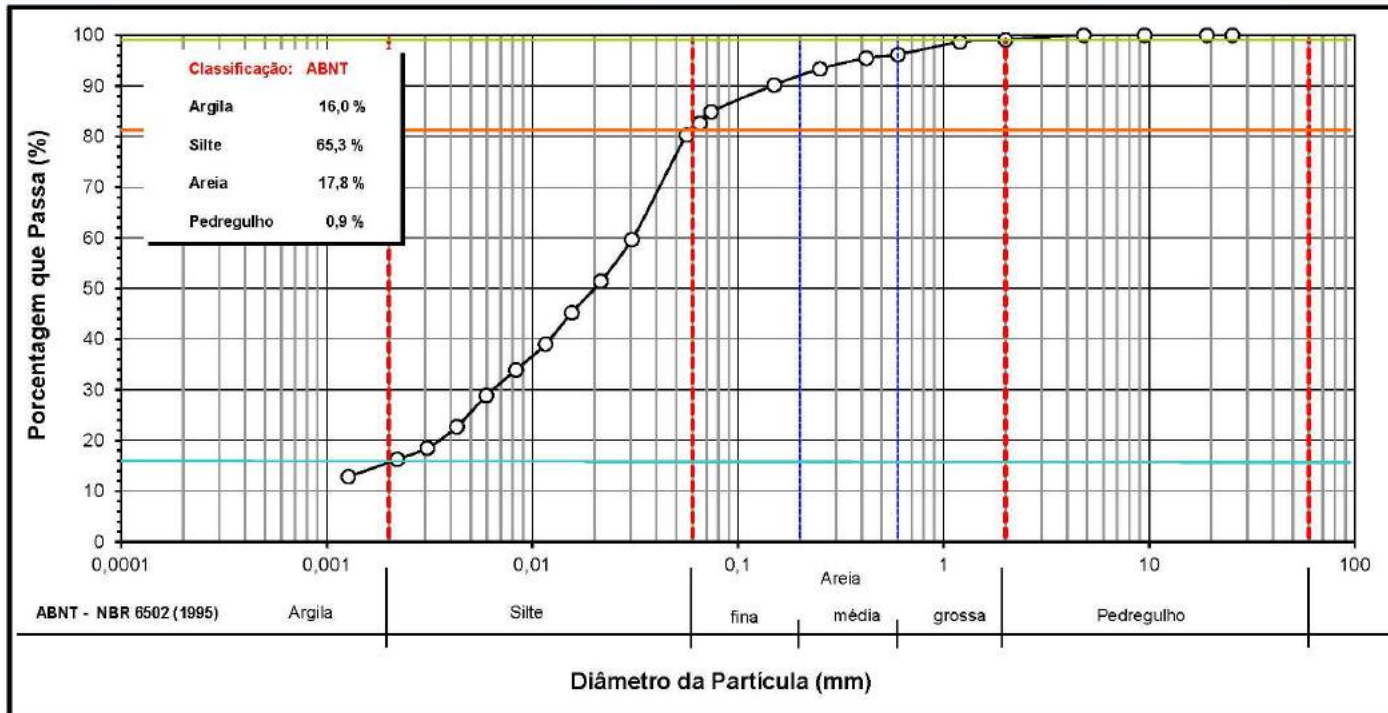
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 002/2020

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo	
Amostra	B3	Profundidade	m	Operador	Anderson







**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

*Departamento de Engenharia Civil*

*Laboratório de Geotecnia*

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

**ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 003/2018**

<b>Interessado</b>	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			<b>Data da amostragem</b>	
<b>Procedência</b>	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	<b>Amostra</b>	AM 03 Bichinho - AITA	<b>Data do ensaio</b>	04/09/2018
<b>Coordenadas</b>		<b>Profundidade</b>	m	<b>Operador</b>	Paulo

**Teor de Umidade**

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	77,73	64,32	72,68
Massa bruta seca	g	76,37	63,27	71,47
Tara da cápsula	g	32,41	29,48	34,31
Teor de umidade	%	3,09	3,11	3,26
Teor de umidade médio	%	3,15		

Obs. :

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 91,8 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

**Sedimentação**

**Dados da Amostra**

<b>Peso específico dos sólidos</b>	kN/m <sup>3</sup>	27,74
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	81,12
Massa úmida (Sedimentação)	g	75,00
Massa seca (Sedimentação)	g	72,71

**Peneiramento do Solo Fino**

Peneiras	Material	Material		% que passa
		Retido	Que passa	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	81,12	905,72	91,78
16	1,200	0,24	72,47	91,48
30	0,600	0,83	71,98	90,73
40	0,420	1,57	71,14	89,80
50	0,250	3,97	68,74	86,77
100	0,150	6,54	66,17	83,52
200	0,074	10,67	62,04	78,31

Provetas		34-1		Densímetro		1		Defloculante Hexametáfosfato de Sódio			
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa	
04/09/18	08:45:00	0,25	22,0	1,0400							
		0,5	22,0	1,0390	0,00104	1,0380	0,01266	8,894	0,05341	73,97	
		1	22,0	1,0380	0,00104	1,0370	0,01266	9,020	0,03803	72,02	
		2	22,0	1,0360	0,00104	1,0350	0,01266	9,271	0,02726	68,13	
		4	22,0	1,0350	0,00104	1,0340	0,01266	9,997	0,02002	66,18	
		8	22,0	1,0330	0,00104	1,0320	0,01266	10,248	0,01433	62,28	
		15	22,0	1,0320	0,00104	1,0310	0,01266	10,373	0,01053	60,33	
		30	22,0	1,0300	0,00104	1,0290	0,01266	10,625	0,00754	56,43	
		60	22,5	1,0290	0,00095	1,0280	0,01259	10,739	0,00533	54,66	
		120	22,5	1,0270	0,00095	1,0260	0,01259	10,990	0,00381	50,76	
		240	23,0	1,0250	0,00086	1,0241	0,01251	11,230	0,00271	47,05	
		480	24,0	1,0230	0,00066	1,0223	0,01237	11,456	0,00191	43,53	
05/09/18		1500	20,0	1,0210	0,00137	1,0196	0,01297	11,797	0,00115	38,25	
06/09/18		3000	20,0	1,0190	0,00137	1,0176	0,01297	12,048	0,00082	34,35	



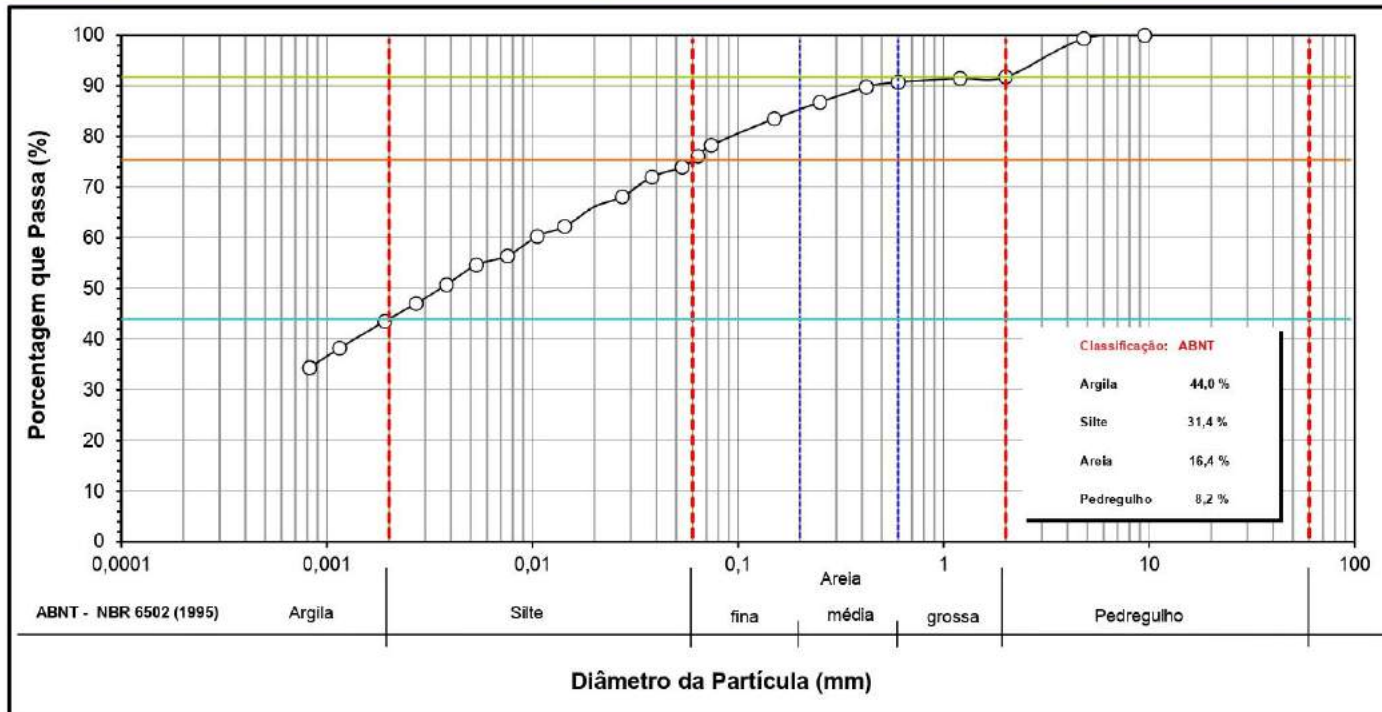
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 003/2018

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Amostra	AM 03 Bichinho - AITA
		Data do ensaio	04/09/2018
Coordenadas		Profundidade	m
		Operador	Paulo





UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 002/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
Amostra	L - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
		Data do ensalo	

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	89,13	89,90	80,15
Massa bruta seca	g	87,82	88,50	79,03
Tara da cápsula	g	23,55	19,55	23,02
Teor de umidade	%	2,04	2,03	2,00
Teor de umidade médio	%	2,02		

Obs.:

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 98,7 %  
Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,20
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	12,28
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	68,61

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Retido	Material		% que passa
		g	g	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	12,28	968,14	98,75
16	1,200	1,17	67,44	97,06
30	0,600	3,48	65,13	93,74
40	0,420	4,49	64,12	92,29
50	0,250	8,55	60,06	86,44
100	0,150	12,80	55,81	80,33
200	0,074	17,54	51,07	73,50

Provet	43-1	Densímetro		43	Defloculante Hexametáfosfato de Sódio					
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa
31/10/19	09:54:00	0,25								
		1	24,8	1,0330	0,00291	1,0301	0,01244	11,849	0,06057	67,59
		2	24,8	1,0290	0,00291	1,0261	0,01244	12,560	0,04410	58,60
		4	24,8	1,0260	0,00291	1,0231	0,01244	13,093	0,03184	51,86
		8	24,8	1,0240	0,00291	1,0211	0,01244	12,692	0,02216	47,37
		15	24,8	1,0230	0,00291	1,0201	0,01244	12,870	0,01578	45,12
		30	24,9	1,0225	0,00289	1,0196	0,01243	12,955	0,01155	44,04
		60	24,9	1,0220	0,00289	1,0191	0,01243	13,044	0,00820	42,92
		120	24,9	1,0210	0,00289	1,0181	0,01243	13,222	0,00583	40,67
		240	24,9	1,0190	0,00289	1,0161	0,01243	13,577	0,00418	36,18
		480	24,6	1,0180	0,00295	1,0150	0,01247	13,765	0,00299	33,80
		1500	24,8	1,0170	0,00291	1,0141	0,01244	13,936	0,00212	31,64
01/11/19			24,5	1,0150	0,00297	1,0120	0,01249	14,302	0,00122	27,02



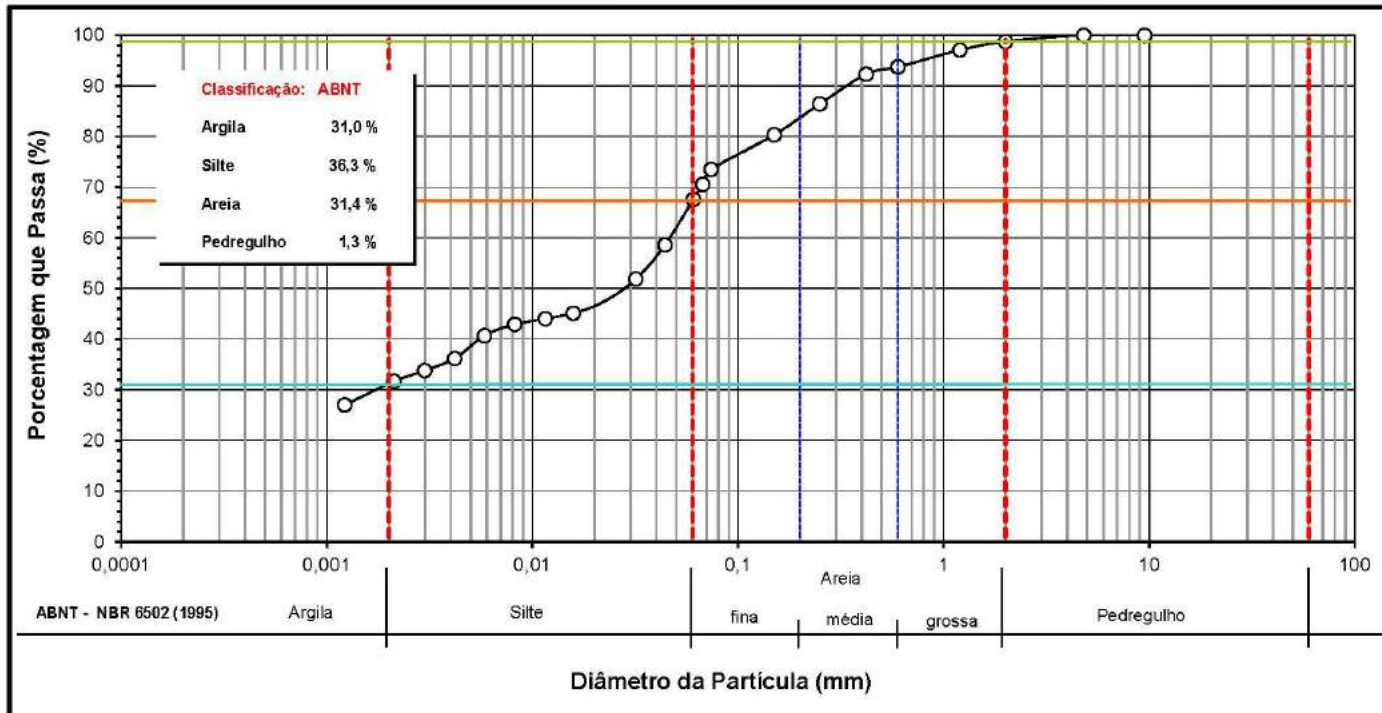
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 002/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo	
Amostra	L - 01	Profundidade	m	Operador	Marcelo







UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 003/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo
Amostra	L - 02	Profundidade	m	Operador
				Marcelo

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	61,31	68,61	51,13
Massa bruta seca	g	60,13	67,28	50,15
Tara da cápsula	g	17,69	14,36	14,13
Teor de umidade	%	2,78	2,51	2,72
Teor de umidade médio	%	2,67		

Obs.:

Ensaio de Peneiramento grosso : NÃO % que passa na peneira # 10 : 100,0 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	26,94
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	0,00
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	68,18

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Retido	Material		% que passa
		g	g	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	0,00	100,00	100,00
16	1,200	0,45	67,73	99,34
30	0,600	1,20	66,98	98,24
40	0,420	1,66	66,52	97,57
50	0,250	5,06	63,12	92,58
100	0,150	10,62	57,56	84,42
200	0,074	14,75	53,43	78,37

Proveta	FALSO	Densímetro		43	Defloculante Hexametáfosfato de Sódio					
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa
31/10/19	10:07:00	0,25								
		0,5	25,0	1,0350	0,00288	1,0321	0,01251	11,487	0,05995	73,95
		1	25,0	1,0330	0,00288	1,0301	0,01251	11,843	0,04304	69,34
		2	25,0	1,0320	0,00288	1,0291	0,01251	12,020	0,03066	67,04
		4	25,0	1,0315	0,00288	1,0286	0,01251	11,353	0,02107	65,89
		8	25,0	1,0310	0,00288	1,0281	0,01251	11,442	0,01496	64,74
		15	25,0	1,0305	0,00288	1,0276	0,01251	11,531	0,01097	63,59
		30	25,0	1,0300	0,00288	1,0271	0,01251	11,620	0,00778	62,44
		60	25,0	1,0290	0,00288	1,0261	0,01251	11,797	0,00555	60,14
		120	25,0	1,0280	0,00288	1,0251	0,01251	11,975	0,00395	57,83
		240	24,7	1,0275	0,00293	1,0246	0,01255	12,074	0,00282	56,55
		480	24,8	1,0270	0,00291	1,0241	0,01254	12,159	0,00200	55,44
01/11/19		1500	24,4	1,0240	0,00299	1,0210	0,01259	12,706	0,00116	48,36



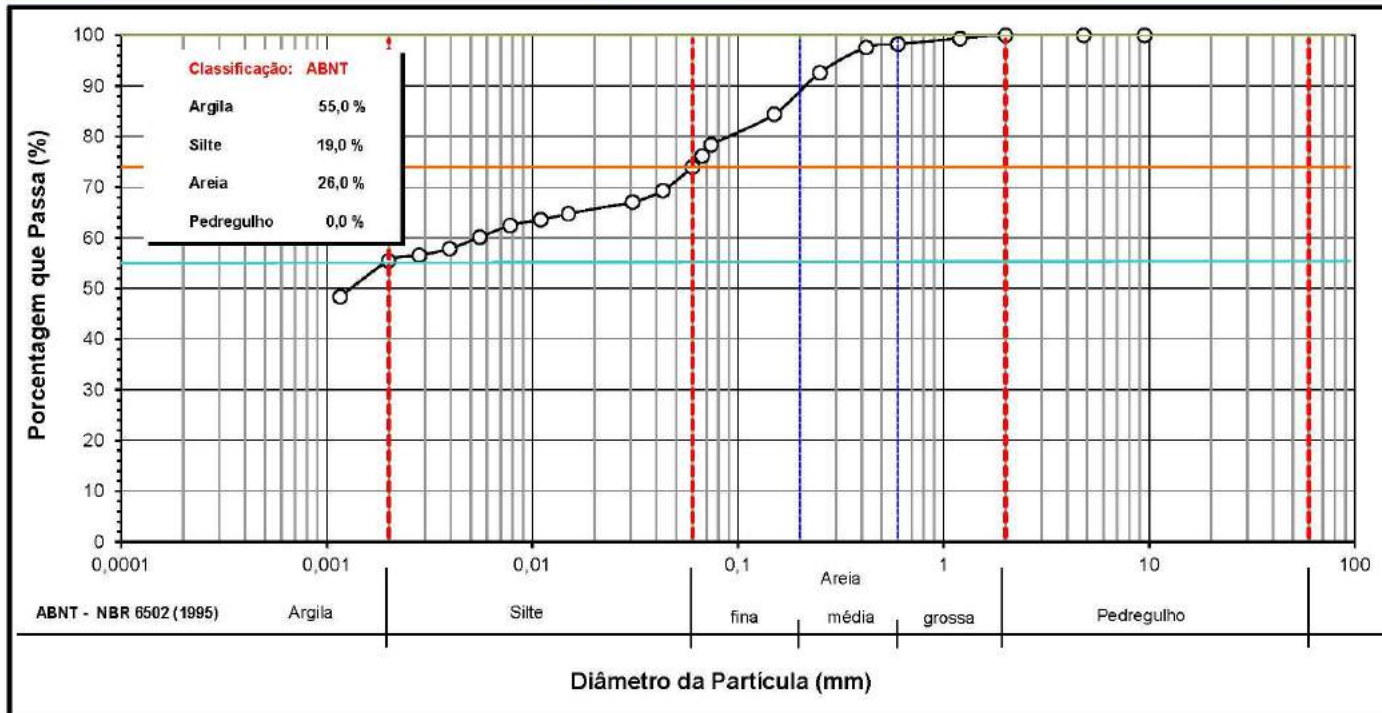
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 003/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo	
Amostra	L - 02	Profundidade	m	Operador	Marcelo





UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 004/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
Amostra	M - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
		Data do ensaio	20/11/2019

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	97,86	96,02	84,09
Massa bruta seca	g	92,22	90,34	79,38
Tara da cápsula	g	18,70	19,19	18,48
Teor de umidade	%	7,67	7,98	7,73
Teor de umidade médio	%	7,80		

Obs. :

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 98,4 %  
Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,80
Massa total da amostra	g	4000,00
Massa seca retida peneira #10	g	170,76
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	64,94

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Material	Material		% que passa
		Retido	Que passa	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	170,76	3855,78	98,41
16	1,200	0,61	64,33	97,48
30	0,600	1,77	63,17	95,72
40	0,420	3,06	61,88	93,77
50	0,250	9,26	55,68	84,37
100	0,150	22,53	42,41	64,26
200	0,074	31,97	32,97	49,96

Proveia	43	Densímetro	3	Defloculante	Hexametáfosfato de Sódio					
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	ψ	% que passa
20/11/19	10:06:00	0,25								
		0,5	24,6	1,0230	0,00252	1,0205	0,01233	13,664	0,06446	48,05
		1	24,6	1,0215	0,00252	1,0190	0,01233	13,930	0,04602	44,53
		2	24,6	1,0205	0,00252	1,0180	0,01233	14,107	0,03275	42,19
		4	24,6	1,0200	0,00252	1,0175	0,01233	13,445	0,02261	41,01
		8	24,6	1,0195	0,00252	1,0170	0,01233	13,534	0,01604	39,84
		15	24,6	1,0190	0,00252	1,0165	0,01233	13,822	0,01175	38,67
		30	24,6	1,0180	0,00252	1,0155	0,01233	13,799	0,00836	36,32
		60	24,8	1,0170	0,00248	1,0145	0,01230	13,969	0,00594	34,07
		120	24,9	1,0165	0,00246	1,0140	0,01229	14,054	0,00421	32,95
		240	25,0	1,0160	0,00244	1,0136	0,01227	14,139	0,00298	31,82
		480	24,6	1,0145	0,00252	1,0120	0,01233	14,419	0,00214	28,11
21/11/19		1500	24,1	1,0130	0,00262	1,0104	0,01240	14,703	0,00123	24,35



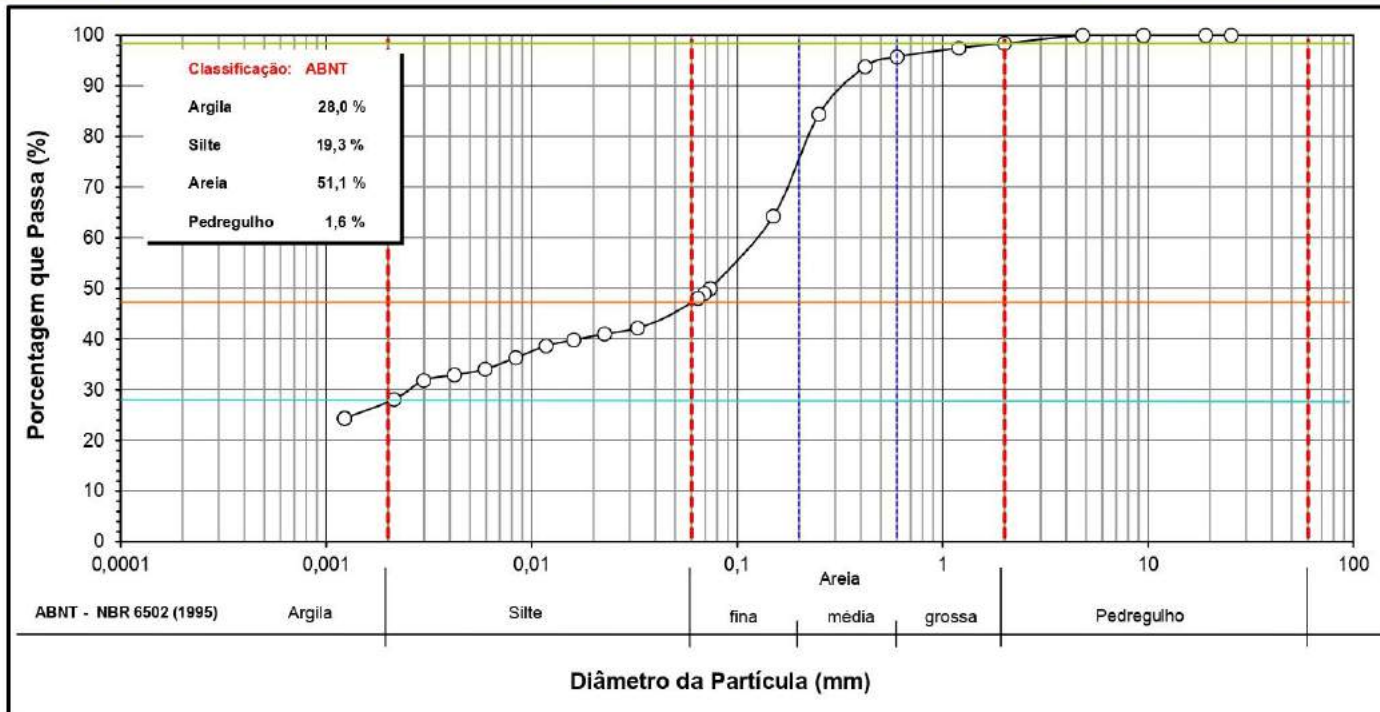
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 004/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
		Data do ensaio	20/11/2019
Amostra	M - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo







**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

*Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia*

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

**ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 005/2019**

<b>Interessado</b>	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	<b>Data da amostragem</b>	
<b>Procedência</b>	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	<b>Tipo</b>	Amostra deformada
<b>Amostra</b>	M - 02	<b>Profundidade</b>	m
		<b>Operador</b>	Marcelo
		<b>Data do ensaio</b>	

**Teor de Umidade**

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	113,83	108,60	100,32
Massa bruta seca	g	110,59	105,89	97,71
Tara da cápsula	g	19,75	23,99	24,92
Teor de umidade	%	3,57	3,56	3,59
Teor de umidade médio	%	3,57		

Obs. :

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 91,7 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

**Sedimentação**

**Dados da Amostra**

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	30,84
Massa total da amostra	g	4000,00
Massa seca retida peneira #10	g	1076,55
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	67,59

**Peneiramento do Solo Fino**

Peneiras	Retido	Material		% que passa
		g	g	
#	φ (mm)			
10	2,000	1076,55	3551,09	91,68
16	1,200	1,49	66,10	89,66
30	0,600	3,72	63,87	86,64
40	0,420	5,63	61,96	84,05
50	0,250	13,55	54,04	73,30
100	0,150	32,03	35,56	48,23
200	0,074	46,98	20,61	27,95

Data	Hora	Densímetro		Defloculante		Hexametáfosfato de Sódio				% que passa
		Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	ψ	
20/11/19	10:20:00	0,25								
		0,5	24,7	1,0160	0,00250	1,0135	0,01138	14,900	0,06214	26,89
		1	24,7	1,0140	0,00250	1,0115	0,01138	15,254	0,04446	22,90
		2	24,7	1,0120	0,00250	1,0095	0,01138	15,608	0,03180	18,92
		4	24,7	1,0100	0,00250	1,0075	0,01138	15,212	0,02220	14,94
		8	24,7	1,0095	0,00250	1,0070	0,01138	15,301	0,01574	13,94
		15	24,7	1,0090	0,00250	1,0065	0,01138	15,389	0,01153	12,95
		30	24,7	1,0085	0,00250	1,0060	0,01138	15,478	0,00818	11,95
		60	24,8	1,0080	0,00248	1,0055	0,01137	15,563	0,00579	11,00
		120	24,9	1,0075	0,00246	1,0050	0,01136	15,648	0,00410	10,04
		240	24,9	1,0075	0,00246	1,0050	0,01136	15,648	0,00290	10,04
		480	24,6	1,0070	0,00252	1,0045	0,01140	15,747	0,00206	8,92
21/11/19		1500	24,1	1,0060	0,00262	1,0034	0,01146	15,942	0,00118	6,73



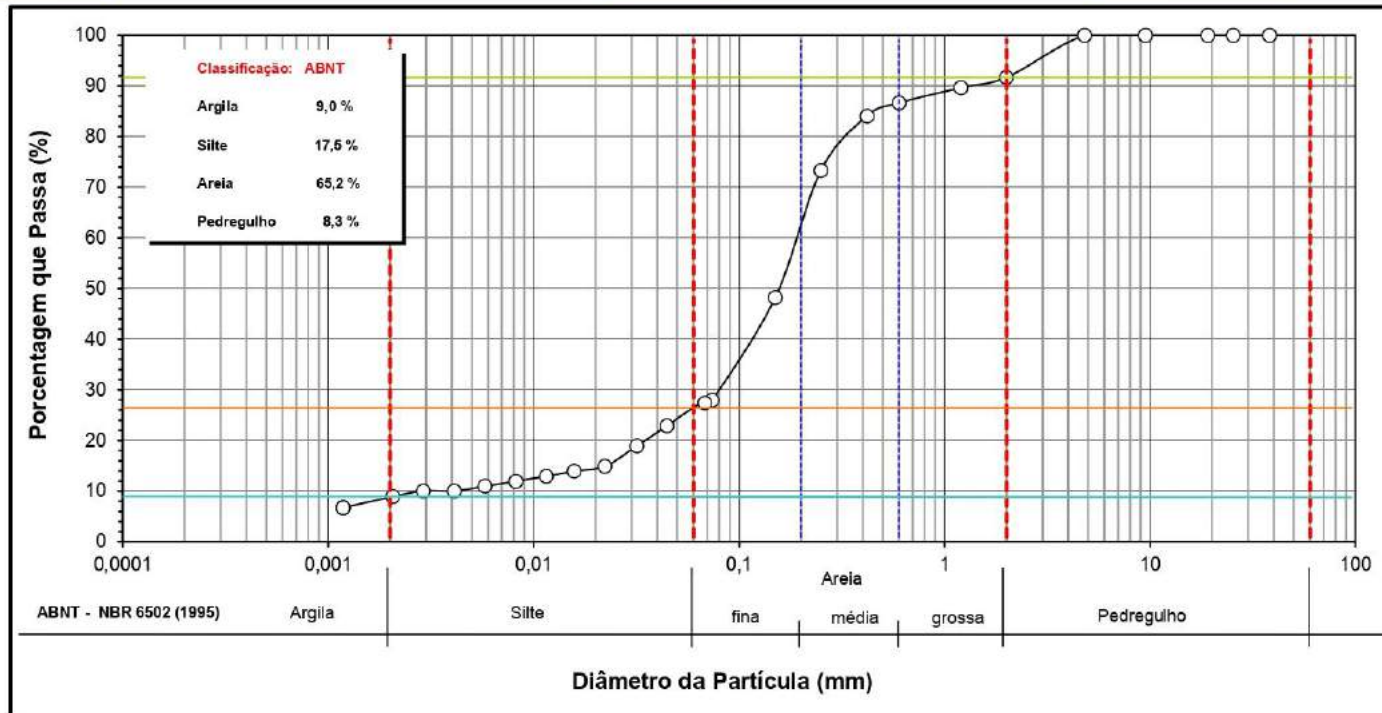
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 005/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
Amostra	M - 02	Profundidade	m
		Operador	Marcelo





UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 006/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
Amostra	S - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
		Data do ensaio	20/11/2019

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	80,30	94,30	74,08
Massa bruta seca	g	76,69	89,77	70,72
Tara da cápsula	g	18,38	17,47	15,62
Teor de umidade	%	6,19	6,27	6,10
Teor de umidade médio	%	6,18		

Obs. :

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 92,9 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,52
Massa total da amostra	g	4000,00
Massa seca retida peneira #10	g	1032,90
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	65,92

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Material	Material		% que passa
		Retido	Que passa	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	1032,90	3513,68	92,89
16	1,200	1,08	64,84	91,37
30	0,600	2,84	63,08	88,89
40	0,420	3,88	62,04	87,42
50	0,250	5,89	60,03	84,59
100	0,150	8,30	57,62	81,19
200	0,074	11,84	54,08	76,21

Proveia	47-1	Densímetro		43	Defloculante Hexametáfosfato de Sódio					
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	ψ	% que passa
20/11/19	10:09:00	0,25								
		0,5	24,8	1,0340	0,00291	1,0311	0,01233	11,672	0,05857	67,92
		1	24,8	1,0320	0,00291	1,0291	0,01233	12,027	0,04276	63,55
		2	24,8	1,0290	0,00291	1,0261	0,01233	12,560	0,03090	57,00
		4	24,8	1,0260	0,00291	1,0231	0,01233	12,337	0,02165	50,44
		8	24,8	1,0230	0,00291	1,0201	0,01233	12,870	0,01564	43,89
		15	24,8	1,0210	0,00291	1,0181	0,01233	13,225	0,01158	39,52
		30	24,8	1,0190	0,00291	1,0161	0,01233	13,581	0,00830	35,15
		60	24,9	1,0170	0,00289	1,0141	0,01232	13,933	0,00593	30,82
		120	24,9	1,0140	0,00289	1,0111	0,01232	14,466	0,00428	24,27
		240	24,9	1,0130	0,00289	1,0101	0,01232	14,643	0,00304	22,08
		480	24,6	1,0110	0,00295	1,0080	0,01236	15,009	0,00219	17,58
21/11/19		1500	24,1	1,0100	0,00305	1,0070	0,01243	15,204	0,00125	15,19



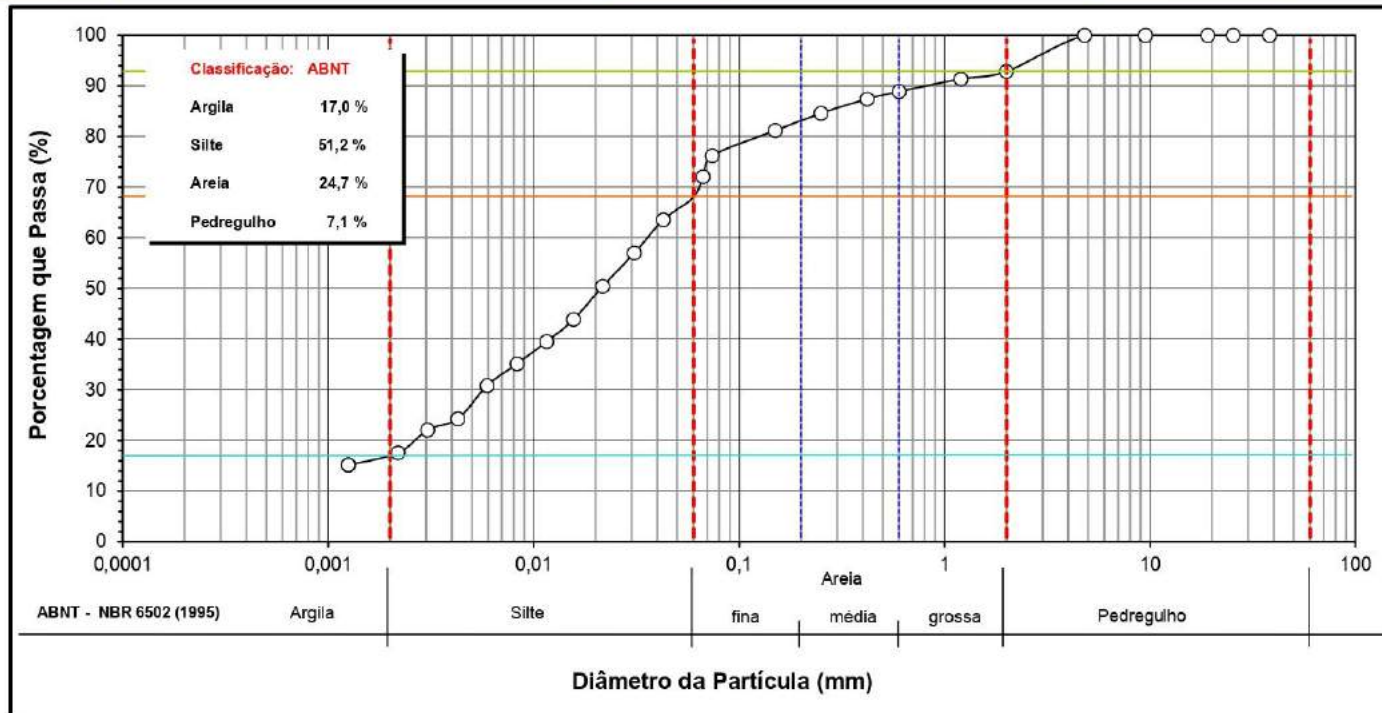
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 006/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
		Data do ensaio	20/11/2019
Amostra	S - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo







UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 007/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensaio
Amostra	S - 02	Profundidade	m	Operador
				Marcelo

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	103,97	94,43	80,89
Massa bruta seca	g	97,45	88,10	75,60
Tara da cápsula	g	22,77	13,93	14,95
Teor de umidade	%	8,73	8,53	8,72
Teor de umidade médio	%	8,66		

Obs. :

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 97,6 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	32,39
Massa total da amostra	g	4000,00
Massa seca retida peneira #10	g	173,11
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	64,42

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Material	Material		% que passa
		Retido	Que passa	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	173,11	3599,40	97,59
16	1,200	0,68	63,74	96,56
30	0,600	3,28	61,14	92,62
40	0,420	4,93	59,49	90,12
50	0,250	7,26	57,16	86,59
100	0,150	10,07	54,35	82,34
200	0,074	15,32	49,10	74,38

Data	Hora	43-1		Densímetro		43		Defloculante Hexametáfosfato de Sódio			
		Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	ψ	% que passa	
20/11/19	10:14:00	0,25									
		0,5	24,8	1,0310	0,00291	1,0281	0,01092	12,205	0,05396	60,91	
		1	24,8	1,0270	0,00291	1,0241	0,01092	12,915	0,03925	52,24	
		2	24,8	1,0240	0,00291	1,0211	0,01092	13,448	0,02832	45,73	
		4	24,8	1,0230	0,00291	1,0201	0,01092	12,870	0,01959	43,56	
		8	24,8	1,0210	0,00291	1,0181	0,01092	13,225	0,01404	39,22	
		15	24,8	1,0200	0,00291	1,0171	0,01092	13,403	0,01032	37,05	
		30	24,8	1,0190	0,00291	1,0161	0,01092	13,581	0,00735	34,89	
		60	24,9	1,0185	0,00289	1,0156	0,01091	13,666	0,00521	33,84	
		120	24,9	1,0180	0,00289	1,0151	0,01091	13,755	0,00369	32,78	
		240	24,9	1,0170	0,00289	1,0141	0,01091	13,933	0,00263	30,59	
		480	24,6	1,0150	0,00295	1,0120	0,01095	14,298	0,00189	26,13	
21/11/19		1500	24,1	1,0130	0,00305	1,0100	0,01101	14,671	0,00109	21,58	



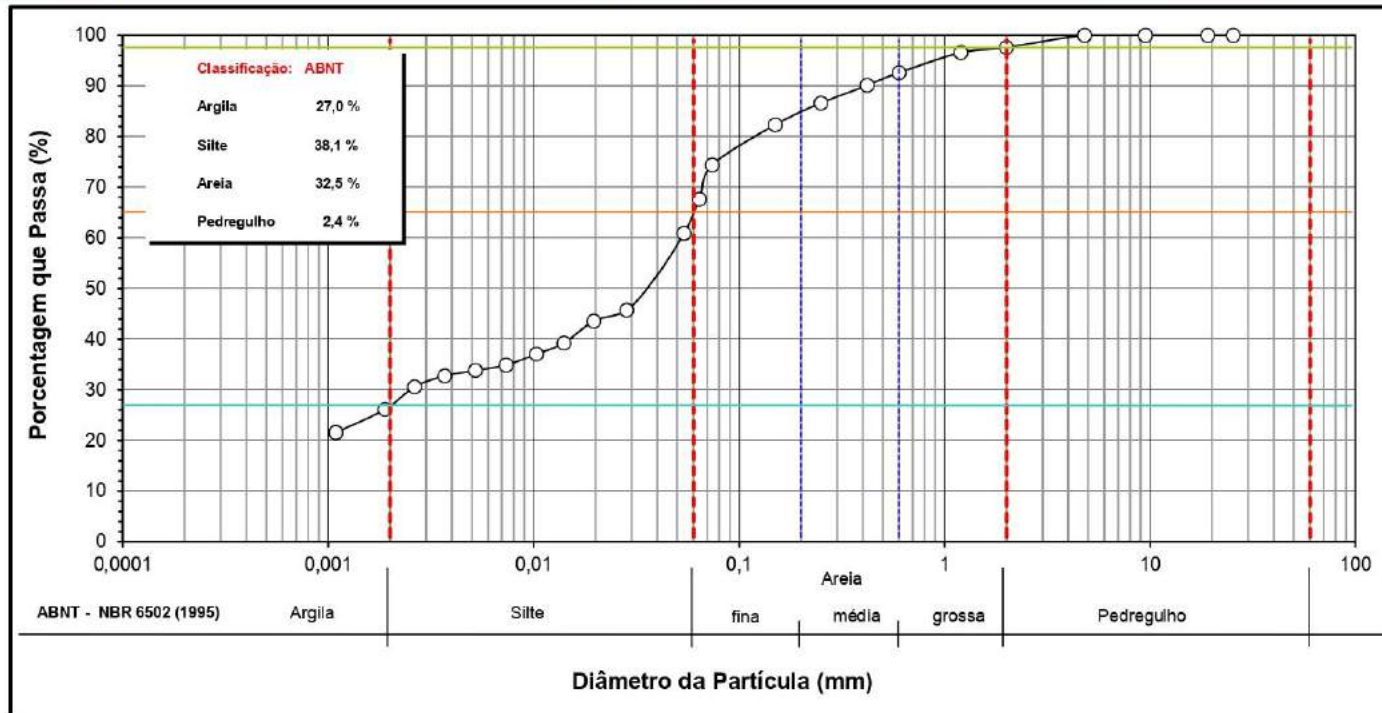
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 007/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada
Amostra	S - 02	Profundidade	m
		Operador	Marcelo





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

**ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2019**

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo
Amostra	SC - 01	Profundidade	m	Operador
				Marcelo

**Teor de Umidade**

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	78,00	80,98	88,70
Massa bruta seca	g	76,31	79,35	86,72
Tara da cápsula	g	20,26	22,67	20,46
Teor de umidade	%	3,02	2,88	2,99
Teor de umidade médio	%	2,96		

Obs.:

Ensaio de Peneiramento grosso : NÃO % que passa na peneira # 10 : 100,0 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

**Sedimentação**

**Dados da Amostra**

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	27,42
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	0,00
Massa úmida (Sedimentação)	g	70,00
Massa seca (Sedimentação)	g	67,99

**Peneiramento do Solo Fino**

Peneiras	Retido	Material		% que passa
		g	g	
#	φ (mm)	g	g	
10	2,000	0,00	100,00	100,00
16	1,200	0,69	67,30	98,99
30	0,600	1,79	66,20	97,37
40	0,420	2,08	65,91	96,94
50	0,250	3,26	64,73	95,21
100	0,150	4,59	63,40	93,25
200	0,074	9,63	58,36	85,84

Proveta		40-2		Densímetro		3		Defloculante Hexametáfosfato de Sódio			
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa	
31/10/19	09:59:00	0,25									
		0,5	25,2	1,0360	0,00240	1,0336	0,01231	11,341	0,05862	76,80	
		1	25,2	1,0320	0,00240	1,0296	0,01231	12,049	0,04272	67,66	
		2	25,2	1,0280	0,00240	1,0256	0,01231	12,757	0,03109	58,51	
		4	25,2	1,0270	0,00240	1,0246	0,01231	12,184	0,02148	56,23	
		8	25,2	1,0265	0,00240	1,0241	0,01231	12,273	0,01524	55,09	
		15	25,2	1,0260	0,00240	1,0236	0,01231	12,361	0,01117	53,94	
		30	25,2	1,0255	0,00240	1,0231	0,01231	12,450	0,00793	52,80	
		60	25,1	1,0250	0,00242	1,0226	0,01232	12,542	0,00563	51,61	
		120	25,1	1,0240	0,00242	1,0216	0,01232	12,719	0,00401	49,33	
		240	24,7	1,0235	0,00250	1,0210	0,01238	12,822	0,00286	48,00	
		480	24,8	1,0230	0,00248	1,0205	0,01236	12,907	0,00203	46,90	
01/11/19		1500	24,5	1,0210	0,00254	1,0185	0,01241	13,272	0,00117	42,19	



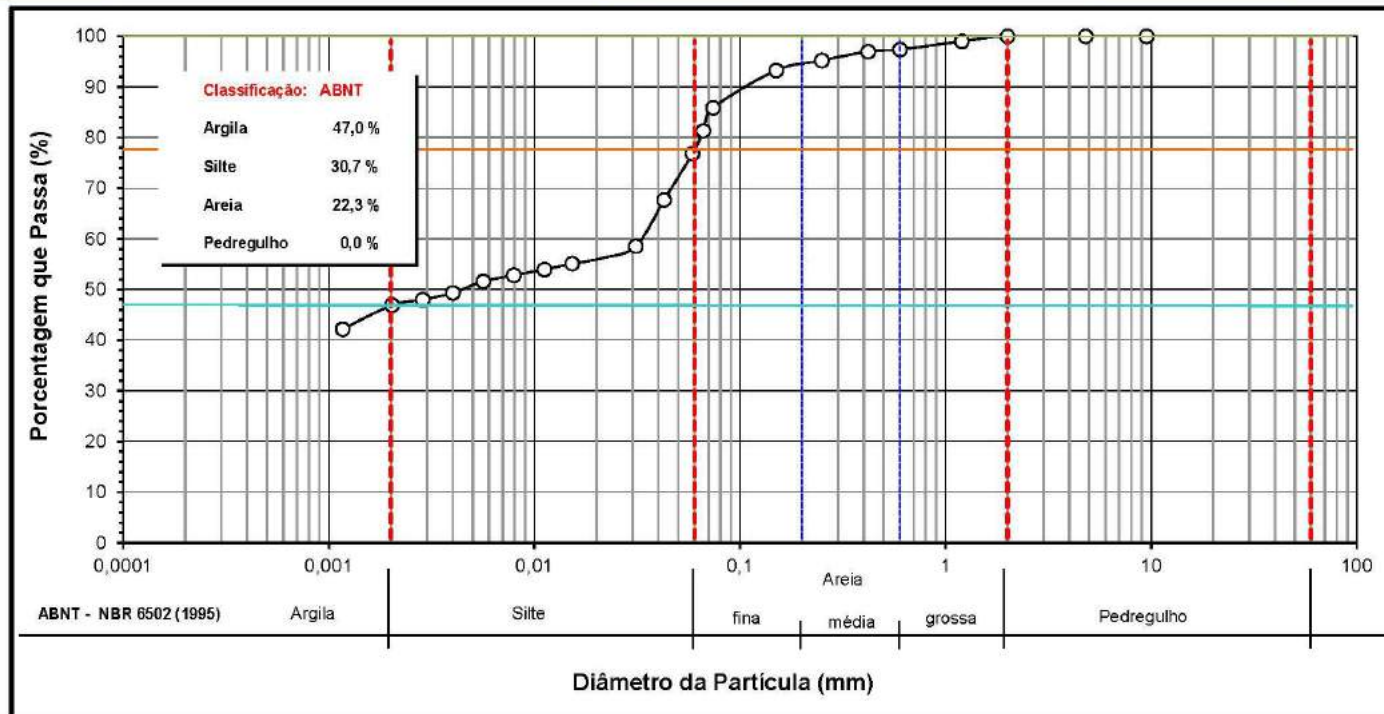
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2019

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo	
Amostra	SC - 01	Profundidade	m	Operador	Marcelo







UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil

Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2020

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo
Amostra	LN	Profundidade	m	Operador Anderson

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Massa bruta úmida	g	69,42	78,53	78,75
Massa bruta seca	g	68,49	77,38	77,70
Tara da cápsula	g	16,70	14,14	19,03
Teor de umidade	%	1,80	1,82	1,79
Teor de umidade médio	%	1,80		

Obs.:

Ensaio de Peneiramento grosso : SIM % que passa na peneira # 10 : 99,1 %

Classificação: ABNT Correção do menisco : SIM

Sedimentação

Dados da Amostra

Peso específico dos sólidos	kN/m <sup>3</sup>	28,09
Massa total da amostra	g	1000,00
Massa seca retida peneira #10	g	9,10
Massa úmida (Sedimentação)	g	75,00
Massa seca (Sedimentação)	g	73,67

Peneiramento do Solo Fino

Peneiras	Retido	Material		% que passa
		g	g	
#	φ (mm)			
10	2,000	9,10	973,37	99,07
16	1,200	1,22	72,45	97,43
30	0,600	3,64	70,03	94,18
40	0,420	4,34	69,33	93,24
50	0,250	6,52	67,15	90,31
100	0,150	8,90	64,77	87,11
200	0,074	13,87	59,80	80,42

Proveta		40-2		Densímetro		43		Defloculante Hexametáfosfato de Sódio			
Data	Hora	Tempo min	Temp. °C	Leitura	Correção	Leitura corrigida	K	Z (cm)	φ	% que passa	
19/04/20	09:29:00	0,25									
		0,5	23,8	1,0400	0,00311	1,0369	0,01228	10,640	0,05664	76,08	
		1	23,8	1,0370	0,00311	1,0339	0,01228	11,173	0,04104	69,89	
		2	23,8	1,0350	0,00311	1,0319	0,01228	11,528	0,02948	65,77	
		4	23,8	1,0335	0,00311	1,0304	0,01228	11,039	0,02040	62,68	
		8	23,8	1,0320	0,00311	1,0289	0,01228	11,305	0,01460	59,58	
		15	23,8	1,0305	0,00311	1,0274	0,01228	11,572	0,01078	56,49	
		30	24,0	1,0295	0,00307	1,0264	0,01225	11,743	0,00766	54,51	
		60	24,2	1,0280	0,00303	1,0250	0,01222	12,002	0,00547	51,49	
		120	24,3	1,0260	0,00301	1,0230	0,01221	12,354	0,00392	47,41	
		240	24,2	1,0240	0,00303	1,0210	0,01222	12,713	0,00281	43,24	
		480	23,8	1,0225	0,00311	1,0194	0,01228	12,993	0,00202	39,99	
20/04/20		1500	23,0	1,0205	0,00326	1,0172	0,01239	13,376	0,00117	35,55	



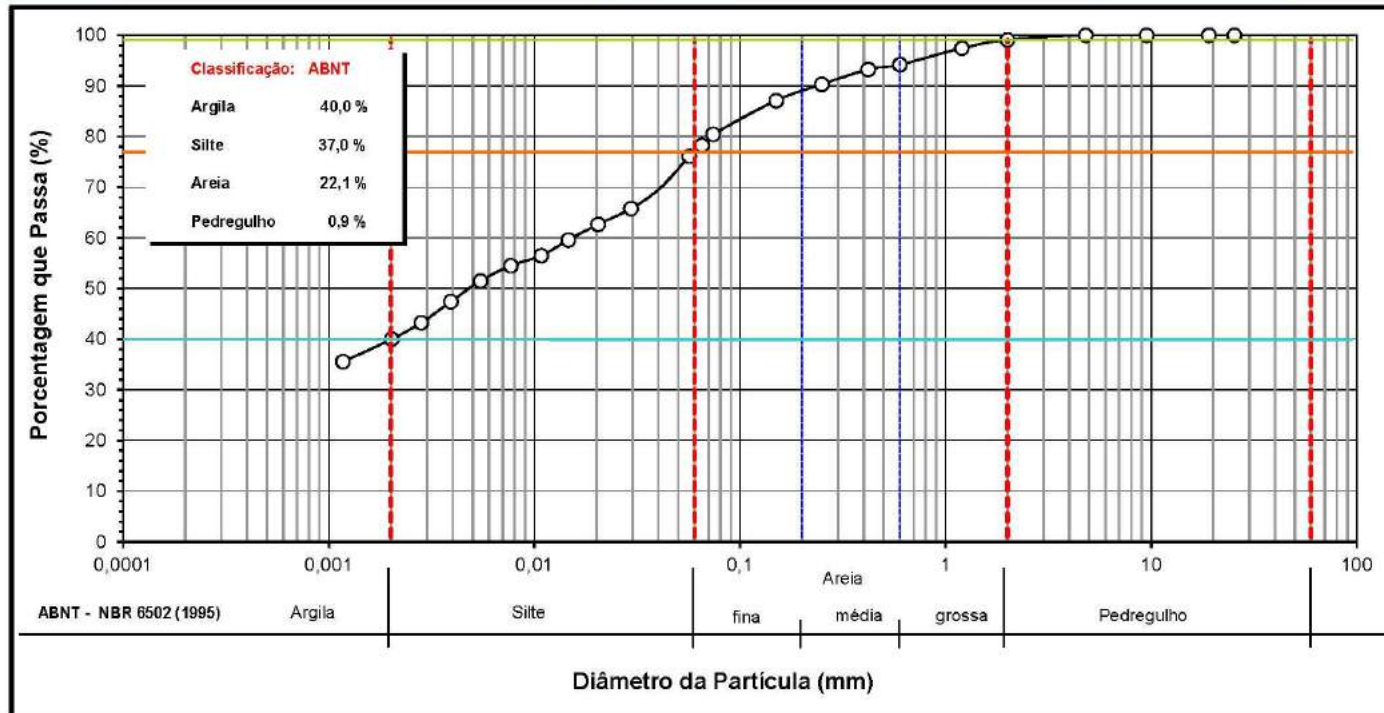
# UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia


Viçosa - MG. 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745

ANÁLISE  
GRANULOMETRIA  
CONJUNTA  
Nº 001/2020

Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE			Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Tipo	Amostra deformada	Data do ensalo	
Amostra	LN	Profundidade	m	Operador	Anderson



## APÊNDICE C – LIMITES DE CONSISTÊNCIA

 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia Viçosa - MG. 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104		<b>LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL &amp; LP)</b> Nº 001/2018		
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE		Data da amostragem	
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS		Data do ensaio	
Amostra	AM 01 Bichinho - Luiz	Profundidade	m	Operador Paulo
Sondagem	Obs.			

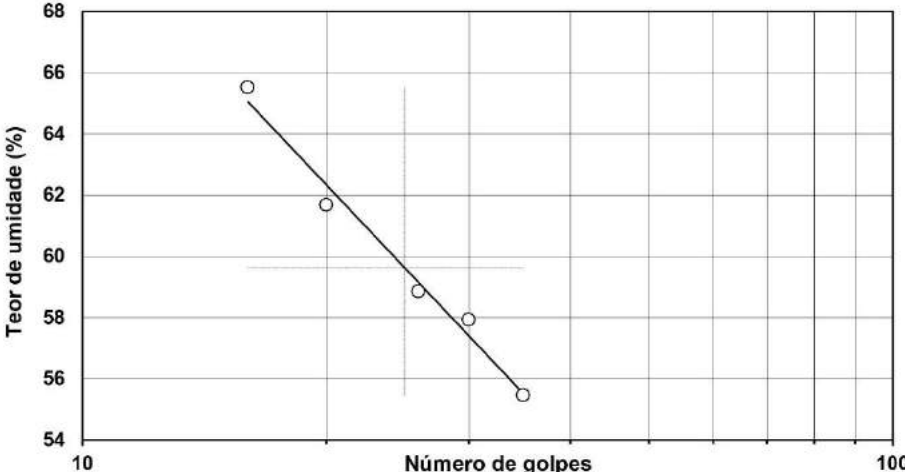
RESULTADOS							
LL	60	%	LP	35	%	IP	25


  

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cápsula	nº	05	04	03	02	01			
Massa bruta úmida	g	25,27	27,12	23,62	21,88	22,71			
Massa bruta seca	g	19,95	22,21	19,43	18,19	19,71			
Tara da cápsula	g	11,83	14,25	12,31	11,82	14,30			
Teor de umidade	%	65,52	61,68	58,85	57,93	55,45			
Número de golpes		16	20	26	30	35			

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cápsula Nº	nº	10	13	08	09	07			
Massa bruta úmida	g	14,05	14,67	15,62	14,49	13,43			
Massa bruta seca	g	13,64	14,36	15,30	14,19	13,12			
Tara da cápsula	g	12,49	13,49	14,40	13,33	12,22			
Teor de umidade	%	35,65	35,63	35,56	34,88	34,44			

		<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia Viçosa - MG, 36570-900 tel.: (31) 3899 - 2745			<b>LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL &amp; LP)</b> <b>Nº 002/2018</b>	
		Cliente <b>JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE</b>		Data da amostragem		
Procedência <b>AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS</b>		Data do ensaio				
Amostra <b>AM 02 Bichinho - AIPi</b>		Profundidade <b>m</b>		Operador <b>Paulo</b>		
Tipo		Coordenadas				

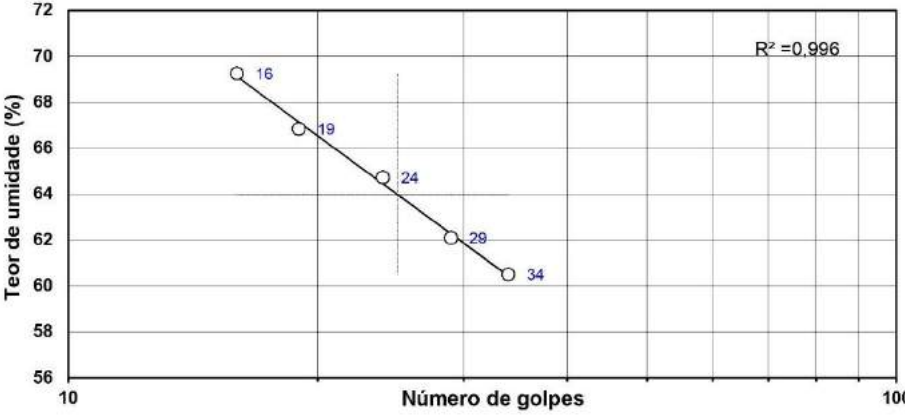
  

RESULTADOS					
<b>LL</b>	<b>64</b>	<b>%</b>	<b>LP</b>	<b>38</b>	<b>%</b>
<b>IP</b>	<b>26</b>	<b>%</b>			

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cápsula	nº	10	09	08	07	06			
Massa bruta úmida	g	23,21	27,10	24,80	22,80	21,75			
Massa bruta seca	g	18,82	21,58	20,71	18,74	18,26			
Tara da cápsula	g	12,48	13,32	14,39	12,20	12,49			
Teor de umidade	%	69,24	66,83	64,72	62,08	60,49			
Número de golpes		16	19	24	29	34			




R<sup>2</sup> = 0,996

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cápsula Nº	nº	15	11	12	14	06			
Massa bruta úmida	g	13,97	15,66	12,14	14,46	13,64			
Massa bruta seca	g	13,65	15,33	11,85	14,14	13,32			
Tara da cápsula	g	12,80	14,48	11,05	13,30	12,49			
Teor de umidade	%	37,65	38,82	36,25	38,10	38,55			

Calculado por	Paulo	Verificado por:	Roberto
---------------	-------	-----------------	---------

		<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG. 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104</small>			<b>LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL &amp; LP)</b> <b>Nº 002/2020</b>	
		<b>Interessado</b> JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE		<b>Data da amostragem</b>		
<b>Procedência</b> SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO		<b>Data do ensaio</b>				
<b>Amostra</b> LN	<b>Profundidade</b> m	<b>Operador</b> Anderson				
<b>Tipo</b> Amostra deformada		<b>Obs.</b>				

RESULTADOS					
<b>LL</b>	46	%	<b>LP</b>	27	%
<b>IP</b>	19	%			

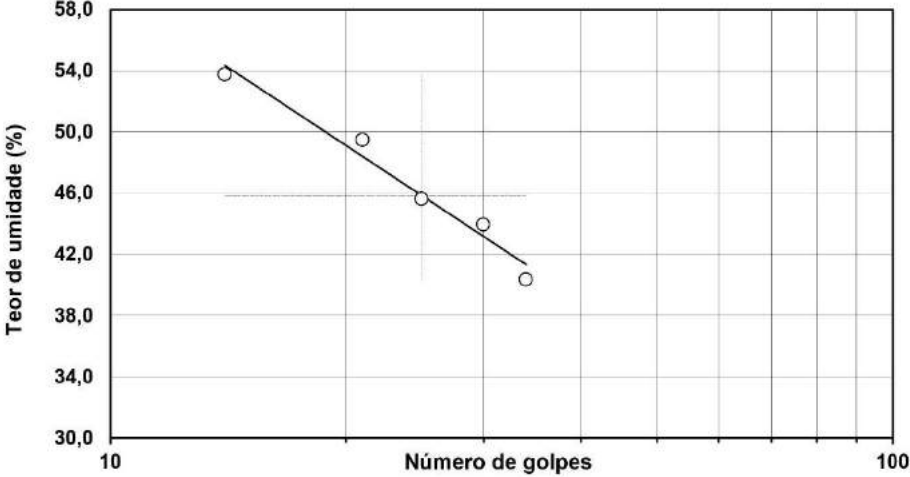
  

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	13,53	11,25	12,59	13,68	14,48			
Massa bruta seca	g	10,81	9,36	10,71	11,46	11,82			
Tara da cápsula	g	5,75	5,54	6,59	6,41	5,23			
Teor de umidade	%	53,75	49,48	45,63	43,96	40,36			
Número de golpes		14	21	25	30	34			


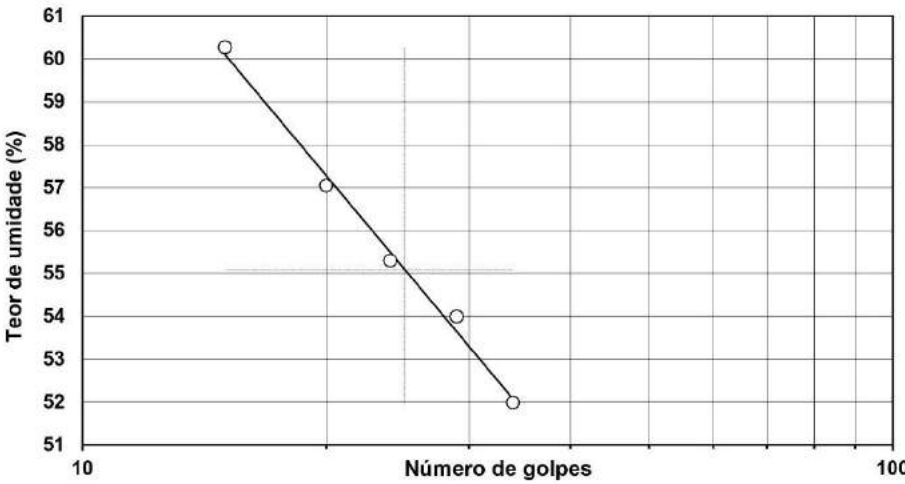
Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	6,40	6,84	7,13	6,28	7,21			
Massa bruta seca	g	6,23	6,66	6,94	6,10	7,03			
Tara da cápsula	g	5,61	6,00	6,24	5,42	6,35			
Teor de umidade	%	27,42	27,27	27,14	26,47	26,47			


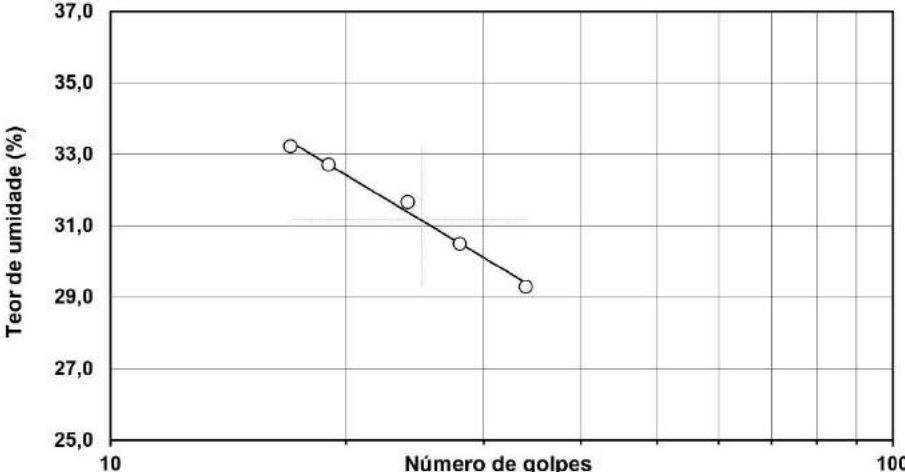
  




Número de golpes	Teor de umidade (%)
14	53,75
21	49,48
25	45,63
30	43,96
34	40,36



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA		LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP) Nº 003/2018							
		Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia Viçosa - MG, 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104							
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem							
Procedência	AMOSTRAS DE DIVERSOS LOCAIS	Data do ensaio							
Amostra	AM 03 Bichinho - AITA	Profundidade	m						
Sondagem		Operador	Paulo						
	Obs.								
RESULTADOS									
LL	55 %	LP	27 %						
		IP	28 %						
Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cápsula	nº	15	14	13	12	11			
Massa bruta úmida	g	23,64	22,42	23,15	21,08	24,10			
Massa bruta seca	g	19,56	19,10	19,70	17,56	20,81			
Tara da cápsula	g	12,79	13,28	13,46	11,04	14,48			
Teor de umidade	%	60,27	57,04	55,29	53,99	51,97			
Número de golpes		15	20	24	29	34			
Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cápsula Nº	nº	01	03	05	02	04			
Massa bruta úmida	g	15,61	13,28	13,11	12,83	15,46			
Massa bruta seca	g	15,33	13,08	12,84	12,62	15,21			
Tara da cápsula	g	14,31	12,34	11,84	11,84	14,26			
Teor de umidade	%	27,45	27,03	27,00	26,92	26,32			
									

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA		LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP) Nº 002/2019								
		Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia Viçosa - MG, 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104								
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem								
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio								
Amostra	L - 01	Profundidade	m							
		Operador	Marcelo							
Tipo	Amostra deformada	Obs.								
<b>RESULTADOS</b>										
<b>LL</b>	<b>31</b>	<b>%</b>	<b>LP</b>							
			<b>23</b>							
			<b>IP</b>							
			<b>8</b>							
			<b>%</b>							
<b>Limite de Liquidez (LL)</b>										
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8	
Massa bruta úmida	g	19,15	20,89	20,24	19,76	20,84				
Massa bruta seca	g	17,04	18,07	17,79	17,44	18,52				
Tara da cápsula	g	10,69	9,45	10,05	9,83	10,60				
Teor de umidade	%	33,23	32,71	31,65	30,49	29,29				
Número de golpes		17	19	24	28	34				
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>										
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8	
Massa bruta úmida	g	12,33	12,62	11,84	11,29	11,31				
Massa bruta seca	g	11,93	12,22	11,46	11,01	10,97				
Tara da cápsula	g	10,22	10,51	9,83	9,79	9,47				
Teor de umidade	%	23,39	23,39	23,31	22,95	22,67				
										



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
 Departamento de Engenharia Civil  
 Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG, 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104

**LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP)**  
**Nº 003/2019**

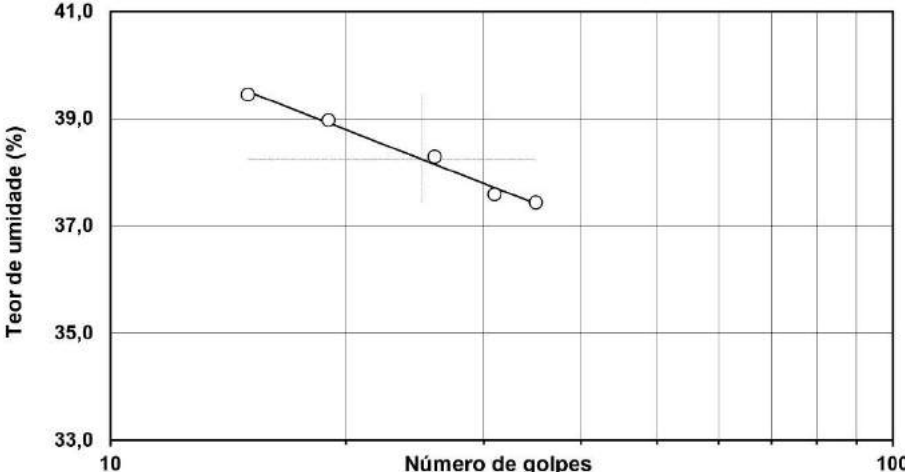
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio	
Amostra	L - 02	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
Tipo	Amostra deformada	Obs.	

RESULTADOS					
<b>LL</b>	<b>38</b>	<b>%</b>	<b>LP</b>	<b>29</b>	<b>%</b>
			<b>IP</b>	<b>9</b>	<b>%</b>

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	19,85	19,17	19,12	22,14	20,68			
Massa bruta seca	g	16,73	16,31	16,31	18,69	18,03			
Tara da cápsula	g	8,82	8,97	8,97	9,51	10,95			
Teor de umidade	%	39,44	38,96	38,28	37,58	37,43			
Número de golpes		15	19	26	31	35			


  

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	11,19	11,07	11,49	11,32	12,36			
Massa bruta seca	g	10,90	10,81	11,15	11,05	12,02			
Tara da cápsula	g	9,92	9,92	9,98	10,12	10,84			
Teor de umidade	%	29,59	29,21	29,06	29,03	28,81			



Número de golpes	Teor de umidade (%)
15	39,44
19	38,96
26	38,28
31	37,58
35	37,43



		<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia <small>Viçosa - MG, 36570-000 tel: (31) 3899 - 3104</small>			<b>LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL &amp; LP)</b> <b>Nº 004/2019</b>	
		<b>Interessado</b> JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE		<b>Data da amostragem</b>		
<b>Procedência</b> SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO		<b>Data do ensaio</b>				
<b>Amostra</b> M - 01	<b>Profundidade</b>	<b>m</b>	<b>Operador</b>	Marcelo		
<b>Tipo</b> Amostra deformada		<b>Obs.</b>				

RESULTADOS					
<b>LL</b>	44	%	<b>LP</b>	27	%
			<b>IP</b>	17	%

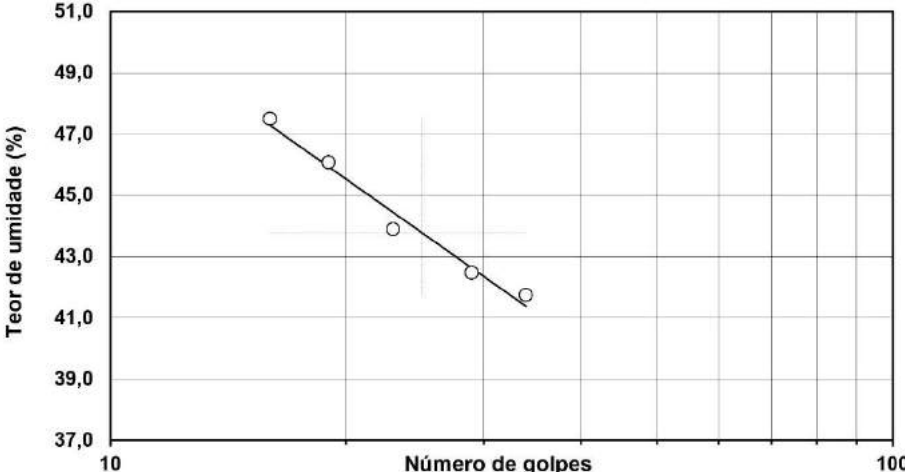
  

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	19,63	18,44	19,47	21,32	21,54			
Massa bruta seca	g	16,60	15,45	16,74	17,94	18,16			
Tara da cápsula	g	10,21	8,96	10,52	9,98	10,06			
Teor de umidade	%	47,49	46,07	43,89	42,46	41,73			
Número de golpes		16	19	23	29	34			


  

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	11,67	12,34	11,22	12,15	11,17			
Massa bruta seca	g	11,26	11,97	10,86	11,84	10,89			
Tara da cápsula	g	9,79	10,61	9,51	10,70	9,84			
Teor de umidade	%	27,72	27,29	27,28	27,19	26,76			



Número de golpes	Teor de umidade (%)
16	47,49
19	46,07
23	43,89
29	42,46
34	41,73

	<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b> Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Geotecnia  Viçosa - MG, 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104	<b>LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL &amp; LP)</b> <b>Nº 005/2019</b>			
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem			
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio			
Amostra	M - 02	Profundidade	m	Operador	Marcelo
Tipo	Amostra deformada	Obs.			

RESULTADOS								
LL	NL	%	LP	NP	%	IP	NP	%

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g								
Massa bruta seca	g								
Tara da cápsula	g								
Teor de umidade	%								
Número de golpes									

Amostra considerada como não apresentando limite de liquidez (NL), conforme critério da norma ABNT NBR 6459 (2016) - Solo - Determinação do limite de liquidez (Critério: Não é possível conseguir a abertura da ranhura ou seu fechamento com mais de 25 golpes).


  

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g								
Massa bruta seca	g								
Tara da cápsula	g								
Teor de umidade	%								

Amostra considerada como não apresentando limite de plasticidade (NP), conforme critério da norma ABNT NBR 7180 (2016) - Solo - Determinação do limite de plasticidade (Critério: Não é possível obter o cilindro com 3 mm de diâmetro).

Teor de umidade (%)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG, 36570-000 tel: (31) 3899 - 3104

**LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP)**  
**Nº 006/2019**

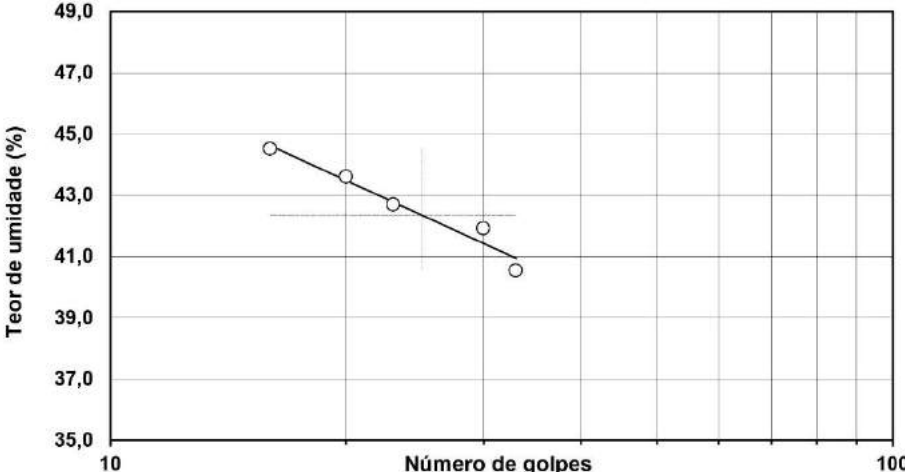
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio	
Amostra	S - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
Tipo	Amostra deformada	Obs.	

RESULTADOS					
<b>LL</b>	<b>42</b>	<b>%</b>	<b>LP</b>	<b>20</b>	<b>%</b>
			<b>IP</b>	<b>22</b>	<b>%</b>


Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	22,38	18,22	22,17	19,97	21,64			
Massa bruta seca	g	18,60	15,56	18,37	16,68	18,30			
Tara da cápsula	g	10,11	9,46	9,47	8,83	10,06			
Teor de umidade	%	44,52	43,61	42,70	41,91	40,53			
Número de golpes		16	20	23	30	33			

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	11,66	11,31	11,67	10,12	11,13			
Massa bruta seca	g	11,42	11,09	11,38	9,93	10,92			
Tara da cápsula	g	10,23	9,99	9,92	8,97	9,84			
Teor de umidade	%	20,17	20,00	19,86	19,79	19,44			



Número de golpes	Teor de umidade (%)
16	44,52
20	43,61
23	42,70
30	41,91
33	40,53



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG, 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104

**LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP)**  
Nº 007/2019

---

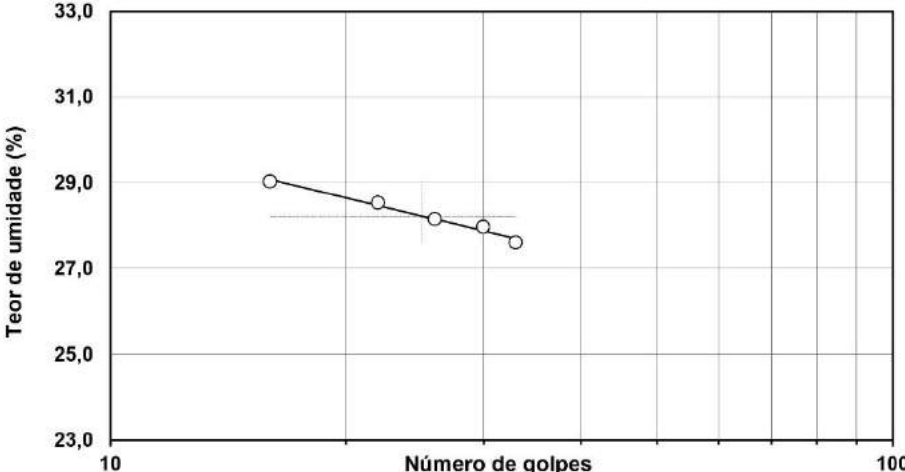
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio	
Amostra	S - 02	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
Tipo	Amostra deformada	Obs.	

RESULTADOS					
<b>LL</b>	28	%	<b>LP</b>	22	%
			<b>IP</b>	6	%


Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	22,04	22,52	22,04	23,48	23,08			
Massa bruta seca	g	19,52	19,62	19,38	20,42	20,28			
Tara da cápsula	g	10,84	9,46	9,93	9,48	10,14			
Teor de umidade	%	29,03	28,54	28,15	27,97	27,61			
Número de golpes		16	22	26	30	33			

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	13,12	10,73	12,20	10,42	11,79			
Massa bruta seca	g	12,73	10,39	11,78	10,15	11,46			
Tara da cápsula	g	10,95	8,83	9,84	8,90	9,92			
Teor de umidade	%	21,91	21,79	21,65	21,60	21,43			



Número de golpes	Teor de umidade (%)
16	29,03
22	28,54
26	28,15
30	27,97
33	27,61



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia

Viçosa - MG, 36570-000 tel: (31) 3899 - 3104

**LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP)**  
Nº 001/2019

---

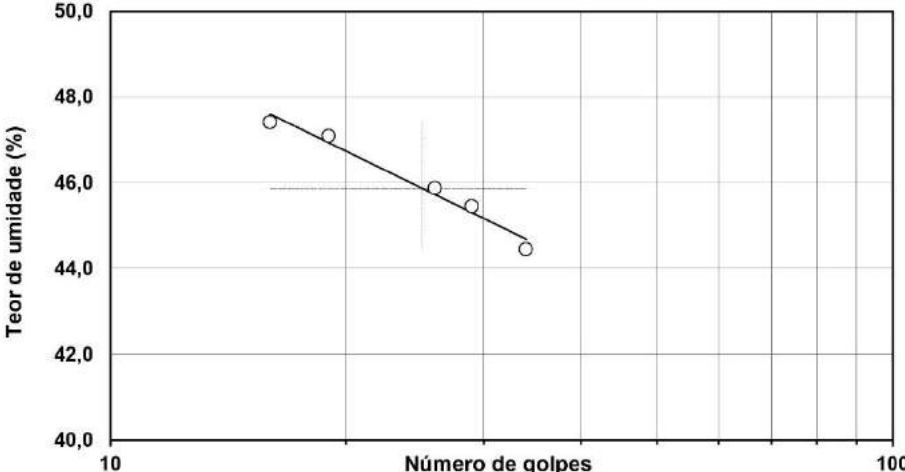
Interessado	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	Data da amostragem	
Procedência	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	Data do ensaio	
Amostra	SC - 01	Profundidade	m
		Operador	Marcelo
Tipo	Amostra deformada	Obs.	

RESULTADOS			
<b>LL</b>	<b>46</b>	<b>%</b>	<b>LP</b>
			<b>29</b>
			<b>IP</b>
			<b>17</b>
			<b>%</b>

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	18,93	17,80	16,04	18,61	19,14			
Massa bruta seca	g	15,99	15,37	14,09	15,76	16,54			
Tara da cápsula	g	9,79	10,21	9,84	9,49	10,69			
Teor de umidade	%	47,42	47,09	45,88	45,45	44,44			
Número de golpes		16	19	26	29	34			


  

Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	11,57	11,00	10,85	12,04	10,85			
Massa bruta seca	g	11,35	10,79	10,62	11,70	10,54			
Tara da cápsula	g	10,60	10,06	9,82	10,51	9,45			
Teor de umidade	%	29,33	28,77	28,75	28,57	28,44			



Número de golpes	Teor de umidade (%)
16	47.42
19	47.09
26	45.88
29	45.45
34	44.44





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Geotecnia  
Viçosa - MG. 36570-000 tel.: (31) 3899 - 3104

**LIMITES DE CONSISTÊNCIA (LL & LP)**  
Nº 001/2020

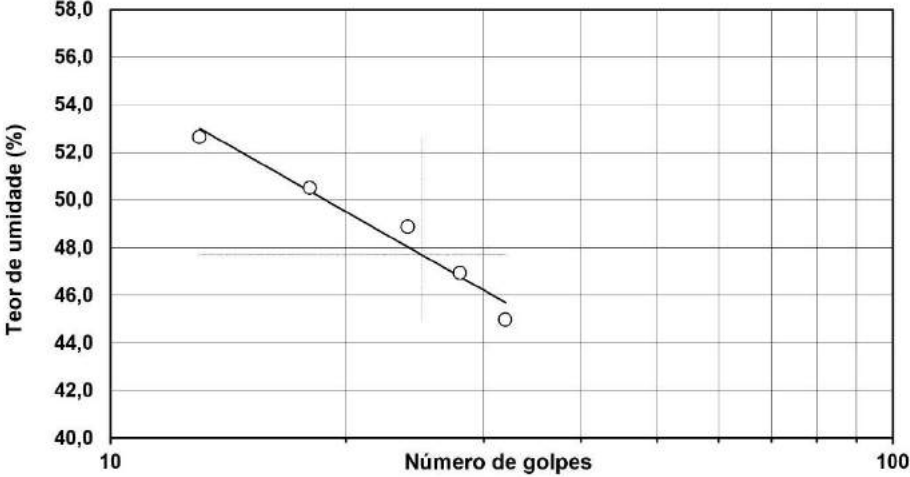
---

<b>Interessado</b>	JAQUELINE LEITE RIBEIRO DO VALE	<b>Data da amostragem</b>	
<b>Procedência</b>	SOLO DA PESQUISA DE DOUTORADO	<b>Data do ensaio</b>	
<b>Amostra</b>	LN	<b>Profundidade</b>	m
<b>Operador</b>	Anderson		
<b>Tipo</b>	Amostra deformada		
<b>Obs.</b>			

RESULTADOS					
<b>LL</b>	48	%	<b>LP</b>	30	%
			<b>IP</b>	18	%

Limite de Liquidez (LL)									
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	12,45	13,95	13,65	14,09	12,00			
Massa bruta seca	g	10,36	11,42	11,28	11,72	9,90			
Tara da cápsula	g	6,39	6,41	6,43	6,67	5,23			
Teor de umidade	%	52,64	50,50	48,87	46,93	44,97			
Número de golpes		13	18	24	28	32			

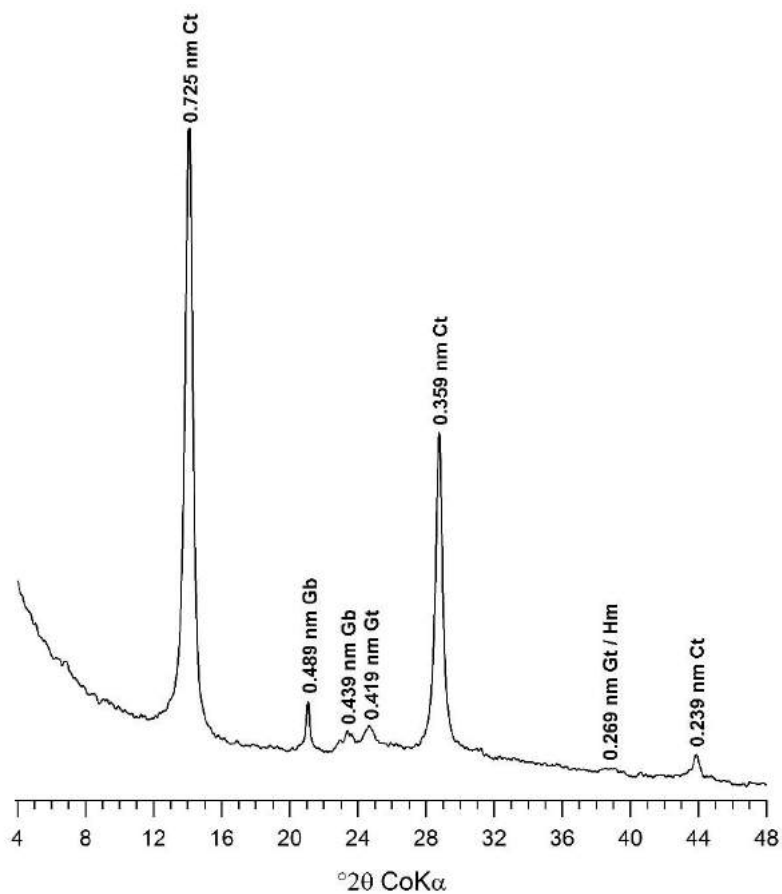
Limite de Plasticidade (LP)									
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa bruta úmida	g	11,05	10,26	10,37	10,40	11,76			
Massa bruta seca	g	10,86	10,07	10,16	10,22	11,55			
Tara da cápsula	g	10,23	9,44	9,45	9,61	10,83			
Teor de umidade	%	30,16	30,16	29,58	29,51	29,17			



Número de golpes	Teor de umidade (%)
13	52,64
18	50,50
24	48,87
28	46,93
32	44,97

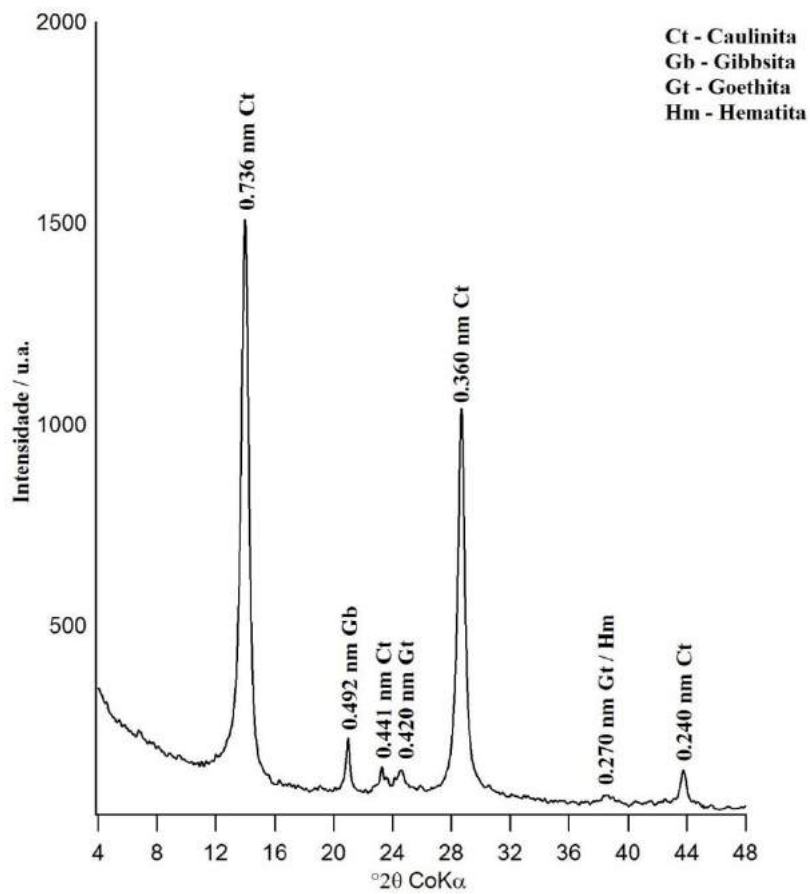
## APÊNDICE D – DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Figura 57 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra B1. Ct – Caulinita, Gb – Gibbissita, Gt – Goethita e Hm – Hematita



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

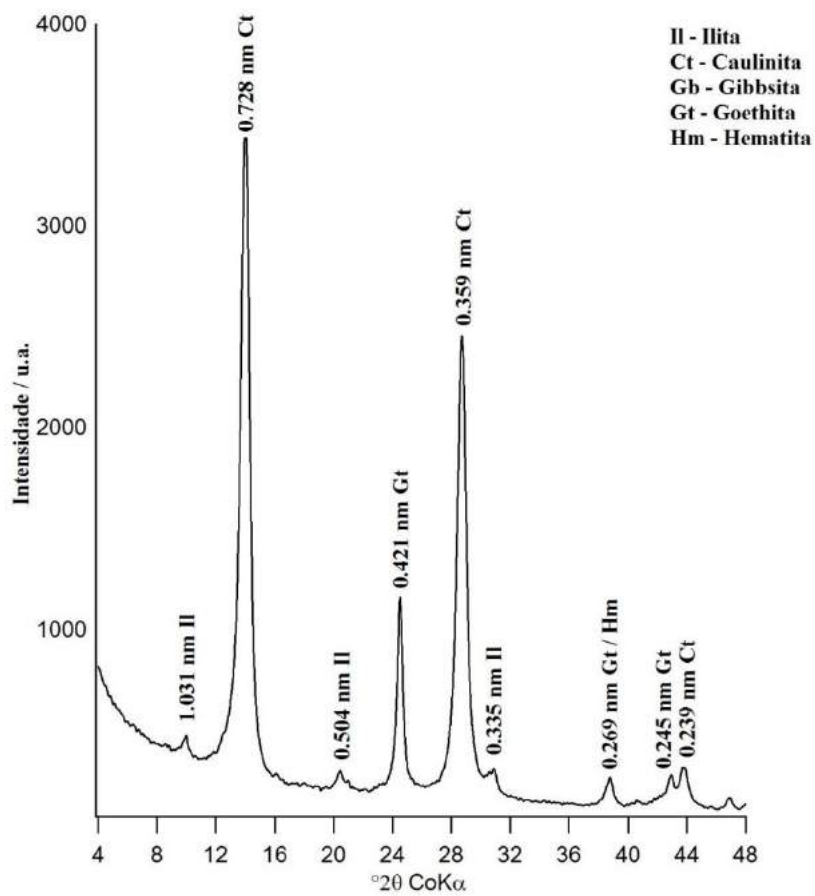
Figura 58 – Difratomia de raios X da fração argila da amostra B2. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

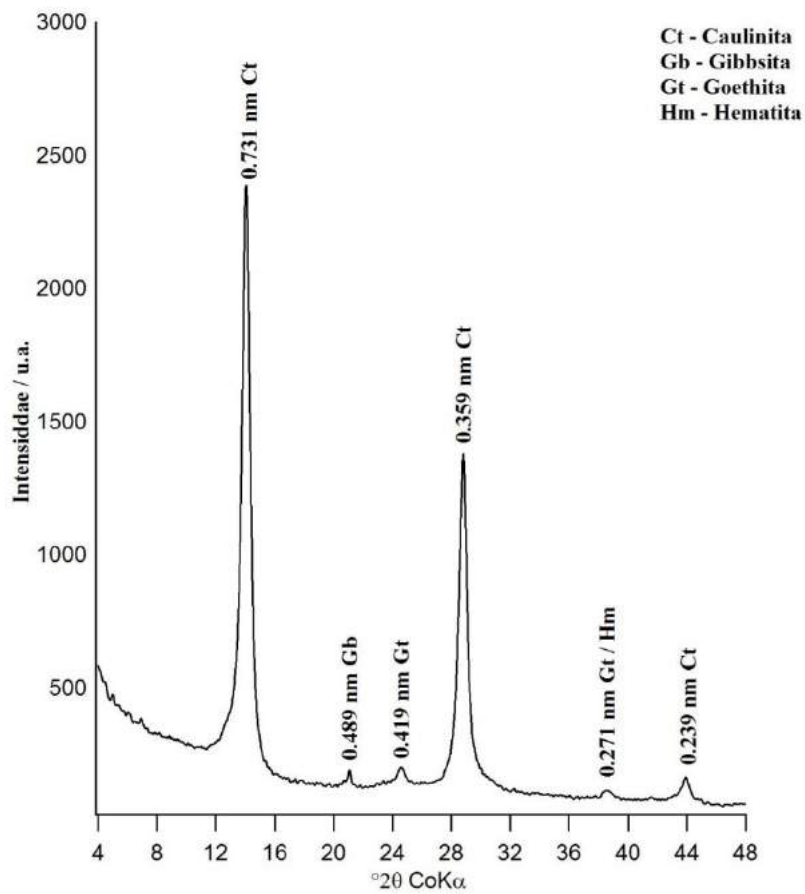


Figura 59 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra B3. Il – Ilita, Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita



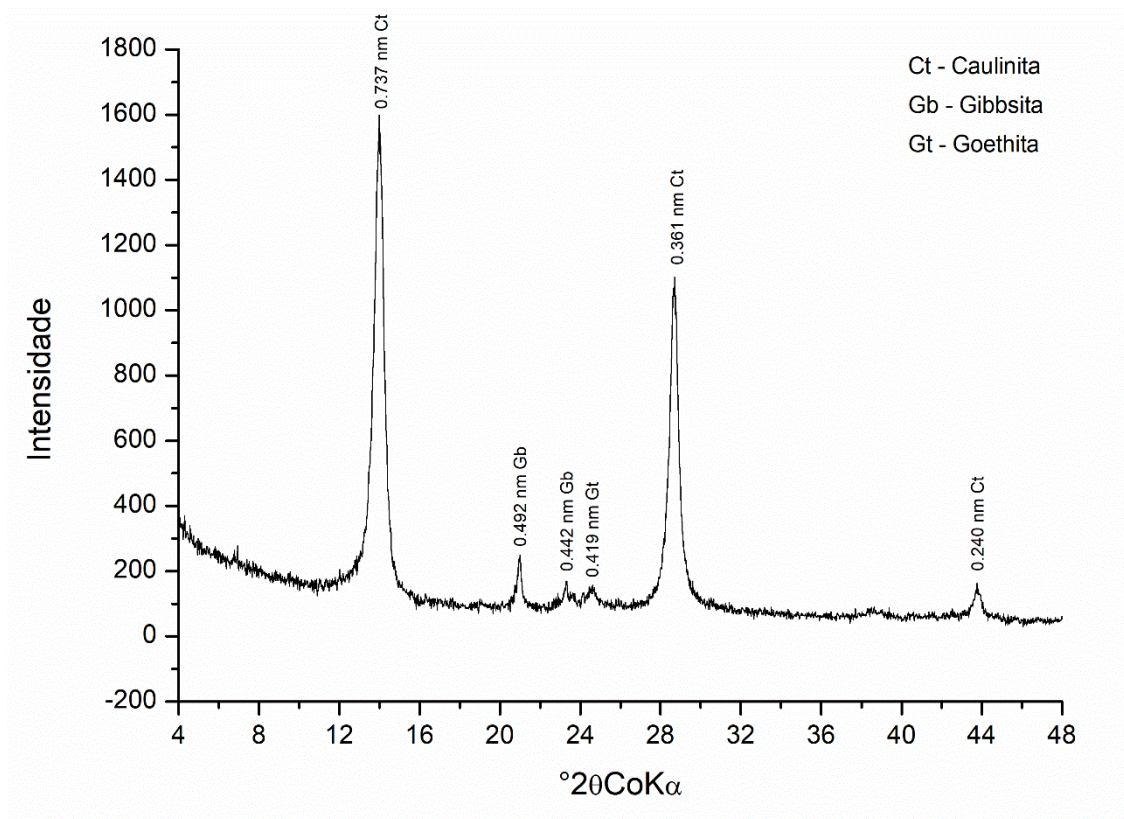
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 60 – Difratomia de raios X da fração argila da amostra B4. Ct – Caulinita, Gb – Gibbssita, Gt – Goethita e Hm – Hematita



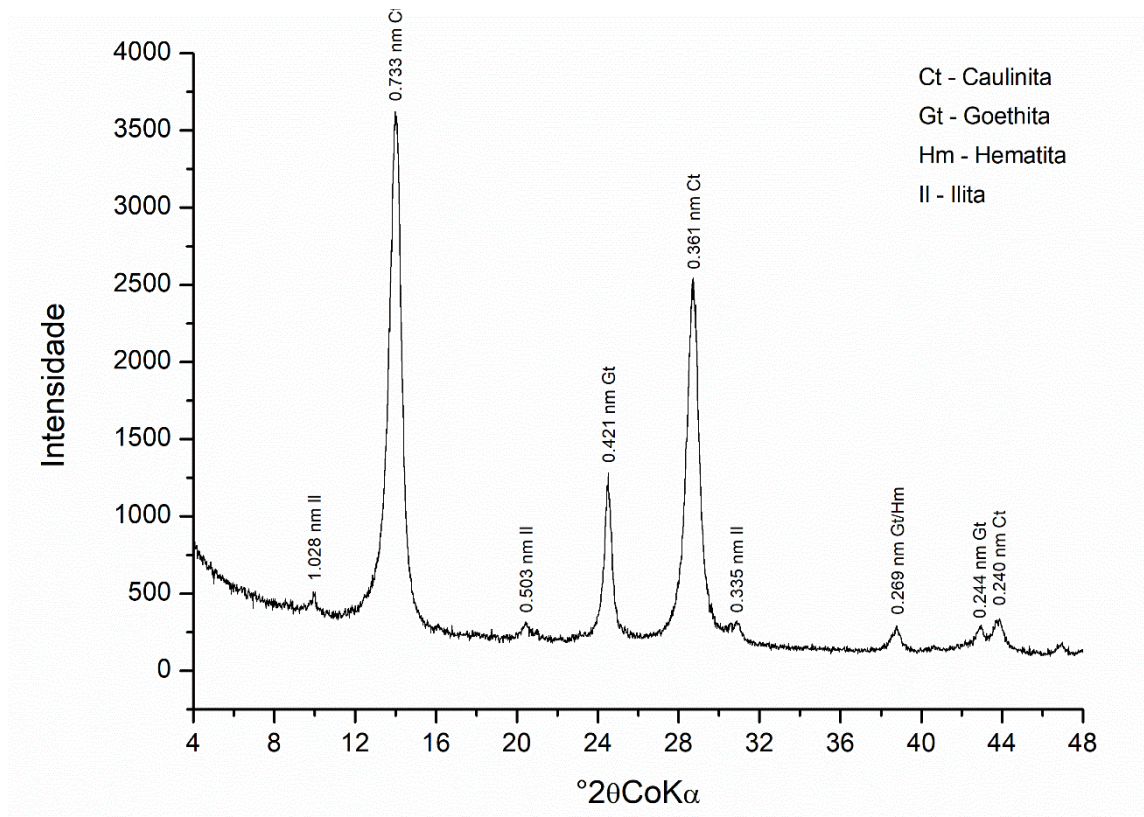
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 61 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra L1. Ct – Caulinita, Gb – Gibbssita e Gt – Goethita



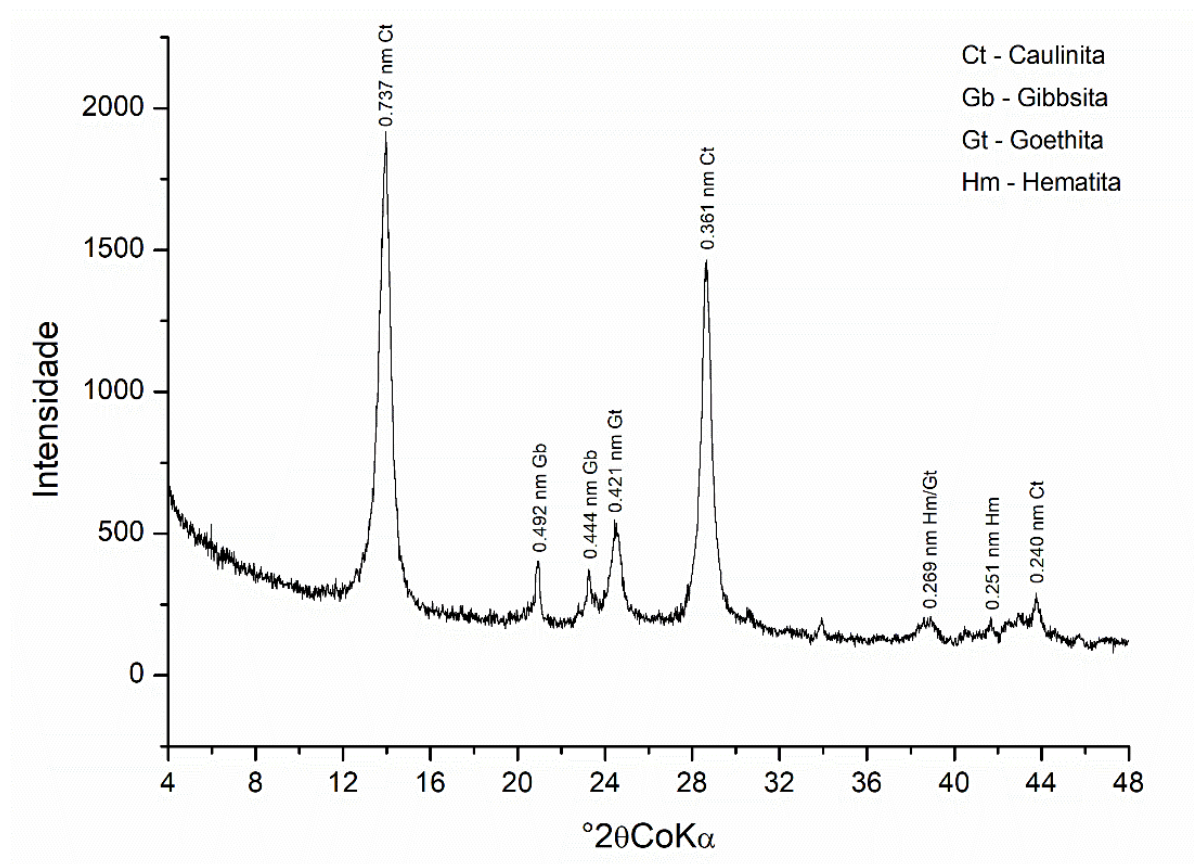
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 62 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra L2. Ct – Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita e Il – Ilita



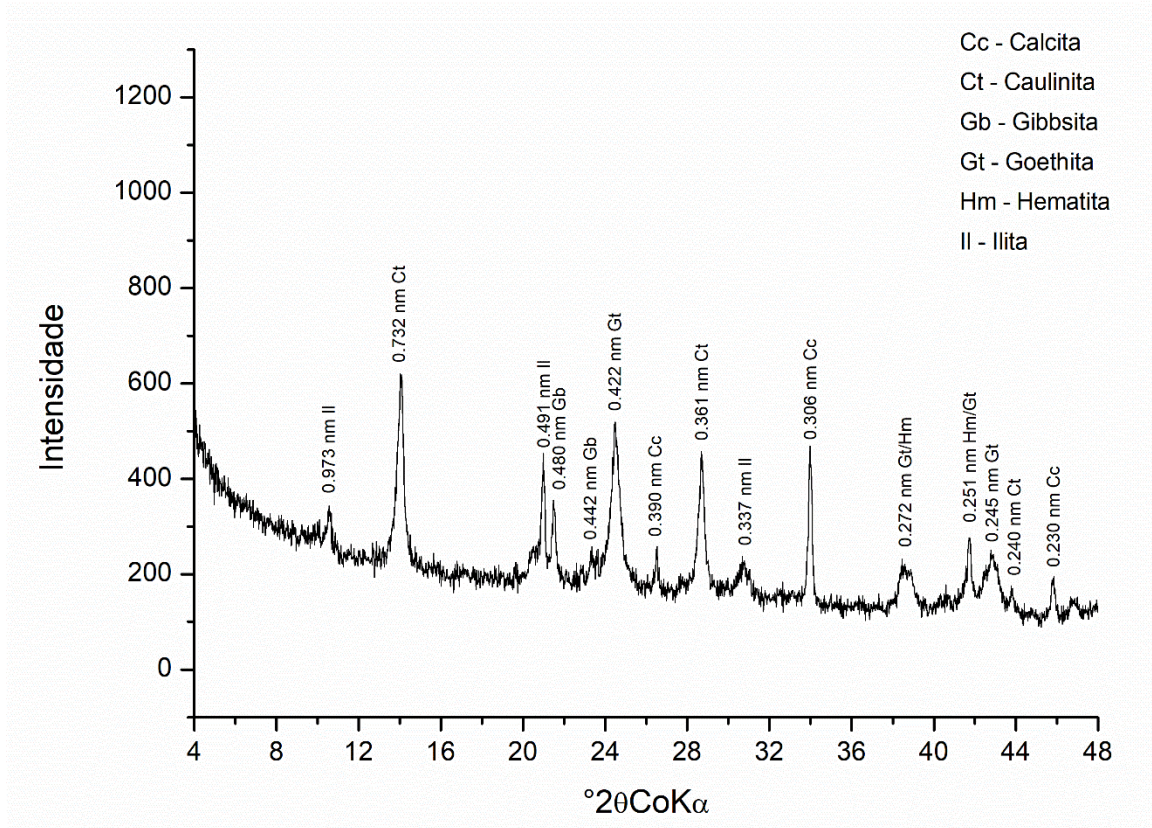
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 63 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra M1. Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

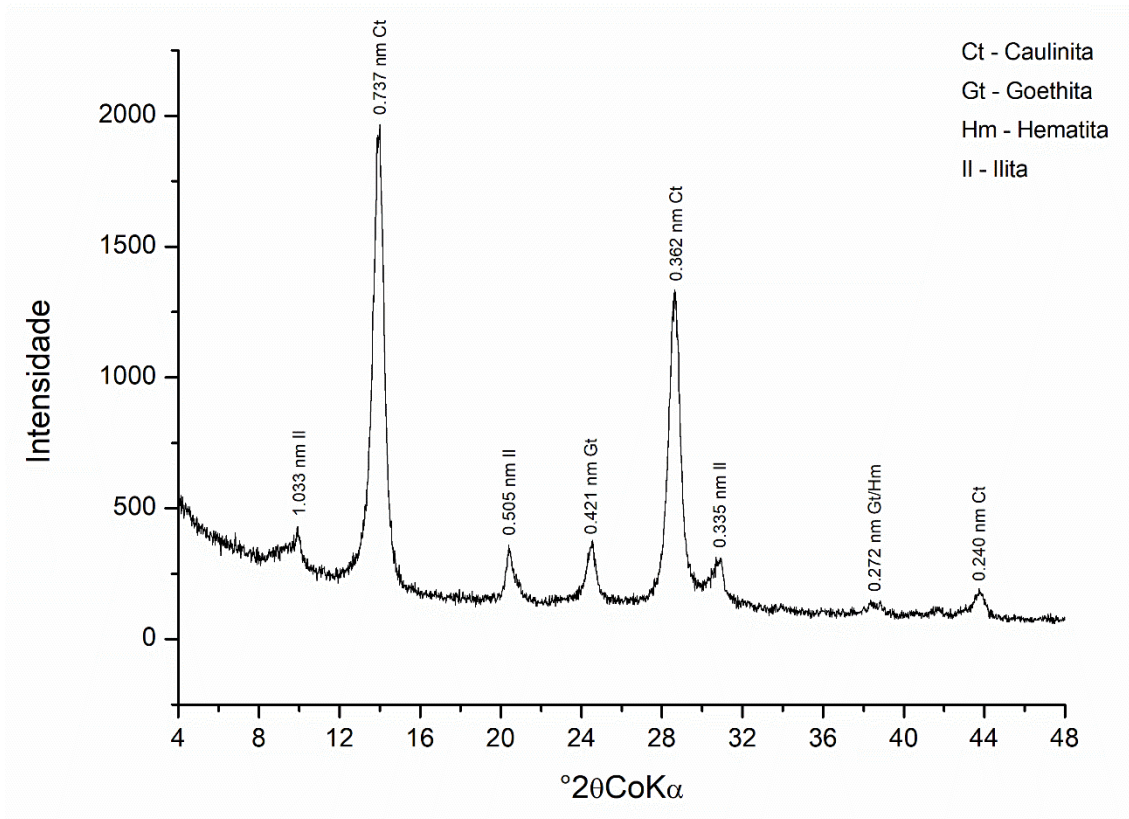
Figura 64 – Difractometria de raios X da fração argila da amostra M2. Cc – Calcita, Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, Hm – Hematita e Il – Ilita



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

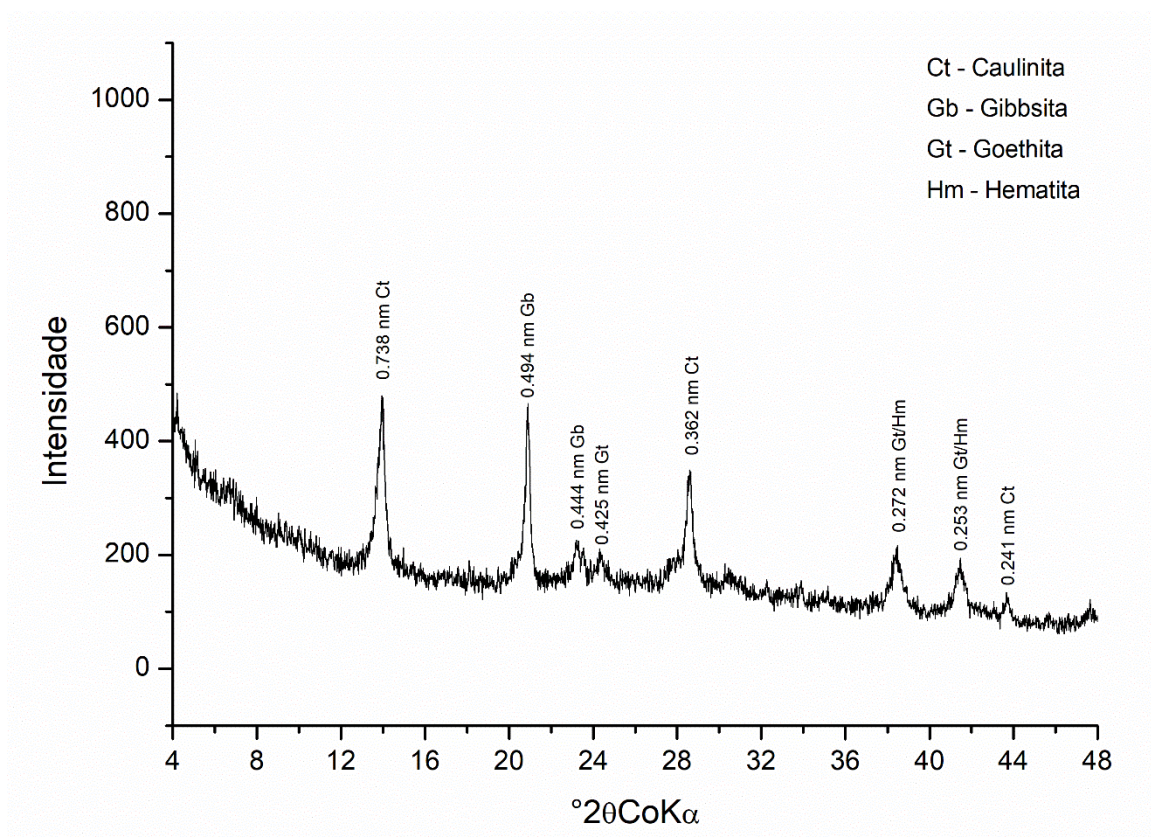


Figura 65 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra S1. Caulinita, Gt – Goethita, Hm – Hematita e Il – Ilita



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

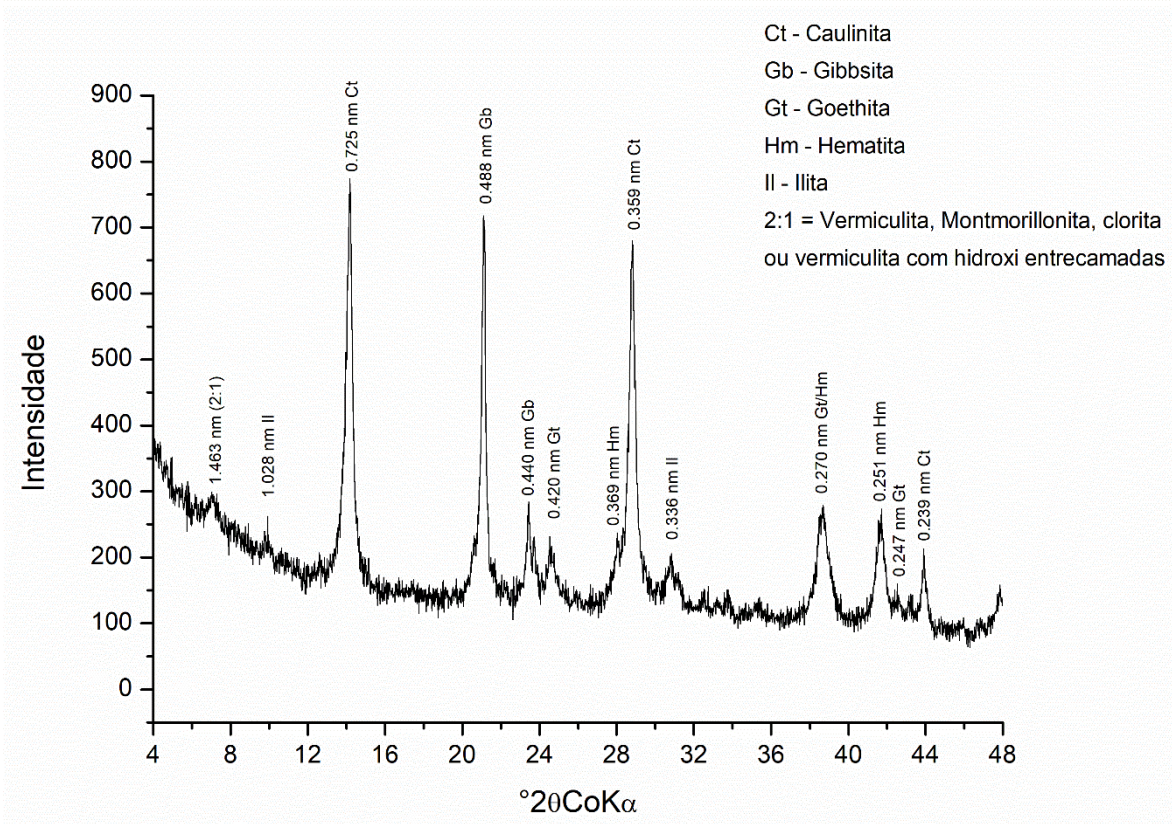
Figura 66 – Difratometria de raios X da fração argila da amostra S2. Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita e Hm – Hematita



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

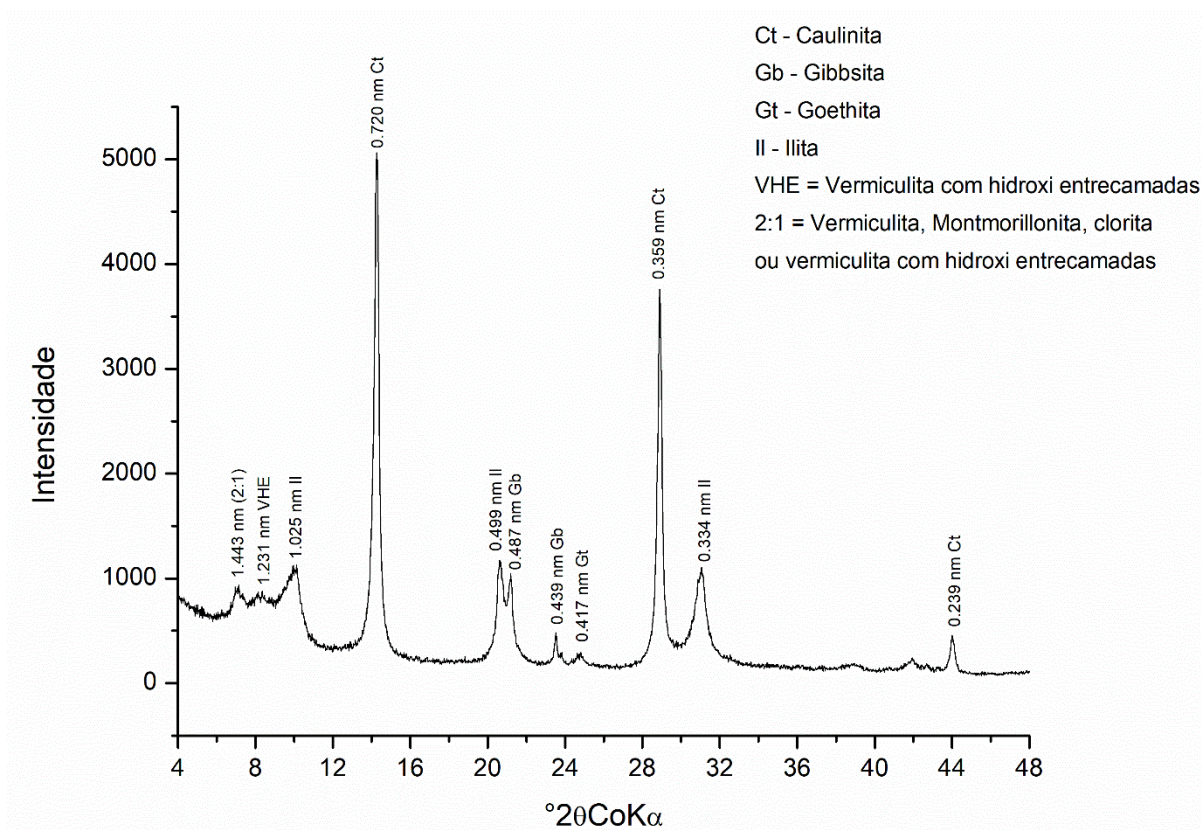


Figura 67 – Difratomia de raios X da fração argila da amostra SC. Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, Hm – Hematita, Il – Ilita, 2:1 = Vermiculita, Montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidróxi entre camadas



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 68 – Difratomia de raios X da fração argila da amostra LN. Caulinita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, Il – Ilita, VHE – Vermiculita com hidroxi entre camadas, 2:1 = Vermiculita, montmorillonita, clorita ou vermiculita com hidroxi entre camadas



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

## APÊNDICE E – ENSAIO AZUL DE METILENO POR OXIRREDUÇÃO

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: B1						Data do ensaio: 03/07/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				76		Teor de umidade:		1,99
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				57				
Data do Azul: 02/07/19				Data do Permanganato: 02/07/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100,04	11,01	50,28	49,75	10,12	5	11,04
2	-	100,03	20,03	50,47	49,56	10,1	9,6	22,84
3	-	100,04	30	51	49,02	10,49	16	40,80
4	-	100,03	40,02	50,64	49,43	10,38	23	63,61
5	-	100,02	50	50,19	51,23	10,03	27,2	81,30
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
<p>Calibração</p> $y = 0,5359x + 6,6745$ $R^2 = 0,9932$								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	98,47	10,06	52,13	48,27	4,11	0,5	1,04
2	1,0	98,17	20,05	52,53	48,13	4,76	0,6	1,35
3	1,0	107,88	30,04	51,67	50,76	4,11	0,7	1,87
4	1,0	96,82	40,04	55,73	45,47	5,11	1,3	3,19
5	1,0	99,45	50,08	51,86	48,51	6,36	4,2	12,11
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
<p>B1</p> $y = 23,643x - 13,521$ $R^2 = 0,9792$								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b								13,52
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)								10,48
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)								18,39

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: B2						Data do ensaio: 02/07/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					80,1	Teor de umidade:		2,18
% de solo que passa na abertura de 0,005mm					49			
Data do Azul: 02/07/19				Data do Permanganato: 02/07/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100,04	11,01	50,28	49,75	10,12	5	11,04
2	-	100,03	20,03	50,47	49,56	10,1	9,6	22,84
3	-	100,04	30	51	49,02	10,49	16	40,80
4	-	100,03	40,02	50,64	49,43	10,38	23	63,61
5	-	100,02	50	50,19	51,23	10,03	27,2	81,30
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
<p>Calibração</p> $Y = 0,5359x + 6,6745$ $R^2 = 0,9932$								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	101,47	20,07	51,36	49,45	4,62	0,4	0,95
2	1,0	102,2	25,05	50,79	49,74	4,59	0,5	1,25
3	1,0	107,42	30,06	50,17	50,61	4,59	0,7	1,92
4	1,0	117,26	35,06	50,87	49,84	7,55	1,2	3,59
5	1,0	101,17	40,50	50,39	50,2	4,3	1,9	5,34
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
<p>B2</p> $y = 3,0499x + 24,173$ $R^2 = 0,9999$								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							24,17	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							19,78	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)							40,38	



ENSAIO DE AZUL DE METILENO									
Nome da amostra: B3						Data do ensaio: 19/08/2019			
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:						81,3	Teor de umidade:		0,84
% de solo que passa na abertura de 0,005mm						16			
Data do Azul: 19/08/19				Data do Permanganato: 19/08/19					
CURVA DE CALIBRAÇÃO									
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)	
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16	
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45	
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56	
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70	
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06	
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO									
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO									
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)	
1	1,0	102,94	20,05	53,05	49,6	4,6	0,3	0,70	
2	1,0	103,58	25,13	54,39	47,37	6,63	0,5	1,18	
3	1,0	100,43	30,04	51,68	50,4	4,22	0,5	1,26	
4	1,0	100,72	35,15	53,09	47,33	4,87	0,7	1,79	
5	1,0	100,82	40,22	51,79	62,28	4,59	1	2,72	
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO									
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b								13,26	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)								10,87	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)								67,96	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: B4						Data do ensaio: 20/08/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					75,4	Teor de umidade:		1,22
% de solo que passa na abertura de 0,005mm					44			
Data do Azul: 19/08/19				Data do Permanganato: 19/08/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,44	20,02	55,12	44,94	5,03	0,25	0,55
2	1,0	115,35	25,22	55,02	45,16	6,23	0,3	0,77
3	1,0	100,64	31,52	55,86	44,76	4,22	0,35	0,83
4	1,0	101,80	35,05	54,76	46,62	4,92	0,4	1,00
5	1,0	100,29	40,07	54,71	45,35	4,57	0,5	1,28
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							16,16	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							12,34	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							28,03	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: L1						Data do ensaio: 17/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					67,3	Teor de umidade:		5,49
% de solo que passa na abertura de 0,005mm					33			
Data do Azul: 16/10/19				Data do Permanganato: 16/10/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,35	20,03	51,62	49,04	5,41	0,50	1,17
2	1,1	100,09	25,05	52,18	48,73	4,99	0,55	1,32
3	1,0	100,10	30,08	52,68	48,12	4,37	0,65	1,61
4	1,0	100,64	35,21	54,94	45,80	5,50	1,00	2,47
5	1,0	100,39	40,08	54,36	47,22	6,09	1,20	3,10
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							13,96	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							9,91	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							30,03	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: L2						Data do ensaio: 01/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				74		Teor de umidade:		2,47
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				55				
Data do Azul: 30/09/19				Data do Permanganato: 30/09/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,64	20,17	50,78	49,41	4,23	0,15	0,36
2	1,1	100,05	25,08	54,94	45,46	8,64	0,35	0,80
3	1,0	100,91	31,90	50,70	50,04	4,70	0,60	1,57
4	1,0	100,73	35,41	50,43	50,10	14,26	0,70	1,89
5	1,0	100,80	40,09	51,67	49,31	6,80	0,80	2,18
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							16,89	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							12,81	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							23,29	



ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: M1						Data do ensaio: 21/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				45,9		Teor de umidade:		4,70
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				27				
Data do Azul: 21/10/19			Data do Permanganato: 21/10/19					
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,57	20,15	51,71	49,11	5,16	0,50	1,17
2	1,1	100,06	25,04	52,80	47,57	5,39	0,50	1,18
3	1,0	100,09	31,54	52,97	47,51	5,30	0,55	1,37
4	1,0	103,48	35,20	51,52	49,50	5,07	0,60	1,62
5	1,0	101,12	40,00	50,60	51,88	7,01	0,70	1,95
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							11,84	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							5,69	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							21,07	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: M2						Data do ensaio: 22/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				20,9		Teor de umidade:		0,78
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				7				
Data do Azul: 21/10/19			Data do Permanganato: 21/10/19					
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,60	20,19	57,20	44,60	4,07	0,80	1,69
2	1,1	100,58	25,10	54,76	45,68	4,54	2,20	5,05
3	1,0	100,22	30,03	50,40	50,88	5,62	1,85	4,78
4	1,0	100,26	35,04	53,35	47,47	5,62	3,30	8,37
5	1,0	100,03	40,07	52,91	47,61	5,98	4,20	11,12
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							16,74	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							3,52	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							50,36	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: S1						Data do ensaio: 22/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				53,6		Teor de umidade:		1,94
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				14				
Data do Azul: 21/10/19			Data do Permanganato: 21/10/19					
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
<p>Calibração</p> $y = 1,9521x + 6,2523$ $R^2 = 0,995$ <p>Legenda: —●— Calibração    ..... Linear (Calibração)</p>								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,90	20,04	52,60	48,55	5,51	0,50	1,15
2	1,1	100,42	25,04	50,67	49,64	4,14	0,65	1,61
3	1,0	100,95	30,11	51,69	48,47	4,95	0,80	2,03
4	1,0	101,88	35,10	54,07	46,96	6,62	1,20	3,04
5	1,0	108,02	40,22	51,21	49,06	4,09	1,75	5,07
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
<p>S1</p> $y = 11,45x + 6,7919$ $R^2 = 0,9991$								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							6,79	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							3,71	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)							26,51	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: S2						Data do ensaio: 22/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				63,6		Teor de umidade:		7,58
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				26				
Data do Azul: 21/10/19				Data do Permanganato: 21/10/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,28	20,00	52,72	47,58	11,89	1,60	3,65
2	1,1	100,43	25,00	50,72	49,76	4,06	1,10	2,72
3	1,0	100,29	30,20	53,36	47,43	4,96	1,80	4,40
4	1,0	100,54	35,07	50,49	49,66	5,36	1,85	4,97
5	1,0	100,39	40,17	52,57	47,45	4,84	2,60	6,95
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							14,85	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							10,16	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							39,07	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: SC						Data do ensaio: 17/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					77,7	Teor de umidade:		1,39
% de solo que passa na abertura de 0,005mm					47			
Data do Azul: 16/10/19				Data do Permanganato: 16/10/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,03	20,26	54,02	47,12	4,44	0,30	0,67
2	1,1	100,73	25,04	50,52	50,72	6,57	0,45	1,12
3	1,0	100,57	30,31	51,88	54,12	5,60	0,50	1,26
4	1,0	102,07	35,20	53,06	48,94	5,47	0,75	1,94
5	1,0	100,36	40,06	52,95	47,83	4,46	0,60	1,59
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							12,14	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							9,56	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							20,35	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO								
Nome da amostra: LN						Data do ensaio: 01/10/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				77		Teor de umidade:		11,27
% de solo que passa na abertura de 0,005mm				40				
Data do Azul: 30/09/19				Data do Permanganato: 30/09/19				
CURVA DE CALIBRAÇÃO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	-	100	10	50,91	49,31	4,06	1	2,16
2	-	100,24	20,05	50,04	50,11	4,11	3,1	7,45
3	-	100,36	30,06	53,01	47,41	4,85	4,7	11,56
4	-	100,05	40	51,16	48,95	4,38	6,1	16,70
5	-	100,14	50,1	55,38	45,45	5,61	8,5	23,06
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO								
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO								
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	Sobrenadante (g)	Água (g)	Ac. Fosfórico (ml)	Permanganato na bureta (ml)	Permanganato Corrigido (g)
1	1,0	100,08	20,10	53,27	52,75	4,57	0,30	0,68
2	1,1	100,08	25,02	51,34	49,28	4,40	0,45	1,10
3	1,0	104,41	30,03	51,33	48,80	4,66	0,65	1,70
4	1,0	100,13	35,02	53,40	47,19	5,28	0,70	1,77
5	1,0	100,02	40,04	53,49	46,76	4,70	1,20	3,14
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO								
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							17,30	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							14,82	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							37,05	



## APÊNDICE F – ENSAIO AZUL DE METILENO POR UV-VIS

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: B1					Data do ensaio: 12/12/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				76	Teor de umidade: 1,662		
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				57			
Data do Azul: 12/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9684	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: small;">Calibração</p> <p style="font-size: x-small;"><math>y = 0,0129x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p> </div> <div style="text-align: right;"> <p style="font-size: x-small;">Azul de metileno (g)</p> <p style="font-size: x-small;">Absorbância (%)</p> <p style="font-size: x-small;">—●— Calibração    - - - - - Linear (Calibração)</p> </div> </div>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	101,35	10,21	0,0915	0,108	0,0014	0,1554
2	1,0	100,51	15,36	0,1326	0,267	0,0034	0,3991
3	1,0	100,67	20,45	0,1688	0,708	0,0091	1,1062
4	1,0	100,29	25,68	0,2039	0,786	0,0101	1,2773
5	1,0	102,42	30,04	0,2268	1,490	0,0192	2,5460
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: small;">B1</p> <p style="font-size: x-small;"><math>y = 6,8117x + 12,751</math> <math>R^2 = 0,9996</math></p> </div> <div style="text-align: right;"> <p style="font-size: x-small;">Azul de metileno (g)</p> <p style="font-size: x-small;">Absorbância (%)</p> </div> </div>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						12,76	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						9,85	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)						17,28	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: B2						Data do ensaio: 12/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				80,1		Teor de umidade: 1,184	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				49			
Data do Azul: 12/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<p>Calibração</p> <p><math>y = 0,0129x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p> <p>—●— Calibração    - - - - - Linear (Calibração)</p>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	102,48	10,37	0,0919	0,098	0,0013	0,1427
2	1,0	101,73	15,02	0,1287	0,293	0,0038	0,4413
3	1,0	103,36	20,35	0,1645	0,382	0,0049	0,6096
4	1,0	101,09	25,72	0,2028	0,586	0,0076	0,9586
5	1,0	101,94	31,04	0,2334	1,073	0,0138	1,8407
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<p>B2</p> <p><math>y = 11,947x + 9,1548</math> <math>R^2 = 0,9974</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						9,15	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						7,42	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)						15,14	



ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: B3						Data do ensaio: 12/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				81,3		Teor de umidade: 0,836	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				16			
Data do Azul: 12/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<p>Calibração</p> <p><math>y = 0,0129x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p> <p>—●— Calibração    - - - - - Linear (Calibração)</p>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	100,35	10,07	0,0912	0,149	0,0019	0,2122
2	1,0	102,16	15,16	0,1292	0,624	0,0080	0,9444
3	1,0	100,57	20,38	0,1685	1,080	0,0139	1,6851
4	1,0	100,97	25,37	0,2008	1,448	0,0187	2,3599
5	1,0	100,59	30,55	0,2330	2,166	0,0279	3,6642
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<p>B3</p> <p><math>y = 7,0002x + 8,5725</math> <math>R^2 = 1</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						8,57	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						7,03	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)						43,92	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: B4						Data do ensaio: 11/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				75,4		Teor de umidade: 1,378	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				44			
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9284	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9786	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<p>Calibração</p> <p><math>y = 0,0129x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p> <p>—●— Calibração    - - - - - Linear (Calibração)</p>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	100,20	10,48	0,0947	0,032	0,0004	0,0457
2	1,0	103,24	15,37	0,1296	0,052	0,0007	0,0796
3	1,0	103,55	21,13	0,1695	0,130	0,0017	0,2091
4	1,0	101,95	25,48	0,2000	0,198	0,0026	0,3255
5	1,0	101,44	30,48	0,2310	0,337	0,0043	0,5735
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<p>B4</p> <p><math>y = 41,174x + 12,231</math> <math>R^2 = 0,9975</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						12,23	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						9,35	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)						21,25	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: L1						Data do ensaio: 11/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				67,3		Teor de umidade: 1,467	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				33			
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	101,11	10,85	0,0969	0,095	0,0012	0,1372
2	1,0	102,17	15,46	0,1314	0,485	0,0063	0,7360
3	1,0	102,73	20,36	0,1654	1,169	0,0151	1,8562
4	1,0	100,06	25,23	0,2014	1,593	0,0205	2,5747
5	1,0	101,27	30,94	0,2340	3,275	0,0422	5,5855
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						10,56	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						7,21	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)						21,85	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: L2						Data do ensaio: 11/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				74		Teor de umidade: 1,079	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				55			
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	100,35	10,02	0,0908	0,075	0,0010	0,1068
2	1,0	100,23	15,86	0,1366	0,205	0,0026	0,3070
3	1,0	100,41	20,17	0,1673	0,425	0,0055	0,6611
4	1,0	100,16	25,53	0,2031	0,920	0,0119	1,4917
5	1,0	100,29	30,06	0,2306	2,588	0,0334	4,3518
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						14,08	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						10,53	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)						19,14	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: M1					Data do ensaio: 11/12/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					45,9	Teor de umidade: 1,203	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:					27		
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<p>Calibração</p> <p><math>y = 0,0125x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	101,05	10,92	0,0975	0,097	0,0013	0,1401
2	1,0	100,04	15,17	0,1317	0,162	0,0021	0,2408
3	1,0	100,78	20,17	0,1668	0,245	0,0032	0,3823
4	1,0	100,08	25,62	0,2038	0,440	0,0057	0,7135
5	1,0	100,45	30,50	0,2329	1,133	0,0146	1,9139
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<p>M1</p> <p><math>y = 8,1656x + 15,041</math> <math>R^2 = 0,9392</math></p>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							15,04
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							6,99
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)							25,88



ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: M2						Data do ensaio: 11/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				20,9		Teor de umidade: 0,684	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				7			
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9284	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<p>Calibração</p> <p><math>y = 0,0129x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p> <p>—●— Calibração    - - - - - Linear (Calibração)</p>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	100,45	10,51	0,0947	1,136	0,0147	1,6261
2	1,0	100,18	15,36	0,1329	2,310	0,0298	3,4430
3	1,0	100,23	20,72	0,1713	3,369	0,0435	5,2565
4	1,0	101,89	25,28	0,1988	3,882	0,0501	6,3684
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<p>M2</p> <p><math>y = 2,8123x + 5,8506</math> <math>R^2 = 0,9991</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						5,85	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						1,23	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)						17,59	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: S1					Data do ensaio: 11/12/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				53,6	Teor de umidade: 0,792		
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				14			
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	102,76	10,09	0,0894	0,114	0,0015	0,1660
2	1,0	100,49	15,08	0,1305	0,643	0,0083	0,9586
3	1,0	101,97	20,15	0,1650	1,643	0,0212	2,5883
4	1,0	101,15	26,21	0,2058	2,660	0,0343	4,3702
5	1,0	100,48	30,37	0,2321	3,755	0,0484	6,3383
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b							11,87
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)							6,41
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)							45,79

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: S2					Data do ensaio: 09/12/2019		
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					63,6	Teor de umidade: 1,862	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:					26		
Data do Azul: 09/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9786	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	100,44	10,08	0,0912	1,308	0,0169	1,8648
2	1,0	100,33	15,23	0,1318	2,110	0,0272	3,1454
3	1,0	101,11	20,03	0,1653	3,399	0,0438	5,3114
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						6,89	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						4,46	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)						17,16	



ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: SC						Data do ensaio: 11/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:					77,7	Teor de umidade: 0,950	
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:					47		
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0897	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	101,21	10,64	0,0951	0,096	0,0012	0,1385
2	1,0	101,15	15,94	0,1361	0,245	0,0032	0,3701
3	1,0	102,17	20,11	0,1645	0,804	0,0104	1,2682
4	1,0	100,15	25,41	0,2024	1,383	0,0178	2,2401
5	1,0	103,23	30,16	0,2261	2,355	0,0304	4,0523
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						13,93	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						10,93	
CA - Coeficiente de atividade (10 <sup>-3</sup> g/g%)						23,25	

ENSAIO DE AZUL DE METILENO UV-VIS							
Nome da amostra: LN						Data do ensaio: 11/12/2019	
% de solo que passa na abertura de 0,074mm:				77	Teor de umidade: 1,322		
% de solo que passa na abertura de 0,005mm:				40			
Data do Azul: 11/12/19							
CURVA DE CALIBRAÇÃO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1		89,9103	10,0997	0,04041	3,095	-	-
2		94,8146	5,1854	0,02077	1,747	-	-
3		98,8310	1,1690	0,00468	0,387	-	-
4	-	89,9788	10,0212	0,01002	0,843	-	-
5	-	90,9683	9,0317	0,00903	0,743	-	-
6	-	91,9544	8,0456	0,00805	0,724	-	-
7	-	92,9419	7,0581	0,00706	0,637	-	-
8	-	93,9884	6,0116	0,00601	0,509	-	-
9	-	94,9766	5,0234	0,00502	0,432	-	-
10	-	95,9923	4,0077	0,00401	0,390	-	-
11	-	96,9727	3,0273	0,00303	0,220	-	-
12	-	97,9237	2,0763	0,00208	0,143	-	-
13	-	98,8889	1,1111	0,00111	0,078	-	-
14	-	100,0000	0,0000	0,00000	0,000	-	-
Curva de absorbância versus azul de metileno - CALIBRAÇÃO							
<p>Calibração</p> <p><math>y = 0,0129x - 0,0005</math> <math>R^2 = 0,996</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p> <p>—●— Calibração    - - - - - Linear (Calibração)</p>							
ENSAIO ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO							
Nº	Solo (g)	Água (g)	Solução Azul (g)	C AM (g/L)	Absorbância (%)	C AM sobr (g/L)	Sol. AM sobr (g/L)
1	1,0	102,15	10,28	0,0914	0,378	0,0045	0,5070
2	1,0	100,43	15,54	0,1340	1,026	0,0119	1,3796
3	1,0	102,06	20,53	0,1675	2,102	0,0242	2,8621
4	1,0	100,72	25,05	0,1992	3,329	0,0382	4,7982
5	1,0	103,27	30,40	0,2274	3,629	0,0468	6,2576
Curva de permanganato de potássio versus azul de metileno - ENSAIO							
<p>LN</p> <p><math>y = 3,0385x + 11,421</math> <math>R^2 = 0,9998</math></p> <p>Azul de metileno (g)</p> <p>Absorbância (%)</p>							
Volume de solução de azul de metileno consumido pelo solo durante o ensaio - b						11,42	
Var - Volume total de azul de metileno consumido por 1g de amostra de solo integral (ml)						8,91	
CA - Coeficiente de atividade ( $10^{-3}$ g/g%)						22,28	

## APÊNDICE G – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão							
Material: B1							
CP Nº	Medidas a (mm)		Medidas b (mm)		Área (cm <sup>2</sup> )	F <sub>rup</sub> (kgf)	f <sub>c</sub> (Mpa)
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>			
	a <sub>médio</sub>		b <sub>médio</sub>				
1	70,83	71,79	69,36	69,13	4937,86095	1150	2,33
	71,31		69,245				
2	66,83	66,99	71,62	71,98	4804,138	1160	2,41
	66,91		71,8				
3	69,66	67,79	70,58	71,13	4869,509875	1390	2,85
	68,725		70,855				
4	68,73	70,8	66,96	65,63	4625,070675	1090	2,36
	69,765		66,295				
5	72,13	75,31	69,97	73,21	5277,6148	1250	2,37
	73,72		71,59				
6	66,95	68,49	69,18	68,82	4672,68	1220	2,61
	67,72		69				
7	68,17	68	65,93	66,65	4513,35465	1110	2,46
	68,085		66,29				
8	72	70,22	71,57	69,35	5010,4106	1360	2,71
	71,11		70,46				
9	68,24	69,47	73,92	73,49	5074,957775	1030	2,03
	68,855		73,705				
10	66,41	70,38	74,68	75,34	5130,30895	1290	2,51
	68,395		75,01				
11	69,82	68,86	69,02	70,26	4828,8376	1000	2,07
	69,34		69,64				
12	70,91	71,5	72,81	71,1	5123,555775	1420	2,77
	71,205		71,955				
13	68,74	68,71	64,27	67,47	4526,91575	1240	2,74
	68,725		65,87				
14	71,65	68,3	67,82	69,6	4807,98225	1050	2,18
	69,975		68,71				
<b>Média</b>							<b>2,46</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,26</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Material: B2</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	70,06 70,015	69,97	70,07 70,12	70,17	4909,4518	880	<b>1,79</b>
<b>2</b>	70,29 70,295	70,3	72,39 72,405	72,42	5089,709475	840	<b>1,65</b>
<b>3</b>	74,13 74,105	74,08	70,26 69,835	69,41	5175,122675	790	<b>1,53</b>
<b>4</b>	69,27 69,48	69,69	72 71,825	71,65	4990,401	890	<b>1,78</b>
<b>5</b>	70,93 70,685	70,44	67,75 67,965	68,18	4804,106025	900	<b>1,87</b>
<b>6</b>	74,2 74	73,8	73,48 73,6	73,72	5446,4	910	<b>1,67</b>
<b>7</b>	68,72 68,595	68,47	66,82 66,99	67,16	4595,17905	880	<b>1,92</b>
<b>8</b>	70,04 70,06	70,08	66,61 66,955	67,3	4690,8673	1000	<b>2,13</b>
<b>9</b>	76,38 74,505	72,63	75,6 75,515	75,43	5626,245075	920	<b>1,64</b>
<b>10</b>	70,34 70,61	70,88	72,65 72,825	73	5142,17325	770	<b>1,50</b>
<b>11</b>	68,84 68,785	68,73	67,73 67,9	68,07	4670,5015	860	<b>1,84</b>
<b>12</b>	68,16 68,56	68,96	72,32 72,57	72,82	4975,3992	970	<b>1,95</b>
<b>13</b>	66,97 66,6	66,23	73,59 73,68	73,77	4907,088	900	<b>1,83</b>
<b>14</b>	66,27 66,5	66,73	69,85 69,755	69,66	4638,7075	760	<b>1,64</b>
<b>Média</b>							<b>1,77</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,17</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Material: B3</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>Rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	73,98 73,895	73,81	67,08 66,785	66,49	4935,077575	580	<b>1,18</b>
<b>2</b>	74,36 73,7	73,04	71,25 72,915	74,58	5373,8355	670	<b>1,25</b>
<b>3</b>	73,3 72,095	70,89	58,48 66,415	74,35	4788,189425	200	<b>0,42</b>
<b>4</b>	70,91 70,575	70,24	75,87 75,26	74,65	5311,4745	470	<b>0,88</b>
<b>5</b>	70,69 70,42	70,15	75,29 75,64	75,99	5326,5688	530	<b>1,00</b>
<b>6</b>	69,82 70,615	71,41	63,05 62,505	61,96	4413,790575	510	<b>1,16</b>
<b>7</b>	76,03 76,375	76,72	69,67 68,925	68,18	5264,146875	580	<b>1,10</b>
<b>8</b>	71,08 70,57	70,06	74,92 74,95	74,98	5289,2215	600	<b>1,13</b>
<b>9</b>	75,04 75,23	75,42	68,72 68,05	67,38	5119,4015	490	<b>0,96</b>
<b>10</b>	70,03 69,985	69,94	74,36 74,88	75,4	5240,4768	490	<b>0,94</b>
<b>11</b>	76,99 77,145	77,3	67,69 67,555	67,42	5211,530475	530	<b>1,02</b>
<b>12</b>	78,4 76,44	74,48	74,28 74,705	75,13	5710,4502	690	<b>1,21</b>
<b>13</b>	73,85 73,605	73,36	77,96 78,025	78,09	5743,030125	710	<b>1,24</b>
<b>14</b>	75,77 75,685	75,6	73,75 74,095	74,44	5607,880075	490	<b>0,87</b>
<b>OBS.: Config. Carga Mínima: 200 kgf</b>						<b>Média</b>	<b>1,02</b>
						<b>Desvio-padrão</b>	<b>0,22</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Amostra: B4</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	68,34 68,085	67,83	65,25 65,145	65,04	4435,397325	1160	<b>2,62</b>
<b>2</b>	66,67 66,56	66,45	71,28 71,195	71,11	4738,7392	800	<b>1,69</b>
<b>3</b>	66,53 66,745	66,96	70,05 70,095	70,14	4678,490775	1070	<b>2,29</b>
<b>4</b>	65,25 65,31	65,37	67,88 68,065	68,25	4445,32515	1250	<b>2,81</b>
<b>5</b>	65,97 65,93	65,89	76,32 75,775	75,23	4995,84575	1230	<b>2,46</b>
<b>6</b>	63,89 63,95	64,01	69,85 70,125	70,4	4484,49375	1320	<b>2,94</b>
<b>7</b>	65,95 67,26	68,57	67,1 66,915	66,73	4500,7029	1330	<b>2,96</b>
<b>8</b>	68,4 68,765	69,13	67,76 68,58	69,4	4715,9037	1430	<b>3,03</b>
<b>9</b>	70,88 70,555	70,23	68,11 68,36	68,61	4823,1398	1340	<b>2,78</b>
<b>10</b>	66,05 65,885	65,72	62,54 62,77	63	4135,60145	1200	<b>2,90</b>
<b>11</b>	63,93 64,055	64,18	66,3 66,25	66,2	4243,64375	1060	<b>2,50</b>
<b>12</b>	67,42 67,76	68,1	65,47 65,66	65,85	4449,1216	960	<b>2,16</b>
<b>13</b>	71,36 71,36	71,36	63,2 63,37	63,54	4522,0832	1190	<b>2,63</b>
<b>14</b>	67,73 67,1	66,47	67,79 67,635	67,48	4538,3085	1190	<b>2,62</b>
<b>Média</b>							<b>2,60</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,37</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Material: L1</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	73,38	73,11	74,95	75,7	5517,179625	1540	<b>2,79</b>
	73,245		75,325				
<b>2</b>	74,46	76,45	70,21	71,11	5331,6503	1420	<b>2,66</b>
	75,455		70,66				
<b>3</b>	71,11	70,56	69,24	69,36	4908,8655	1120	<b>2,28</b>
	70,835		69,3				
<b>4</b>	69,15	69,14	70,49	70,73	4882,32845	1310	<b>2,68</b>
	69,145		70,61				
<b>5</b>	70,38	71,35	72,24	72,99	5145,861975	1190	<b>2,31</b>
	70,865		72,615				
<b>6</b>	70,88	70,37	68,6	68,94	4856,88125	1520	<b>3,13</b>
	70,625		68,77				
<b>7</b>	67,37	71,52	70,03	70,03	4863,23335	1210	<b>2,49</b>
	69,445		70,03				
<b>8</b>	70,99	71,17	76,03	75,76	5394,6166	1350	<b>2,50</b>
	71,08		75,895				
<b>9</b>	66,6	66,69	70,15	71,39	4716,46665	1310	<b>2,78</b>
	66,645		70,77				
<b>10</b>	70,89	70,06	70,21	68,8	4898,364875	1380	<b>2,82</b>
	70,475		69,505				
<b>11</b>	69,3	67,08	68,67	69,56	4712,95185	1420	<b>3,01</b>
	68,19		69,115				
<b>12</b>	74,51	67,08	68,51	69,45	4883,4391	1290	<b>2,64</b>
	70,795		68,98				
<b>13</b>	67,4	68,02	66,84	67,02	4531,8303	1260	<b>2,78</b>
	67,71		66,93				
<b>14</b>	68,21	68,49	72,56	73,53	4992,62575	1470	<b>2,94</b>
	68,35		73,045				
<b>Média</b>							<b>2,70</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,25</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Material: L2</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	69,87	68,21	70,98	71,53	4919,4452	1800	<b>3,66</b>
	69,04		71,255				
<b>2</b>	71,84	70,76	74,9	76,8	5408,105	1830	<b>3,38</b>
	71,3		75,85				
<b>3</b>	71,22	79,32	68,58	69,61	5200,78065	1680	<b>3,23</b>
	75,27		69,095				
<b>4</b>	71,29	72,26	69,95	68,66	4974,366375	2040	<b>4,10</b>
	71,775		69,305				
<b>5</b>	69,64	69,16	69,33	69,65	4822,606	1850	<b>3,84</b>
	69,4		69,49				
<b>6</b>	72,21	73,68	69,5	68,91	5048,158725	2110	<b>4,18</b>
	72,945		69,205				
<b>7</b>	71,78	70,92	69,66	69,66	4970,241	2260	<b>4,55</b>
	71,35		69,66				
<b>8</b>	68,96	69,89	69,07	68,72	4783,035375	2160	<b>4,52</b>
	69,425		68,895				
<b>9</b>	69,36	69,45	72,22	72,15	5009,999925	2060	<b>4,11</b>
	69,405		72,185				
<b>10</b>	70,27	70,28	70,68	68,05	4874,625375	1720	<b>3,53</b>
	70,275		69,365				
<b>11</b>	68,34	68,8	72,39	71,42	4930,52585	2330	<b>4,73</b>
	68,57		71,905				
<b>12</b>	68,28	66,09	68,92	92,24	5413,7673	2180	<b>4,03</b>
	67,185		80,58				
<b>13</b>	67,42	68,24	68,27	68,04	4622,95365	1860	<b>4,02</b>
	67,83		68,155				
<b>14</b>	66,4	66,69	68,14	69,56	4581,62325	1970	<b>4,30</b>
	66,545		68,85				
<b>Média</b>							<b>4,01</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,44</b>



Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão							
Material: M1							
CP Nº	Medidas a (mm)		Medidas b (mm)		Área (cm <sup>2</sup> )	F <sub>rup</sub> (kgf)	f <sub>c</sub> (Mpa)
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>			
	a <sub>médio</sub>		b <sub>médio</sub>				
1	67,39	67,45	68,75	70,59	4697,1514	930	1,98
	67,42		69,67				
2	70,6	73,6	73,77	71,8	5247,7985	950	1,81
	72,1		72,785				
3	70,02	70,65	66,5	68,51	4747,964175	860	1,81
	70,335		67,505				
4	73,98	72,8	73,66	72,74	5372,148	1140	2,12
	73,39		73,2				
5	71,6	72	73,55	76,07	5371,358	1020	1,90
	71,8		74,81				
6	69,72	69,52	65,4	66,26	4583,0846	760	1,66
	69,62		65,83				
7	66,43	68,7	71,48	70,88	4809,2767	1150	2,39
	67,565		71,18				
8	71,61	70,86	65,22	66,5	4691,5371	790	1,68
	71,235		65,86				
9	68	68,61	73,26	70,81	4920,350675	880	1,79
	68,305		72,035				
10	71,44	68,53	73,32	73,45	5135,849225	1080	2,10
	69,985		73,385				
11	67,81	71,15	70,23	70,48	4888,2654	980	2,00
	69,48		70,355				
12	69,12	68,59	67,04	64,02	4512,06815	790	1,75
	68,855		65,53				
13	74,25	68,25	69,56	71,53	5026,33125	1030	2,05
	71,25		70,545				
14	75,62	72,68	72,77	73,23	5412,95	1110	2,05
	74,15		73				
<b>Média</b>							<b>1,94</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,20</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Material: M2</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	72,95 72,9 72,925	79,35 79,13 79,24	5778,577	850	<b>1,47</b>		
<b>2</b>	77,8 80,29 79,045	79,36 79,45 79,405	6276,568225	1100	<b>1,75</b>		
<b>3</b>	79,29 79,38 79,335	81,49 82,64 82,065	6510,626775	1150	<b>1,77</b>		
<b>4</b>	77,54 74,75 76,145	78,4 78,17 78,285	5961,011325	930	<b>1,56</b>		
<b>5</b>	81,72 81,12 81,42	81,1 79,01 80,055	6518,0781	1030	<b>1,58</b>		
<b>6</b>	78,22 75,27 76,745	77,23 78 77,615	5956,563175	730	<b>1,23</b>		
<b>7</b>	76,56 76,77 76,665	79,96 79,43 79,695	6109,817175	1110	<b>1,82</b>		
<b>8</b>	75,78 75,88 75,83	78,84 76,68 77,76	5896,5408	1200	<b>2,04</b>		
<b>9</b>	83,25 83,45 83,35	78,11 80,33 79,22	6602,987	1240	<b>1,88</b>		
<b>10</b>	85,41 81,35 83,38	86,32 87,12 86,72	7230,7136	1120	<b>1,55</b>		
<b>11</b>	80,81 77,91 79,36	72,89 70,54 71,715	5691,3024	920	<b>1,62</b>		
<b>12</b>	81,82 78,13 79,975	84,24 83,08 83,66	6690,7085	1260	<b>1,88</b>		
<b>13</b>	86,77 85,2 85,985	82,46 82,37 82,415	7086,453775	1130	<b>1,59</b>		
<b>14</b>	78,95 79,74 79,345	79,52 79,53 79,525	6309,911125	1150	<b>1,82</b>		
<b>Média</b>						<b>1,68</b>	
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,21</b>	

Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão							
Material: S1							
CP Nº	Medidas a (mm)		Medidas b (mm)		Área (cm <sup>2</sup> )	F <sub>rup</sub> (kgf)	f <sub>c</sub> (Mpa)
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>			
	a <sub>médio</sub>		b <sub>médio</sub>				
1	69,27	71,4	72,35	72,25	5085,2205	1030	2,03
	70,335		72,3				
2	72,19	73,06	72,1	74,28	5315,42375	1060	1,99
	72,625		73,19				
3	71,38	79,39	72,17	72,42	5449,958575	830	1,52
	75,385		72,295				
4	71,17	72,79	65,21	64,7	4675,4609	850	1,82
	71,98		64,955				
5	70,78	70,75	73,12	71,3	5109,94065	880	1,72
	70,765		72,21				
6	68,38	68,52	71,04	71,11	4865,08375	870	1,79
	68,45		71,075				
7	72,87	70,77	71,37	71,38	5126,1525	930	1,81
	71,82		71,375				
8	67,19	67,8	65,85	65,49	4432,39665	870	1,96
	67,495		65,67				
9	67,74	65,72	67,45	65,72	4443,21705	840	1,89
	66,73		66,585				
10	73,05	72,25	79,87	82,98	5915,52625	900	1,52
	72,65		81,425				
11	70,85	69,85	76,68	76,04	5371,926	920	1,71
	70,35		76,36				
12	71,5	71,68	69,32	69,3	4961,9029	880	1,77
	71,59		69,31				
13	71,46	71,77	69,69	68,53	4949,31265	900	1,82
	71,615		69,11				
14	68,31	67,39	68,43	66,39	4573,7685	740	1,62
	67,85		67,41				
<b>Média</b>							<b>1,78</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,16</b>

Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão							
Material: S2							
CP Nº	Medidas a (mm)		Medidas b (mm)		Área (cm <sup>2</sup> )	F <sub>rup</sub> (kgf)	f <sub>c</sub> (Mpa)
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>			
	a <sub>médio</sub>		b <sub>médio</sub>				
1	65	65	65	71	4420	1133	2,56
	65		68				
2	62	67	67	67	4321,5	1323	3,06
	64,5		67				
3	74	67,5	66,5	67	4722,5625	1551	3,28
	70,75		66,75				
4	64	64	64	64,5	4112	1247	3,03
	64		64,25				
5	69	65,5	65	66	4404,875	1036	2,35
	67,25		65,5				
6	67	68	69	67,5	4606,875	1347	2,92
	67,5		68,25				
7	64	69,5	68	68	4539	1413	3,11
	66,75		68				
8	66	66	66	66,5	4372,5	1142	2,61
	66		66,25				
9	71,5	71	69	68	4880,625	1420	2,91
	71,25		68,5				
10	67,5	67,5	69	68	4623,75	1237	2,68
	67,5		68,5				
11	63	64,8	69,2	69	4415,49	1192	2,70
	63,9		69,1				
12	64	64	69,32	69,3	4435,84	1045	2,36
	64		69,31				
13	71	70	66,5	65	4635,375	1199	2,59
	70,5		65,75				
14	68	70	65	64	4450,5	1177	2,64
	69		64,5				
<b>Média</b>							<b>2,77</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,29</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>							
<b>Material: SC</b>							
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>			
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	68,21 68,905	69,6	71,74 71,235	70,73	4908,447675	1970	<b>4,01</b>
<b>2</b>	67,39 66,785	66,18	68,31 68,335	68,36	4563,752975	1300	<b>2,85</b>
<b>3</b>	63,64 63,685	63,73	70,65 70,3	69,95	4477,0555	1710	<b>3,82</b>
<b>4</b>	64,99 64,955	64,92	67,22 66,85	66,48	4342,24175	1350	<b>3,11</b>
<b>5</b>	67,02 67,165	67,31	67,39 66,98	66,57	4498,7117	1510	<b>3,36</b>
<b>6</b>	68,48 68,945	69,41	73,45 72,86	72,27	5023,3327	1650	<b>3,28</b>
<b>7</b>	68,57 68,085	67,6	68,72 68,045	67,37	4632,843825	1750	<b>3,78</b>
<b>8</b>	68,95 69,145	69,34	67,82 68,535	69,25	4738,852575	1670	<b>3,52</b>
<b>9</b>	69,05 68,975	68,9	72,45 73,28	74,11	5054,488	1530	<b>3,03</b>
<b>10</b>	68,95 68,855	68,76	63,03 62,625	62,22	4312,044375	1440	<b>3,34</b>
<b>11</b>	67,27 67,17	67,07	67,23 67,635	68,04	4543,04295	1600	<b>3,52</b>
<b>12</b>	70,25 70,29	70,33	68,63 68,615	68,6	4822,94835	1860	<b>3,86</b>
<b>13</b>	76,41 76,075	75,74	71,13 70,385	69,64	5354,538875	1680	<b>3,14</b>
<b>14</b>	69,24 68,825	68,41	76,25 74,87	73,49	5152,92775	1870	<b>3,63</b>
<b>Média</b>							<b>3,45</b>
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,35</b>

<b>Tabela – Ensaio de Resistência à Compressão</b>								
<b>Material: LN</b>								
<b>CP Nº</b>	<b>Medidas a (mm)</b>		<b>Medidas b (mm)</b>		<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>rup</sub> (kgf)</b>	<b>f<sub>c</sub> (Mpa)</b>	
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>				
	<b>a<sub>médio</sub></b>		<b>b<sub>médio</sub></b>					
<b>1</b>	64,51 66,58	68,65	67,78 67,51	67,24	4494,8158	940	<b>2,09</b>	
<b>2</b>	70,52 69,695	68,87	71,4 70,72	70,04	4928,8304	1510	<b>3,06</b>	
<b>3</b>	70 70,29	70,58	72,82 72,915	73,01	5125,19535	1100	<b>2,15</b>	
<b>4</b>	68,28 67,97	67,66	69,4 71,1	72,8	4832,667	1640	<b>3,39</b>	
<b>5</b>	71,82 72,215	72,61	67,18 66,38	65,58	4793,6317	1840	<b>3,84</b>	
<b>6</b>	65,51 64,85	64,19	67,16 67,92	68,68	4404,612	1240	<b>2,82</b>	
<b>7</b>	66,03 66,675	67,32	72,17 71,42	70,67	4761,9285	1360	<b>2,86</b>	
<b>8</b>	70,47 69,645	68,82	70,53 71,08	71,63	4950,3666	1560	<b>3,15</b>	
<b>9</b>	64,67 63,92	63,17	68,83 68,89	68,95	4403,4488	1110	<b>2,52</b>	
<b>10</b>	64,08 64,9	65,72	68,58 64,795	61,01	4205,1955	1270	<b>3,02</b>	
<b>11</b>	69,98 69,95	69,92	69,27 69,87	70,47	4887,4065	1510	<b>3,09</b>	
<b>12</b>	66,73 67,395	68,06	67,53 68,93	70,33	4645,53735	1280	<b>2,76</b>	
<b>13</b>	69,25 68,145	67,04	67,83 68,83	69,83	4690,42035	1340	<b>2,86</b>	
<b>14</b>	69,88 69,65	69,42	66,77 66,425	66,08	4626,50125	1520	<b>3,29</b>	
<b>Média</b>							<b>2,92</b>	
<b>Desvio-padrão</b>							<b>0,46</b>	

## APÊNDICE H – ABSORÇÃO DE ÁGUA

<b>ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA/UMIDADE HIGROSCÓPICA</b>					
<b>Amostra: B1</b>					
<b>CP</b>	$M_{TUh}$ (g)	$M_{T0}$ (g)	$M_{tsat}$ (g)	$U_{hT}$ (%)	<b>AA (%)</b>
<b>B1-1</b>	4096	3981,5	5125	0,028758006	28,72033153
<b>B1-2</b>	3996	3882,9	5029,1	0,029127714	29,51917381
<b>B1-3</b>	4097,2	3945	4973	0,038580482	26,05830165
Média	4063,1	3936,5	5042,4	<b>0,032</b>	<b>28,10</b>
<b>Amostra: B2</b>					
<b>CP</b>	$M_{TUh}$ (g)	$M_{T0}$ (g)	$M_{tsat}$ (g)	$U_{hT}$ (%)	<b>AA (%)</b>
<b>B2-1</b>	3683	3606,3	-	0,021268336	100
<b>B2-2</b>	3659	3577,6	-	0,022752683	100
<b>B2-3</b>	3649	3577,2	-	0,020071564	100
Média	3663,7	3587,0		<b>0,021</b>	<b>100,00</b>
<b>Amostra: B3</b>					
<b>CP</b>	$M_{TUh}$ (g)	$M_{T0}$ (g)	$M_{tsat}$ (g)	$U_{hT}$ (%)	<b>AA (%)</b>
<b>B3-1</b>	3594,5	3538,3	-	0,015883334	100
<b>B3-2</b>	3107,5	3056,4	-	0,016719016	100
<b>B3-3</b>	2091,1	2061,2	-	0,014506113	100
Média	2931,0	2885,3		<b>0,016</b>	<b>100,00</b>
<b>Amostra: B4</b>					
<b>CP</b>	$M_{TUh}$ (g)	$M_{T0}$ (g)	$M_{tsat}$ (g)	$U_{hT}$ (%)	<b>AA (%)</b>
<b>B4-1</b>	4048,5	3964	-	0,021316852	100
<b>B4-2</b>	4168,7	4077,2	-	0,022441872	100
<b>B4-3</b>	4137,8	4036,3	-	0,025146793	100
Média	4118,3	4025,8		<b>0,0</b>	<b>100,00</b>

<b>ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA/UMIDADE HIGROSCÓPICA</b>					
<b>Amostra: L1</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>L1 - 1</b>	4841	4785,1		0,011682097	100
<b>L1 - 2</b>	4740	4694,1		0,009778232	100
<b>L1 - 3</b>	4865,8	4808,7		0,011874311	100
Média	4815,6	4762,6	0,0	<b>0,0</b>	<b>100,00</b>
<b>Amostra: L2</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>L2 - 1</b>	4627,1	4545,3	5508,5	0,017996612	21,1911205
<b>L2 - 2</b>	4605,1	4519,1	5484,2	0,019030338	21,35602222
<b>L3 - 3</b>	4650,3	4558,5	5501,4	0,020138203	20,68443567
Média	4627,5	4541,0	5498,0	<b>0,0</b>	<b>21,08</b>
<b>Amostra: M1</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>M1 - 1</b>	4318,6	4149,6	5102,9	0,040726817	22,97329863
<b>M1 - 2</b>	4194,6	4037,2	4958,3	0,038987417	22,81531755
<b>M1 - 3</b>	4310,4	4132,9	5086,7	0,042948051	23,07822594
Média	4274,5	4106,6	5049,3	<b>0,0</b>	<b>22,96</b>
<b>Amostra: M2</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>M2 - 1</b>	6190	5922,6	6658,7	0,04514909	12,42866309
<b>M2 - 2</b>	6078,7	6010,8	6714,1	0,011296333	11,70060558
<b>M2 - 3</b>	6071	6003,6	6851	0,011226597	14,11486441
Média	6113,2	5979,0	6741,3	<b>0,0</b>	<b>12,75</b>



<b>ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA/UMIDADE HIGROSCÓPICA</b>					
<b>Amostra: S1</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>S1 - 1</b>	4962,6	4332,1	-	0,145541423	100
<b>S1 - 2</b>	5010,8	4317,8	-	0,160498402	100
<b>S1 - 3</b>	5059,2	4324,2	-	0,169973637	100
<b>Média</b>	5010,9	4324,7	-	<b>0,2</b>	<b>100,00</b>
<b>Amostra: S2</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>S1 - 1</b>	5986,6	5792,3	6646,4	0,033544533	14,74543791
<b>S1 - 2</b>	6119,1	5937	6807,8	0,030672057	14,66734041
<b>S1 - 3</b>	5992,6	5822,9	6674,2	0,029143554	14,61986295
<b>Média</b>	6032,8	5850,7	6709,5	<b>0,0</b>	<b>14,68</b>
<b>Amostra: SC</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>SC - 1</b>	4581,9	4514	5305	0,015042091	17,52326097
<b>SC - 2</b>	4504,3	4436	5240	0,015396754	18,12443643
<b>SC - 3</b>	4525,4	4458	5300	0,015118887	18,88739345
<b>Média</b>	4537,2	4469,3	5281,7	<b>0,0</b>	<b>18,18</b>
<b>Amostra: LN</b>					
<b>CP</b>	<b>M<sub>TU<sub>h</sub></sub> (g)</b>	<b>M<sub>T0</sub> (g)</b>	<b>M<sub>tsat</sub> (g)</b>	<b>U<sub>hT</sub> (%)</b>	<b>AA (%)</b>
<b>LN - 1</b>	4056,8	3980	5007,1	0,019296482	25,80653266
<b>LN - 2</b>	3954	3916,6	4923,1	0,009549099	25,69830976
<b>LN - 3</b>	4029,8	3950,4	4960,2	0,02009923	25,56196841
<b>Média</b>	4013,5	3949,0	4963,5	<b>0,0</b>	<b>25,69</b>

## APÊNDICE I – RETRAÇÃO RELATIVA

Tabela – Ensaio de determinação de massa específica aparente e retração relativa									
Material: Bichinho 1 - B1									
Data ensaio: 1º/12/2018									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				ρ <sub>ap</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
1	278,2	276,4	142,2	139,9	69,4	70,4	2732,59	4113	
	277,3		141,1		69,9				
2	278,1	279,5	140,1	140,0	68,6	70,9	2722,97	4056	1,49
	278,8		140,0		69,8				
3	279,0	280,0	139,8	140,6	72,4	69,5	2778,81	4097	1,47
	279,5		140,2		70,9				
4	278,8	284,9	140,3	141,3	67,5	70,5	2738,48	4015	1,47
	281,8		140,8		69,0				
5	278,2	283,8	144,0	140,8	68,5	68,9	2748,13	4098	1,49
	281,0		142,4		68,7				
6	280,2	281,6	140,6	139,2	72,2	71,2	2818,69	4078	1,45
	280,9		139,9		71,7				
7	280,6	280,9	140,0	140,7	70,0	70,3	2763,20	4114	1,49
	280,7		140,3		70,1				
8	279,7	281,8	140,6	141,4	69,1	70,0	2752,55	4038	1,47
	280,8		141,0		69,6				
9	278,7	280,7	139,8	141,0	69,2	70,2	2738,48	4042	1,48
	279,7		140,4		69,7				
10	279,5	277,7	139,9	140,6	68,5	68,7	2679,88	3962	1,48
	278,6		140,2		68,6				
11	279,7	279,7	141,7	141,1	71,2	68,7	2765,60	4075	1,47
	279,7		141,4		69,9				
12	279,2	279,1	140,5	141,4	70,4	69,8	2758,22	4071	1,48
	279,1		141,0		70,1				
13	280,6	280,7	140,4	140,3	69,9	70,5	2764,48	4117	1,49
	280,6		140,3		70,2				
X <sub>m</sub>	279,9		140,7		69,9		2750,9	4067,4	1,48
σ	1,2		0,7		0,9		32,2	44,9	0,01461606
RR <sub>x</sub>	6,70		6,20		6,85		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	6,59	

Tabela – Ensaio de determinação de massa específica aparente e retração relativa									
Material: Bichinho - B2									
Data ensaio: março 2019									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho$ ap (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	276,0	298,0	140,4	141,1	69,1	66,1	2729,75	3655	1,34
	287,0		140,7		67,6				
2	279,0	277,0	140,4	141,1	66,5	67,0	2640,99	3679	1,39
	278,0		142,3		66,8				
3	274,0	273,0	141,2	142,3	68,3	68,5	2650,22	3660	1,38
	273,5		141,8		68,4				
4	276,0	277,0	140,2	141,1	66,8	67,7	2613,62	3605	1,38
	276,5		140,6		67,2				
5	275,0	273,0	139,1	139,7	64,8	66,2	2500,91	3602	1,44
	274,0		139,4		65,5				
6	275,0	275,0	139,0	139,5	68,6	68,3	2621,11	3586	1,37
	275,0		139,2		68,5				
7	278,0	279,0	139,6	138,7	69,7	68,6	2680,57	3667	1,37
	278,5		139,1		69,2				
8	275,0	275,0	141,8	141,3	61,9	58,2	2335,78	3648	1,56
	275,0		141,5		60,0				
9	276,5	276,0	145,6	142,3	63,1	62,7	2501,63	3683	1,47
	276,3		143,9		62,9				
10	275,5	276,5	140,5	139,6	67,7	69,6	2654,45	3657	1,38
	276,0		140,0		68,7				
11	277,0	278,5	140,4	140,9	66,7	68,0	2629,92	3591	1,37
	277,8		140,6		67,3				
12	278,0	277,5	143,8	140,9	66,8	65,1	2609,34	3650	1,40
	277,8		142,4		66,0				
13	277,0	274,0	142,7	146,7	65,2	63,5	2564,84	3651	1,42
	275,5		144,7		64,3				
X <sub>m</sub>	277,0		141,3		66,3		2594,9	3641,1	1,41
$\sigma$	3,4		1,7		2,6		101,0	33,3	0,058814496
RR <sub>x</sub>	7,67		5,83		11,55		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	8,35	

Tabela – Ensaio de determinação de massa específica aparente e retração relativa									
Material: Bichinho - B3									
Data ensaio: abril 2019									
CP Nº	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)		Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho$ ap (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>			
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	282,0	281,0	145,3	144,8	63,5	66,6	2654,52	3590	1,35
	281,5		145,0		65,0				
2	288,0	287,0	150,8	148,3	65,3	66,5	2833,22	3630	1,28
	287,5		149,5		65,9				
3	284,0	280,5	144,5	144,8	68,3	65,9	2738,58	3571	1,30
	282,3		144,7		67,1				
4	284,5	283,0	145,6	144,9	67,1	66,2	2746,13	3607	1,31
	283,8		145,3		66,6				
5	284,0	285,0	150,8	149,1	64,3	64,3	2744,49	3665	1,34
	284,5		150,0		64,3				
6	279,0	283,0	144,2	143,8	66,0	66,8	2686,87	3510	1,31
	281,0		144,0		66,4				
7	285,0	294,0	149,3	146,1	62,9	65,2	2738,20	3567	1,30
	289,5		147,7		64,1				
8	283,0	285,0	144,5	146,9	65,2	66,5	2725,43	3540	1,30
	284,0		145,7		65,9				
9	287,0	289,0	143,0	148,3	66,8	63,9	2739,64	3595	1,31
	288,0		145,6		65,3				
10	281,0	284,0	145,7	146,3	69,0	68,4	2832,21	3643	1,29
	282,5		146,0		68,7				
11	283,0	281,5	145,8	144,3	66,3	67,1	2730,27	3623	1,33
	282,3		145,0		66,7				
12	290,0	296,0	148,8	149,3	63,5	65,3	2811,07	3563	1,27
	293,0		149,0		64,4				
13	291,0	289,0	153,0	146,7	65,9	59,7	2728,65	3633	1,33
	290,0		149,8		62,8				
X <sub>m</sub>	285,4		146,7		65,6		2746,9	3595,2	1,31
$\sigma$	3,8		2,2		1,5		51,8	44,2	0,023494178
RR <sub>x</sub>	4,88		2,19		12,49		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	6,52	

<b>Tabela – Ensaio de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: Bichinho - B4</b>									
<b>Data ensaio: maio 2019</b>									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho$ ap (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	275,0	274,0	139,3	139,5	69,3	69,3	2650,83	4093,3	1,54
	274,5		139,4		69,3				
2	282,0	284,0	141,3	141,8	68,4	64,3	2656,45	4087,8	1,54
	283,0		141,5		66,3				
3	277,0	274,0	141,1	140,1	68,3	68,4	2648,91	4108,4	1,55
	275,5		140,6		68,4				
4	281,0	284,0	141,9	141,9	69,4	69,4	2780,83	4195,8	1,51
	282,5		141,9		69,4				
5	275,0	274,0	141,0	140,8	67,0	70,0	2650,16	4088,2	1,54
	274,5		140,9		68,5				
6	274,0	274,0	140,3	139,9	68,9	68,6	2639,89	4107,4	1,56
	274,0		140,1		68,8				
7	278,0	277,0	141,2	140,3	69,1	68,7	2690,42	4047,9	1,50
	277,5		140,8		68,9				
8	278,4	277,0	138,9	141,5	70,3	65,9	2652,44	4048,7	1,53
	277,7		140,2		68,1				
9	272,5	272,0	139,8	141,9	68,6	67,6	2611,01	4108,7	1,57
	272,3		140,8		68,1				
10	278,0	274,0	139,6	140,1	66,9	67,2	2586,79	4085,1	1,58
	276,0		139,8		67,0				
11	275,0	274,5	140,3	140,0	69,5	71,4	2712,57	4103,4	1,51
	274,8		140,2		70,4				
12	277,0	278,0	142,5	141,1	65,9	69,1	2654,71	4087,3	1,54
	277,5		141,8		67,5				
13	274,0	277,0	138,3	139,5	69,0	68,3	2625,69	4083,6	1,56
	275,5		138,9		68,6				
X <sub>m</sub>	276,6		140,5		68,4		2658,5	4095,8	1,54
$\sigma$	3,2		0,9		1,1		48,3	35,9	0,023169012
RR <sub>x</sub>	7,82		6,32		8,79		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	7,64	

Tabela – Ensaio de determinação de massa específica aparente e retração relativa									
Material: L1									
Data ensaio: 27/08/2019									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho$ ap (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	283,4	279,0	141,8	142,7	68,7	68,4	2741,16	4880	1,78
	281,2		142,3		68,5				
2	283,2	281,4	141,9	143,1	66,8	70,0	2751,23	4864	1,77
	282,3		142,5		68,4				
3	284,0	286,5	142,5	143,1	68,8	68,5	2794,61	4932	1,76
	285,2		142,8		68,6				
4	283,7	283,3	141,5	140,2	69,2	70,7	2793,57	4937	1,77
	283,5		140,8		70,0				
5	283,0	282,9	143,2	141,5	68,7	70,3	2798,22	4918	1,76
	282,9		142,3		69,5				
6	281,1	282,6	142,8	144,3	68,8	70,2	2810,76	4909	1,75
	281,9		143,6		69,5				
7	284,9	281,0	143,4	141,5	68,2	68,5	2755,90	4878	1,77
	282,9		142,5		68,4				
8	284,2	286,9	145,4	144,6	67,4	67,1	2783,89	4796	1,72
	285,6		145,0		67,2				
9	286,7	282,7	142,0	141,9	68,7	67,9	2759,61	4803	1,74
	284,7		141,9		68,3				
10	282,6	282,7	144,0	142,6	70,5	69,4	2833,34	4897	1,73
	282,7		143,3		70,0				
11	283,3	284,0	142,5	143,2	68,6	69,6	2800,55	4827	1,72
	283,6		142,8		69,1				
12	281,8	284,9	142,5	142,5	67,9	69,5	2773,01	4885	1,76
	283,3		142,5		68,7				
13	284,9	284,8	146,1	143,5	70,2	68,9	2867,26	4937	1,72
	284,8		144,8		69,5				
X <sub>m</sub>	283,4		142,9		68,9		2789,5	4881,8	1,75
$\sigma$	1,3		1,1		0,8		35,1	48,1	0,020719922
RR <sub>x</sub>	5,52		4,77		8,14		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	6,14	

<b>Tabela – Ensaio de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: L2</b>									
<b>Data ensaio: 10/09/2019</b>									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho$ ap (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	284,5	288,9	141,6	143,4	70,9	70,3	2884,76	4635	1,61
	286,7		142,5		70,6				
2	285,1	287,2	143,4	144,0	68,9	69,4	2841,40	4632,6	1,63
	286,1		143,7		69,1				
3	246,9	285,3	142,7	142,0	70,1	71,2	2675,09	4603,7	1,72
	266,1		142,4		70,6				
4	284,0	283,0	141,5	143,2	71,2	71,2	2873,56	4625,9	1,61
	283,5		142,3		71,2				
5	284,8	281,2	143,0	142,6	72,1	72,0	2912,67	4644,9	1,59
	283,0		142,8		72,1				
6	283,9	283,4	141,8	143,4	73,0	70,6	2903,19	4623,3	1,59
	283,7		142,6		71,8				
7	282,1	284,9	140,6	144,2	71,6	69,6	2849,40	4589,6	1,61
	283,5		142,4		70,6				
8	286,0	287,0	142,7	144,4	68,1	67,1	2780,33	4650,2	1,67
	286,5		143,5		67,6				
9	283,9	282,1	141,7	140,7	73,5	74,4	2955,44	4726,7	1,60
	283,0		141,2		74,0				
10	283,0	282,7	142,6	141,9	70,1	70,7	2830,61	4599,6	1,62
	282,9		142,2		70,4				
11	279,2	282,6	141,3	141,1	70,3	70,4	2792,08	4526,7	1,62
	280,9		141,2		70,4				
12	284,7	282,1	141,9	141,4	70,8	70,8	2842,37	4540	1,60
	283,4		141,6		70,8				
13	284,5	284,0	143,0	142,4	69,8	71,4	2864,02	4526,2	1,58
	284,3		142,7		70,6				
<b>X<sub>m</sub></b>	<b>282,6</b>		<b>142,4</b>		<b>70,8</b>		<b>2846,5</b>	<b>4609,6</b>	<b>1,62</b>
$\sigma$	<b>5,2</b>		<b>0,7</b>		<b>1,5</b>		<b>70,1</b>	<b>55,9</b>	<b>0,038036798</b>
<b>RR<sub>x</sub></b>	<b>5,81</b>		<b>5,07</b>		<b>5,66</b>		<b>Retração relativa</b>		
							<b>RR<sub>m</sub> =</b>	<b>5,51</b>	

<b>Tabela – Ensaios de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: M1</b>									
Data ensaio: 10/12/2019									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho$ ap (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	279,6	278,5	138,7	138,5	68,2	70,6	2683,85	4223,2	1,57
	279,0		138,6		69,4				
2	279,2	280,6	138,9	139,0	68,1	70,1	2685,02	4178,2	1,56
	279,9		138,9		69,1				
3	279,2	277,7	140,3	138,6	67,5	68,1	2631,54	4193,5	1,59
	278,4		139,5		67,8				
4	280,9	281,3	141,1	139,6	68,8	69,0	2716,55	4138,6	1,52
	281,1		140,3		68,9				
5	280,3	278,9	135,9	138,7	71,9	68,4	2693,77	4138,1	1,54
	279,6		137,3		70,2				
6	283,1	283,8	139,9	140,4	69,3	69,1	2747,92	4273	1,55
	283,4		140,1		69,2				
7	278,1	281,2	139,8	139,8	68,4	68,7	2680,25	4235,6	1,58
	279,7		139,8		68,6				
8	279,0	280,0	140,0	141,1	69,4	67,6	2690,39	4195,8	1,56
	279,5		140,6		68,5				
9	278,2	279,7	139,4	140,0	69,4	69,5	2706,13	4231,5	1,56
	278,9		139,7		69,5				
10	279,7	280,5	139,4	139,9	69,8	71,9	2771,12	4207,3	1,52
	280,1		139,6		70,9				
11	277,0	279,2	139,3	139,5	68,1	69,1	2657,88	4338,2	1,63
	278,1		139,4		68,6				
12	279,2	278,3	138,9	139,8	69,7	67,1	2657,89	4260,5	1,60
	278,7		139,4		68,4				
13	281,6	284,7	141,8	141,4	67,8	64,7	2656,38	4253,6	1,60
	283,2		141,6		66,3				
X <sub>m</sub>	280,0		139,6		68,8		2690,7	4220,5	1,57
$\sigma$	1,7		1,0		1,1		38,4	55,1	0,033096692
RR <sub>x</sub>	6,68		6,93		8,20		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	7,27	



Tabela – Ensaios de determinação de massa específica aparente e retração relativa									
Material: M2									
Data ensaio: 13/11/2019									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	302,7	303,8	154,9	155,1	78,8	70,8	3516,88	6180	1,76
	303,3		155,0		74,8				
2	304,3	301,2	153,5	153,1	73,6	63,7	3183,99	6247,4	1,96
	302,8		153,3		68,6				
3	304,5	302,2	154,9	154,5	71,2	69,4	3298,03	6234	1,89
	303,4		154,7		70,3				
4	302,2	295,5	154,7	152,9	72,2	68,7	3237,43	6166,4	1,90
	298,9		153,8		70,4				
5	301,5	302,5	153,1	157,4	70,4	73,6	3375,26	6167,9	1,83
	302,0		155,3		72,0				
6	303,4	306,5	155,0	162,5	69,0	70,8	3383,23	6190	1,83
	304,9		158,8		69,9				
7	304,2	305,5	152,5	161,2	69,2	65,4	3217,26	6156,6	1,91
	304,8		156,8		67,3				
8	307,1	308,1	156,4	161,6	72,0	67,1	3402,99	6186,3	1,82
	307,6		159,0		69,6				
9	305,8	303,6	155,0	153,9	71,4	69,2	3307,86	6135,2	1,85
	304,7		154,4		70,3				
10	305,0	306,4	156,6	158,8	64,5	66,0	3145,30	6135,6	1,95
	305,7		157,7		65,3				
11	304,7	303,1	153,9	155,1	70,1	68,3	3247,99	6077,7	1,87
	303,9		154,5		69,2				
12	306,0	309,3	154,4	155,6	70,3	69,6	3333,97	6033,22	1,81
	307,7		155,0		69,9				
13	309,2	309,4	162,2	159,0	73,4	66,9	3485,95	6367,9	1,83
	309,3		160,6		70,2				
X <sub>m</sub>	304,5		156,1		69,8		3318,2	6175,2	1,86
$\sigma$	2,7		2,3		2,2		112,8	81,4	0,05948877
RR <sub>x</sub>	-1,51		-4,04		6,90		Retração relativa		
							RR <sub>m</sub> =	0,45	

<b>Tabela – Ensaios de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: S1</b>									
<b>Data ensaio: 04/12/2019</b>									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )
	C <sub>médio</sub>		L <sub>médio</sub>		H <sub>médio</sub>				
1	287,0	286,4	143,7	145,0	71,0	69,8	2912,80	5095,5	<b>1,75</b>
	286,7		144,3		70,4				
2	287,5	288,8	147,4	144,2	69,4	67,9	2883,90	5107,4	<b>1,77</b>
	288,2		145,8		68,6				
3	289,1	289,2	143,7	147,3	68,5	71,2	2938,61	4969	<b>1,69</b>
	289,1		145,5		69,9				
4	288,0	279,6	149,0	147,3	69,4	69,9	2927,15	4747,2	<b>1,62</b>
	283,8		148,2		69,6				
5	289,7	289,4	146,0	146,4	69,7	68,9	2934,56	4945,5	<b>1,69</b>
	289,5		146,2		69,3				
6	288,2	289,6	146,1	144,7	69,3	70,3	2932,96	5208,3	<b>1,78</b>
	288,9		145,4		69,8				
7	292,8	290,4	145,1	146,9	69,9	70,9	2994,80	5175,6	<b>1,73</b>
	291,6		146,0		70,4				
8	288,9	289,6	146,0	145,9	69,6	69,8	2941,73	5001,2	<b>1,70</b>
	289,2		146,0		69,7				
9	288,2	287,9	146,3	144,4	70,4	69,6	2931,56	4836,6	<b>1,65</b>
	288,0		145,3		70,0				
10	291,3	292,1	144,8	148,4	68,2	68,4	2920,41	4836,6	<b>1,66</b>
	291,7		146,6		68,3				
11	288,1	289,6	146,7	144,9	68,7	68,4	2885,86	4881,8	<b>1,69</b>
	288,8		145,8		68,5				
12	289,6	284,8	144,8	147,0	67,2	68,2	2837,88	4693,4	<b>1,65</b>
	287,2		145,9		67,7				
13	288,5	288,7	144,9	144,0	69,0	69,9	2894,96	4723,9	<b>1,63</b>
	288,6		144,4		69,5				
<b>X<sub>m</sub></b>	<b>288,6</b>		<b>145,8</b>		<b>69,4</b>		<b>2918,2</b>	<b>4940,2</b>	<b>1,69</b>
<b><math>\sigma</math></b>	<b>2,0</b>		<b>1,0</b>		<b>0,8</b>		<b>37,5</b>	<b>171,7</b>	<b>0,05086228</b>
<b>RR<sub>x</sub></b>	<b>3,81</b>		<b>2,80</b>		<b>7,51</b>		<b>Retração relativa</b>		
							<b>RR<sub>m</sub> =</b>	<b>4,71</b>	

<b>Tabela – Ensaios de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: S2</b>									
<b>Data ensaio: 12/03/2020</b>									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	<b>ρ ap (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	<b>C<sub>médio</sub></b>		<b>L<sub>médio</sub></b>		<b>H<sub>médio</sub></b>				
1	284,1	285,0	145,2	145,2	70,8	71,7	2942,31	6083,6	<b>2,07</b>
	284,5		145,2		71,2				
2	287,0	286,5	144,6	144,3	70,9	72,1	2961,24	6108,6	<b>2,06</b>
	286,7		144,5		71,5				
3	285,8	283,5	141,2	143,1	71,5	72,1	2904,58	6046,3	<b>2,08</b>
	284,7		142,1		71,8				
4	285,9	285,4	144,1	145,7	69,1	73,0	2941,37	6009,8	<b>2,04</b>
	285,7		144,9		71,1				
5	286,1	285,1	143,3	143,2	70,1	70,7	2879,26	6047,8	<b>2,10</b>
	285,6		143,2		70,4				
6	285,2	284,3	144,3	144,3	72,2	72,3	2968,87	6122,2	<b>2,06</b>
	284,8		144,3		72,2				
7	286,2	285,7	144,7	144,2	72,5	72,6	2996,87	6117,9	<b>2,04</b>
	285,9		144,5		72,6				
8	285,8	284,5	142,5	143,7	70,9	71,8	2910,57	5976,5	<b>2,05</b>
	285,1		143,1		71,4				
9	283,6	285,1	140,9	143,7	70,5	71,7	2877,07	5962,5	<b>2,07</b>
	284,4		142,3		71,1				
10	285,7	286,4	144,7	144,7	70,7	72,9	2971,90	6057	<b>2,04</b>
	286,0		144,7		71,8				
11	285,3	285,5	142,7	142,1	72,1	70,7	2901,66	6042	<b>2,08</b>
	285,4		142,4		71,4				
12	288,3	284,7	143,9	144,3	71,6	70,3	2927,86	6033,2	<b>2,06</b>
	286,5		144,1		70,9				
13	285,2	287,7	144,1	142,9	71,7	70,0	2911,16	6017,8	<b>2,07</b>
	286,4		143,5		70,8				
<b>X<sub>m</sub></b>	<b>285,5</b>		<b>143,8</b>		<b>71,4</b>		<b>2930,4</b>	<b>6048,1</b>	<b>2,06</b>
<b>σ</b>	<b>0,8</b>		<b>1,1</b>		<b>0,6</b>		<b>37,1</b>	<b>50,4</b>	<b>0,017820199</b>
<b>RR<sub>x</sub></b>	<b>4,83</b>		<b>4,17</b>		<b>4,80</b>		<b>Retração relativa</b>		
							<b>RR<sub>m</sub> =</b>	<b>4,60</b>	

<b>Tabela – Ensaios de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: SC</b>									
<b>Data ensaio: 01/10/2019</b>									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
<b>CP N°</b>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	<b>ρ<sub>ap</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	<b>C<sub>médio</sub></b>		<b>L<sub>médio</sub></b>		<b>H<sub>médio</sub></b>				
<b>1</b>	280,2	281,9	143,8	138,9	67,9	63,1	2603,52	4545,7	<b>1,75</b>
	281,1		141,4		65,5				
<b>2</b>	278,2	279,2	139,3	138,1	69,9	69,3	2689,90	4528,8	<b>1,68</b>
	278,7		138,7		69,6				
<b>3</b>	279,8	279,3	137,6	140,8	70,0	70,6	2735,95	4607,1	<b>1,68</b>
	279,5		139,2		70,3				
<b>4</b>	279,5	278,9	141,0	138,9	70,7	69,5	2737,14	4585,9	<b>1,68</b>
	279,2		139,9		70,1				
<b>5</b>	279,0	278,9	138,4	139,9	70,0	69,1	2699,60	4578,2	<b>1,70</b>
	278,9		139,2		69,6				
<b>6</b>	277,4	278,9	139,9	137,6	69,8	69,9	2696,12	4541,3	<b>1,68</b>
	278,1		138,8		69,9				
<b>7</b>	278,7	278,5	139,1	139,1	68,8	71,9	2725,90	4483	<b>1,64</b>
	278,6		139,1		70,4				
<b>8</b>	281,7	278,2	139,0	137,7	69,3	79,6	2882,00	4521,8	<b>1,57</b>
	279,9		138,3		74,4				
<b>9</b>	279,4	279,4	140,0	137,9	70,4	69,6	2717,10	4548,6	<b>1,67</b>
	279,4		138,9		70,0				
<b>10</b>	279,6	276,0	139,7	139,0	68,4	68,8	2655,65	4453,7	<b>1,68</b>
	277,8		139,4		68,6				
<b>11</b>	278,8	281,1	139,1	139,1	71,4	67,7	2705,97	4531,6	<b>1,67</b>
	279,9		139,1		69,5				
<b>12</b>	281,4	284,1	140,3	138,9	68,3	70,5	2737,83	4557,1	<b>1,66</b>
	282,7		139,6		69,4				
<b>13</b>	279,1	278,8	139,8	139,3	69,1	70,5	2716,89	4585,5	<b>1,69</b>
	279,0		139,5		69,8				
<b>X<sub>m</sub></b>	<b>279,4</b>		<b>139,3</b>		<b>69,8</b>		<b>2715,7</b>	<b>4543,7</b>	<b>1,67</b>
<b>σ</b>	<b>1,3</b>		<b>0,7</b>		<b>1,9</b>		<b>62,4</b>	<b>42,4</b>	<b>0,038885865</b>
<b>RR<sub>x</sub></b>	<b>6,85</b>		<b>7,13</b>		<b>6,98</b>		<b>Retração relativa</b>		
							<b>RR<sub>m</sub> =</b>	<b>6,99</b>	

<b>Tabela – Ensaios de determinação de massa específica aparente e retração relativa</b>									
<b>Material: LN</b>									
<b>Data ensaio: 28/10/2019</b>									
	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)				
CP Nº	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	<b>ρ<sub>ap</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	<b>C<sub>médio</sub></b>		<b>L<sub>médio</sub></b>		<b>H<sub>médio</sub></b>				
1	273,1	273,0	138,7	137,0	67,4	69,4	2573,87	4051,1	<b>1,57</b>
	273,1		137,8		68,4				
2	273,3	274,7	135,3	137,2	70,9	69,0	2610,39	4019,3	<b>1,54</b>
	274,0		136,3		69,9				
3	278,4	278,1	138,6	141,0	66,8	70,0	2661,12	4038,6	<b>1,52</b>
	278,3		139,8		68,4				
4	275,2	275,6	157,4	138,2	68,4	68,5	2785,59	4036,8	<b>1,45</b>
	275,4		147,8		68,4				
5	278,1	277,3	130,5	137,5	70,5	71,2	2634,97	4562,3	<b>1,73</b>
	277,7		134,0		70,8				
6	277,0	278,1	137,8	137,7	69,5	68,1	2630,02	4085,6	<b>1,55</b>
	277,5		137,8		68,8				
7	276,7	277,2	136,7	136,5	68,4	67,6	2570,79	4015,6	<b>1,56</b>
	276,9		136,6		68,0				
8	277,6	276,7	135,6	135,6	67,9	68,4	2561,47	3982,4	<b>1,55</b>
	277,1		135,6		68,2				
9	275,1	278,9	137,8	137,0	68,1	68,6	2602,24	4016,6	<b>1,54</b>
	277,0		137,4		68,4				
10	278,5	276,0	137,8	138,6	70,2	67,6	2640,16	4010,4	<b>1,52</b>
	277,2		138,2		68,9				
11	278,5	275,8	139,1	137,8	64,6	66,8	2520,45	3987,4	<b>1,58</b>
	277,1		138,4		65,7				
12	278,8	278,8	137,8	140,8	70,2	70,2	2725,91	4069,1	<b>1,49</b>
	278,8		139,3		70,2				
13	277,3	275,7	139,6	139,9	66,1	66,9	2568,28	3986,7	<b>1,55</b>
	276,5		139,7		66,5				
<b>X<sub>m</sub></b>	<b>276,7</b>		<b>138,4</b>		<b>68,5</b>		<b>2621,9</b>	<b>4066,3</b>	<b>1,55</b>
<b>σ</b>	<b>1,6</b>		<b>3,3</b>		<b>1,4</b>		<b>71,9</b>	<b>152,3</b>	<b>0,064722436</b>
<b>RR<sub>x</sub></b>	<b>7,78</b>		<b>7,76</b>		<b>8,66</b>		<b>Retração relativa</b>		
							<b>RR<sub>m</sub> =</b>	<b>8,07</b>	